

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 strokovni študij
gradbeništva, Prometno tehnološka
smer

Kandidat:

Aleš Simčič

ANALIZA MOŽNOSTI ODLAGANJA VIŠKOV IZKOPANIH MATERIALOV IZ TRASE DRUGEGA TIRA DIVAČA - KOPER

Diplomska naloga št.: 411

Mentor:

viš. pred. dr. Ana Petkovšek

Ljubljana, 2010

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **ALEŠ SIMČIČ** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
**»ANALIZA MOŽNOSTI ODLAGANJA VIŠKOV ODKOPANIH MATERIALOV IZ
TRASE DRUGEGA TIRA DIVAČA - KOPER«.**

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

Ljubljana, 10.12.2010

(podpis)

BIBLIOGRAFISKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 658.567.1(043.2)
Avtor: Aleš Simčič
Mentor: viš. pred. dr. Ana Petkovšek, univ. dipl. inž. geol.
Naslov: Analiza možnosti odlaganja viškov izkopanih materialov iz trase drugega tira Divača - Koper
Obseg in oprema: 39 str., 14 pregl., 14 sl., 39 en., 5 pril.
Ključne besede: drugi tir Divača – Koper, deponija za viške materialov,

Izveček

V diplomski nalogi je obravnavana možnost izgradnje deponije za viške izkopanega materiala na lokaciji Ankaranske Bonifike. Temeljna tla na tej lokaciji so zgrajena iz zelo mehkih sedimentov, znotraj katerih se mešajo rečne in morske naplavine, ki so zelo stisljive. Na podlagi rezultatov terenskih in laboratorijskih raziskav smo preverili izvedljivost izgradnje deponije, brez izboljšave temeljnih tal, z uporabo vertikalnih drenaž in z uporabo gruščnatih kolov.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 658.567.1(043.2)

Author: Aleš Simčič

Supervisor: Sen. Lect. Dr. Ana Petkovšek, b.s. in geology.

Title: Analysis of the disposal options of surplus excavated materials from the route of the second track Divača - Koper

Notes: 39 p., 14 tab., 14 fig., 39 eq., 5 ann.

Key words: second track Divača – Koper, disposal facilities for the excess material

Abstract

This diploma thesis presents the possibility of constructing disposal facilities for the excess material in the area called Ankaranska Bonifika. Ground at this location is made from very soft and compressible river and marine sediments. Based on the results from our field and laboratory research, we analysed different options of soil improvement before filling, by using vertical drains and gravel piles. We analysed also the possibilities of constructing the fill without any additional sanitation work in the natural ground.

ZAHVALA

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

Zahvaljem se tudi zaposlenim v laboratoriju katedre za mehaniko tal za pomoč pri opravljanju laboratorijskih raziskav.

Posebna zahvala gre moji družini, ki mi je stala ob strani in me podpirala vsa študijska leta.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	PREDMET MOJEGA DELA	2
3	PRETEKLE IZKUŠNJE	2
4	PREISKAVE TAL	2
4.1	Terenske preiskave	2
4.1.1	Standardni penetracijski test (SPT)	3
4.1.2	Preiskave z žepnim penetrometrom	3
4.1.3	Talna voda	3
4.1.4	Dilatometrijske preiskave (DMT sonda)	3
4.2	Laboratorijske raziskave	4
4.2.1	Določanje zrnastostne sestave	5
4.2.2	Klasifikacija zemljin (UCSC)	6
4.2.3	Ugotavljanje vlažnosti	7
4.2.4	Ugotavljanje Atterbergovih meja plastičnosti	8
4.2.5	Preizkus s konusom	9
4.2.6	Edometrijski preizkus s postopnim obremenjevanjem	10
4.2.7	Enosni tlačni preizkus	11
4.2.8	Neposredni strižni preizkus	11
4.2.9	Triosne strižne preiskave	12
4.2.10	Določitev strižne trdnosti zemljine s krilno sondo	13
4.3	Rezultati laboratorijskih preiskav	13
4.3.1	Indeksni kazalniki lastnosti	14
4.3.2	Klasifikacija materiala	14
4.3.3	Enosna tlačna trdnost	15
4.3.4	Nedrenirana strižna trdnost	15
4.3.5	Strižna odpornost	15
4.3.6	Edometrijski modul stisljivosti	16

4.3.7	Prepustnost	16
4.4	Rezultati terenskih preiskav	17
4.4.1	Dilatometriške preiskave	17
4.4.2	Popis jeder vrtin	17
4.5	Lastnosti zemljin	19
4.6	Računske karakteristike	19
5	RAČUNSKÉ ANALIZE	20
5.1	Nosilnost tal	20
5.2	Posedki in časovni razvoj posedkov	25
5.3	Pospešitev konsolidacije z vertikalnimi drenažami	28
5.4	Pospešitev konsolidacije z gruščnatimi koli	31
6	ZAKLJUČEK	37
VIRI		38

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Klasifikacija debelozrnatih zemljin	7
Preglednica 2: Indeksni kazalniki lastnosti	14
Preglednica 3: Pregled s preiskavami ugotovljenih materialnih karakteristik	19
Preglednica 4: Projektne vrednosti materialnih karakteristik	19
Preglednica 5: Posedki tal	25
Preglednica 6: Karakteristike nadomestnega sloja	26
Preglednica 7: Časovni razvoj posedkov	27
Preglednica 8: Parametri za izračun radialne konsolidacije vertikalnih drenažnih trakov	28
Preglednica 9: Izbira koeficienta časa T_r	29
Preglednica 10: Časovni razvoj posedkov z vertikalnimi drenažnimi trakovi	30
Preglednica 11: Parametri za izračun radialne konsolidacije gruščnatih slopov	31
Preglednica 12: Račun posedkov gruščnatih slopov	32
Preglednica 13: Časovni razvoj posedkov z gruščnatimi slopi	33
Preglednica 14: Ocena stroškov izboljšave tal	35

KAZALO SLIK

Slika 1: Tloris obravnavanega območja na Ankaranski Bonifiki	1
Slika 2: Shematski prikaz dilatometriškega preizkusa.....	4
Slika 3: AC diagram za klasifikacijo drobnnozrnatih zemljin.....	6
Slika 4: Pozicija finih zrn v AC diagramu	15
Slika 5: Rezultati strižnih raziskav.....	16
Slika 6: Geološki profil temeljnih tal na Ankaranski Bonifiki	18
Slika 7: Skica točk v prerezu nasipa	23
Slika 8: Prikaz dodatnih vertikalnih napetosti zaradi obtežbe nasipa.....	23
Slika 9: Pomiki tal izračunani po Steinbrennerju.....	24
Slika 10: Skica profilov.....	25
Slika 11: Časovni razvoj posedkov	27
Slika 12: Časovni razvoj posedkov z vertikalnimi drenažnimi trakovi	30
Slika 13: Časovni razvoj posedkov z gruščnatimi slopi	34
Slika 14: Primerjava časov trajanja posedkov brez izboljšav temeljnih tal, z vertikalnimi drenažnimi trakovi in z gruščnatimi slopi.....	36

KAZALO SIMBOLOV

Simbol	Enota	Lastnosti
c	[kPa]	kohezija
c'	[kPa]	kohezija izražena z efektnimi napetostmi
C_c		koeficient zrnivosti
C_u		koeficient enakomernosti
c_u	[kPa]	nedrenirana strižna trdnost
d	[mm]	premer zrna
e		količnik por
e_0		naravni količnik por
E_{oed}	[MPa]	edometerski modul stisljivosti
F		faktor varnosti
I_C		indeks konsistence
I_P	[%]	indeks plasičnosti
k	[m/s]	koeficient vodoprepustnosti
m_m	[kg]	masa mokrega materiala
m_s	[kg]	masa suhega materiala
n	[%]	poroznost
q_u	[kPa]	enoosna tlačna trdnost
S_r	[%]	stopnja zasičenja
USCS		enotni zemeljski klasifikacijski sistem
w	[%]	vlažnost
w_0	[%]	naravna vlažnost
w_L	[%]	meja židkosti
w_P	[%]	meja plastičnosti
w_s	[KN/m ³]	teža suhega materiala
w_w	[KN/m ³]	teža mokrega materiala
γ	[KN/m ³]	prostorninska teža
γ'	[KN/m ³]	efektivna prostorninska teža
γ	[KN/m ³]	suha prostorninska teža
ε	[%]	deformacija
φ	[°]	strižni kot zemljine ali kot notranjega trenja
φ'	[°]	strižni kot izražen z efektnimi napetostmi
ρ	[kg/m ³]	gostota
ρ_d	[kg/m ³]	suha gostota
σ	[kPa]	normalna totalna napetost
σ'	[kPa]	normalna efektivna napetost
τ	[kPa]	strižna napetost
τ_f	[kPa]	strižna trdnost

1 UVOD

Na trasi drugega tira železniške proge Divača-Koper bo osem predorov. Za odlaganje viškov materiala so predvidene tri deponije, Ankaranska Bonifika, Bekovec pod viaduktom Črni Kal in deponija v opuščnem laporokopu ob stari Šmarski cesti. V diplomski nalogi obravnavam geotehnično analizo in izvedbene možnosti izgradnje deponije na Ankaranski Bonifiki.

Preverili smo tri možnosti polnjenja deponije:

- brez izboljšave temeljnih tal,
- z uporabo vertikalnih drenažnih trakov,
- z uporabo gruščnatih slopov.



Slika 1: Tloris obravnavanega območja na Ankaranski Bonifiki

2 PREDMET MOJEGA DELA

Sodeloval sem pri izvedbi terenskih preiskav na lokaciji predorov in izvedel laboratorijske raziskave zemljin, odvzetih na lokaciji Ankaranske Bonifike, kjer se načrtuje izgradnja deponije viškov materiala. Na osnovi podatkov terenskih raziskav sem izrisal karakteristični geološko-geotehnični profil terena in v laboratoriju opravil raziskave značilnih vzorcev. Nato sem z geotehničnimi izračuni preveril nosilnost tal pod deponijo in izračunal posedke ter njihov časovni razvoj za predvideno geometrijo deponije.

3 PRETEKLE IZKUŠNJE

Iz preteklih izkušenj vemo, da so tla na območju Ankaranske Bonifike mehka in zelo stisljiva, zato je pričakovati velike posedke. Pri hitrem nasipavanju materiala obstaja nevarnost loma tal, možni pa so tudi vplivi posedkov na obnašanje ceste, ki poteka v bližini.

4 PREISKAVE TAL

4.1 Terenske preiskave

Na lokaciji Ankaranske Bonifike so bile za namen raziskave lastnosti tal izvrtane štiri sondažne vrtine z oznakami V-2 do V-5. Vrtine so narejene v medsebojnem razmaku približno 200 m in so globoke od 19 do 20 m. Vse vrtine so bile izvrtane rotacijsko, na suho in s 100% jedrovanjem. Jedra so bila shranjena v lesenih zabojih in zaščitena pred izsušitvijo. Bila so popisana in fotografirana, iz njih pa so bili odvzeti tipični vzorci zemljin za laboratorijske preiskave. Iz popisa jeder vrtin so bili narejeni geološko-geotehnični profili posameznih vrtin. Narejeni sta bili tudi dve dilatometrski raziskavi z oznakama DMT-1 in DMT-2, ki sta dobili prednost pred presiometrskimi, saj daje dilatometrski raziskava v stisljivih glinasto-meljastih zemljinah bolj reprezentativne podatke kot presiometer. DMT preiskavi sta bili izvedeni do globine 19,8 m (DMT-1) oz. 16,4 m (DMT-2).

4.1.1 Standardni penetracijski test (SPT)

Namen standardnega penetracijskega preizkusa (SPT) je določevanje trdnostnih in deformabilnostnih karakteristik zemljin. Preiskava je bolj primerna za nekoherentne materiale, vendar se uporablja tudi za koherentne materiale in mehke hribine, ampak so v teh primerih rezultati manj zanesljivi. Rezultate SPT preizkusov vrednotimo s številom udarcev (N) pri prodiranju konice v globino 30,5 cm. V hribini vrednotimo rezultate preizkusov s penetrabilnostjo (P), to pomeni z globino predora konice v cm pri 60-ih udarcih.

Standardni penetracijski preizkusi so se izvajali povprečno štirikrat na vrtino, skupaj je bilo izvedenih 15 SPT preiskav. Rezultati teh meritev so se za obravnavana tla izkazali kot premalo natančni, zato jih v nadaljnjih izvajanjih ne bomo upoštevali.

4.1.2 Preiskave z žepnim penetrometrom

Med popisom jeder vrtin je bila z žepnim penetrometrom določena enoosna tlačna trdnost kohezivnih zemljin. Preiskava je informativna in je namenjena identifikaciji trdnostnega stanja vzorcev ob popisovanju jeder vrtine.

4.1.3 Talna voda

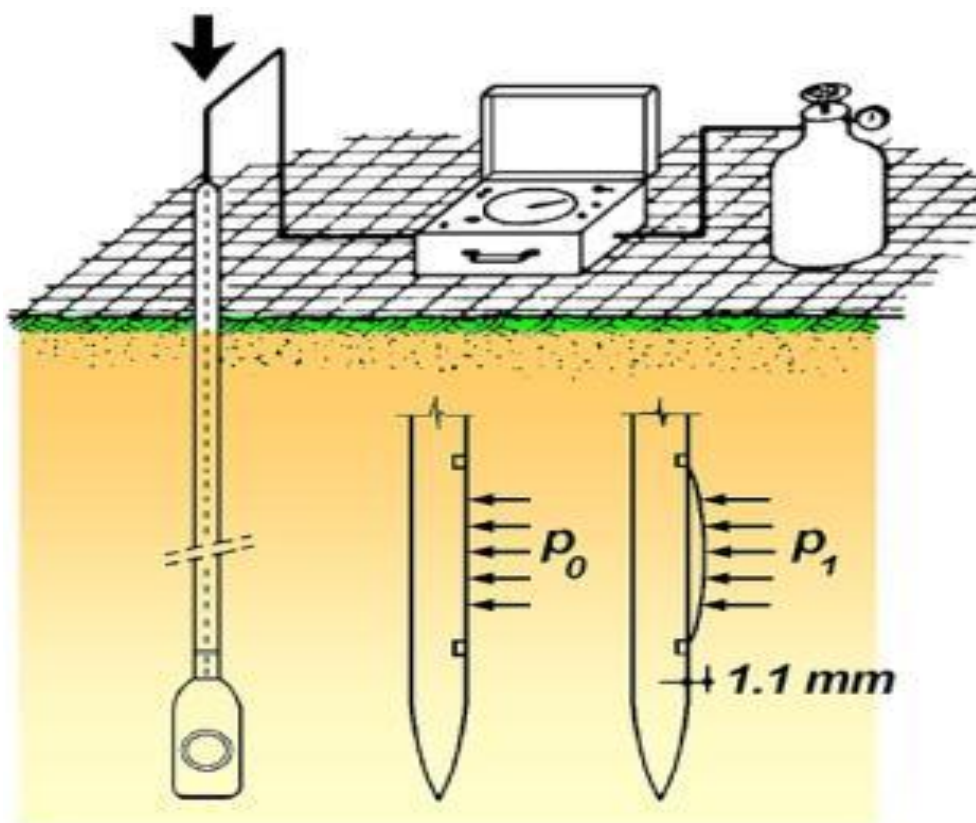
Med vrtnjem sondažnih vrtin se je spremljalo pojavljanje talne vode in ugotovilo, da je nivo podtalnice približno na koti +/- 0,00 m.

4.1.4 Dilatometrskie preiskave (DMT sonda)

Preiskavo s ploskim dilatometrom izvajamo za določitev strižne trdnosti in deformabilnosti fino-zrnatih zemljin. S to preiskavo se lahko informativno določi tudi vrsta zemljine (slojevitost tal) na posameznih globinah. Ker gre za klasifikacijo na osnovi merjenja mehanskih lastnosti, so možna odstopanja od vizualne ali laboratorijske klasifikacije zemljin. Preiskava poteka tako, da ploščato sondo, ki ima na sredini kalibrirano tanko raztegljivo krožno jekleno membrano, potiskamo vertikalno v zemljino s konstantno hitrostjo prodiranja. Hitrost prodiranja je med 10 mm/s in 30 mm/s. Na poljubni globini sondo ustavimo in

določimo kontaktni tlak med zemljino in membrano, ko je membrana poravnana z lopatico. Ko pomik centralnega dela membrane doseže vrednost 1,10 mm izmerimo še tlak. Preiskava poteka hitro in kontinuirano, meritve tlakov se izvajajo na vsakih 20 cm globine.

Rezultate preiskave vrednotimo po ustaljenih korelacijah, ki jih najdemo v priporočilih ISSMGE, tehničnega komiteja 16 za terenske preiskave iz leta 2001, kar ustreza tudi slovenskemu standardu; SIST-TS CEN ISO/TS 22476-11:2008 iz leta 2008. Najpomembnejši rezultati interpretacije meritev so: modul stisljivosti, nedrenirana strižna trdnost ter v peskih tudi konzervativna ocena strižnega kota.



Slika 2: Shematski prikaz dilatometrijskega preizkusa

4.2 Laboratorijske raziskave

V laboratoriju katedre za mehaniko tal na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani smo opravili laboratorijske preiskave na 8 karakterističnih vzorcih odvzetih iz sondažnih vrtn

V-2 do V-5. V nadaljevanju sledi opis metod opravljanja geomehanskih laboratorijskih raziskav.

4.2.1 Določanje zrnastostne sestave SIST/ISO/TS 17892 – 4:2004

V laboratoriju zrnastostno sestavo zemljin določamo s sejanjem na standardnih sitih in areometrom. To preiskavo uporabljamo predvsem za klasifikacijo debelozrnatih in mešanih zemljin, kot pomožno metodo pa tudi pri drobnozrnatih zemljinah.

Sejalne analize ločimo na suhe in mokre. Mokro sejalno analizo opravimo takrat, ko imamo več kot 10 % finih frakcij, v nasprotnem primeru opravimo le suho sejalno analizo. Zemljino najprej stehtamo in namočimo, nato jo postavimo na sito z odprtinami 0,063 mm ter izpiramo s curkom vode. Mokra sejalna analiza je končana, ko izpod sita teče čista voda. Ostanek zemljine na situ posušimo v peči in presejemo skozi standardni sestav sit. Odsejke na posameznih sitih stehtamo, tako lahko določimo zrnastostno sestavo. Če med preiskavo izgubimo več kot 1 % mase materiala, moramo preiskavo ponoviti. Rezultat preiskave zrnastosti je krivulja zrnastosti, iz katere lahko izračunamo koeficient enakomernosti C_u in koeficient zrnastosti C_c .

$$C_u = d_{60} / d_{10} \quad (4.1)$$

$$C_c = d_{30}^2 / d_{10} * d_{60} \quad (4.2)$$

d_{60} ... premer zrn pri 60 % presejku

d_{30} ... premer zrn pri 30 % presejku

d_{10} ... premer zrn pri 10 % presejku

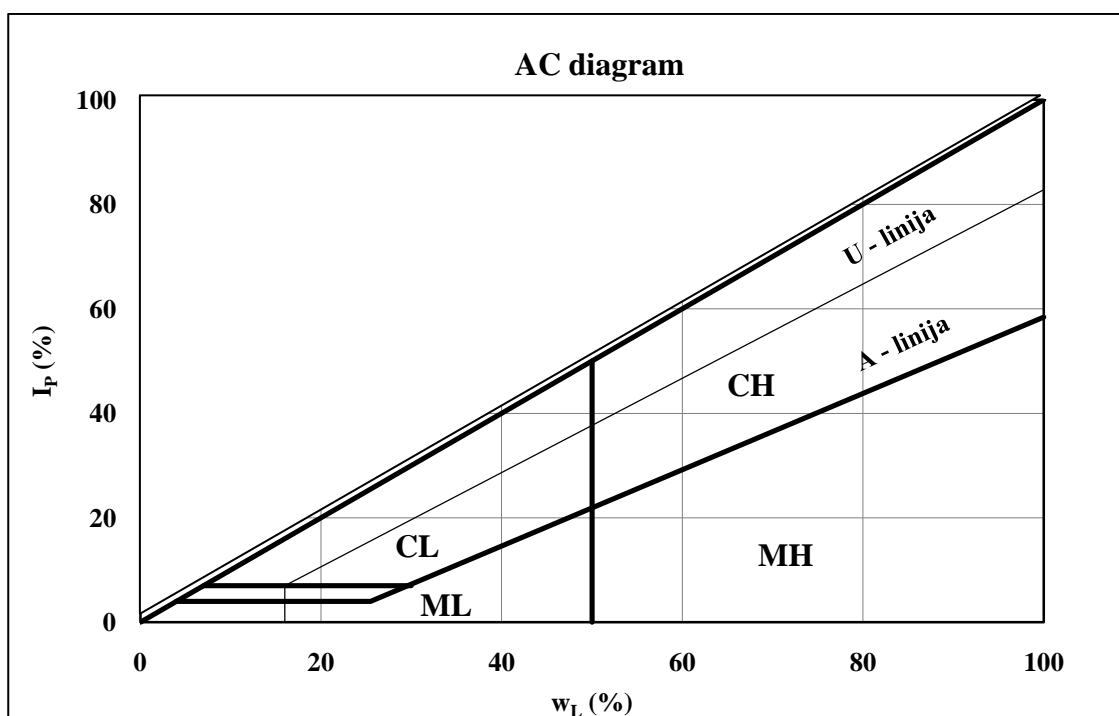
Preiskavo z areometrom opravimo na presejku zemljine skozi sito z odprtinami 0,063 mm. Zemljino posušimo in ji odvzamemo znano maso, nato jo dispergiramo v vodi skupaj z antikoagulacijskim sredstvom in vlijemo v merilni valj ter vanj potopimo areometer. V določenih časovnih intervalih odčitavamo gostoto suspenzije iz merilne skale areometra ter istočasno merimo temperaturo, ki vpliva na njeno viskoznost. Rezultat preiskave je krivulja zrnastosti pod zrn premera 0,063 mm.

4.2.2 Klasifikacija zemljin (UCSC) JUS U.B1.001

Zemljine, ki imajo podobne lastnosti, jih po modificirani AC klasifikaciji, razdelimo v tri skupine in sicer na :

- debelozrnate, to so gramozji in peski,
- drobnozrnate, to so glinje in melje
- in šote.

Osnova za razvrščanje gramozov in peskov je zrnavostna sestava, osnova za razvrščanje drobno zrnatih zemljin pa so podatki Atterbergovih meja plastičnosti.



Slika 3: AC diagram za klasifikacijo drobnozrnatih zemljin

Preglednica 1: Klasifikacija debelozrnatih zemljin

DEBELO ZRNATE ZEMLJINE				
Osnovna delitev	Simbol Oznaka	Geotehnični opis	Kriterij laboratorijske klasifikacije	
Če zemljino sestavlja več kot 50 % zrn večjih od 0,063 mm, jo klasificiramo kot prod ali pesek.	Če zemljino sestavlja več kot 50 % zrn večjih od 2 mm, to zemljino klasificiramo kot prod.	GW	Dobro graduiran prod ali prodnato peščena mešanica, malo ali nič drobnih delcev	Cu = > 4 Cc = med 1 - 3 Manj kot 5 % zrn < 0,063 mm
		GP	Slabo graduiran prod ali prodnato peščena mešanica, malo ali nič drobnih delcev	Ne izpolnjuje kriterijev Cu in Cc za GW Manj kot 5 % zrn < 0,063 mm
		GM	Glinast prod, prodnato peščeno-glinasta mešanica	Indeks plastičnosti Ip < 4 % Več kot 12 % zrn < 0,063 mm
		GC	Meljast prod, Prodnato peščeno-meljasta mešanica	Indeks plastičnosti Ip > 7 % Več kot 12 % zrn < 0,063 mm
	Če zemljino sestavlja več kot 50 % zrn manjših od 2 mm, potem tako zemljino klasificiramo kot pesek.	SW	Dobro graduiran pesek ali prodnat pesek, malo ali nič drobnih delcev	Cu = > 6 Cc = med 1 - 3 Manj kot 5 % zrn < 0,063 mm
		SP	Slabo graduiran pesek ali prodnat pesek, malo ali nič drobnih delcev	Ne izpolnjuje kriterijev Cu in Cc za SW Manj kot 5 % zrn < 0,063 mm
		SM	Meljast pesek, peščeno-meljasta mešanica	Indeks plastičnosti Ip < 4 % Več kot 12 % zrn < 0,063 mm
		SC	Glinast pesek, peščeno-glinasta mešanica	Indeks plastičnosti Ip > 7 % Več kot 12 % zrn < 0,063 mm

4.2.3 Ugotavljanje vlažnosti SIST/ISO/TS 17892 – 1:2004

Vlažnost zemljine v laboratoriju določimo tako, da vzamemo reprezentativen vzorec zemljine in ga stehamo v posodi z znano maso. Vzorec sušimo v peči 24 ur pri 105 °C. Po 24 urah ga

vzamemo iz peči, ga ohladimo v eksikatorju in stehtamo. Vlažnost izračunamo kot razmerje med težo vode in težo suhe zemljine in jo izrazimo v procentih.

$$w = \frac{m_m - m_s}{m_s} \times 100 \% \quad (4.3)$$

w ... vlažnost

m_s ... masa suhe zemljine

m_m ... masa mokre zemljine

4.2.4 Ugotavljanje Atterbergovih meja plastičnosti SIST/ISO/TS 17892 – 12:2004

Atterbergove meje plastičnosti so stalen, nespremenljiv parameter drobnozrnate zemljine. Za klasifikacijo drobnozrnatih zemljin se uporablja predvsem meja plastičnosti in meja židkosti. Mejo plastičnosti se v laboratoriju določa tako, da iz zemljine zagnetemo plastično kroglico dokler se ne pojavijo razpoke. Kroglico nato razdelimo na dva dela in iz vsakega posebej naredimo preiskavo. Iz dobljene polovice oblikujemo svaljke. Svaljke svaljkamo dokler se ne pojavijo razpokice, ko je svaljek končan mora imeti premer 3 mm in dolžino 3cm. Svaljke nato postavimo v posodo z znano maso in jih stehtamo ter jih damo v peč. Ko so suhi jih ponovno stehtamo in jim določimo vlago.

Mejo židkosti določamo tako, da vzorec najprej pregnetemo in nato vgradimo v posodico tako da ni ujetih zračnih mehurčkov in ga poravnamo z robom na vrhu. Vzorec nato postavimo pod konus, teže 60g in z nagibom stranic 60°, tako da konica razi površino in nato konus spustimo. Prvi pogrezek mora biti 7 mm. Če ni, moramo vzorcu dodati vodo in ponoviti postopek. Po meritvi vzamemo 10 do 20 g vzorca, ga damo v posodico z znano maso, stehtamo in damo v peč. Vzorec sušimo v peči pri 105 °C. Po 24 urah ga vzamemo ven in ponovno stehtamo. Ta postopek ponovimo še trikrat, vsakič dodamo malo vode. Pogrezki konusa morajo biti enakomerno porazdeljeni med 7 mm in 15 mm z razliko večjo od 1 mm med njimi. Meja židkosti ustreza vlagi pri pogrezku 10 mm.

Rezultat teh preiskav sta parametra meja plastičnosti (w_P) in meja židkosti (w_L), s katerima izračunamo indeks plastičnosti (I_P) in indeks konsistence (I_C).

$$I_P = w_L - w_P \quad (4.4)$$

$$I_C = \frac{w_L - w}{w_L - w_P} \quad (4.5)$$

4.2.5 Preizkus s konusom SIST/ISO/TS 17892 – 6:2004

To preiskavo opravljamo na drobnozrnatih zemljinah za določitev nedrenirane strižne trdnosti c_u . Preiskavo opravimo na intaktnem in pregnetenem vzorcu. Intakten vzorec mora biti premera najmanj 50 mm, ploskvi morata biti vzporedni. Debelina vzorca mora biti vsaj 5 mm večja od pričakovanega ugreza. Preiskavo opravimo na reprezentativnem delu, ki je najmanj poškodovan. Vzorec za pregneteno preiskavo dobro pregnetemo in vgradimo v posodico tako, da ne ujamemo zračnih mehurčkov. Zgornjo ploskev poravnamo z robom, pri meljastih zemljinah pazimo, da ne povzročimo izcejanja vode na površino.

Konusi, ki jih uporabljamo pri preiskavi so različnih mas in konic. Kateri konus bomo uporabili je odvisno od tega kakšno konsistenco ima zemljina, ki jo preiskujemo.

Preiskavo izvajamo tako, da vzorec postavimo pod konus tako, da ga konica razi. Konus spustimo in na ogledalcu odčitamo pogrezek. Če je pogrezek manjši od 5 mm, vzamemo težji ali bolj zašiljen konus in obratno, če je pogrezek večji od 20 mm. Na vzorcu opravimo preizkuse v medsebojni razdalji 14 mm in 7 mm od roba. Če temu pogoju ne moremo zadostiti, moramo pripraviti nov vzorec. Pri preiskavi na intaktnem vzorcu opravimo 3 preizkuse, če je vrednost ugreza za več kot 10 % različna od povprečja, potem opravimo še eno meritev in tisto, ki najbolj odstopa izbrišemo.

Nedrenirano strižno trdnost izračunamo kot:

$$c_u = c \times g \times \frac{m}{i^2} \quad (4.6)$$

c_u .. nedrenirana strižna trdnost

c ... konstanta odvisna od uporabljenega konusa

g ... težnostni pospešek

m ... masa konusa (g)

i ... penetracija konusa (mm)

4.2.6 Edometerski preizkus s postopnim obremenjevanjem SIST/ISO/TS 17892 – 5:2004

Z edometersko preiskavo v laboratoriju preiskujemo obnašanje zemljine pri enodimenzijem obremenjevanju in razbremenjevanju. Vzorec najprej vgradimo v tog kovinski obroč premera 70 ali 75 mm in višine 19,1 mm, ki ga stehamo pred in po vgradnji vzorca. Nato obroč vgradimo v edometersko celico med dve porozni ploščici. Edometersko celico postavimo na

ohišje edometerskega aparata in nanjo namestimo obremenilni jarem. Vzorec obremenjujemo po stopnjah, ki jih prilagajamo konsistenčnemu stanju zemljine ter sedanjim in pričakovanim vertikalnim napetostim v tleh. V našem primeru smo uporabili stopnje 4.5, 25, 50, 100, 200, 400, 800 kPa. Po končanem obremenjevanju, vzorec v obratnem redu razbremenimo. Med vsako bremensko stopnjo merimo vertikalne spremembe višine, skrčke pri obremenjevanju in dvižke pri razbremenjevanju, v odvisnosti od časa. Po končani preiskavi vzorec razgradimo, stehtamo in damo v peč. Posušen vzorec spet stehtamo.

Vzorcu najprej določimo:

vlačnost (w),

$$w = \frac{m_m - m_s}{m_s} \times 100 \% \quad (4.7)$$

vertikalne deformacije ε_v ,

$$\varepsilon_v = \frac{H_0 - H_f}{H_0} \quad (4.8)$$

H_0 ... začetna višina vzorca

H_f ... višina vzorca na koncu vsake bremenske stopnje

količnik por (e_0),

$$e_0 = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 \quad (4.9)$$

in stopnjo saturacije (S_r).

$$S_r = \frac{w_0 \times \gamma_s}{e_0 \times \gamma_w} \quad (4.10)$$

Za vzorec narišemo krivuljo stisljivosti, iz katere izračunamo module stisljivosti za posamezne bremenske stopnje.

$$E_{eod} = \frac{\Delta \sigma_v}{\Delta e} \times (1 + e_a) \quad (4.11)$$

Med izvajanjem edometerskega preiskusa smo merili tudi vodoprepustnost vzorca. Pri bremenski stopnji 50 kPa smo edometersko celico zalili z vodo. V prozorno cevko, ki je pritrjena na leseno stojalo z merilno skalo smo nalili vodo. Na drugi strani je cevka priklopljena na edometer tako, da se voda pretaka skozi vzorček. Med to preiskavo si zapisujemo višino vode na merilni skali in čas odčitka višine. Vodoprepustnost nato izračunamo po enačbi:

$$k = \frac{A_0}{A} \times \frac{H_v}{\Delta t} \times \ln \left(\frac{H_1}{H_2} \right) \quad (4.12)$$

k... koeficient propustnosti

A_0 ... prerez cevke

A... prerez vzorčka

H_v ... višina vzorčka

Δt ... razlika časa med odčitki

$\ln(H_1/H_2)$ naravni logaritem razlike višine med odčitki

4.2.7 Enosni tlačni preizkus SIST/ISO/TS 17892 – 7:2004

Preiskava enosne tlačne trdnosti drobnozrnatih zemljin je posebna oblika nekonsolidirane-nedrenirane triosne preiskave. S to preiskavo določamo nedrenirano strižno trdnost kohezivnih zemljin. Vzorec lahko pripravimo iz intaktne ali pa pregnetene zemljine in ima običajno obliko valja lahko pa tudi kvadra. Osnovni ploskvi vzorca morata biti pravokotni na os. Ko je vzorec ustrezno pripravljen ga izmerimo in stehamo ter vgradimo v stiskalnico. Vzorec obremenimo v vertikalni smeri, pri čemer so bočne totalne napetosti med preiskavo enake nič. Vertikalno silo povečujemo do porušitve oziroma do 15 % deformacije vzorca. S to preiskavo določamo najmanjšo nedrenirano strižno trdnost kohezivnih zemljin. Maksimalno enosno tlačno trdnost q_u določimo kot maksimalno izmerjeno vertikalno napetost σ_1 oziroma vertikalno napetost pri 15 % deformaciji.

$$\sigma_1 = \frac{P \times (1 - \varepsilon)}{A} \quad (4.13)$$

$$\sigma_1 = q_u \quad (4.14)$$

$$c_u = \frac{q_u}{2} \quad (4.15)$$

P... sila stiskanja

A... ploščina osnovne ploskve

4.2.8 Neposredni strižni preizkus SIST/ISO/TS 17892 – 10:2004

Z neposrednim strižnim preizkusom zemljini določimo strižno trdnost, to je največjo strižno napetost, ki jo zemljina lahko prenese. Vzorec preiskujemo v strižni celici velikosti 60 x 60 mm in višine 20 mm. Celica je sestavljena iz dveh delov in sicer spodnjega nepomičnega in zgornjega, v horizontalni smeri pomičnega dela. Za vsako zemljino opravimo tri strižne

preizkuse pri različnih bremenskih stopnjah, ki so odvisne od globine na kateri se je nahajal vzorec. Ko vzorec ustrezno pripravimo, ga stehamo in postavimo v strižno celico. Strižno celico zalijemo z vodo in obremenimo na želeno bremensko stopnjo σ . Ko se vzorec skonsolidira ga začnemo strižno obremenjevati. To poteka tako, da premično polovico celice potiskamo s stalno hitrostjo, dokler ne pride do prestriga vzorčka. Med preiskavo merimo strižno silo, horizontalni zdrs in vertikalni pomik vzorca. Po končani preiskavi vzorec razstavimo, stehamo in postavimo v peč. Posušen vzorec še enkrat stehamo. Če delimo vertikalno silo in strižno silo s prerezom vzorca, dobimo normalno in strižno napetost na vsiljeni horizontalni porušni ploskvi. Iz grafa strižnih in efektivnih normalnih napetosti, določimo strižni kot in kohezijo.

F_N ... normalna sila

F_S ... strižna sila

A ... površina vzorca

T_f ... strižna napetost

$$\tau = \frac{F_N}{A} \quad (4.16)$$

$$\sigma = \frac{F_S}{A} \quad (4.17)$$

4.2.9 Triosne strižne preiskave

Triosne strižne preiskave izvajamo v triosnih aparatih v pogojih osno simetričnega napetostnega stanja. Preiskujemo vzorce valjaste oblike. Ko je vzorec ustrezno oblikovan ga izmerimo in stehamo. Vzorec nato vgradimo med dve prepustni ploščici in zaščitimo z gumijasto membrano. Ko vzorec namestimo v aparat, ga zapremo in vanj natočimo vodo. Pri nekonsolidirani-nedrenirani ali hitri preiskavi so drenaže v vseh fazah meritve zaprte. Vertikalno osno silo P po vzpostavitvi konstantnega tlaka v celici σ_3 hitro nanašamo na vzorec. Med preiskavo merimo vertikalno osno silo in osno deformacijo. Iz teh podatkov nadalje izračunamo enoosno tlačno trdnost in nedrenirano strižno trdnost.

P ... sila stiskanja

A ... ploščina osnovne ploskve

A^* ... ploščina deformiranega prereza

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \frac{P}{A^*} \quad (4.18)$$

$$q_u = \sigma_1 - \sigma_3 \quad (4.19)$$

$$c_u = \frac{q_u}{2} \quad (4.20)$$

4.2.10 Določitev strižne trdnosti zemljine s krilno sondo BS 1377: Part 7: 1990: Cluse 3

Preizkus s krilno sondo je primeren za hitre in enostavne teste strižne trdnosti. Na podlagi izmerjenega vrtilnega momenta, ki je potreben za rotacijo cilindra zemlje določimo strižno trdnost. Iz najvišje odčitane vrednosti momenta dobimo vrhunsko strižno trdnost τ_{uMax} , v nadaljevanju preiskave zemljino lahko pregnetemo (z 2 obratoma sonde) in določimo rezidualno strižno trdnost τ_{uR} .

$$\tau_{vane} = \frac{M}{\pi \times D^2 \times \left(\frac{H}{2} + \frac{D}{6}\right)} \quad (4.21)$$

M... moment na gredi krilne sonde

D... premer

H... višina

4.3 Rezultati laboratorijskih preiskav

Po končanih laboratorijskih preiskavah, sem rezultate ovrednotil in dobil naslednje podatke o zemljinah:

- indeksne kazalnike lastnosti
- klasifikacijo materiala
- enoosno tlačno trdnost
- nedrenirano strižna trdnost
- strižno trdnost
- edometerski modul stisljivosti
- prepustnost

4.3.1 Indeksni kazalniki lastnosti

Osmim vzorcem iz štirih vrtin smo določili:

- naravno vlago
- prostorninsko težo
- suho prostorninsko težo
- specifično prostorninsko težo
- Atterbergovi konsistenčni meji
- Indeks plastičnosti
- Indeks konsistence

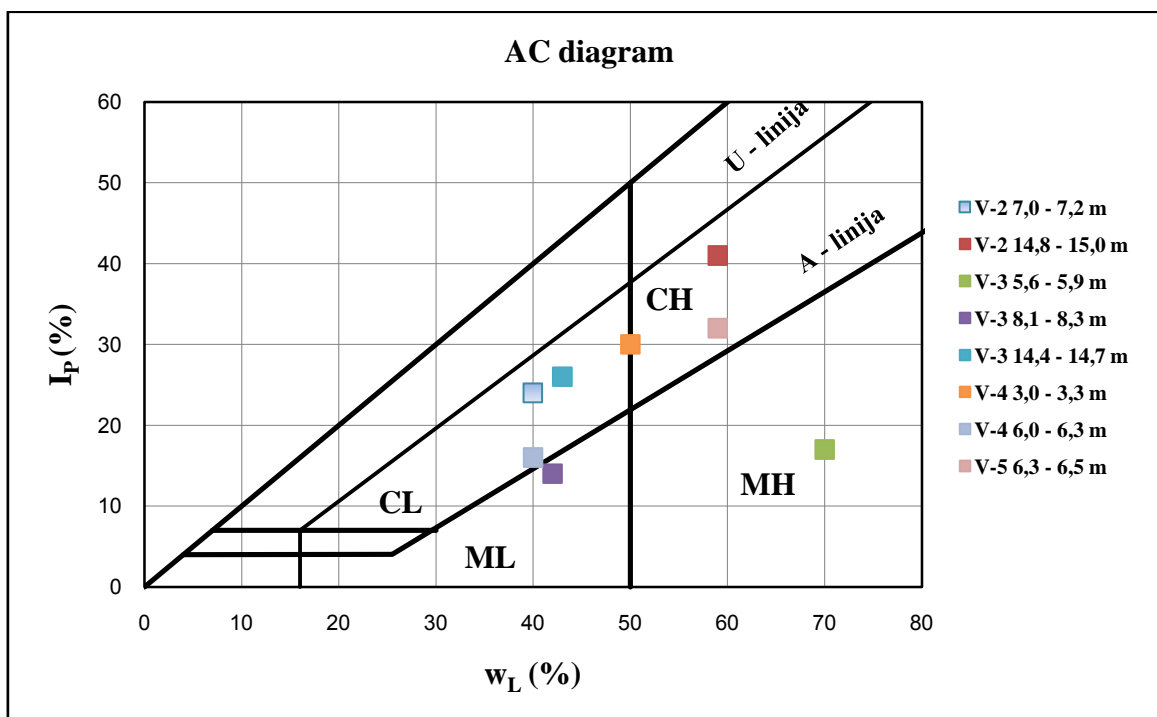
Rezultati so zbrani v spodnji razpredelnici:

Preglednica 2: Indeksni kazalniki lastnosti

vzorec		w _o	γ	γ _d	γ _s	w _P	w _L	I _p	I _c
Vrtina	(m)	%	KN/m ³	KN/m ³	KN/m ³	%	%	%	
V-2	7,0-7,2	33,1	19,0	14,5	27,0	16	40	24	0,30
	14,8-15,0	37,1	18,5	13,5	27,0	18	59	41	0,54
V-3	5,6-5,9	78,9	15,0	8,5	27,0	53	70	17	-0,41
	8,1-8,3	47,8	21,0	12,0	27,0	28	42	14	-0,36
	14,4-14,7	35,7	19,0	13,7	27,0	17	43	26	0,26
V-4	3,0-3,3	43,9	18,0	12,3	27,0	20	50	30	0,20
	6,0-6,3	34,1	18,5	13,5	27,0	24	40	16	0,38
V-5	6,3-6,5	44,1	17,5	12,3	27,0	27	59	32	0,47

4.3.2 Klasifikacija materiala

Vsem osmim vzorcem smo določili Atterbergove meje plastičnosti. Na treh vzorcih, ki smo jih določili za peščeno meljaste, smo naredili še mokro in suho sejalno analizo.



Slika 4: Pozicija finih zrn v AC diagramu

4.3.3 Enosna tlačna trdnost

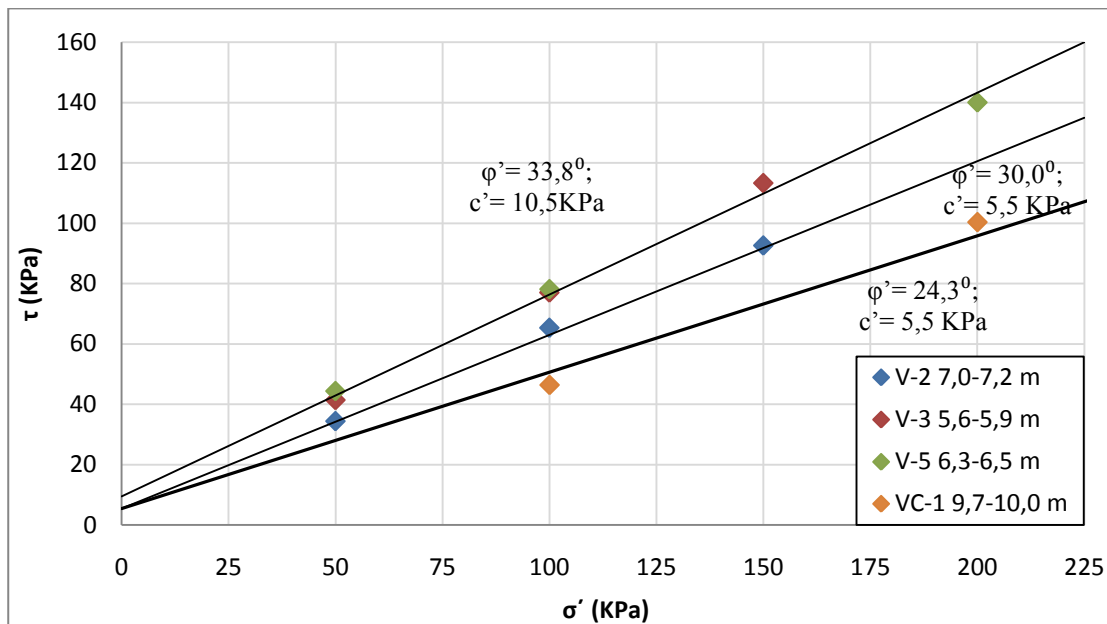
Enosno tlačno trdnost smo določili vsem vzorcem, razen vzorcju iz vrtine V-5 iz globine 6,3-6,5 m. Na vzorcih smo naredili tri različne preiskave in sicer smo naredili preiskavo z ročnim penetrometrom, enosni tlačni preizkus drobnozrnatih zemljin in nekonsolidirano-nedrenirano triosno preiskavo.

4.3.4 Nedrenirana strižna trdnost

Nedrenirano strižno trdnost smo določili na vseh vzorcih s štirimi različnimi preiskavami. Opravili smo preizkus s konusom in krilno sondo. Obe preiskavi smo opravili na intaktnem in pregnetem vzorcju. Iz enosne tlačne, triosne nekonsolidirane-nedrenirane preiskave ter dobljenih rezultatov enosnih tlačnih trdnosti smo določili nedrenirano strižno trdnost.

4.3.5 Strižna odpornost

Z neposrednim strižnim preizkusom smo na treh vzorcih določili strižna parametra, strižni kot φ' in kohezijo c' .



Slika 5: Rezultati strižnih raziskav

4.3.6 Edometrski modul stisljivosti

Edometrski modul stisljivosti smo določili na vseh vzorcih. Vzorce smo obremenili z devetimi bremenskimi stopnjami (4.5, 12.5, 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1600 kPa) ter razbremenili s šestimi (800, 400, 200, 100, 50, 4.5 kPa).

4.3.7 Prepustnost

Vodoprepustnost smo določili na vzorcih, ki smo jih vgradili v edometre. Prepustnost vzorcev smo izračunali z dvema postopkoma:

- ovrednotenjem meritev s spremenljivim hidravličnem padcem, ki smo jih opravili in
- računom vodoprepustnosti po Taylorju iz časovne sovisnice posamezne obremenilne edometrske krivulje.

4.4 Rezultati terenskih preiskav

4.4.1 Dilatometrijske preiskave

Na lokaciji Ankaranske Bonifike, sta bili izvedeni dve dilatometrijski preiskavi. Prva je bila narejena približno 50 m stran od vrtine V-2 do globine 19,8 m. Druga pa je bila narejena na sredini med vrtinama V-3 in V-4 do globine 16,4 m. Nivo talne vode je bil določen na koti terena.

Rezultati preiskave so:

- materialni indeks I_D ,
- indeks horizontalnega tlaka K_D ,
- dilatometrijski modul E_D ,
- koeficient mirnega zemeljskega pritiska k_0 ,
- količnik prekonsolidacije OCR,
- nedrenirana strižna trdnost c_u ,
- strižni kot φ ,
- prostorninska teža γ ,
- hidrostatski porni tlak v prepustnih zemljinah u_0 ,
- indeks pornega tlaka U_d ,
- edometrijski modul M_V ,

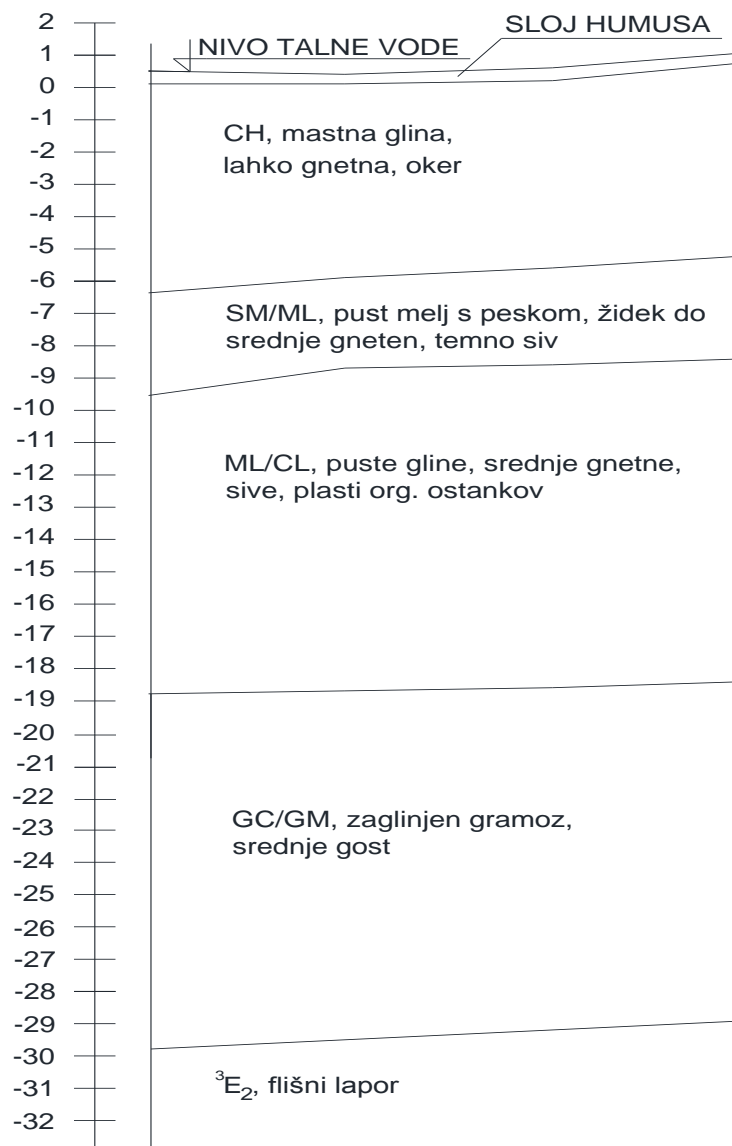
Materialni indeks I_D nam omogoča klasifikacijo materiala. Z indeksom pornega tlaka U_D določimo vodoprepustnost materiala (vrednost blizu 0 imajo prepustne zemljine, vrednost 0,7 pa zelo malo prepustne).

4.4.2 Popis jeder vrtin

Iz popisa jeder vrtin so bili narejeni geološko-geotehnični profili posameznih vrtin in določena sestava tal. Tako lahko rečemo, da so tla na lokaciji na Ankaranski Bonifiki sestavljena iz:

- plasti humusa debeline od 0,3 do 0,5 m.

- Glinastega sloja, ki ga tvorijo stisljive glin oker barve, občasno se menjavajo s tankimi sloji meljastih peskov in peščenih glin sive barve. Sloj je debeline 5 do 6 m.
- Sloja peščenega melja do peska, pojavljajo se tudi školjke in ostanki rastlin (listja), debeline 3 do 4 m.
- Sloj lahko do srednje gnetne organske meljne glin debeline 9 do 10 m s številnimi organskimi ostanki (listje) in školjkami.
- Sloja zaglinjenega proda do globine približno 30 m.
- Trdna podlaga iz preperelega laporja, ki hitro prehaja v bolj kompakten flišni lapor.



Slika 6: Geološki profil temeljnih tal na Ankaranski Bonifiki

4.5 Lastnosti zemljin

Na podlagi vseh izvedenih laboratorijskih in terenskih raziskav povzamemo naslednje povprečne vrednosti karakteristik značilnih slojev tal na območju Ankaranske Bonifike.

Preglednica 3: Pregled lastnosti, določenih s preiskavami v laboratoriju

Sloj		mastna glina, lahko gnetna, oker	peščen melj, lahko gneten, temno siv	pusta glina, srednje gnetna, siva
USCS		CH	SM/ML	ML/CL
w_0	(%)	44 - 77	34 - 44	36
w_L	(%)	50 - 70	40 - 59	43 - 59
I_p	(%)	17 - 30	14 - 32	26 - 41
I_c		0,2	-0,35 - 0,47	0,26 - 0,54
γ	(KN/m ³)	15 - 18	17,5 - 19	18,5 - 19
q_u	(kPa)	30 - 40	26 - 45	45 - 54
c_u	(kPa)	10 - 20	20 - 30	25 - 40
c'	(kPa)		8	
ϕ'	(°)		32	
E_{oed}	(kPa)	540 - 1400	1800 - 6000	2800 - 4000
k	(m/s)	$4 \cdot 10^{-10}$	$3 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{-10}$

4.6 Računske karakteristike

Na osnovi vseh izvedenih preiskav so bile za izvedbo računskih analiz privzete karakteristike tal kot so podane v preglednici 4.

Preglednica 4: Projektne vrednosti materialnih karakteristik

karakteristika		lahko gnetna oker glina	peščen melj	meljne gline
γ	(KN/m ³)	18	18	19
E_{oed}	(kPa)	1200	4000	3000
k	(m/s)	$4 \cdot 10^{-10}$	$3 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{-10}$
ϕ'	(°)		32	
c'	(kPa)		8	
c_u	(kPa)	10	25	35

5 RAČUNSKE ANALIZE

Računske analize smo opravili z upoštevanjem predpisov podanih v Evrokodih 7-1. Za preverjanje mejnih stanj smo uporabili projektni pristop PP2*, pri katerem celoten račun izvedemo s karakterističnimi vrednostmi in šele na koncu uporabimo delne faktorje, da dobimo projektne vrednosti.

Vrednosti delnih faktorjev za vplive in učinke vplivov so:

- $\gamma_G = 1,35$
- $\gamma_{G,inf} = 1,00$
- $\gamma_Q = 1,50$

Vrednosti faktorjev za odpornost tal so:

- $\gamma_\phi = \gamma_c = \gamma_{cu} = 1,00$
- $\gamma_{R;e} = \gamma_{R;v} = 1,40$
- $\gamma_{R;h} = 1,10$

γ_G ... delni faktor za neugodni stalni vpliv

$\gamma_{G,inf}$... delni faktor za ugodni stalni vpliv

γ_Q ... delni faktor za spremenljivi vpliv

γ_ϕ ... delni faktor za trenje

γ_c ... delni faktor za kohezijo

γ_{cu} ... delni faktor za nedrenirano strižno trdnost

$\gamma_{R;v}$... delni faktor za nosilnost tal

$\gamma_{R;h}$... delni faktor za odpornost proti zdrsu

$\gamma_{R;e}$... delni faktor za pasivni zemeljski pritisk (odpornost zemljine)

5.1 Nosilnost tal

Dopustno obremenitev tal smo določili za nedrenirane pogoje z analitično metodo po Prandtlu.

$$p_{f,k} = q \cdot N_q + c_u \cdot N_c \quad (5.1)$$

N_c ... faktor nosilnosti vezan na kohezijo

N_q ... faktor teže tal

c_u ... nedrenirana strižna trdnost

q ... vertikalni tlak

A_n ... površina nasipa

V računu smo privzeli vrednosti N_c in N_q , ki veljajo za nedrenirane pogoje.

$$N_c = 5,14$$

$$N_q = 1,0$$

$$c_u \dots 10 \text{ kPa}$$

$$q \dots 0 \text{ kPa}$$

$$A_n = 225000 \text{ m}^2$$

Projektna odpornost tal R_d .

$$R_d = (q * N_q + c_u * N_c) * A_n \quad (5.2)$$

$$R_d = 11565 \text{ MN}$$

Obtežbo smo določili na mestu kjer bo nasip visok 3,0 m.

$$\Delta q = \gamma_n * h_n \quad (5.3)$$

Δq ... obtežba nasipa

γ_n ... prostorninska teža deponiranega materiala

h_n ... višina nasipa

$$\Delta q = 66 \text{ kPa}$$

Projektni vpliv V_d

$$V_d = \Delta q * A_n * \gamma_G \quad (5.4)$$

$$V_d = 20047,5 \text{ MN}$$

Nosilnos tal preverjamo po neenačbi

$$V_d \leq R_d \quad (5.5)$$

$$V_d = 20047,5 \text{ MN} < R_d = 11565 \text{ MN}$$

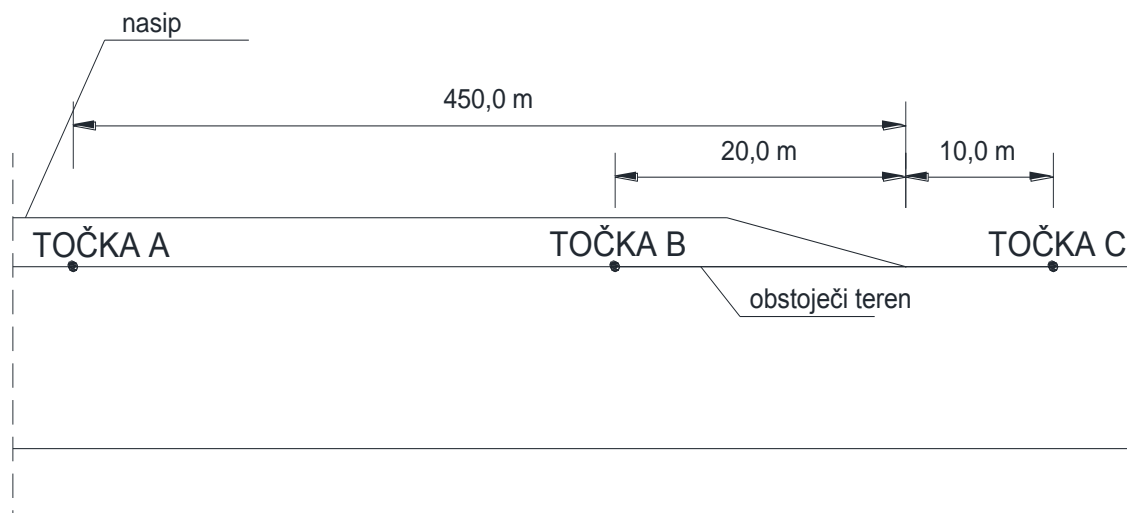
Za izbrano nedrenirano strižno trdnost c_u vidimo, da je odpornost tal prenizka. Zaradi konsolidacije zgornjega sloja se bo nedrenirana strižna trdnost postopoma povečevala in s tem tudi odpornost tal, torej če bomo material nasipavali postopoma v slojih, se bodo lastnosti tal toliko izboljšale, da bo odpornost tal dovolj velika, da bo prevzela obtežbo tri metrskega nasipa.

5.2 Dodatne napetosti

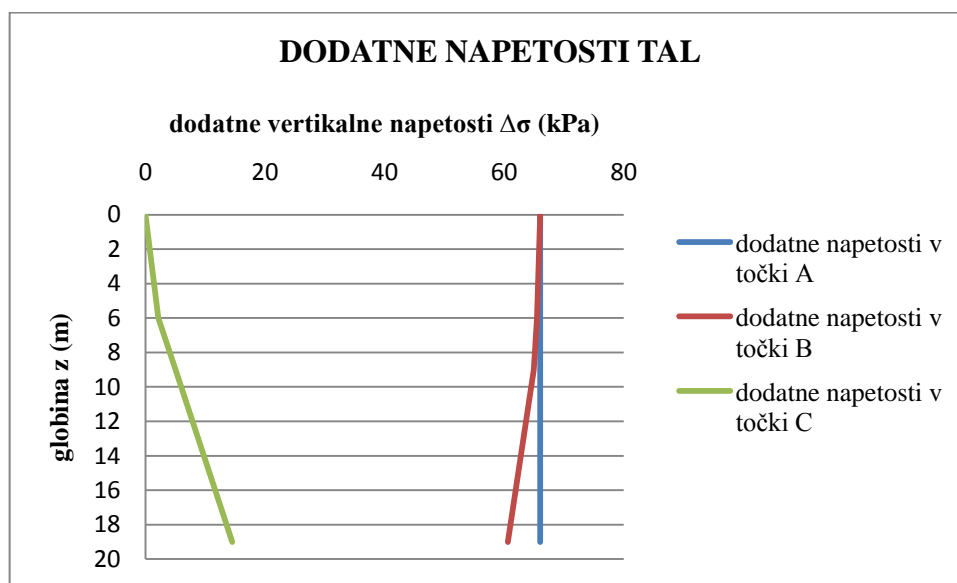
Dodatne napetosti tal smo določili po rešitvi, ki jo je podal Steinbrenner za obtežbo pravokotne oblike. Oglato obtežbo razdelimo na ustrezne obtežbe pravokotne tlorisne oblike. Izbrana točka mora biti oglišče vseh obtežb pravokotnih tlorisnih oblik na katere smo razdelili obtežbo oglate tlorisne oblike. S seštevanjem vplivov posameznih likov (+ če je obremenitev pozitivna, - če je obremenitev negativna) dobimo v izbrani globini vrednosti dodatnih napetosti, ki jo povzroči delujoča obtežba na površju temeljnih tal.

Na sliki (6) je prikazan potek dodatnih vertikalnih napetosti zaradi obtežbe nasipa v dveh točkah (A, B) pod nasipom in eni točki (C) izven nasipa.

- točka A se nahaja na sredini pod nasipom
- točka B se nahaja ob robu nasipa, pod nasipom
- točka C se nahaja ob robu nasipa, izven nasipa



Slika 7: Skica točk v prerezu nasipa



Slika 8: Prikaz dodatnih vertikalnih napetosti zaradi obtežbe nasipa

Iz računa dodatnih vertikalnih napetosti po Steinbrennerju je razvidno, da je ob robu nasipa diagram dodatnih vertikalnih napetosti z globino konstanten, torej lahko za obtežbo nasipa privzamemo, da je brezkrajno dolga in široka obtežba.

5.3 Pomiki tal

Steinbrenner je podal enačbo za račun skrčkov za izbrano točko, ki je oglišče vseh obtežb pravokotne oblike pod oglato obtežbo. S seštevanjem vplivov posameznih likov (+ če je obremenitev pozitivna, - če obremenitev negativna) dobimo v izbrani globini vrednosti premika tal, ki jo povzroči delujoča obtežba na površju temeljnih tal. Skrček sloja med površjem temeljnih tal in dnom sloja izračunamo pa spodnji enačbi.

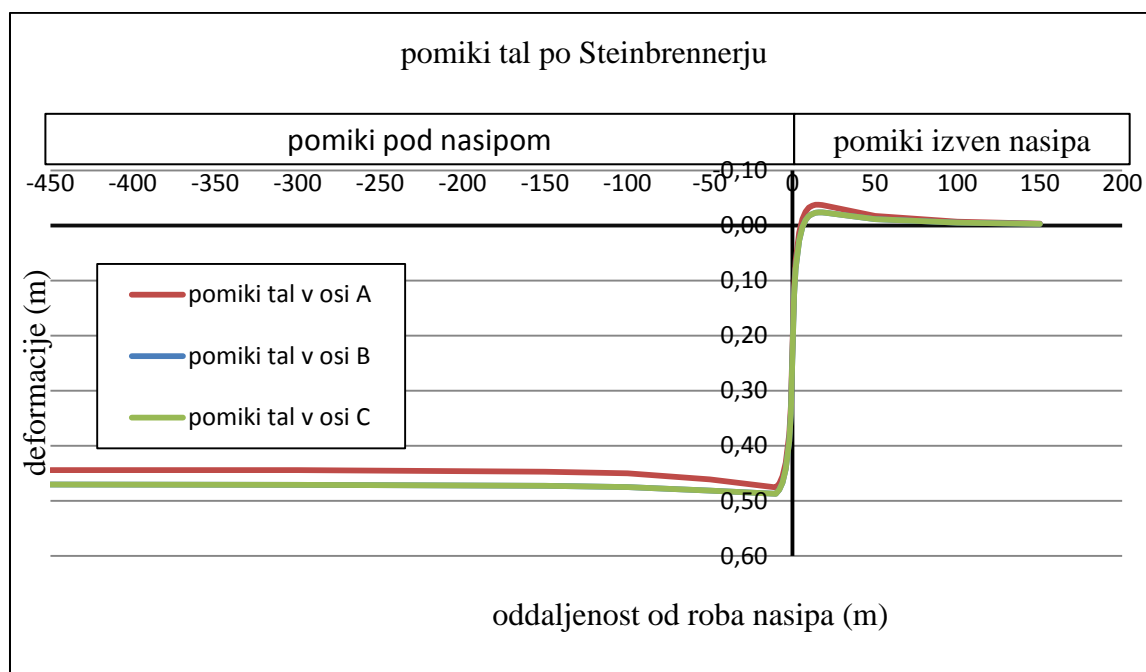
$$s = \frac{q \times b}{E} [(1 - \nu^2)f_1 + (1 - \nu - 2\nu^2)f_2] \quad (5.6)$$

s... skrček

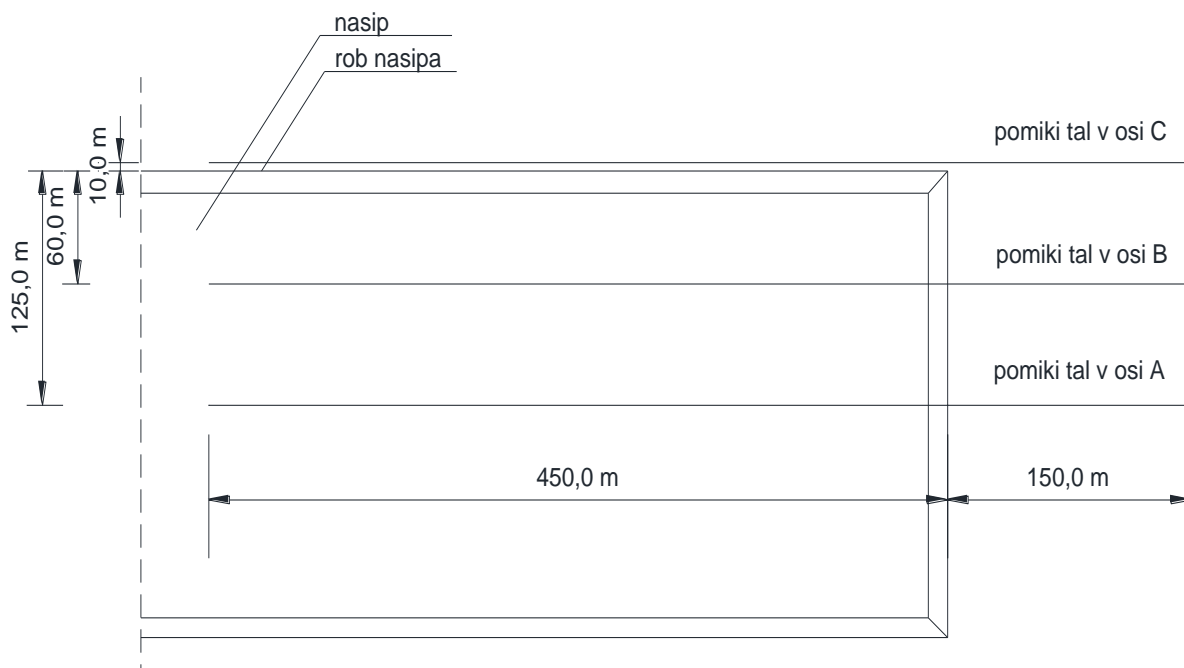
E... modul elastičnosti

$f_{1,2}$... odčitana koeficienta iz Steinbrennerjevih diagramov

Na sliki (8) so prikazani pomiki tal v oseh A, B in C, ki so prikazane na sliki (9). V oseh A in B se skrčki pod in dvižki izven nasipa ne razlikujejo. V osi C pa so skrčki nekoliko večji in dvižki manjši. Iz rezultatov lahko razberemo, da nasip dejansko deluje kot brezkrajna obtežba. Posedki računani po Steinbrennerju so nekoliko manjši v primerjavi s posedki, ki so izračunani iz dodatnih napetosti, ker pri Steinbrennerju upoštevamo še deformacijo v bočni smeri.



Slika 9: Pomiki tal izračunani po Steinbrennerju



Slika 10: Skica profilov

5.4 Posedki in časovni razvoj posedkov

Posedke smo določili pod nasipom višine 3,0 m. Pri računu smo upoštevali, da je obtežba nasipa brezkrajna obtežba. Posedki posameznega sloja ter skupni posedek so podani v preglednici 5.

$$\rho = \Delta q * h / E_{oed} \quad (5.7)$$

Preglednica 5: Posedki tal

posedki tal			
sloj	h	E_{oed}	ρ
	m	kPa	m
1	6	1200	0,33
2	3	4000	0,05
3	10	3000	0,22
skupaj	19		0,60

Časovni razvoj posedkov smo izračunali za nadomestni homogen sloj debeline h' , ki ima koeficient prepustnosti k' in modul stisljivosti E_{oed}' . Za izbrani koeficient konsolidacije C_v smo izračunali nadomestne višine posameznih slojev.

Preglednica 6: Karakteristike nadomestnega sloja

h'	14,5	m
k'	$2 \cdot 10^{-10}$	m/s
E_{oed}'	2092	kPa

V računu konsolidacije nadomestnega sloja smo privzeli karakteristike iz zgornje preglednice ter dvostransko dreniranje. Čas konsolidacije smo izračunali po enačbi

$$t = \frac{T_v \times h^2}{C_v} \quad (5.8)$$

t ... čas v katerem se razvije posedek

T_v ... časovni faktor konsolidacije

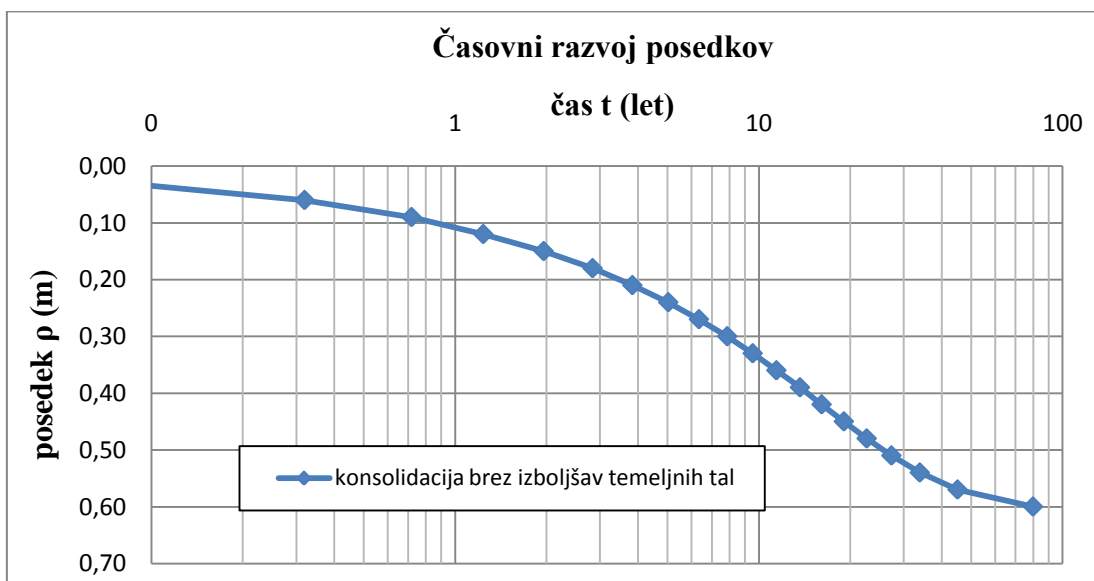
C_v ... koeficient vertikalne konsolidacije

h ... debelina sloja

V preglednici so ob različnih stopnjah konsolidacije U_v in časovnem faktorju konsolidacije T_v podani posedki in časovni potek posedkov. Vrednosti stopnje konsolidacije in časovnega faktorja konsolidacije so vzeti iz skripte Mehanike tal s temeljenjem B. Majesa.

Preglednica 7: Časovni razvoj posedkov

t	Tv	Uv	ρt
leta		%	m
0,1	0,002	5	0,03
0,3	0,008	10	0,06
0,7	0,018	15	0,09
1,2	0,031	20	0,12
2,0	0,049	25	0,15
2,8	0,071	30	0,18
3,8	0,096	35	0,21
5,0	0,126	40	0,24
6,3	0,159	45	0,27
7,9	0,197	50	0,30
9,5	0,239	55	0,33
11,4	0,286	60	0,36
13,6	0,342	65	0,39
16,1	0,403	70	0,42
19,0	0,477	75	0,45
22,6	0,567	80	0,48
27,3	0,684	85	0,51
33,8	0,848	90	0,54
45,1	1,129	95	0,57
79,8	2	100	0,60



Slika 11: Časovni razvoj posedkov

Iz prikazanih izračunov je razvidno, da bo časovni razvoj posedkov pod težo nasipa dolgotrajen. 50 % posedkov se bo razvilo po komaj 7,9 letih, kar pomeni posedek 30 cm, končni posedek pa šele v ca 80 letih.

5.5 Pospešitev konsolidacije z vertikalnimi drenažami

Da bi skrajšali čas konsolidacije, se v geotehniki uporabljajo različni postopki poboljšanja tal. Za pospešitev procesa konsolidacije smo v našem primeru izbrali dve variantni možnosti:

- z vgradnjo vertikalnih drenažnih trakov in
- z vgradnjo gruščnatih slopov.

5.5.1 Pospešitev konsolidacije z vertikalnimi drenažnimi trakovi

Za primer pospešitve konsolidacije z drenažnimi trakovi smo izbrali parametre, ki so podani v preglednici 8.

Preglednica 8: Parametri za izračun radialne konsolidacije vertikalnih drenažnih trakov

parametri za izračun radialne konsolidacije z drenažnimi trakovi		
medosna razdalja med trakovi a	2	m
$1/\sqrt{\pi}$	0,564	
vplivni radij R	1,13	m
nadomestni radij za trakasto drenažo r_0	0,035	m
dolžina drenažnega traku l	19	m

$$R = 1/\sqrt{\pi} \cdot a \quad (5.9)$$

Drenažnim trakovom v računu radialne konsolidacije transformiramo pravokotni prerez v okroglega za katerega izračunamo nadomestni radij r_0 po spodnji enačbi.

$$r_0 = \frac{b+t}{\pi} \quad (5.10)$$

r_0 ... nadomestni radij

b... širina traku

t... debelina traku

Za izračunan vplivni radij R določimo radialni koeficient časa T_r s katerim lahko izračunamo čas trajanja konsolidacije. Vrednosti koeficienta časa radialne konsolidacije so vzeti iz skripte Geotehnične gradnje J. Logarja.

Preglednica 9: Izbira koeficienta časa T_r

izbira koeficienta časa radialne konsolidacije T_r			
n	$T_r(U_r \approx 1)$	$R=n*r_0$	R
5	0,539	0,18	1,13
10	0,907	0,35	1,13
15	1,135	0,53	1,13
20	1,298	0,70	1,13
25	1,423	0,88	1,13
30	1,528	1,05	1,13
33	1,578	1,16	1,13
40	1,693	1,40	1,13

n... razmerje med vplivnim radijem R in nadomestnim radijem r_0 , nižji kot je hitrejša bo konsolidacija

T_r ... koeficient časa radialne konsolidacije

R... vplivni radij

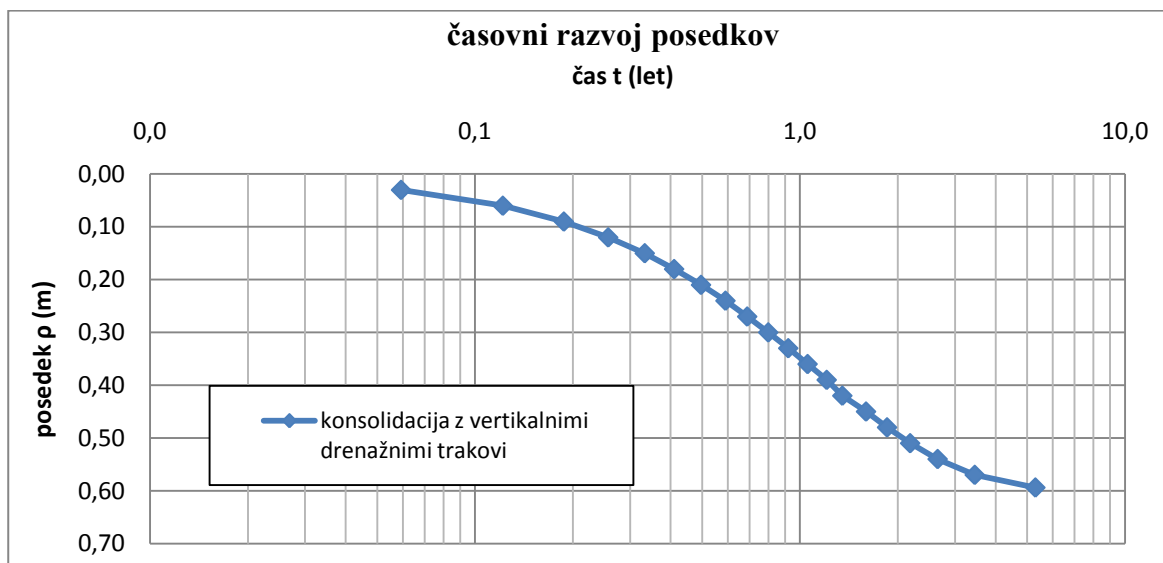
r_0 ... nadomestni radij

Čas radialne konsolidacije smo izračunali po enačbi:

$$t = \frac{T_r \times \gamma_w \times 4 \times R^2}{k \times E_{oed}} \quad (5.11)$$

Preglednica 10: Časovni razvoj posedkov z vertikalnimi drenažnimi trakovi

t	T_r	U_r	ρ_t
leta		%	m
0,06	0,018	5	0,03
0,12	0,036	10	0,06
0,19	0,056	15	0,09
0,26	0,076	20	0,12
0,33	0,099	25	0,15
0,41	0,122	30	0,18
0,50	0,148	35	0,21
0,59	0,175	40	0,24
0,69	0,205	45	0,27
0,80	0,238	50	0,30
0,92	0,274	55	0,33
1,06	0,314	60	0,36
1,21	0,359	65	0,39
1,35	0,402	70	0,42
1,60	0,475	75	0,45
1,85	0,551	80	0,48
2,18	0,649	85	0,51
2,65	0,789	90	0,54
3,45	1,026	95	0,57
5,30	1,578	99	0,59



Slika 12: Časovni razvoj posedkov z vertikalnimi drenažnimi trakovi

Z vgradnjo vertikalnih drenažnih trakov skrajšamo čas konsolidacije. 50 % konsolidacije se izvrši v manj kot desetih mesecih. Vertikalni drenažni trakovi nimajo nobenega vpliva na zmanjšanje velikosti posedkov.

5.5.2 Pospešitev konsolidacije z gruščnatimi koli

Za račun pospešitve konsolidacije in redukcije posedkov z gruščnatimi slopi smo privzeli parametre podane v preglednici 11.

Preglednica 11: Parametri za izračun radialne konsolidacije gruščnatih slopov

parametri za izračun radialne konsolidacije gruščnatih kolov			
medosna razdalja med gruščnatimi slopi	a	3	m
	$1/\sqrt{\pi}$	0,564	
vplivni polmer gruščnatega slopa	R	1,69	m
premer gruščnatega slopa	$2r_c$	0,60	m
polmer gruščnatega slopa	r_c	0,3	m
delež prereza gruščnatega slopa v kompozitu	AR	0,0314	
Strižni kot gruščnatega slopa	φ_c	34,0	°
Poissonov količnik zemljine	ν_s	0,3	
dolžina gruščnatega slopa	l	19	m

5.5.2.1 Redukcija posedkov

Zaradi večje togosti gruščnatega slopa v primerjavi z okolno zemljino, gruščnati slop prevzame večji del obtežbe. Z vgraditvijo gruščnatih slopov se izboljšajo lastnosti temeljnih tal in s tem se tudi posedki zmanjšajo. Posedke gruščnatih slopov smo računali po Priebeju s spodnjimi enačbami.

$$f = \frac{(1-\nu_s) \times (1-A_R)}{1-2\nu_s+A_R} \quad (5.12)$$

$$k_{ac} = \tan^2 \times \left(45 - \frac{\varphi_c}{2}\right) \quad (5.13)$$

$$\eta = \frac{q_c}{q_s} = \frac{1+2f}{2k_{ac} \times f} \quad (5.14)$$

$$q_c = \frac{q}{1+A_R \times (\eta-1)} \quad (5.15)$$

$$\rho_c = \frac{2h \times q_s \times (\eta \times k_{ac} - 1) \times f}{E_{oeds}} \quad (5.16)$$

$$\beta = \frac{1}{1 + A_R \times (\eta - 1)} < 1 \quad (5.17)$$

$$A_R = \left(\frac{r_c}{R}\right)^2 \quad (5.18)$$

f... faktor razleza gruščnatega slopa

A_R... delež prereza gruščnatega slopa v kompozitu

v... Poissonov količnik

k_{ac}... koeficient mirnega zemeljskega pritiska

φ_c... strižni kot gruščča

η... količnik porazdelitve obtežbe

q_c... obtežba, ki jo prevzame gruščnat slop

q_s... obtežba, ki jo prevzame zemljina

ρ_c... posedek gruščnatega slopa

β... količnik redukcije posedkov

Iz računa posedkov gruščnatih slopov lahko ugotovimo, da je končni posedek manjši in znaša 54 cm. Dobljen količnik redukcije posedkov temeljnih tal β nam pove, da so posedki z gruščnatimi slopi za 10 % manjši v primerjavi s posedki brez izboljšav temeljnih tal.

Preglednica 12: Račun posedkov gruščnatih slopov

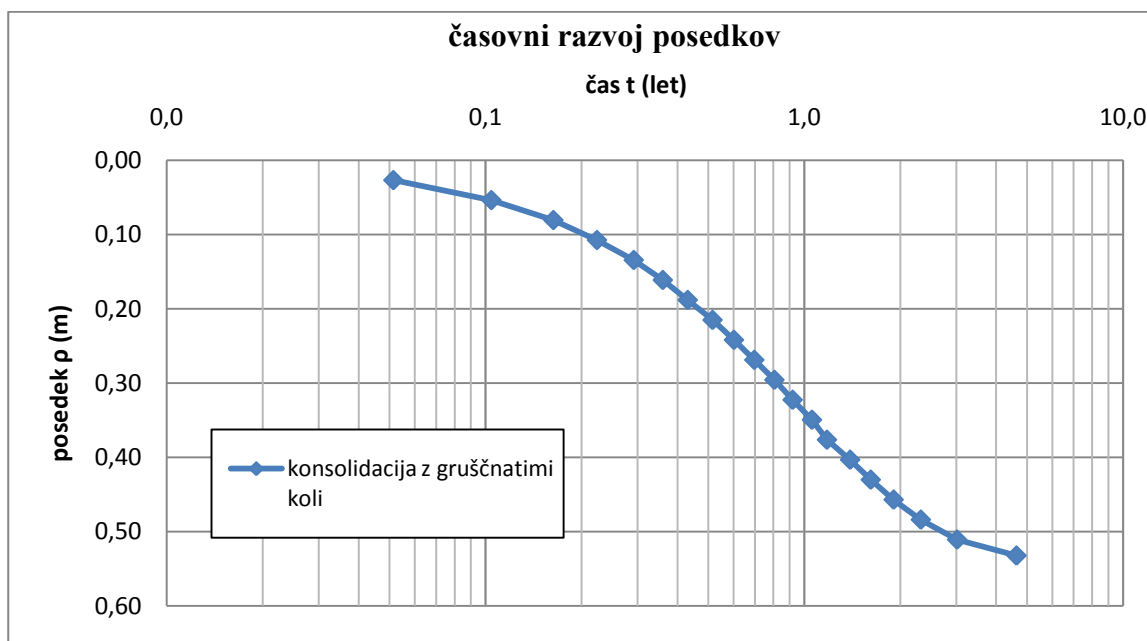
račun posedkov gruščnatih slopov za nadomestni sloj			
modul stisljivosti zemljine	E _{oeds}	kPa	2091,7
Poissonov količnik	v		0,3
višina sloja	h	m	19
koeficient mirnega zemeljskega pritiska	k _{ac}		0,283
faktor razleza gruščnatega slopa	f		1,571
količnik porazdelitve obtežbe	η		4,66
obtežba, ki jo prevzame zemljina	q _s	kPa	59,19
posedek gruščnatih slopov	ρ _c	m	0,54
količnik redukcije posedkov	β		0,90

5.5.2.2 Časovni razvoj posedkov z gruščnatimi slopi

Časovni razvoj posedkov gruščnatih slopov računamo enako kot pri vertikalnih drenažnih trakovih. V spodnji preglednici so ob različnih stopnjah radialne konsolidacije U_r in koeficientih časa T_r podani posedki in časovni potek posedkov.

Preglednica 13: Časovni razvoj posedkov z gruščnatimi slopi

t	T_r	U_r	ρ_t
leta		%	m
0,05	0,0068	5	0,03
0,10	0,0138	10	0,05
0,16	0,0216	15	0,08
0,22	0,0296	20	0,11
0,29	0,0386	25	0,13
0,36	0,0476	30	0,16
0,43	0,057	35	0,19
0,52	0,0682	40	0,22
0,60	0,0796	45	0,24
0,70	0,0922	50	0,27
0,81	0,1066	55	0,30
0,92	0,1216	60	0,32
1,06	0,1398	65	0,35
1,18	0,1558	70	0,38
1,39	0,1842	75	0,40
1,62	0,2138	80	0,43
1,91	0,2522	85	0,46
2,32	0,307	90	0,48
3,02	0,3988	95	0,51
4,63	0,6126	99	0,53



Slika 13: Časovni razvoj posedkov z gruščnatimi slopi

Iz zgornjih rezultatov lahko ugotovimo, da z vgradnjo gruščnatih slopov, premera 60 cm v kvadratnem rastru z medosno razdaljo 3,0 m, lahko skrajšamo čas konsolidacije ter velikost posedkov.

5.6 Ocena stroškov

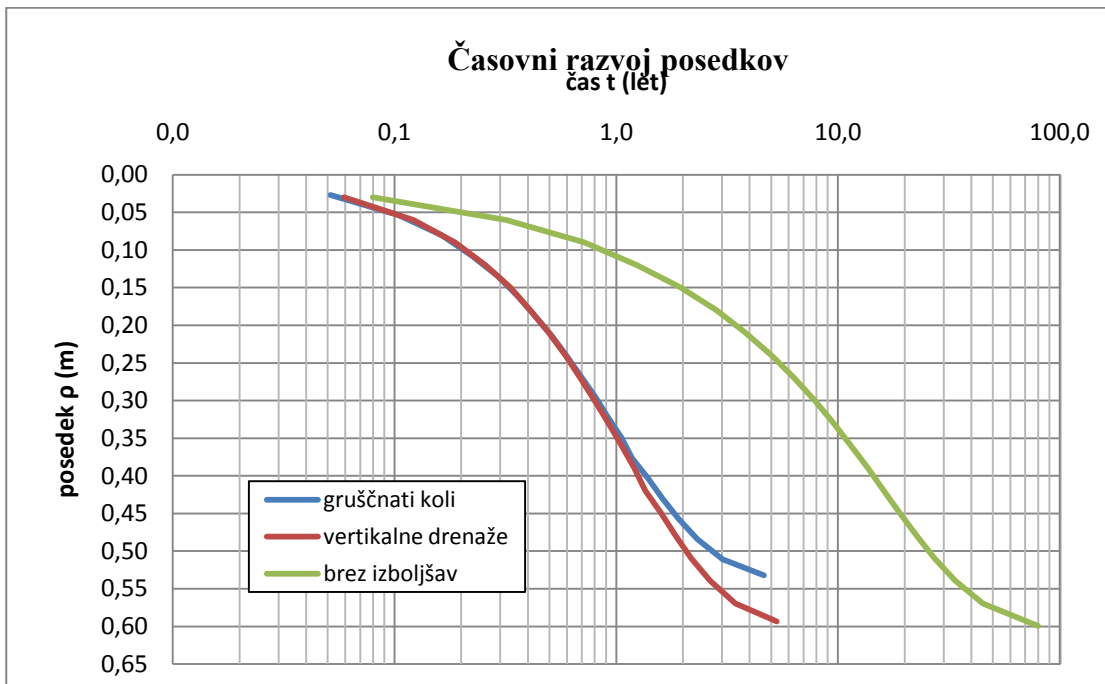
V preglednici 14 sta podani okvirni oceni stroškov izboljšave tal z vertikalnimi drenažnimi trakovi in gruščnatimi slopi. V ceno je potrebno všteti še stroške prevoza mehanizacije ter stroške priprave gruščnatega platoja. Iz primerjave stroškov vidimo, da bi nas vgradnja gruščnatih slopov stala 4,5 krat več kot vgradnja vertikalnih drenaž.

Preglednica 14: Ocena stroškov izboljšave tal

ocena stroškov	drenažni trakovi	gruščnati slopi
površina območja nasipa A (m ²)	225000	225000
medosna razdalja a (m)	2,0	3,0
vplivni radij R	1,128	1,692
število potrebnih drenaž (kom)	56316	25029
dolžina posamezne drenaže (m)	19,0	19,0
skupna dolžina drenaž (m)	1070011	475560
stroški vgradnje (€/m)	2,0	20,0
skupni stroški vgradnje (€)	2.140.022,14	9.511.209,53

5.7 Primerjava rezultatov

Iz primerjave časovnega razvoja posedkov vidimo, da bi brez izboljšave tal trajali 79,8 let. Če temeljna tla izboljšamo z vgraditvijo vertikalnih drenažnih trakov se čas skrajša na 5,3 let. Z vgradnjo gruščnatih slopov pa bi se čas trajanja posedkov še dodatno skrajšal na dobo 4,6 let. Pri primerjavi končnih posedkov tal vidimo, da se z vgradnjo drenažnih trakov nič ne zmanjšajo, z vgradnjo gruščnatih slopov pa se zmanjšajo za 6,0 cm kar predstavlja 10 % celotnega posedka. Na spodnji sliki je prikazana primerjava posedkov tal v odvisnosti od časa.



Slika 14: Primerjava časov trajanja posedkov brez izboljšav temeljnih tal, z vertikalnimi drenažnimi trakovi in z gruščnatimi slopi

6 ZAKLJUČEK

V diplomskem delu sem analiziral možnosti gradnje deponije iz viškov izkopnih materialov na lokaciji na Ankaranski Bonifiki. Dokazal sem, da je gradnja nasipa deponije možna brez sanacije temeljnih tal, vendar to pomeni, da se bodo posedki razvijali počasi. Konsolidacijo bi bilo možno močno skrajšati, vendar bi to terjalo večje stroške izgradnje.

Za pospešitev konsolidacije smo preverili dve varianti - z vertikalnimi drenažnimi trakovi in z vgradnjo gruščnatih kolov. Ugotovili smo, da za enak čas konsolidacije pri vgradnji drenažnih trakov in gruščnatih slopov, dobimo pri gruščnatih slopih še 10% manjše posedke. Stroškovno pa je vgradnja gruščnatih slopov bistveno dražja od vgradnje drenažnih trakov in se za namene deponije zagotovo ne izplača.

V primeru, da bi se to območje uporabljalo v gradbene namene, bi se odločili za pospešitev konsolidacije z drenažnimi trakovi, ker je redukcija posedkov z gruščnatimi slopi majhna v primerjavi s stroški, ki so bistveno večji.

VIRI

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

Geološko – geomehansko poročilo o sondažnih raziskavah na območju Ankaranske Bonifike, marec 2010, ECONO d.o.o.

Logar, J., Geotehnične gradnje, FGG Ljubljana, Študijsko gradivo
www.fgg.uni-lj.si/kmtal-gradiva, 12.11.2010

Majes, B., Mehanika tal s temeljenjem, FGG Ljubljana, študijsko gradivo
www.fgg.uni-lj.si/kmtal-gradiva, 15.10.2010

Robas, A., Poročilo o preiskavah tal na lokaciji Ankaranske Bonifike, marec 2010

STANDARDI

BS 1377: Part 7: 1990: Cluse 3. Določitev strižne trdnosti zemljine s krilno sondo .

JUS U.B1.001. Klasifikacija zemljin.

SIST/ISO/TS 17892 – 4:2004. Določanje zrnastostne sestave.

SIST/ISO/TS 17892 – 1:2004. Ugotavljanje vlažnosti.

SIST/ISO/TS 17892 – 12:2004. Ugotavljanje Atterbergovih meja plastičnosti.

SIST/ISO/TS 17892 – 6:2004. Preizkus s konusom

SIST/ISO/TS 17892 – 5:2004. Edometriški preskus s postopnim obremenjevanjem.

SIST/ISO/TS 17892 – 7:2004. Enoosni tlačni preizkus.

SIST/ISO/TS 17892 – 10:2004. Neposredni strižni preizkus

PRILOGE

Priloga A **Rezultati geomehanskih laboratorijskih preiskav**

Priloga 1 **Geodetski posnetek z vrisanimi lokacijami vrtin in dilatometerskih sond**

Priloga 2 **Karakteristična prereza**

Preglednica A1: Indeksni kazalniki lastnosti in parametri zrnivosti

Vzorec	Opis vzorca	USCS klasifikacija	Naravna vlaga	Prostorninska teža		Suha prostorninska teža		kolčniški por	saturacija	Atterbergovi konsistenčni meji		Indeks plastičnosti		Indeks konsistence	Zrnavost													
				w	%	Y	KN/m ³			Yd	KN/m ³	wp	%		wl	%	Ip	%	Ic	%	<63µm	%	D10	mm	D30	mm	D60	mm
V-2	7,0 - 7,2	CL	31,3	19,4	14,8	0,864	100			16	40	24		0,36														
			32,5	19,3	14,5	0,891	100							0,31														
			35,6	18,8	13,8	0,993	99							0,18														
V-2	14,8 - 15,0	CH	37,5	18,2	13,3	1,07	96			18	59	41		0,53														
			36,4	18,8	13,7	1,01	102							0,56														
			37,5	18,4	13,5	1,04	97							0,53														
V-3	5,6 - 5,9	MH / OH	83,8	15,2	8,4	2,26	97			53	70	17		-0,83														
			79,8	15,1	8,5	2,22	96							-0,59														
			77,4	15,8	9,0	2,1	100							-0,45														
			74,5	14,6	8,0	2,4	95							-0,27														
V-3	8,1 - 8,3	SM	51,7	17,7	11,7	1,36	105					28	42	14														
			43,9	17,6	12,3	1,24	98							-0,14														
			47,0	17,7	12,0	1,3	100							-0,36											29	4,3		
			33,9	19	14,2	0,942	99			17	43	26		0,35														
			36,8	18,7	13,7	1,01	99							0,24														
			36,3	18,5	13,5	1,04	98							0,26														
			33,9	19	14,2	0,943	99							0,35														
			37,5	18,8	13,5	1,04	106							0,21														
V-4	3,0 - 3,3	SH	43,9	17,7	12,3	1,24	98			20	50	30		0,21														
			43,9	17,6	12,2	1,25	97							0,21														
			32,5							24	40	16		0,47														
			34	17,6	13,3	1,07	84							0,38														
			35,7	18,3	13,6	1,0	91							0,27											16	6,7		
V-5	6,3 - 6,5	SM	41,6	17,3	12,3	1,24	92			27	59	32		0,54														
			46,5											0,39														
														31,1										0,006	0,06	0,14	23	4,4

