

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:

Ponikvar, K., 2014. Projekt izboljšanja tal pod cestnim nasipom na hitri cesti Koper-Dragonja. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Logar, J., somentor Kuder, S.): 35 str.

Datum arhiviranja: 13-10-2014

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:

Ponikvar, K., 2014. Projekt izboljšanja tal pod cestnim nasipom na hitri cesti Koper-Dragonja. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Logar, J., co-supervisor Kuder, S.): 35 pp.

Archiving Date: 13-10-2014

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:

KARIN PONIKVAR

**PROJEKT IZBOLJŠANJA TAL POD CESTNIM
NASIPOM NA HITRI CESTI KOPER-DRAGONJA**

Diplomska naloga št.: 136/B-GR

**DESIGN OF GROUND IMPROVEMENT UNDER ROAD
EMBANKMENT ON KOPER-DRAGONJA MOTORWAY**

Graduation thesis No.: 136/B-GR

Mentor:

izr. prof. dr. Janko Logar

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

asist. mag. Sebastjan Kuder

Ljubljana, 18. 09. 2014

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisana Karin Ponikvar izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom »Projekt izboljšanja tal pod nasipom na mehkih tleh na HC Koper – Dragonja«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 10.9.2014

Karin Ponikvar

BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	624.13(497.4)(043.2)
Avtor:	Karin Ponikvar
Mentor:	izr. prof. dr. Janko Logar
Somentor:	asist. mag. Sebastjan Kuder
Naslov:	Projekt izboljšanja tal pod nasipom na mehkih tleh na HC Koper – Dragonja
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	35 str., 11 pregl., 2 graf., 10 sl., 2 pril.
Ključne besede:	mehka tla, konsolidacija, stabilnost, vertikalne drenaže, bočni nasipi, gruščnati koli

Izvleček

V diplomski nalogi je predstavljen praktičen primer načrtovanja ukrepov, ki omogočajo trajno stabilnost, izboljšajo nosilnost mehkih temeljnih tal in zmanjšajo njihova posedanja pod težo predvidenega nasipa, na odseku hitre ceste Koper – Dragonja, ki poteka po Vanganelški dolini, prekriti pretežno z aluvialnimi nanosi.

Prvotno so analizirane terenske in laboratorijske preiskave, na podlagi katerih smo določili geološko-geomehanske razmere obravnavanega odseka in karakteristične pogoje izgradnje. V nadaljevanju smo izračunali predviden čas konsolidacije in velikost posedkov tal ter izvedli analizo stabilnosti nasipa in temeljnih tal.

Obravnavali smo dve možni kombinaciji ukrepov. Prva kombinacija je bila vgradnja vertikalnih drenaž in bočnega nasipa, druga pa vgradnja gruščnatih kolov. Za obe varianti smo prikazali njihove osnovne lastnosti in postopek izračuna. Ukrepe smo dimenzionirali tako, da so zagotovili stabilnost temeljnih tal in pospešili konsolidacijo, da se je ta izvršila v predvidenem roku enega leta.

BIBLIOGRAPHIC–DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 624.13(497.4)(043.2)
Author: Karin Ponikvar
Supervisor: assoc. prof. Janko Logar, Ph.D.
Cosupervisor: assist. Sebastjan Kuder, M.Sc.
Title: Design of ground improvement under the embankment on soft soil on motorway Koper – Dragonja
Document type: Graduation Thesis - University studies
Notes: 35 p., 11 tab., 2 gr., 10 fig., 2 app.
Key words: soft soil, consolidation, stability, vertical drainage, lateral embankments, gravel columns

Abstract

The thesis presents a practical example of the design of different measures for improving bearing capacity of poor bearing subsoil and for reducing and accelerating the subsoil settlement under road embankment. The embankment was planned on a section of the motorway Koper – Dragonja, passing through Vanganel valley, which is covered with alluvial deposits.

Based on field and laboratory tests we determined the geological and geotechnical conditions of the section. We calculated settlements and the time required for soil consolidation and analyzed subsoil stability.

Two different possible combinations of the most suitable measures were described. The first was the execution of vertical drains and lateral embankments, while the second was the placement of stone columns. For both alternatives, basic properties and methods of calculation were addressed. The proposed measures were dimensioned for ensuring proper stability and accelerating the consolidation process within the established one year time frame.

ZAHVALA

Za pomoč in strokovno podporo pri pisanju diplomske naloge se zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Janku Logarju in somentorju asist. mag. Sebastjanu Kudru.

Iskreno se zahvaljujem tudi družini in bližnjim, ki so mi skozi vsa leta študija stali ob strani.

KAZALO

IZJAVE	2
BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	3
BIBLIOGRAPHIC–DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	4
ZAHVALA	5
1 UVOD	1
2 RAZMERE NA OBRAVNAVANEM OBMOČJU TRASE	2
2.1 Splošni opis obravnavanega območja trase	2
2.2 Geološko – geotehnične razmere terena	5
2.2.1 Splošni opis	5
2.2.2 Aluvialni nanosi	5
2.2.3 Deluvialni nanosi	5
2.3 Hidrogeološke razmere terena	6
2.3.1 Aluvialni nanosi	6
2.3.2 Deluvialni nanosi	6
2.3.3 Podzemna voda	6
2.4 Karakterističen prerez nasipa P205	6
3 TERENSKE IN LABORATORIJSKE RAZISKAVE	8
3.1 Raziskovalno vrtanje	8
3.2 Sondažni jaški	8
3.3 Sondiranje z dinamičnim penetrometrom	8
3.4 Laboratorijske preiskave	9
4 POGOJI IZGRADNJE	10
4.1 Karakteristične vrednosti materialnih lastnosti tal	10
4.2 Karakteristične vrednosti materialnih lastnosti nasipa	10
5 KONSOLIDACIJA TEMELJNIH TAL	11
5.1 Analiza vertikalnih napetosti v temeljnih tleh	11
5.2 Konsolidacija temeljnih tal	12
5.2.1 Postopek izračuna	13
5.2.2 Rezultati izračuna	14
6 STABILNOSTNA ANALIZA TEMELJNIH TAL IN NASIPA	16
6.1 Splošno o stabilnostnih analizah	16
6.2 Bishopov numerični postopek	16
6.3 Rezultati izračuna	17
7 UKREPI ZA IZBOLJŠANJE TEMELJNIH TAL	19
7.1 Vertikalne drenaže	20
7.1.1 Postopek izračuna	20
7.1.2 Rezultati izračuna	22
7.2 Bočni nasipi	24
7.2.1 Izračun stabilnosti	24
7.3 Gruščnati koli	27
7.3.1 Postopek izračuna	27
7.3.2 Rezultati izračuna	29
8 PRIMERJAVA UKREPOV	32
9 ZAKLJUČEK	33
VIRI	34
SEZNAM PRILOG	35

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: S preiskavami ugotovljene materialne karakteristike	9
Preglednica 2: Karakteristične vrednosti materialnih lastnosti	10
Preglednica 3: Izračunani končni konsolidacijski posedki	14
Preglednica 4: Časovni razvoj posedka za 30 m debel sloj temeljnih tal	15
Preglednica 5: Časovni razvoj posedka za 17 m debel sloj temeljnih tal	15
Preglednica 6: Odvisnost posedkov in stopnje konsolidacije od časa	23
Preglednica 7: Odvisnost količnika varnosti od dolžine krone bočnega nasipa	24
Preglednica 8: Odvisnost količnika varnosti od višine bočnega nasipa	25
Preglednica 9: Odvisnost časa konsolidacije od medosne razdalje med gruščnatimi koli	29
Preglednica 10: Izračunani parametri	30
Preglednica 11: Karakteristike ukrepov za izboljšanje tal in izračunani parametri	32

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Dodatne vertikalne napetosti pod cestnim nasipom	11
Grafikon 2: Odvisnost posedkov tal brez vertikalnih drenaž in z vertikalnimi drenažami od čas	23

KAZALO SLIK

Slika 1: Situacijska karta, odsek P169-P220	3
Slika 2: Situacijska karta, odsek P217-P241	4
Slika 3: Prerez temeljnih tal na profilu P205	7
Slika 4: Uvedba nadomestnega sloja za račun trajanja vertikalne konsolidacije: troslojna temeljna tla sestojе iz slojev podobne deformabilnosti in prepustnosti [4]	12
Slika 5: Oznake za Bishopov numerični postopek stabilnostne analize krožne drsine [6]	17
Slika 6: Rezultati stabilnostne analize za stanje brez dodatnih ukrepov (P205)	18
Slika 7: Kvadratna tlorisna razporeditev vertikalnih drenaž [8]	21
Slika 8: Rezultati stabilnostne analize z ukrepom bočnega nasipa (P205)	26
Slika 9: Kvadratna tlorisna razporeditev gruščnatih kolov	28
Slika 10 : Rezultati stabilnostne analize z gruščnatimi koli	31

Ta stran je namenoma prazna.

1 UVOD

Pri umeščanju hitrih cestnih povezav v prostor se moramo zavedati pestrosti geografske, geološke in hidrološke sestave tal, na katerih bo potekala načrtovana trasa. Po želji, da se ohranijo še ne prizadeta območja se umeščanje novih prometnic načrtuje na terenih, ki so manj primerna za gradnjo. Ceste tako potekajo po območjih slabo nosilnih in stisljivih tal. Hitre ceste omogočajo visoke hitrosti in obenem morajo zagotavljati varno vožnjo. Zaradi velike prepustnosti so karakteristični prečni profili široki, cestni elementi pa veliki in togi. Ker tovrstne ceste težko premagujejo velike višinske razlike, se pri razgibanih reliefih poslužujemo gradnje nasipov.

V diplomski nalogi bom obravnavala odsek hitre ceste (HC) Koper – Dragonja, na katerem je predvidena gradnja 2,5 m visokega nasipa. Cesta poteka po ravnini vodotokov Pradišjola, Badaševica in Pjažentina, katera je prekrita z aluvialnimi nanosi. Največja debelina aluvialnih naplavin je iz izvedenih raziskav ocenjena na 30 m. Teren je stabilen, vendar so glinasti sloji razmeroma slabo nosilni in precej deformabilni. [1] Tovrstne mehanske lastnosti zemljin moramo upoštevati pri gradnji samega nasipa in izbiri ukrepov za izboljšanje tal pod nasipom.

Da preverimo pogoje izgradnje nasipa na gradbeno zahtevnem območju, bodo na podlagi geološko geotehničnih preiskav, ki ga je izdelalo podjetje Geoinženiring d.o.o. Ljubljana, izvedene ustrezne analize stabilnosti in predvidenih posedkov temeljnih tal. Pri tem bodo upoštevane materialne in oblikovne karakteristike nasipa, ki jih določa do sedaj izdelana projektna dokumentacija. Analiza bo izvedena na karakterističnem profilu nasipa na lokaciji, ki je na podlagi preiskav ocenjena kot najbolj problematična za gradnjo načrtovanega nasipa.

Zaradi predvidene slabe nosilnosti terena bodo dimenzionirani ustrezni ukrepi za zagotovitev varnosti, funkcionalnosti in trajnosti nasipa na hitri cesti Koper – Dragonja. Pri tem moramo upoštevati, da poseмки temeljnih tal ne bodo preveliki in da se bo večji delež konsolidacije izvršil v dovolj kratkem času. Zaradi gradnje prometnic se pričakuje, da bi se večji delež konsolidacije zaključil v roku enega leta.

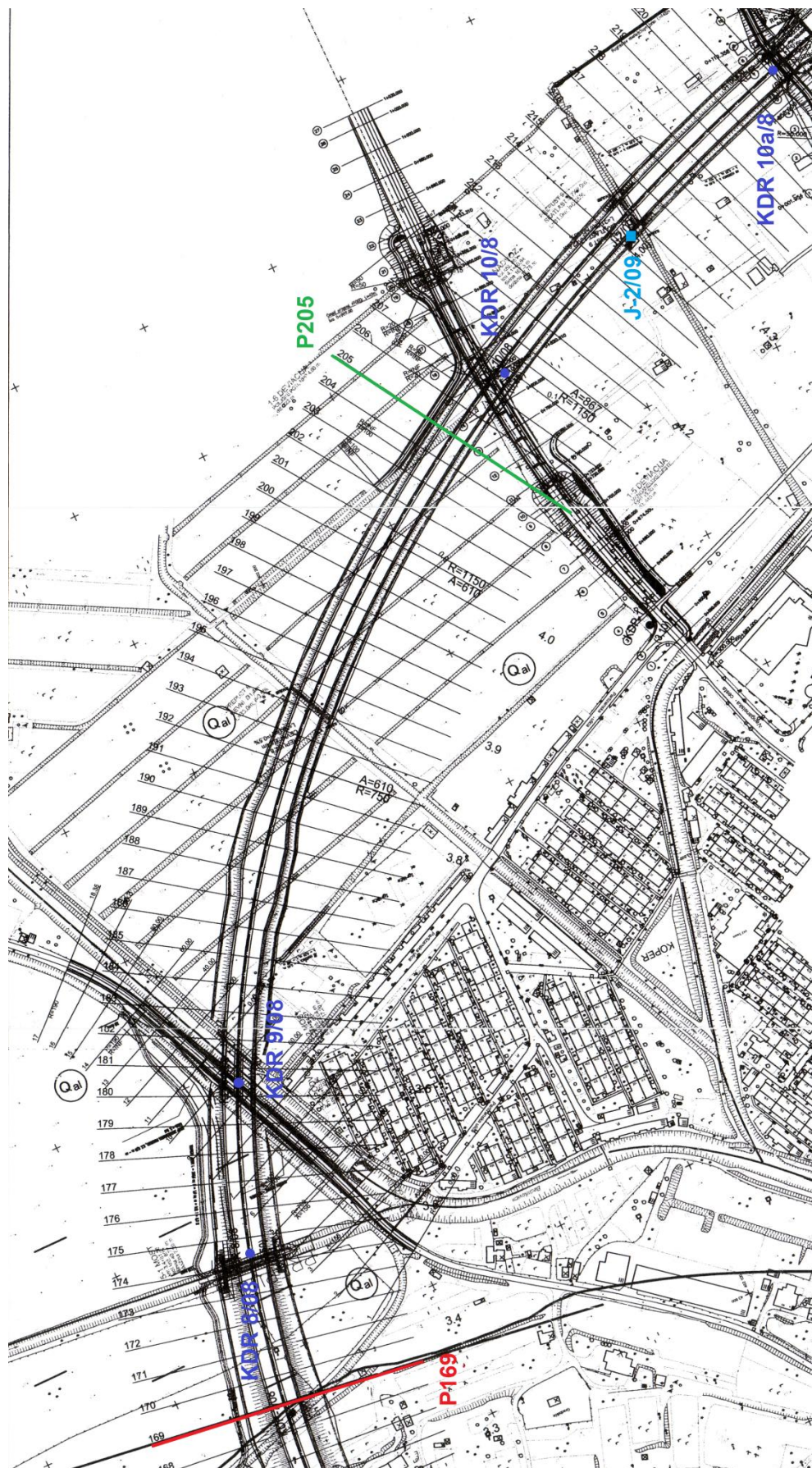
2 RAZMERE NA OBRAVNAVANEM OBMOČJU TRASE

2.1 Splošni opis obravnavanega območja trase

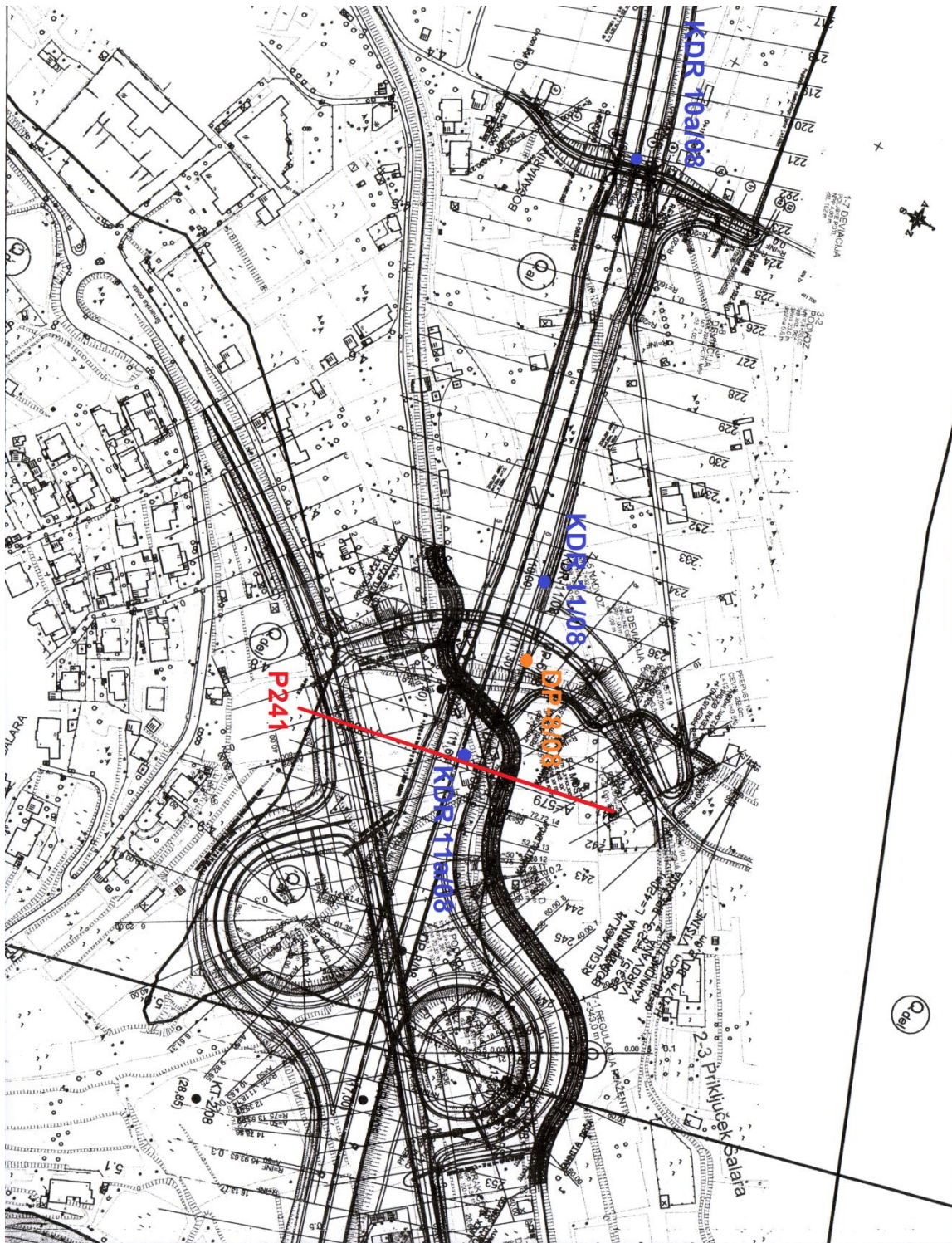
Obravnavana trasa HC Koper – Dragonja je del celotne trase hitre ceste od km 3,3 do km 5,0. Zajema območje ceste med profiloma P169 in P241. V začetnem delu trasa poteka ob vznožju Škocjanskega hriba. Nato se nadaljuje v Vanganelsko dolino, kjer se na desni strani razprostira Koper. Na svoji poti prečka Vanganelsko cesto ter se nato nadaljuje do priključka Šmarske ceste, kjer se začne flišno gričevje Šalare.

Predvidena trasa poteka večinoma po aluvialnih ravninah Pradišjola, Badaševice in Pjažentina. Območje prekriva tudi veliko potokov z manjšimi pritoki, ki so po večini hudourniškega značaja (v sušnih mesecih so njihova korita v glavnem suha, po deževjih pa zelo vodnata). [1]

Na sredini Vanganelške doline, kjer teče reka Badaševica in ob potoku Pradišjol najdemo za kmetijstvo primerna območja. Na ravninskih delih prevladujejo njive, vrtovi in sadovnjaki. V dolini potoka Pradišjol pod Škocjanom in v okolici Bošamarina pa se pojavijo tudi nasadi manjših vinogradov.



Slika 1: Situacijska karta, odsek P169-P220



Slika 2: Situacijska karta, odsek P217-P241

2.2 Geološko – geotehnične razmere terena

2.2.1 Splošni opis

Na podlagi geološko geotehničnih raziskav je bila, v tehničnem poročilu (elaborat št. 8944/09), podjetja Geoinženiring d.o.o. Ljubljana, podana sestava tal na območju trase HC Koper – Dragonja. Povzetek elaborata, ki se nanaša na naše območje, je podan v nadaljevanju.

Temeljna tla obravnavanega območja so sestavljena iz 20 m debelega sloja aluvialnih nanosov, iz puste gline večinoma težkognetne do poltrdne konsistence. Z globino preidejo v mastne gline poltrdne do trdne konsistence z vmesnimi plastmi organske gline. Površinski glinasti sloji so razmeroma slabo nosilni in deformabilni. V najglobljem delu doline leži več kot 30 m pod koto terena flišna podlaga. Med aluvialnimi sedimenti in eocensko flišno podlago se nahajajo plasti deluvialnih glin debeline cca 10 m, ki na zahodnem robu Vanganelške doline, ob vznožju južnega in vzhodnega pobočja pod Bošamarinom in Grinjanom, doseže debelino cca 20 m. [1]

2.2.2 Aluvialni nanosi

Aluvialni nanosi so nastali z akumulacijo rečnih nanosov. Zaradi velikega naklona struge med zgornjim in spodnjim tokom reke Badaševice se je na območju Vanganelškega polja intenzivno odlagal rečni material. Aluvialne nanose sestavljajo različni materiali, kot so fini delci mulja in gline in večji delci, kot so pesek in gramoz. Vsi vodonosniki so bili oblikovani v kvartarju, predvsem v obdobju holocena. Večji del tal pokrivajo glinaste zemljine s peskom in prodrom, ki so nastali s preperevanjem laporne komponente fliša. V glini se pojavijo zametki flišnih kamnin. Nanosi so rjave do sivo rjave barve. [1]

2.2.3 Deluvialni nanosi

Flišne predele prekriva flišna preperina, ki je nastala iz matične podlage ali sekundarnih nanosov višje ležečih kamnin. Na tem predelu zasledimo zaglinjene peščeno gruščnate zemljine (GC) in puste gline (CL) s posameznimi drobci preperelih flišnih kamnin, ki so večinoma poltrdne in trdne konsistence. Na posameznih predelih nastopijo pod aluvialnimi glinami tudi mastne gline (CH), s konsistenčnim stanjem od židkega in lahkognetnega, pa do poltrdnega. Redkeje je zaslediti tudi meljne frakcije (ML). Flišne plasti so po večini v vodoravno stabilnem položaju.

Debelina deluvialnih zemljin se močno spreminja in je odvisna od morfoloških značilnosti območja in litološke sestave tal. Za preperine je značilno, da se nabirajo ob vznožju pobočij in v strugah občasnih vodotokov.

Na tem delu trase se pojavijo območja s prevladujočo glineno komponento in območja s prevladujočo gruščnato komponento. Ob vznožju strmejšega pobočja zasledimo predvsem zemljine s prevladujočo gruščnato komponento, ki je vezana z glineno meljnim vezivom. Grušči so rjave in sive barve. Njihova gostota se giblje med srednje gosto, gosto in zelo gosto. Na dnu struge prevladuje zemljina s prevladujočo glineno in meljno komponento, rjave do sive barve. Njena konsistenca je težkognetna do poltrdna. Tu zasledimo velik delež mastnih glin. Ob prisotnosti podtalnice so lahko v židkem do lahkognetnem konsistenčnem stanju.

Na posameznih predelih je lahko prisoten tudi pobočni grušč flišnega peščenjaka in laporja svetlorjave barve in meljasto peščene glin rjave barve, srednje do težko gnetne konsistence. [1]

2.3 Hidrogeološke razmere terena

2.3.1 Aluvialni nanosi

V aluvialnih nanosih nastopa medzrnska poroznost. V teh plasteh je prepustnost zelo raznolika. Giblje se od slabe prepustnosti ($k < 1 \cdot 10^{-9}$ m/s) do srednje prepustnosti ($1 \cdot 10^{-5}$ m/s $> k > 1 \cdot 10^{-7}$ m/s). Plasti vodonosnikov so uvrščene med revne vodonosnike z nizko izdatnostjo (0,5 – 0,2 l/s). [1]

2.3.2 Deluvialni nanosi

Na območjih, kjer so prisotni deluvialni nanosi s prevladujočo vsebnostjo glin, nastopa medzrnska poroznost. Po večini so deluvialne zemljine slabo prepustne ($1 \cdot 10^{-7}$ m/s $> k > 1 \cdot 10^{-9}$ m/s), na določenih predelih pa tudi zelo slabo prepustne ($k < 1 \cdot 10^{-9}$ m/s). Te plasti uvrščamo med revne vodonosnike, deloma pa tudi med neprepustne plasti. Spadajo v kategorijo nizke izdatnosti ($< 0,5$ l/s).

V plasteh s prevladujočo vsebnostjo grušča z glino in meljem nastopa prav tako medzrnska poroznost. Prepustnost vodonosnika je uvrščena v srednjo prepustnost ($1 \cdot 10^{-5}$ m/s $> k > 1 \cdot 10^{-7}$ m/s). Plasti so opredeljene, kot revni vodonosniki, njihova izdatnost pa spada v kategorijo nizke izdatnosti (0,5 – 0,2 l/s). [1]

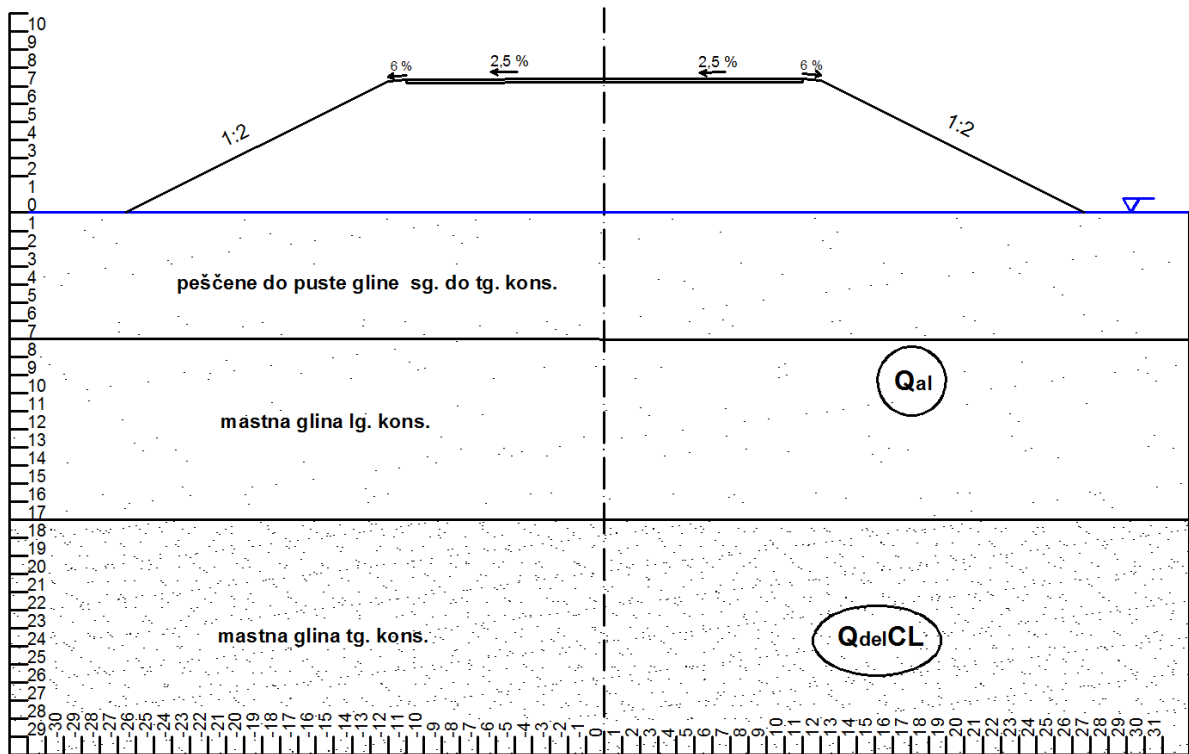
2.3.3 Podzemna voda

Iz piezometrične vrtine KDP-1/08, ki je od trase HC oddaljena 105 m severno, smo pridobili podatek, da je gladina vode na območju aluvialnega zaslipa 3,35 m pod koto terena. Nihanja gladine podzemne vode v aluvialnem zasipu so po sedaj znanih podatkih ocenjena na manj kot 2 m. [1] Na tem območju ni večjih zajetij podzemne vode. Napajanje podzemne vode je vezano pretežno na padavine. Ker je območje skoraj popolnoma ravno, ima Badaševica zelo počasen tok. Reka ne naplavlja tudi ob močnih nalivih.

2.4 Karakterističen prerez nasipa P205

V računskih analizah temeljnih tal bomo obravnavali profil P205, saj je na tem območju sloj mehkih zemljin najdebelejši. To predstavlja najbolj kritične razmere za nosilnost in stabilnost temeljnih tal. Zgornjih 17 m temeljnih tal sestavljajo aluvialni nanosi, ki nato preidejo v deluvialne nanose, debeline 13 m. Pri aluvialnih zemljinah prevladujejo v zgornjem 7 m debelem sloju peščene do puste glin, v spodnjem 10 m debelem sloju pa mastne glin. Deluvialne nanose sestavljajo pretežno mastne glin.

Pri izračunih smo upoštevali, da se gladina podzemne vode nahaja na koti terena.



Slika 3: Prerez temeljnih tal na profilu P205

3 TERENSKÉ IN LABORATORIJSKE RAZISKAVE

Iz idejnega projekta, ki ga je izdelal Geoinženiring d.o.o. Ljubljana smo pridobili podatke o opravljenih raziskavah na obravnavanem območju. Ker večino površja trase prekriva gosta vegetacija, so bile raziskave izvedene neenakomerno. Izvedba raziskav je bila mogoča ob poteh, cestah, erozijskih grapah, kjer je hribina razkrita.

3.1 Raziskovalno vrtanje

Na odseku od km 3,3 + 80 do km 5,0 + 00 se nahaja šest raziskovalnih vrtin: KDR-8, KDR-9, KDR-10, KDR-10a, KDR-11 in KDR-11a, iz katerih so bili odvzeti vzorci za kasnejšo analizo. Vrtine so bile globoke od 15 m do 32 m. Njihova lega je prikazana na slikah 1 in 2.

3.2 Sondažni jaški

Vzdolž obravnavanega območja trase HC je bil izveden sondažni jašek J-2/09, ki je segal do globine 3,0 m. Sestava tal je bila popisana v skladu z AC klasifikacijo. Vzorci so bili odvzeti za laboratorijske preiskave zemljin. Za dimenzioniranje voziščne konstrukcije je bil s krožno ploščo s padajočo utežjo, tik pod humusno plastjo izmerjen dinamični deformacijski modul E_{vd} .

Sondažni jašek J-2/09 je bil izveden v km 4,2 + 90 do globine 0,60 m. Lega jaška je označena na sliki 1. Zemljina je bila klasificirana kot pusta do peščena glina CL. Njen deformacijski modul je znašal $E_{vd} = 7,54$ MPa, statični deformacijski modul je bil ocenjen na $E_{v2} = 18$ MPa in vrednost CBR na 3,5 %. [1]

3.3 Sondiranje z dinamičnim penetrometrom

Dinamična penetracijska sondaža DP-6/08 je bila globoka 10,7 m. Lega sondaže je označena na sliki 2. Na osnovi izmerjenega števila udarcev N na vsakih 30 cm smo lahko ocenili gostotno stanje, strižni kot ter modul stisljivosti nevezljivih zemljin, konsistenčno stanje vezljivih zemljin, oziroma stopnjo penetrabilnosti hribine.

Na grafikonu A.1 v prilogi A so prikazani rezultati dinamične penetracijske sondaže v posameznih globinah temeljnih tal na območju vrtine KDR-10. Ta vrtina se nahaja na profilu P208 in je bila izvedena najbližje profilu P205, na katerem smo v nadaljevanju izvedli vse potrebne analize za izboljšanje temeljnih tal.

Do globine 7 m se strižna trdnost spreminja od 25 kN/m² do 175 kN/m². Vrednost 175 kN/m² so izmerili v sloju peščene gline, poltrdne konsistence. Od 7 m do 17 m je strižna trdnost tal razmeroma majhna in v povprečju znaša 15 kN/m². Tu prevladuje sloj mastnih glin lahkognetne konsistence. Do globine 30 m sledi sloj mastnih glin težkognetne konsistence, v katerem so strižne trdnosti razmeroma visoke in segajo vse do 190 kN/m². Na posameznih vmesnih slojih zasledimo zelo nizke strižne trdnosti, ki jih na takšnih globinah težko pojasnimo. Predvidevamo lahko, da so nastale zaradi napake meritev.

3.4 Laboratorijske preiskave

Laboratorijske preiskave so se izvajale v laboratoriju za mehaniko tal Geoinženiringa d.o.o. Ljubljana. Odvzetih je bilo 20 vzorcev peščenih in mastnih glin.

Iz rezultatov laboratorijskih preiskav vzorcev iz raziskovalnih vrtin, ki so prikazani na grafikonih v prilog B, je razvidno, da se naravna vlaga giblje od $w = 20,3 \%$ do $w = 54,2 \%$. Konsistenčno stanje glin je v razponu od lahko gnetnega pa do poltrdnega, zato velja, da je nedrenirana strižna trdnost od $\tau = 12,8 \text{ kPa}$ do $\tau > 250 \text{ kPa}$.

Izvedenih je bilo 14 edometrijskih preiskav, iz katerih je bil lahko in srednje gnetnim glinam, pri obremenitvi $\sigma = 25 \text{ kPa}$ do 40 kPa , izmerjen modul stisljivosti med $E_{oed} = 689 \text{ kPa}$ in 1668 kPa . Za obremenitev $\sigma = 160 \text{ kPa}$ do 240 kPa pa med $E_{oed} = 1928 \text{ kPa}$ in 3847 kPa . Količnik vodoprepustnosti je znašal od $k = 1,4 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$ do $k = 8,6 \cdot 10^{-12} \text{ m/s}$. Enaki količniki vodoprepustnosti so bili izmerjeni tudi za težko gnetne in poltrdne glin. Moduli stisljivosti so pri obremenitvi $\sigma = 25 \text{ kPa}$ do 40 kPa , znašali $E_{oed} = 770 \text{ kPa}$ in 3318 kPa , pri obremenitvi $\sigma = 160 \text{ kPa}$ do 240 kPa pa med $E_{oed} = 3295 \text{ kPa}$ in 4065 kPa .

V preglednici 1 so zabeležene materialne karakteristike posameznega sloja.

Preglednica 1: S preiskavami ugotovljene materialne karakteristike

Sloj	peščene do puste	mastna glina	mastna glina
	gline	l.g. konsistence	t.g. konsistence
AC klasifikacija	CH	CH	CH
Naravna vlaga (w_0)	22-29 %	21-55 %	23-36 %
Meja židkosti (w_L)	36-55 %	16-72 %	20 %
Indeks plastičnosti (I_P)	21-29	21-55	41
Indeks konsistence (I_C)	0,67-1,08	0,23-1,28	0,72
Naravna gostota (ρ)	1,91-2,05 Mg/m ³	1,68-2,05 Mg/m ³	1,84-1,9 Mg/m ³
Žepni penetrometer (q_u)	25-175 kPa	13-50 kPa	13-187 kPa
Nedr. str. trdn. CPT (c_u)	45-200 kPa	12-210 kPa	30-170 kPa

4 POGOJI IZGRADNJE

4.1 Karakteristične vrednosti materialnih lastnosti tal

Analiza nosilnosti in stabilnosti terena je bila izvedena na profilu P205. Na tem območju je sloj glinenih temeljnih tal najdebelejši, zato predstavlja najbolj kritične razmere za stabilnostno analizo temeljnih tal in nasipnega telesa.

Na osnovi terenskih in laboratorijskih preiskav so bile v računih privzete karakteristike temeljnih tal, kot jih podajamo v preglednici 2. Pri tem smo upoštevali predvsem preiskave izvedene na materialih iz vrtin bližje profilu P205. To so vrtine KDR-10, KDR-10a in KDR-11.

Preglednica 2: Karakteristične vrednosti materialnih lastnosti

Karakteristika	peščene do puste gline	mastna glina l.g. konsistence	mastna glina
			t.g. konsistence
γ [kN/m ³]	19	19	19
E_{oed} [kPa]	2400	2400	4839
k [m/s]	$6 \cdot 10^{-10}$	$6 \cdot 10^{-10}$	$6 \cdot 10^{-10}$
c_u [kPa]	70	15	110

Ugotovili smo, da se moduli stisljivosti v zgornjem 17 m debelem sloju tal gibljejo okoli vrednosti 2400 kPa. Z večanjem globine se moduli postopoma zvišujejo. Točne vrednosti smo dobili iz diagrama spreminjanja količnika por v odvisnosti od obtežbe. Do globine 30 m so se moduli stisljivosti povečali na 4839 kPa. Vodoprepustnost glinastih in meljastih zemljin se je gibala od $2,82 \cdot 10^{-11}$ m/s do $8,08 \cdot 10^{-11}$ m/s. V naravi se izkaže, da so dejanske vodoprepustnosti zemljin 10 x pa tudi do 100 x višje od vodoprepustnosti izmerjene v edometru. Pri izračunih smo za vse sloje vzeli povprečni koeficient vodoprepustnosti, ki je znašal $6 \cdot 10^{-10}$ m/s.

4.2 Karakteristične vrednosti materialnih lastnosti nasipa

Nasip je v izbranem profilu visok 7,4 m in širok 24 m. Privzeta je bila največja višina nasipa na obravnavanem odseku, ki je bila v tehničnem poročilu predvidena na profilu P169. Naklon brežine nasipa je znašal $n = 1 : 2$.

Za izgradnjo nasipa bo uporabljen flišni grušč. Pri flišu prihaja do hitrega menjavanja trdnih in obstojnih meljevcev in peščenjakov z mehкими in neobstojnimi laporji in glinavci. To lahko predstavlja velik problem za obstojnost nasipa. Zaradi občutljivosti flišnega materiala na delovanje vode, moramo material vgrajevati samo nad nivojem talne vode. Ustrezno mora biti preprečena tudi možnost kapilarnega dviga vode v material. [3] Pri izračunih stabilnosti, posedkov in časovne napovedi posedkov je potrebno upoštevati v zemljino predrobljene flišne kamnine. [1]

Materialne karakteristike nasipa: $\gamma' = 20$ kN/m³, $c' = 2$ kPa, $\phi = 28^\circ$
Na nasipu je bila predvidena prometna obtežba $q = 10$ kN/m².

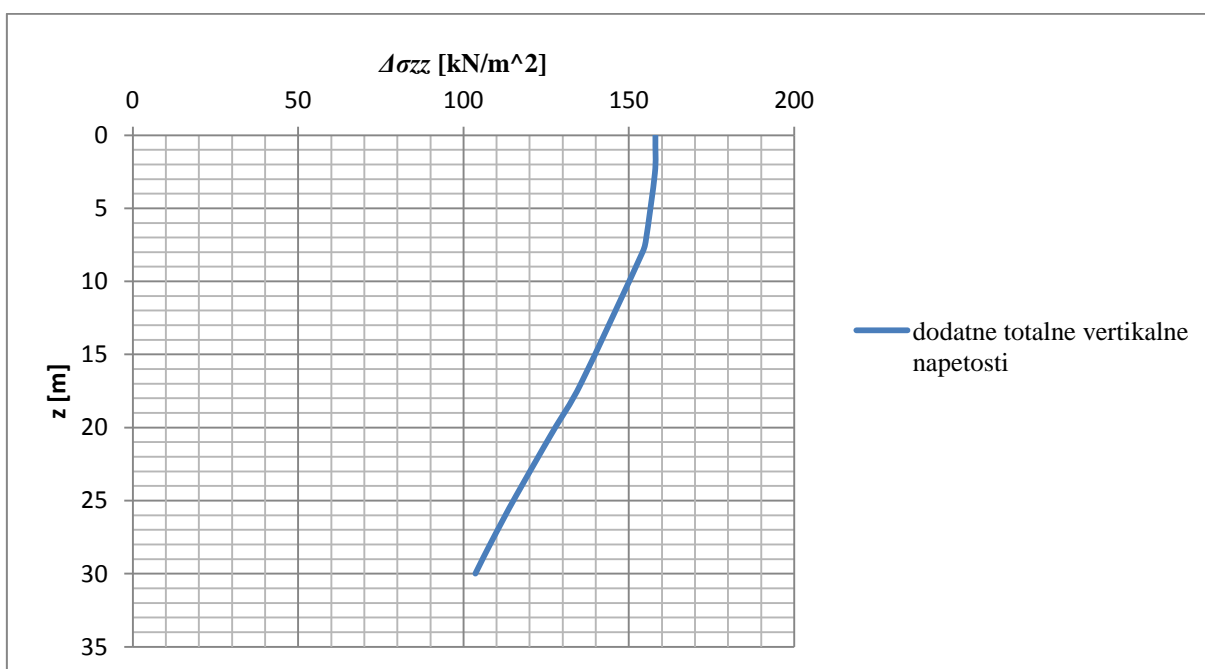
5 KONSOLIDACIJA TEMELJNIH TAL

5.1 Analiza vertikalnih napetosti v temeljnih tleh

Pri analizi posedkov temeljnih tal je potrebno poznati prvotno napetostno stanje, zaradi lastne teže temeljnih tal, dodatno napetostno stanje, ki ga povzroči obtežba in novo napetostno stanje. Na podlagi tega lahko določimo deformabilnost, prepustnost in trdnost zemljin ter ugotovimo ali so nova napetostna stanja še manjša od mejnih napetostnih stanj, pri katerih bi prišlo do porušitve tal. [2]

Obtežba temeljnih tal povzroči dodatne napetosti v tleh, ki niso konstantne. Pod neskončno dolgo pasovno obtežbo so vertikalne napetosti enake velikosti dodatne obremenitve tal. Z globino se nato dodatne vertikalne napetosti zmanjšujejo do ničnih vrednosti v neskončni globini. Kako hitro upadajo je odvisno od manjše tlorisne dimenzije obtežbe ter od razmerja manjše tlorisne dimenzije obtežbe in debeline sloja. Dodatne totalne vertikalne napetosti upadajo po kosinusni funkciji. Razpored dodatnih efektivnih napetosti v temeljnih tleh pa je odvisen od oblike, togosti in jakosti dodatne obtežbe tal. [2,3]

Na grafikonu 1 je prikazano spreminjanje dodatnih totalnih vertikalnih napetosti z globino. Tik pod nasipom znašajo totalne napetosti 158 kPa, kar je enako obtežbi dodatne obremenitve. Nato vrednosti napetosti upadajo. Do globine 7 m se napetosti zmanjšajo na 155 kPa, na globini 30 m pa dosežejo 104 kPa.



Grafikon 1: Dodatne vertikalne napetosti pod cestnim nasipom

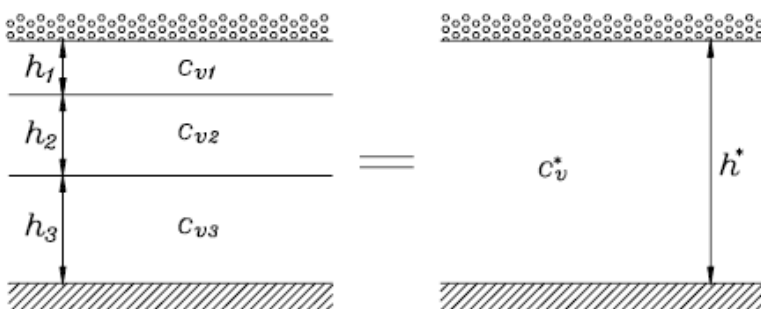
5.2 Konsolidacija temeljnih tal

Čas trajanja konsolidacije tal je odvisen od mehanskih lastnosti zemljine in debeline posameznega sloja. Večja kot je debelina sloja, dalj časa bo trajala konsolidacija. Hitreje se bo izvršila v bolj prepustnih in manj deformabilnih zemljinah, torej v slojih z višjim koeficientom propustnosti in višjim modulom stisljivosti. Med konsolidacijo ne prihaja do sprememb dodatnih totalnih napetosti, ampak se spreminjajo presežni porni tlaki in dodatne efektivne napetosti. Po končani konsolidaciji presežni porni tlaki, ki so nastali zaradi dodatne obtežbe, upadejo na nične vrednosti, dodatne efektivne napetosti pa ostanejo enake totalnim vertikalnim napetostim. [4]

Na velikost pomikov v temeljnih tleh ima vpliv togost dodatne obtežbe tal. Predpostavlja se, da nasipi predstavljajo gibko obtežbo temeljnih tal. V primeru visokih nasipov in nasipov grajenih iz stabiliziranega materiala pa to popolnoma ne velja. Togost nasipa je odvisna od vrste materiala in njegove vgradnje ter od razmerja med višino in širino nasipa. Zaradi postopne gradnje se togost nasipa spreminja, zato njene dejanske vrednosti običajno ni mogoče določiti. [2,3]

Analitične rešitve za izračun časovnega razvoja volumenskih posedkov temeljnih tal so podane za reševanje diferencialne enačbe vertikalne konsolidacije. Pridobljene rešitve temeljijo na predpostavki, da prihaja do iztiskanja vode samo v vertikalni smeri, medtem ko je bočno izcejanje vode iz zemljine preprečeno. To velja samo v primerih, ko tla sestavljajo slabše prepustni stisljivi sloji, katerih širina je bistveno večja od širine obtežbe površja temeljnih tal. Posledično dreniranje vode v bočni smeri ni mogoče. Zanimarjene so tudi viskozne lastnosti linearno deformabilnih zemljin, tako da prehod dodatnih totalnih napetosti v efektivne zadržuje samo upor izcejanja vode. Ko časovni količnik konsolidacije doseže vrednost $T_v = 2$, presežni porni tlaki padejo na zanemarljivo majhne vrednosti. V sredini obravnavanega sloja temeljih tal moramo pri izračunih upoštevati povprečne vrednosti modula stisljivosti E_{oed} in količnika vertikalne prepustnosti za povprečno spremembo efektivnega napetostnega stanja. [3,4]

Na našem območju so tla sestavljena iz slojev s približno enako deformabilnostjo in prepustnostjo. Za izračun trajanja konsolidacije smo zato uporabili približen postopek računa z uvedbo nadomestnega umetnega homogenega sloja. V novem sloju mora biti tako končni posedek površja temeljnih tal enako velik, kot ga izračunamo v realnih večslojnih temeljnih tleh. Prav tako pa mora tudi konsolidacija v umetnem sloju potekati na enak način, kot bi v večslojnih tleh. [4]



Slika 4: Uvedba nadomestnega sloja za račun trajanja vertikalne konsolidacije: troslojna temeljna tla sestojijo iz slojev podobne deformabilnosti in prepustnosti [4]

5.2.1 Postopek izračuna

Določitev koeficienta vertikalne konsolidacije c_v :

$$c_v = \frac{k * E_{oed}}{\gamma_w}$$

Ploščina dodatnih napetosti za posamezen sloj:

$$A_{\infty} = \int_{z=0}^h \Delta\sigma_{zz}(z) dz$$

Pri tem moramo upoštevati zmanjšanje dodatnih napetosti z globino.

Izračun posedka posameznega sloja:

$$\rho_{\infty} = \frac{A_{\infty}}{E_{oed}} = \frac{\int_{z=0}^h \Delta\sigma_{zz}(z) dz}{E_{oed}}$$

Iz enakosti posedkov večslojnih tal in umetnega homogenega sloja izračunamo ekvivalentni modul stisljivosti E_{oed}^* :

$$u_z(z=0) = w(z=0) = \rho = \sum_{i=1}^n \rho_i = \sum_{i=1}^n \frac{A_{\infty i}}{E_{oed i}}$$

$$\rho^* = \rho \rightarrow E_{oed}^* = \frac{\sum_{i=1}^n A_{\infty i}}{\sum_{i=1}^n \rho_i}$$

Ker mora biti pri istem času dosežena enaka stopnja konsolidacije v večslojnih tleh in v umetnem homogenem sloju, izračunamo korigirano debelino posameznega sloja:

$$h_i' = h_i \sqrt{\frac{k^* E_{oed}^*}{k_i E_{oed}}}$$

Pri tem je k^* primerjalna vrednost koeficienta vodoprepustnosti.

Nova debelina umetnega homogenega sloja:

$$h^* = \sum_{i=1}^n h_i'$$

Čas celotnega posedanja:

$$t_{\infty} = \frac{T_v * \gamma_w * h^{*2}}{k^* * E_{oed}^*}$$

Pri končani konsolidaciji doseže časovni faktor konsolidacije T_v neskončno vrednost. V praksi se uporablja Terzagijeva ugotovitev, da presežni porni tlaki upadejo na zanemarljivo majhne

vrednosti, ko je časovni faktor $T_v = 2$. V enačbi uporabimo celotno višino nadomestnega sloja h^* , saj je spodnja plast neprepustna, zgornja pa prepustna. [4]

Časovni faktor konsolidacije:

$$T_v = \frac{k * E_{oed}^* * t}{\gamma_w * h^{*2}}$$

Časovni razvoj konsolidacije smo določili z uporabo analitične rešitve, podane v obliki diagramov $U_v = U_v(T_v)$. Stopnja konsolidacije definira razmerje med posedkom v določenem času t in končnim posedkom. Takšen način omogoča izračun dosežene stopnje konsolidacije in velikost konsolidacijskega posedka po enačbi: [4]

$$\rho_t = \rho_{\infty} * U_v$$

5.2.2 Rezultati izračuna

V preglednici 3 so prikazani skrčki posameznega sloja tal. Zaradi bolj natančnih vrednosti skrčkov smo tla razdelili na tanjše sloje. Debelina posameznega sloja je bila določena na podlagi klasifikacije zemljine.

Prvotno smo izvedli izračun posedkov za celoten 30 m debel sloj temeljnih tal. Izkazalo se je, da se večji delež posedkov izvrši v zgornjem 17 m debelem pasu tal. Posledično smo postopek izračuna posedkov ponovili samo za zgornji sloj.

Za pridobitev časovnega pogleda razvoja posedkov smo analizirali kolikšen delež posedkov se izvrši v 1 letu, 5 letih in 10 letih po obtežitvi temeljnih tal s predvidenim nasipom. Rezultati so prikazani v preglednicah 4 in 5.

Preglednica 3: Izračunani končni konsolidacijski posedki

Globina [m]	AC	γ' [kN/m ²]	E_{oed} [kPa]	k [m/s]	Debelina sloja [m]	Skrček[m]
0,3	CL	19	2400	$6 \cdot 10^{-10}$	0,3	0,020
0,7	CL	19	2400	$6 \cdot 10^{-10}$	0,4	0,026
2,6	CL-MI	19	2400	$6 \cdot 10^{-10}$	1,9	0,125
7,1	CH	19	2400	$6 \cdot 10^{-10}$	4,5	0,293
8	CH	19	2400	$6 \cdot 10^{-10}$	0,9	0,058
17	CI	19	2400	$6 \cdot 10^{-10}$	9	0,543
19,9	CH	19	4839	$6 \cdot 10^{-10}$	2,9	0,079
21,4	CI	19	4839	$6 \cdot 10^{-10}$	1,5	0,039
24,65	CH	19	4839	$6 \cdot 10^{-10}$	3,25	0,081
26,2	CH	19	4839	$6 \cdot 10^{-10}$	1,55	0,037
28,2	CI	19	4839	$6 \cdot 10^{-10}$	2	0,045
29,4	MI-CI	19	4839	$6 \cdot 10^{-10}$	1,2	0,026
30	MI	19	4839	$6 \cdot 10^{-10}$	0,6	0,013
Celoten posedek:						1,385

Preglednica 4: Časovni razvoj posedka za 30 m debel sloj temeljnih tal

	Tv	Uv	Posedek [m]	Delež posedka [%]
t₁ = 1 leto	0,0077	0,099	0,137	9,9
t₂ = 5 let	0,0385	0,22	0,305	22
t₃ = 10 let	0,0770	0,313	0,434	31,3

Preglednica 5: Časovni razvoj posedka za 17 m debel sloj temeljnih tal

	Tv	Uv	posedek [m]	delež posedka [%]
t₁ = 1 leto	0,016	0,14	0,149	14
t₂ = 5 let	0,078	0,31	0,33	31
t₃ = 10 let	0,155	0,44	0,469	44

Rezultati izvedenih analiz posedkov 30 m debelega sloja temeljnih tal so pokazali, da je v obravnavanem karakterističnem profilu mogoče pričakovati 1,39 m posedkov temeljnih tal. Celotna konsolidacija bi se zaključila v 321 letih. V prvem letu po izgradnji nasipa bi se izvršilo 9,9 % posedkov temeljnih tal, po petih 22 % in po desetih 31,3 %.

Do globine 17 m so zaradi manjšega modula stisljivosti tla bolj stisljiva, zato se v tem sloju izvrši večji delež posedka. Mogoče je pričakovati posedek v velikosti 1,07 m. 17 m debel sloj tal bi se konsolidiral 127 let. V prvem letu bi se tla posedla za 14 % celotnega posedka, v petih letih za 31 %, v desetih pa za 44 %. Celoten vertikalni konsolidacijski posedek je zelo velik in se odvija zelo dolgo časa, kar je neugodno za gradnjo voziščne konstrukcije.

Ker bi se v prvem letu po izgradnji nasipa izvršilo manj kot 20 % vseh posedkov, bi se v času gradnje in po sami izgradnji objekta teren še močno preoblikoval, kar bi povzročilo poškodbe na objektu. Da bi dosegli hitrejšo konsolidacijo terena, so potrebni ukrepi, s katerimi bomo omogočili hitrejši odtok vode iz temeljnih tal in tako pospešili posedanje.

6 STABILNOSTNA ANALIZA TEMELJNIH TAL IN NASIPA

6.1 Splošno o stabilnostnih analizah

V slabo prepustnih z vodo zasičenih tleh dodatna obtežba povzroči porast napetostnega stanja. Posledično se povečajo porni tlaki in s tem se zmanjša količnik varnosti. Najbolj kritično stanje za stabilnost nasipa nastopi takoj po zaključeni gradnji nasipa. Za takšno stanje je potrebno izvesti analizo stabilnosti z upoštevanjem vrednosti parametrov nedrenirane strižne trdnosti temeljnih tal. [3,5]

Za reševanje ravnovesnih enačb ločimo analitične in numerične postopke. V našem primeru smo stabilnostno analizo izvedeli s programom Slide, ki se poslužuje numeričnih postopkov, kateri so vezani na lamelno metodo. Uporaba različnih numeričnih metod omogoča na enoten način simulirati in analizirati obnašanje temeljnih tal skupaj z načrtovanimi deli pri različnih napetostnih in deformacijskih stanjih od začetka del pa vse do morebitne porušitve.

Program Slide vsebuje več numeričnih postopkov različnih avtorjev. Pri izračunu smo uporabljali numerični postopek Bishopa.

6.2 Bishopov numerični postopek

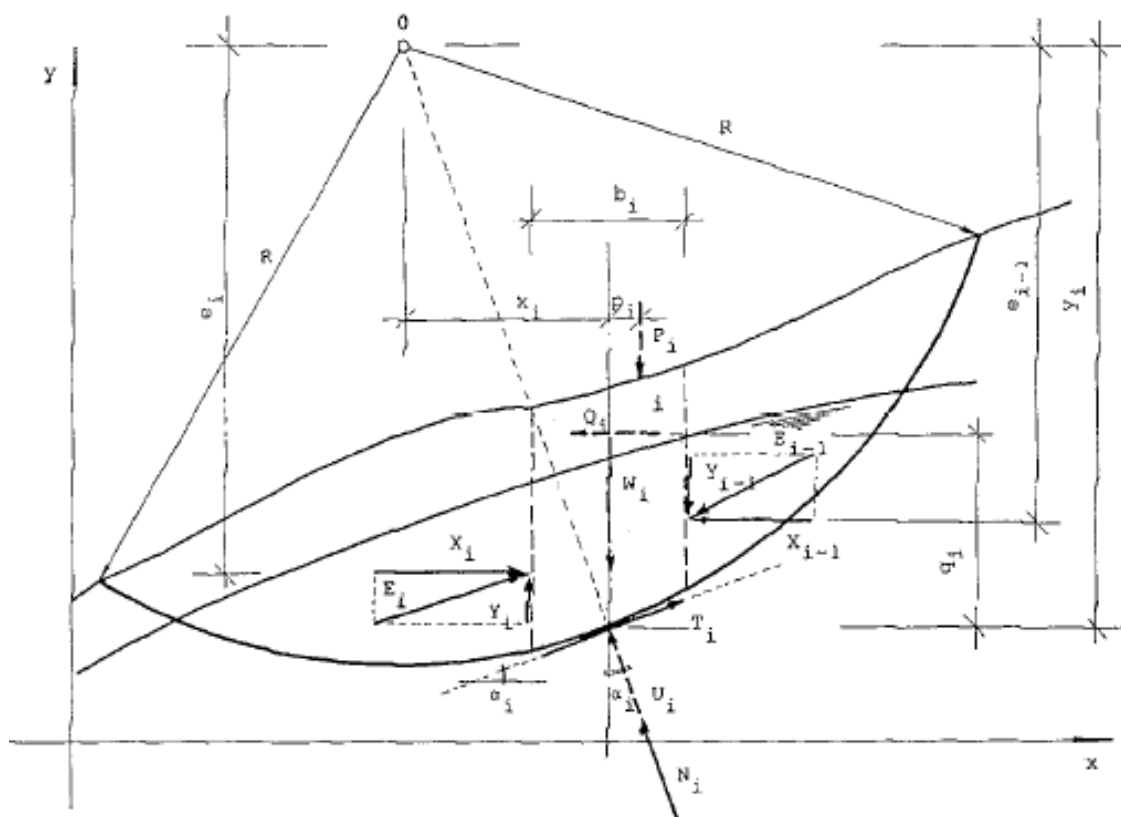
Rešujemo sistem ravnovesnih enačb, ob upoštevanju Coulombovega strižnega zakona:

$$\begin{aligned}\sum M^0 &= 0 \\ \sum Y &= 0 \\ \sum T &= 0 \\ \tau &= 1/F \times (c + \tan \phi)\end{aligned}$$

Za izračun količnika F mora veljati za vsako lamelo in za vse lamele hkrati

$$F = \frac{1}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \alpha_i + M'} * \sum_{i=1}^n \frac{c_i b_i + [W_i + P_i - u_i b_i] \tan \varphi_i}{\cos \alpha_i + \frac{\tan \varphi_i \sin \alpha_i}{F}}$$

Z oznako M' so označeni momenti točkovnih sil P_i in Q_i na središče krožne drsine, deljene s polmerom drsine r . Enačba za izračun količnika varnosti se rešuje po Newtonovem postopku. Rešitev za količnik varnosti je toliko, kolikor je lamel, na katere smo razdelili predpostavljeno drsino. Merodajen je največji količnik varnosti. [6]



Slika 5: Oznake za Bishopov numerični postopek stabilnostne analize krožne drsine [6]

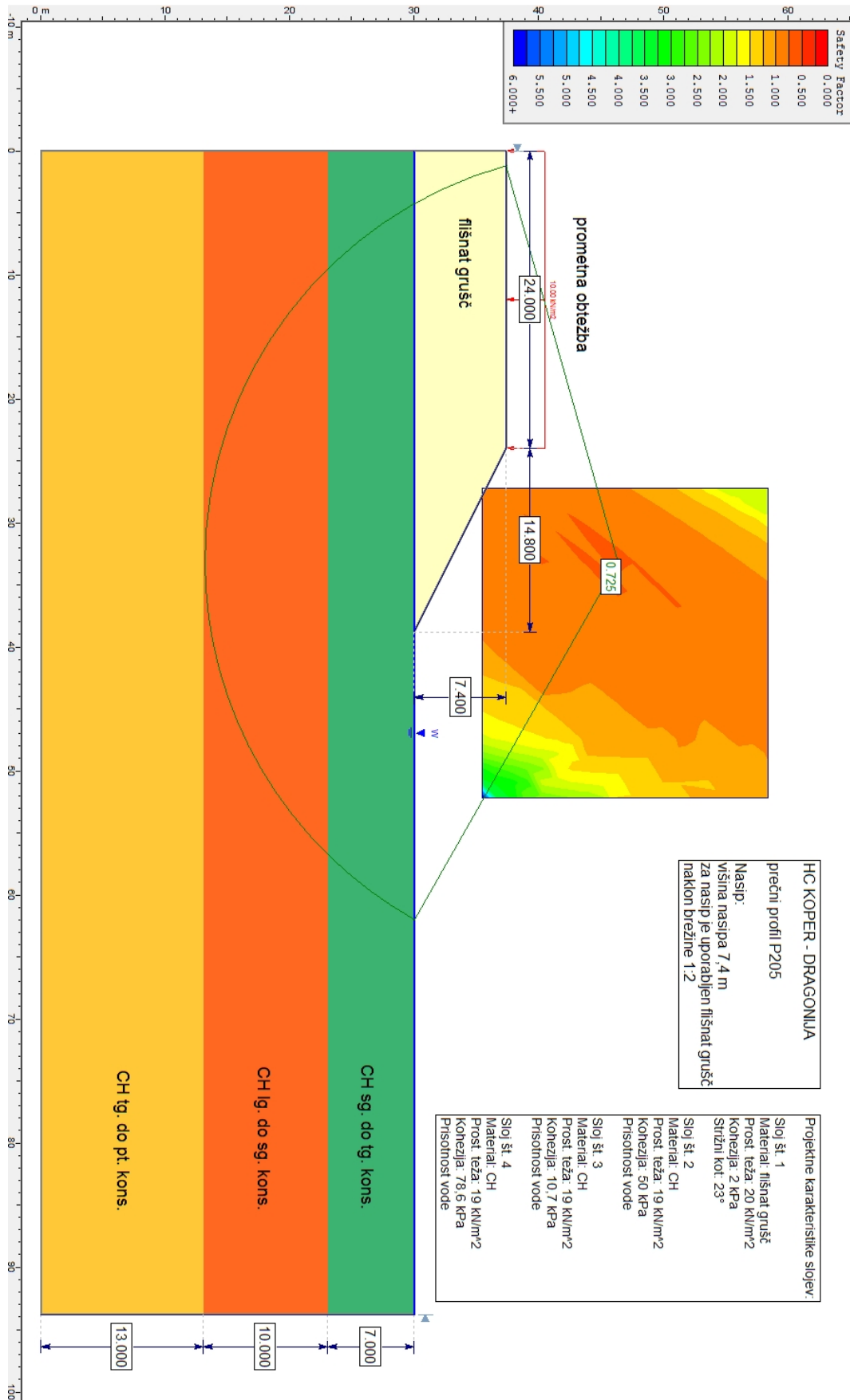
6.3 Rezultati izračuna

Za analiziran profil P205 so na sliki 6 podani vhodni podatki ter rezultati izračuna:

- Geometrija prečnega profila, vodostaj je vrisan z modro črto.
- Pripisane so fizikalne karakteristike posameznih slojev zemljin. Drenirane strižne karakteristike so v skladu z Evrokodom 7 mobilizirane s faktorjem varnosti $\gamma_{M,\phi} = 1,25$, nedrenirane pa z $\gamma_{M,cu} = 1,4$. Na sliki 6 so podane projektne vrednosti.
- Prikazana je potencialna drsina z minimalnim faktorjem varnosti proti zdrs. Vrednost faktorja varnosti proti zdrs je vpisana ob središču kritične porušnice.

Rezultati izvedenih analiz stabilnosti (slika 6) obravnavanega karakterističnega prereza nasipa so pokazali, da je pri naklonu brežine nasipa do $n = 1 : 2$ stabilnost nasipa zadovoljiva. Kritične so brežine, ki potekajo plitvo pod površjem brežine nasipa, torej ni zagotovljena ustrezna stabilnost temeljnih tal. Potencialne drsne ploskve, ki segajo do globine 17 m, izkazujejo premajhen količnik varnosti $F = 0,725 < 1,0$

Da bi dosegli ustrezno varnost temeljnih tal, so potrebni dodatni ukrepi.



Slika 6: Rezultati stabilnostne analize za stanje brez dodatnih ukrepov (P205)

7 UKREPI ZA IZBOLJŠANJE TEMELJNIH TAL

Za izboljšanje nosilnosti in stabilnosti mehkih temeljnih tal je potrebno zagotoviti ukrepe, s katerimi bi pospešili konsolidacijo in povečali strižno trdnost tal. Takšni ukrepi so:

- nadzorovana hitrost gradnje nasipa po korakih,
- izdelava preobtežbe temeljnih tal,
- vgradnja vertikalnih drenaž,
- ublažitev naklona brežin nasipa ali izdelava ustreznih bočnih nasipov,
- zamenjava slabo nosilnih temeljnih tal,
- vgradnja kamnite pete pod vznožjem brežine nasipa,
- vgradnja gruščnatih kolov.

Takoj po obtežbi temeljnih tal z nasipom porni tlaki močno narastejo. Z nadzorovano hitrostjo gradnje nasipa po korakih bi dosegli postopno upadanje pornih tlakov na hidrostatske vrednosti. Pri slabo prepustnih zemljinah je odtekanje vode počasno, zato je postopna gradnja zelo dolgotrajna.

S preobtežbo temeljnih tal bi postopno izboljšali njegovo strižno trdnost in pričakovane posedke dosegli v krajšem času. Tovrsten ukrep pa je primeren predvsem v zemljinah, pri katerih se pod dolgotrajno obtežbo volumen močno spremeni, in v primerih, ko je varnost pod samim cestnim nasipom dovolj velika. To pa v našem primeru ni slučaj.

Zamenjava slabo nosilnih temeljnih tal in vgradnjo kamnite pete pod vznožjem brežine nasipa ne moremo izvesti, saj je debelina sloja slabo nosilnih tal kar 17 m. Ustrezni izkopi za pete ali rebra niso izvedljivi, saj je količina materiala, ki ga bi bilo potrebno zamenjati prevelika. Hkrati se izognemo tudi problemu višku za vgradnjo v nasipe neustreznih zemeljskih materialov, ki bi jih bilo potrebno transportirati in trajno deponirati.

Pri slabo prepustnih zasičenih zemljinah je čas upada pornih tlakov odvisen od kvadratne razdalje, na kateri se preceja presežna porna voda. Z vertikalnimi drenažami bi skrajšali čas iztekanja vode iz zemljine in omogočili njen radialen in vertikalni iztok. S tem bi pospešili konsolidacijo tal in povečali njeno strižno trdnost.

Z izdelavo ustreznih bočnih nasipov bi uravnotežili sile teže samega nasipa in povečali vertikalne napetosti v temeljnih tleh tudi izven območja osnovnega nasipa, kar posledično poveča strižne trdnosti temeljnih tal po končani konsolidaciji. Pod robom osnovnega nasipa bi se pojavile manjše strižne napetosti in deformacije.

Z vgradnjo gruščnatih kolov bi izboljšali strižno trdnost temeljnih tal, saj bi zamenjali slabo nosilno zemljino s kvalitetnim kamnitim materialom. Koncentrirane napetosti v kolih bi imele velik vpliv na stabilnost temeljnih tal, hkrati pa bi zmanjšale velikost končnega posedka. Gruščnati koli bi zaradi velike prepustnosti materiala imeli podobno funkcijo kot vertikalne drenaže, kar bi pospešilo proces konsolidacije. [3,8,9]

Za izboljšanje mehkih temeljnih tal bomo v nadaljevanju obravnavali dve kombinaciji ukrepov:

1. kombinacija: vertikalne drenaže in bočni nasip
2. kombinacija: gruščnati koli

7.1 Vertikalne drenaže

Celotna konsolidacija zgornjih 17 m najbolj stisljivih tal bi se izvršila približno v 127 letih. Ker je ta čas za gradnjo nesprejemljiv, moramo proces konsolidacije pospešiti. Z vgradnjo vertikalnih drenaž dopuščamo vertikalni in radialni tok presežne porne vode. Tako novi povečani porni tlaki, ki se pojavijo zaradi obremenitve temeljnih tal z nasipom, hitreje upadejo proti začetnim vrednostim.

Z vertikalnimi drenažami skrajšamo pot precejanja porne vode in zagotovimo hitrejše iztekanje vode. Sam upad pornih tlakov je odvisen od kvadrata razdalje, na kateri se preceja presežna porna voda. Pri različnih zemljinah je hitrost upada pornih tlakov odvisna od koeficienta vodoprepustnosti. Z vgradnjo drenaž ne bi dosegli samo pospešitve procesa konsolidacije, ampak bi tako dosegli tudi hitrejše povečanje nedrenirane strižne trdnosti temeljnih tal. Učinkovitost vertikalnih drenaž je bolj izrazita v slojevitih zemljinah, saj je prepustnost zemljine, vzporedno s podlago, veliko večja. Količnik konsolidacije v radialni smeri je odvisen od prepustnosti zemljine in od modula stisljivosti. [3]

Količnik prepustnosti za radialno dreniranje, v homogenih zemljinah določamo na podlagi laboratorijskih preiskav in terenskih meritev prepustnosti. Za natančnejšo analizo, morajo biti preizkušanci nepoškodovani. Količniki prepustnosti v radialni smeri so po navadi enaki ali večji od količnikov prepustnosti v vertikalni smeri. Pri določitvi količnikov vodoprepustnosti moramo upoštevati vpliv spremembe strukture zemljine ob drenaži zaradi njene vgradnje. Pri vgrajevanju vertikalne drenaže v temeljna tla, nastane v okolici drenaže, cona slabše prepustne zemljine. Sama velikost cone je odvisna od načina vgrajevanja drenaže, gostote zemljine in velikosti pornih tlakov. Določi se jo s pomočjo preizkusa vgrajevanja. [3]

Prepustnost vertikalnih drenaž je odvisna od vrste drenaže in od učinkovitih bočnih zemeljskih pritiskov na ovoj drenaže. Na njihovo učinkovitost vplivajo medsebojne oddaljenosti drenaž. Vgrajuje se jih do globine, ki je enaka debelini slabo propustnega sloja. Iz tehnoloških vidikov se uporabljajo največje globine do 20 m.

Ker prihaja na površju temeljnih tal do izcejanja presežne porne vode, je potrebno izdelati drenažno preprogo iz zrnatega, dobro prepustnega materiala. Drenažna preproga tako omogoča nemoteno odtekanje iztisnjene vode izpod nasipa. [3]

7.1.1 Postopek izračuna

Analični račun radialne konsolidacije smo izvedli po postopku Kjellmana (1948). [8]

Pri izračunu smo izhajali iz začetnega kriterija za končano konsolidacijo pri stopnji $U_R = 0,99$. Parameter difuzijske enačbe za radialno konsolidacijo izračunamo po enačbi:

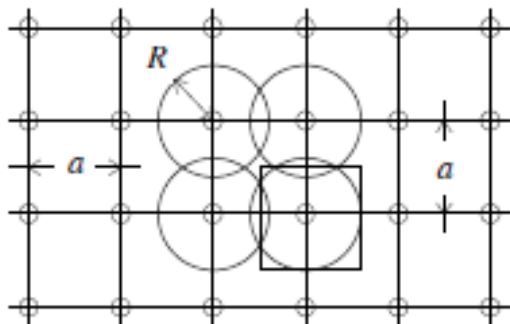
$$\mu = \frac{n^2}{n^2 - 1} \left(\ln(n) - \frac{3}{4} + \frac{1}{n^2} - \frac{1}{4n^4} \right)$$

Za kvadratno tlorisno razporeditev vertikalnih drenaž je odnos med vplivnim radijem R in razdaljo med drenažami:

$$a^2 = \pi R^2$$

in tako polmer volumna zemljine, ki se drenira v vertikalno drenažo izračunamo kot:

$$R = \frac{1}{\sqrt{\pi}} a = 0,564 a.$$



Slika 7: Kvadratna tlorsna razporeditev vertikalnih drenaž [8]

Kvocient med vplivnim radijem R in radijem vertikalnih drenaž r_0 je:

$$n = \frac{R}{r_0},$$

Rešitev difuzijske enačbe za radialno konsolidacijo je povprečna stopnja radialne konsolidacije v vplivnem območju drenaže:

$$U_R = 1 - e^{-\frac{8}{\mu} T_R},$$

kjer je:

$$T_R = \frac{c_R t}{4R^2} \text{ časovni faktor radialne konsolidacije,}$$

$$c_R = \frac{k_R E_{oed}}{\gamma_w} \text{ koeficient konsolidacije pri precejanju vode v radialni smeri.}$$

Čas konsolidacije je:

$$t = T_R \frac{4R^2}{c_R} = T_R \frac{4R^2 \gamma_w}{k_R E_{oed}}.$$

kjer predstavljajo:

T_R ...brezdimenzijski časovni faktor za radialno konsolidacijo,

E_{oed} ...edometerski modul stisljivosti,

γ_w ...specifična teža vode,

k_R ...količnik radialne prepustnosti zemljine.

Posedek določimo na podlagi povprečne stopnje konsolidacije v določenem času:

$$\rho_t = \rho_\infty U_R$$

V primeru, da vgradimo vertikalne drenaže v temeljna tla z vsaj enim prepustnim robom, poteka hkrati vertikalna in radialna konsolidacija. Stopnjo konsolidacije pri upoštevanju vertikalne in radialne konsolidacije dobimo na naslednji način:

$$U = 1 - (1 - U_V)(1 - U_R).$$

Celotna konsolidacija se izvrši, ko se zaključi bodisi vertikalna, bodisi radialna konsolidacija. V praksi se hitreje izvrši radialna konsolidacija.

Iz tega sledi izračun posedka v času t :

$$\rho_t = \rho_\infty U$$

7.1.2 Rezultati izračuna

Da pospešimo proces konsolidacije bomo po celotnem tlorisu temeljnih tal obravnavanega nasipa vgradili vertikalne drenaže, ki bodo segale do globine 17 m, to je do sloja težkognetnih do poltrdnih glin. V tem sloju so predvideni največji posedki.

Z ukrepom želimo doseči, da se večji delež konsolidacije zaključi v roku enega leta. Pri izračunu smo izhajali iz začetnega kriterija za končano konsolidacijo pri stopnji $U_R = 0,99$. Predpostavili smo drenažne trakove dimenzij 10 cm * 0,5 cm, katerim pripada ekvivalentni polmer kroga $r_0 = 3,3$ cm. Zaradi lažje vgradnje smo določili kvadratni raster drenaž s stranico $a = 1,5$ m.

Polmer vpliva drenaže znaša $R = 0,564a = 0,846$ m.

Razmerje polmerov $n = R/r_0 = 25,64$.

Parameter difuzijske enačbe za radialno konsolidacijo $\mu = 2,5$.

Povprečni koeficient konsolidacije $c_R = 1,44 \cdot 10^{-7}$.

Časovni faktor radialne konsolidacije $T_R = 1,44$.

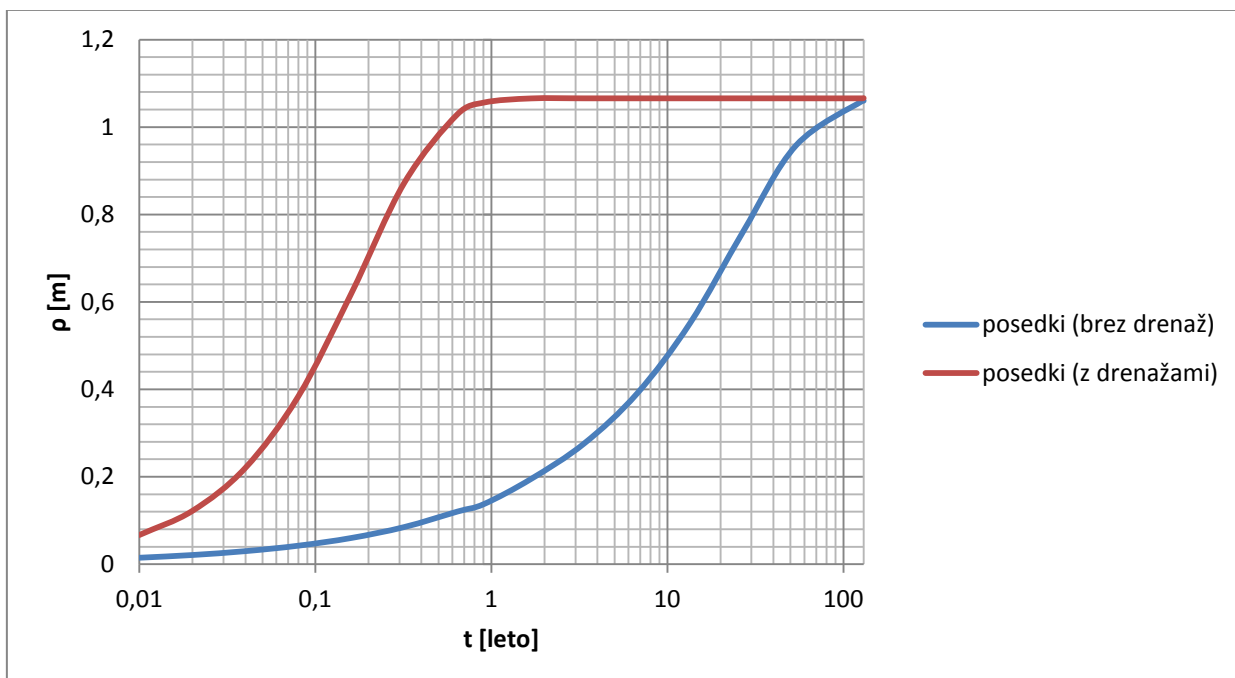
Iz izračunov sledi, da se bo celotna radialna konsolidacija zaključila v 0,91 leta. Pri tem se bo izvršilo 13 % vertikalne konsolidacije. Posedek bo znašal 1,06 m. Skupaj z učinkom vertikalne konsolidacije se bo v tem času izvršilo 99,1 % celotne konsolidacije.

V preglednici 6 je prikazan delež radialne in vertikalne konsolidacije ter posedek v odvisnosti od časa. Razvidno je, da se v 0,91 leta izvrši večji delež radialne konsolidacije, medtem ko je vertikalna konsolidacija zaključena šele po 127 letu. Po 0,91 leta se tla skrčijo še za dodaten 1 cm, kar pa je v praksi zanemarljivo malo.

Preglednica 6: Odvisnost posedkov in stopnje konsolidacije od časa

t[let]	U_v	U_r	U	ρ [m]
0,01	0,01	0,05	0,06	0,067
0,02	0,02	0,10	0,11	0,122
0,04	0,03	0,18	0,21	0,220
0,08	0,04	0,33	0,36	0,384
0,16	0,06	0,56	0,58	0,619
0,32	0,08	0,80	0,82	0,872
0,64	0,11	0,96	0,97	1,029
0,91	0,13	0,99	0,99	1,056
1,68	0,18	1,00	1,00	1,065
3,36	0,26	1,00	1,00	1,066
6,72	0,37	1,00	1,00	1,066
13,44	0,52	1,00	1,00	1,066
26,88	0,71	1,00	1,00	1,066
53,76	0,90	1,00	1,00	1,066
127,28	0,99	1,00	1,00	1,066

Na grafikonu 2 je grafično prikazana razlika razvoja posedkov v primeru tal brez vgrajenih drenaž in z vgrajenimi drenažami. Razvidno je, da je časovni razvoj posedkov tal z vgrajenimi drenažami veliko hitrejši v primerjavi s tlemi brez vertikalnih drenaž.



Grafikon 2: Odvisnost posedkov tal brez vertikalnih drenaž in z vertikalnimi drenažami od čas

7.2 Bočni nasipi

Z bočnimi nasipi dosežemo bolj enakomerno povečanje napetosti v tleh na celotnem območju pod osnovnim nasipom. Posledično se zmanjšajo strižne napetosti in deformacije pod robom osnovnega nasipa. S svojo težo in s strižnimi napetostmi, ki potekajo vzdolž potencialnih porušnic v temeljnih tleh, pomagajo pri uravnoteženju sile teže samega nasipa. Po končani konsolidaciji se vertikalne napetosti v temeljnih tleh povečajo tudi izven območja osnovnega nasipa, in sicer po celotni dolžini tal pod bočnim nasipom.

Pri dimenzioniranju bočnega nasipa moramo upoštevati, da teža bočnega nasipa ne sme biti enaka teži osnovnega nasipa, saj se na tak način ne bi znebili problema stabilnosti, ampak bi ga premaknili v stran, na območje bočnega nasipa. Stabilnost samega bočnega nasipa na obravnavanih slabo nosilnih tleh zagotovimo z ustrezno težo, višino in obliko nasipa. Izdelani so lahko iz materialov, ki so manj primerni za gradnjo nasipov, saj bočni nasipi ne nosijo dodatne obtežbe, prav tako njihovo deformiranje nima škodljivih posledic. S primerno vgradnjo lahko koristimo bočni nasip kot deponijo neuporabnega izkopnega materiala. V primeru uporabe slabo prepustnih zemljin je potrebno s sistemom drenaž zagotoviti prosto odtekanje vode izpod osnovnega nasipa. Če je bila predhodno predvidena drenažna preproga, se mora ta nadaljevati tudi pod bočnim nasipom.

Bočni nasipi so lahko prislonjeni na osnovni nasip ali pa nadaljujejo brežino osnovnega nasipa v bolj položni legi. Krona nasipa mora imeti zadosten naklon, da je tako omogočeno prosto odtekanje površinske vode stran od osnovnega nasipa.

Po izgradnji bočnih nasipov je mogoče njihovo površino urediti za kmetijsko rabo ter na tak način odvzeto zemljišče vrniti v uporabo lastnikom zemljišč. Po njih je mogoče speljati tudi različne gozdne in poljske poti, katere bi omogočale dostop do zemljišč, ki so bila z izgradnjo nasipa prekinjene. [3,8]

7.2.1 Izračun stabilnosti

Za stabilizacijo osnovnega nasipa smo izbrali bočni nasip z naslednjimi karakteristikami:

- material flišnat grušč $\gamma = 20 \text{ kN/m}^2$ $\varphi = 28^\circ$ $c' = 2 \text{ kPa}$
- naklon brežine 1:3

Potrebno dolžino in višino bočnega nasipa smo določili s stabilnostno analizo v programu Slide. Na sliki 8 je prikazana geometrija profila P205 z ukrepom bočnega nasipa. Pripisane fizikalne karakteristike posameznih slojev zemljin so reducirane v skladu z Evrokodom 7. Zabeležena je potencialna drsina z minimalnim faktorjem varnosti proti zdrsu.

Obravnavali smo bočne nasipe različnih višin in dolžin. V razpredelnici 7 so zabeleženi količniki varnosti 4 m visokega nasipa v odvisnosti od dolžine krone nasipa. Dolžino krone bočnega nasipa smo povečevali za 2 m. Stabilnostna analiza je pokazala, da se zadosten količnik varnosti doseže pri 32 m dolgemu nasipu.

Preglednica 7: Odvisnost količnika varnosti od dolžine krone bočnega nasipa

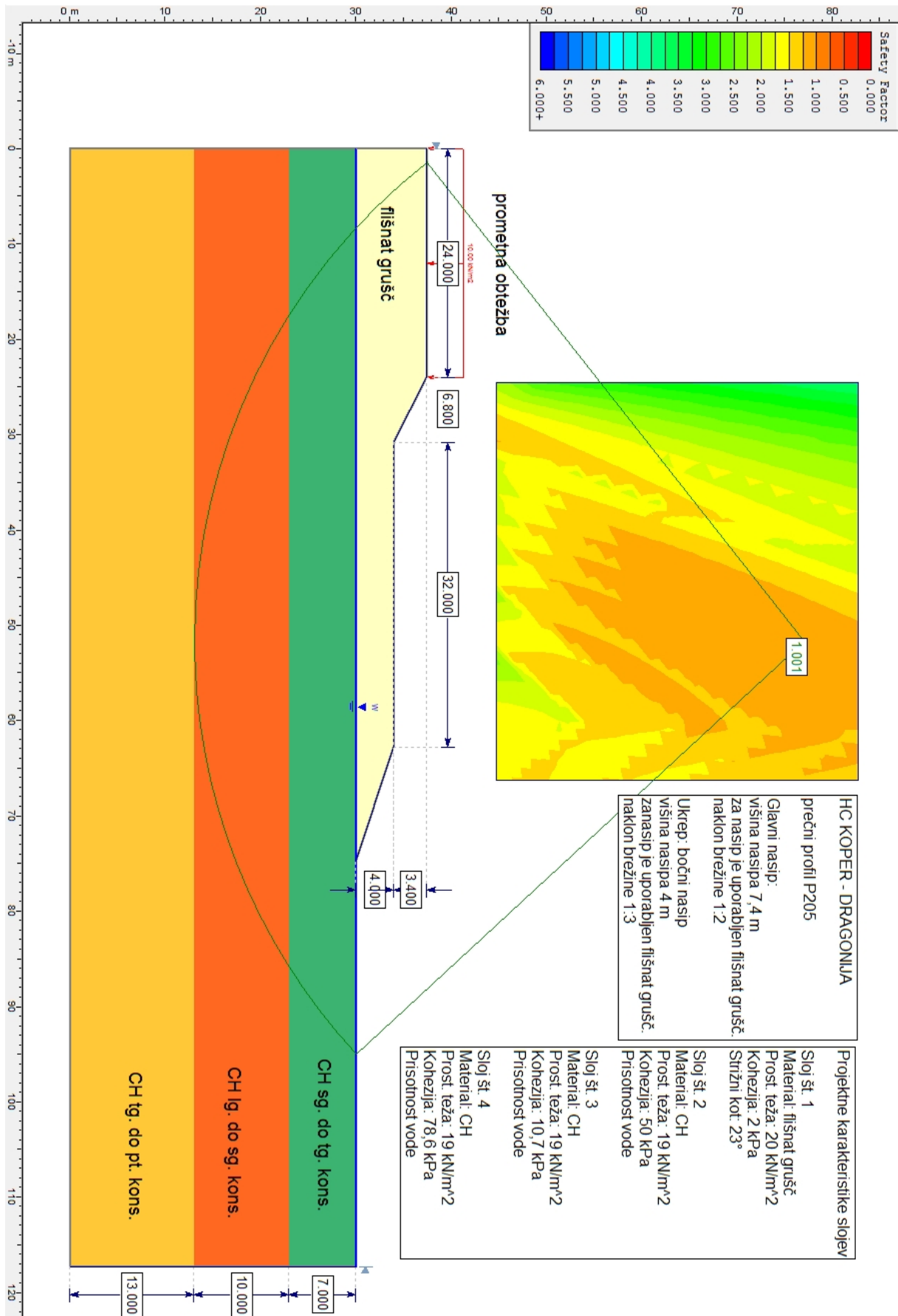
Dolžina krone nasipa [m]	24	26	28	30	32
Količnik varnosti	0,917	0,935	0,954	0,977	1,001

Odvisnost količnika varnosti od višine bočnega nasipa smo izračunali za 32 m dolg bočni nasip. V preglednici 8 so zabeleženi izračunani količniki varnosti. Pri 2 m in 3 m visokem bočnem nasipu ne bi dosegli zadovoljive stabilnosti temeljnih tal. Šele pri višini 4 m količnik varnosti zadostuje pogojem, ki jih predpisuje Evrokod 7. Z nadaljnjim višanjem nasipa je začel količnik varnosti upadati.

Preglednica 8: Odvisnost količnika varnosti od višine bočnega nasipa

Višina nasipa [m]	2	3	4	5	6
Količnik varnosti	0,991	0,991	1,001	0,987	0,949

Rezultati izvedenih analiz stabilnosti (slika 8) karakterističnega prereza nasipa z ukrepom 4 m visokim in 32 m dolgim bočnim nasipom so pokazali, da bi s tovrstnim ukrepom zagotovili stabilnost temeljnih tal. Potencialne drsne ploskve namreč kažejo še dopusten količnik varnosti $F = 1,001 > 1,0$.



Slika 8: Rezultati stabilnostne analize z ukrepom bočnega nasipa (P205)

7.3 Gruščnati koli

Kole, ki imajo obliko valja, sestavlja zgoščen gruščnat material. Zaradi obtežbe temeljnih tal z nasipom se gruščnati koli bočno deformirajo. Pri bočnem deformiranju se povečujejo radialne napetosti v zemljini, kar posledično omogoča prevzem večjih vertikalnih tlakov v gruščnatih kolid.

Medsebojna porazdelitev obtežbe, ki jo prevzamejo koli in zemljina, je odvisna od njune togosti in oddaljenosti vgrajenih gruščnatih kolov. Enakost posedanja gruščnatih kolov in okoliške zemljine je zagotovljena s togostjo nasipa. Posedki zemljine in gruščnatih kolov bodo enaki samo v primeru, da togost obtežbe presega togost zemljine in togost gruščnatih kolov.

Pri obremenitvi tal z večjimi obtežbami, kot so nasipi, izvedemo kole v določenem rastru do globine manj stisljivih slojev. Po globini temeljnih tal je razporeditev dodatnih vertikalnih napetosti zaradi obtežbe tal konstantna, bočne strižne napetosti pa so zanemarljive.

Gruščnate kole je primerno vgrajevati v mehke gline in rahle meljaste peske. Ustrezna nedrenirana strižna trdnost znaša od 15 kPa do 50 kPa.

Prednosti vgradnje gruščnatih kolov je prihranek denarja in časa, možna je sprotna kontrola kakovosti vgradnje in praviloma imajo ugoden okoljski vpliv. Njihova slaba stran pa je, da ne prevzamejo nateznih obremenitev in niso primerni za nekvalitetna tla in tla, ki so občutljiva na vibracije. [9,10,11]

7.3.1 Postopek izračuna

Izračun posedka temeljnih tal z vgradnjo gruščnatih kolov je potekal po postopku Priebeja. Pri tem veljajo predpostavke, da je gruščnati slop bolj tog od okoliških temeljnih tal in s tem prevzame večji delež obtežbe površja temeljnih tal. V gruščnatem slopu nastane zaradi obtežbe tal mejno osnosimetrično napetostno stanje glede na Mohr-Coulombov kriterij porušitve. Prostornina gruščnatega slopa ostane po posedku nespremenjena. Povečanje premera slopa je izračunano po teoriji elastičnosti. Delež obtežbe, ki odpade na gruščnati slop in okoliška temeljna tla, je odvisen od deformabilnosti okoliških tal, strižne odpornosti gruščča, od ravnovesnega pogoja in pogoja enakosti posedkov slopa in okoliških tal. [9,10]

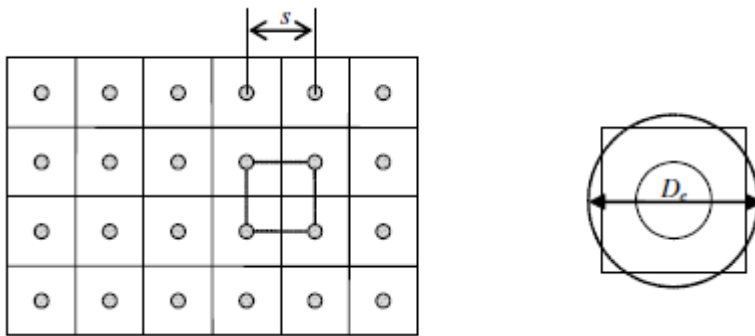
Sodelujoča površina A je površina tal, ki odpade na posamezen kol. Pri izračunih jo nadomestimo s površinsko ekvivalentnim krogom s premerom $D_e = 2R$.

Pri računski analizi smo privzeli kvadratni raster, zato velja:

$$D_e = 1,13 s,$$

kjer je

s ... medsebojna razdalja med gruščnatimi slopi.



Slika 9: Kvadratna tlorisna razporeditev gruščnatih kolov

Geometrijske količine:

$2r_c$... premer gruščnatega slopa

A_c ... prerez gruščnatega slopa

h_s ... dolžina gruščnatega slopa

A ... prerez valja v vplivnem območju

A_s ... prerez osnovne zemljine

A_R ... količnik nadomestitve

$2R$... vplivni premer gruščnatega slopa

Enačba za izračun količnika nadomestitve:

$$A_R = \frac{A_c}{A} = \left(\frac{r_c}{R}\right)^2$$

$$R = 0,565 s.$$

Razmerje η med deležem obtežbe, ki jo prevzamejo gruščnati koli in deležem obtežbe, ki jo prevzame zemljina je:

$$\eta = \frac{q_c}{q_s} = \frac{1 + 2f(v_s, A_R)}{2K_{ac}f(v_s, A_R)},$$

kjer je :

$$f(v_s, A_R) = \frac{(1 - v_s)(1 - A_R)}{1 - 2v_s + A_R}.$$

K_{ac} je količnik aktivnega pritiska za grušč v kolu:

$$K_{ac} = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi_c}{2} \right)$$

Količine obtežbe, ki jo prevzamejo gruščnati slopi in okoliška zemljina, dobimo z enačbama:

$$q_s = \frac{q}{1 + A_R(\eta - 1)}$$

in

$$q_c = \eta q_s$$

kjer je:

q ... obtežba temeljnih tal,

q_c ... obtežba, ki jo prevzame gruščnati sloj,

q_s ... obtežba, ki jo prevzame okoliška zemljina.

Posedek tal, izboljšanih z gruščnatimi koli izračunamo po enačbi:

$$\rho_z = \frac{q_s h_z}{E_{oed}}$$

Količnik redukcije posedka, ki podaja razmerje med posedkom izboljšanih tal ρ_z in posedkom neizboljšanih tal ρ_{z0} , je definiran kot:

$$\beta = \frac{\rho_z}{\rho_{z0}}$$

7.3.2 Rezultati izračuna

Glede na pogoje predhodne analize stabilnosti nasipa smo izbrali gruščnate kole z naslednjimi lastnostmi:

- premer 0,8 m
- modul stisljivosti $E_{oed,c}$ 20 MPa
- strižni kot φ_c 38°
- prostorninska teža γ_c 22 kN/m³

Za določitev medosne razdalje med gruščnatimi koli v kvadratnem rastru smo prvotno analizirali čas konsolidacije temeljnih tal z vgrajenimi gruščnatimi koli. Izbrali smo si izhodiščno razdaljo $s = 3,6$ m. Izkazalo se je, da se bo konsolidacija izvršila šele v 2 letih, kar pa ne ustreza zadanemu pogoju. Tako smo postopoma krajšali razdaljo med koli (preglednica 9). Konsolidacija bo zaključena v manj kot letu dni pri razdalji $s = 2,8$ m. Sledila je stabilnostna analiza. V primeru, da pri stabilnostni analizi ne bi dosegli dopustnega količnika varnosti, bi morali razdaljo med koli zmanjšati.

Preglednica 9: Odvisnost časa konsolidacije od medosne razdalje med gruščnatimi koli

Medosna razdalja med gruščnatimi koli [m]	3,6	3,4	3,2	3	2,8
Čas konsolidacije [let]	2	1,7	1,4	1,2	0,93

V nadaljevanju je prikazana analiza za medosno razdaljo med gruščnatimi koli v kvadratnem rastru $s = 2,8$ m.

a) Izračun posedkov in časa konsolidacije temeljnih tal z vgradnjo gruščnatih kolov

Preglednica 10: Izračunani parametri

Izračunani parametri:	
Količnik nadomestitve A_R	0,06
$f(v_s, A_R)$	1,91
K_{ac}	0,24
η	5,3
q_s	123,84
q_c	656,68
Posedek s koli:	0,88 m
β	0,82
Posedki so se zmanjšali za	18 %

Posedek tal z vgrajenimi gruščnatimi koli bi znašal 0,88 m. S tem bi dosegli zmanjšanje prvotnih posedkov za približno 18 %.

Izračun časovnega razvoja konsolidacije je potekal po enakem postopku, kot pri vgradnji vertikalnih drenaž.

Polmer vpliva drenaže znaša $R = 0,564s = 1,6$ m.

Razmerje polmerov $n = R/r_0 = 3,95$.

Parameter difuzijske enačbe za radialno konsolidacijo $\mu = 0,73$.

Povprečni koeficient konsolidacije $c_R = 1,44 \cdot 10^{-7}$.

Časovni faktor radialne konsolidacije $T_R = 0,42$.

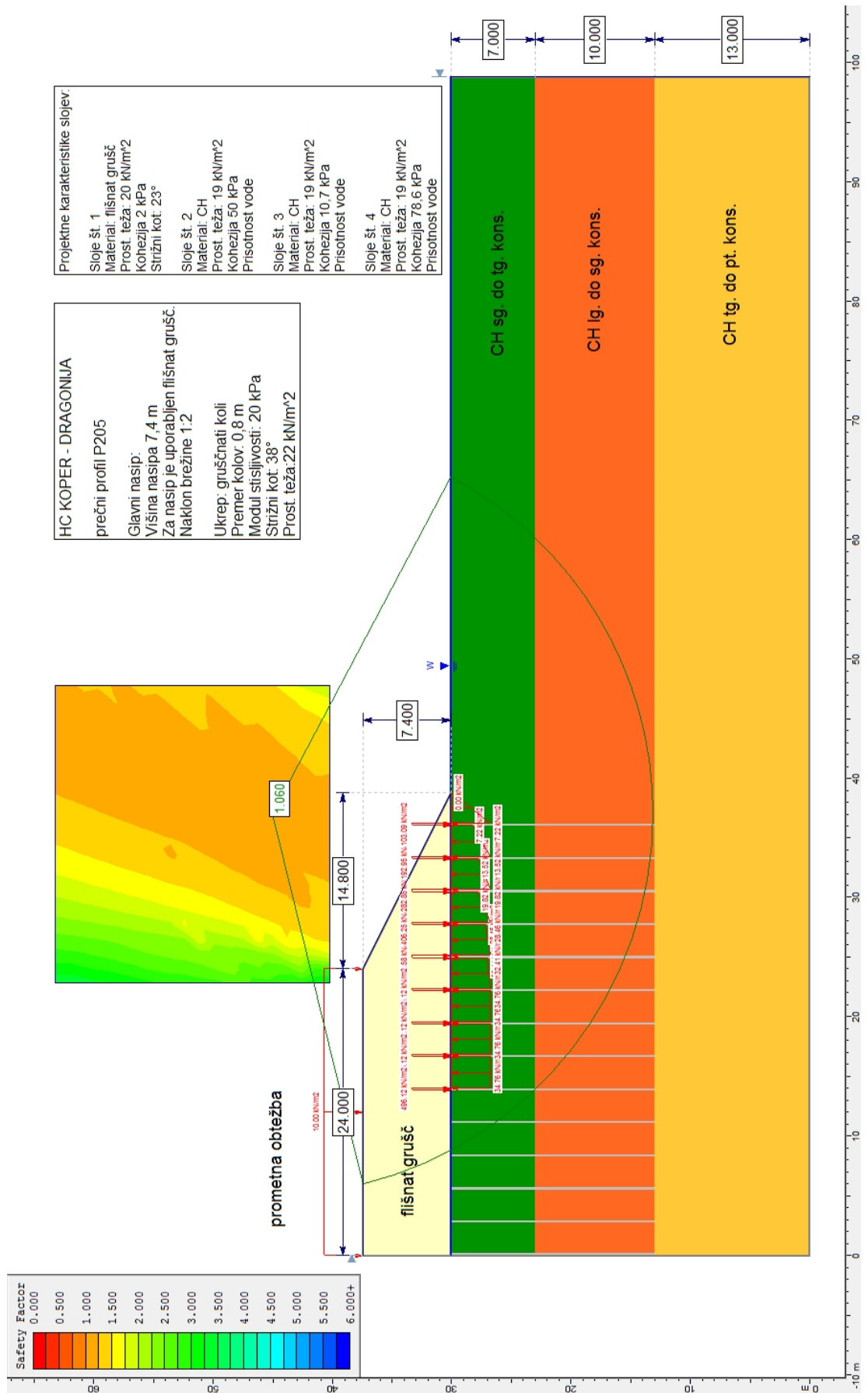
Celotna radialna konsolidacije bi se zaključila v 0,93 leta. Pri tem bi se izvršilo 14 % vertikalne konsolidacije. Z vgradnjo gruščnatih kolov, bi tako dosegli zelo pospešeno konsolidiranje tal.

b) Analiza stabilnosti temeljnih tal z vgradnjo gruščnatih kolov

Na sliki 10 je prikazana geometrija profila P205 z vgrajenimi gruščnatimi koli. Zabeležena je potencialna drsina z minimalnim faktorjem varnosti proti zdrs.

Iz analize stabilnosti karakterističnega prereza nasipa, pri katerem so v temeljna tla vgrajeni gruščnati koli, je razvidno, da bi s tovrstnim ukrepom zagotovili stabilnost temeljnih tal. Potencialne drsne ploskve namreč kažejo še dopusten količnik varnosti $F = 1,06 > 1,0$.

Z gruščnatimi koli bi povečali varnost temeljnih tal, saj bi deloma izboljšali povprečne strižne karakteristike tal. Vplivala bi tudi pospešena konsolidacija s čimer bi nedrenirana strižna trdnost tal pod nasipom hitro naraščala.



Slika 10 : Rezultati stabilnostne analize z gruščnatimi koli

8 PRIMERJAVA UKREPOV

V preglednici 11 so zapisane karakteristike posameznega ukrepa za izboljšanje temeljnih tal ter izračunani predvideni posedki, čas trajanja konsolidacije in količnik varnosti.

Preglednica 11: Karakteristike ukrepov za izboljšanje tal in izračunani parametri

Varianta:	Varianta 1		Varianta 2
Ukrep:	vertikalne drenaže	bočni nasip	gruščnati koli
Karakteristike:	drenaža širine 10 cm (polmer drenaže $r_0=3,3$ cm) kvadratni raster $a = 1,5$ m	višina $h = 4$ m širina $\check{s} = 32$ m naklon brežine 1 : 3 material flišnat grušč	premer kroga $2r = 80$ cm kvadratni raster $s = 2,8$ m $E_{oed,c} = 20$ MPa $\varphi_c = 38^\circ$ $\gamma_c = 22$ kN/m ³
Trajanje konsolidacije:	0,91 let		0,93 let
Posedek:	1,06 m		0,88 m
Količnik varnosti:	1,001		1,06

Z vgradnjo vertikalnih drenaž bi dosegli konsolidacijo temeljnih tal v 0,91 leta. V primeru izvedbe gruščnatih kolov, kateri imajo neprimerno večje sposobnosti dreniranja bi pri skoraj dva kart daljši stranici rastra dosegli konsolidiranje tal v približno enakem času, in sicer v 0,93 leta.

Za stabilnost temeljnih tal smo kot prvi možni ukrep dimenzionirali bočni nasip. Da bi dosegli zadostni količnik varnosti bi morala širina krone nasipa znašati 32 m. Zaradi tako dolge krone nasipa bi bil odkup dodatnih zemljišč zelo obsežen. V primeru gruščnatih kolov se zmanjša potreba po novih zemljiščih in posledično se zmanjša tudi poseg v okolico. Na odseku, kjer je predviden nasip so zemljišča namenjena kmetijski rabi. Zemljišča so uvrščena v prvo kategorijo kmetijskih zemljišč. To so zemljišča, ki so najprimernejša za kmetijsko rabo, na katerih je najširša možnost rabe tal, ki se kaže v možnosti gojenja kmetijskih rastlin, ki uspevajo pri nas, če lega tal omogoča uporabo ustrezne kmetijske mehanizacije.[13] Z izgradnjo bočnih nasipov bi morali tako vsaj začasno prekiniti kmetijsko dejavnost na tem območju.

Glede ekonomskega vidika posameznega ukrepa se v večini primerov izkaže ugodnejša kombinacija vertikalnih drenaž in bočnega nasipa, vendar bi morali za natančne vrednosti stroškov izvesti dodatne izračune, ki pa niso v okviru te diplomske naloge.

Z okoljskega vidika ima v nasprotju z izvedbo vertikalnih drenaž in bočnega nasipa vgradnja gruščnatih kolov več prednosti. Z izvedbo slednjega bi namreč bistveno zmanjšali vpliv v prostor, predvsem zaradi manjše potrebe po dodatnih zemljiščih in dosegli bi manjše končne posedke tal, ki se od prvotnih razlikujejo za 18 %.

9 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi sem dimenzionirala ukrepe za izboljšanje nosilnosti in stabilnosti mehkih temeljnih tal, pod nasipom HC Koper – Dragonja. Tla sestavljajo pretežno aluvialni nanosi. Pri obremenitvi temeljnih tal s 7,4 m visokim in 24 m širokim nasipom, bi se tla posedla za 1,39 m. Celoten proces konsolidacije bi se zaključil v 321 letih. Zaradi manjšega modula stisljivosti zemljine, bi se večji delež posedkov izvršil do globine 17 m. Velikost posedka tega sloja bi znašala 1,07 m, konsolidacija pa bi se končala v 127 letih. Ker bi se v prvem letu po izgradnji nasipa izvršilo manj, kot 20 % vseh posedkov, bi se v času gradnje in po sami izgradnji objekta teren še močno preoblikoval, kar bi lahko povzročilo poškodbe na objektu. Rezultati izvedenih analiz stabilnosti obravnavanega karakterističnega prereza nasipa so pokazali, da potencialne drsne ploskve, ki segajo do globine 17 m, izkazujejo nedopusten količnik varnosti $F = 0,725 < 1,0$.

Zaradi nestabilnosti temeljnih tal in predolgega časa trajanja konsolidacije so potrebni ukrepi za izboljšanje temeljni tal. Obravnavali smo dve kombinaciji ukrepov. Prva kombinacija je bila vgradnja vertikalnih drenaž in bočnega nasipa, druga pa vgradnja gruščnatih kolov.

1. Kombinacija ukrepov

Z vgradnjo vertikalnih drenaž bi pospešili konsolidacijo temeljnih tal. Predvideni so bili drenažni trakovi dimenzij 10 cm * 0,5 cm. S predpostavko, da bi se konsolidacija izvršila v manj kot letu dni, je bil določen kvadratni raster drenaž s stranico $a = 1,5$ m. S tem bi dosegli, da bi se v 0,91 leta zaključilo 99,1 % celotne konsolidacije. Posedek bi znašal 1,06 m. Temeljna tla bi se v letu dni konsolidirala do tega nivoja, da posedanje ne bi imelo negativnih vplivov na nadaljevanje gradnje cestne konstrukcije.

Bočni nasipi bi zagotovili ustrezno stabilnost nasipne brežine in temeljih tal, saj bi zmanjšali strižne napetosti in deformacije pod robom osnovnega nasipa. Za zagotovitev predpisane varnosti so potrebni bočni nasipi širine 32 m in višine 4 m, z naklonom brežine $n = 1 : 3$. Materialne karakteristike bočnega nasipa bi bile enake materialnim karakteristikam osnovnega nasipa. Stabilnostne analize karakterističnega prereza nasipa z ukrepom bočnega nasipa so pokazale, da potencialne drsne ploskve kažejo še dopusten količnik varnosti $F = 1,001 > 1,0$.

2. Kombinacija ukrepov

Gruščnati koli bi ugodno vplivali na stabilnost nasipa in temeljnih tal, pospešili bi posedanje in deloma zmanjšali posedke, hkrati pa bi odpadla potreba po odkupu dodatnih zemljiščih za bočne nasipe. Izbrali smo gruščnate kole s premerom 0,8 m. Predviden je bil kvadratni raster, pri čemer je bila medosna razdalja med gruščnatimi koli določena na 2,8 m. Temeljna tla bi se z vgrajenimi gruščnatimi koli posedla za 0,88 m. S tem bi zagotovili 99,1 % konsolidacije v 0,93 leta. Stabilnostna analiza je pokazala, da količnik varnosti $F = 1,06 > 1,0$.

Z izvedbo gruščnatih kolov bi v primerjavi z izvedbo vertikalnih drenaž in bočnega nasipa bistveno manj posegli v prostor. Pri obeh variantah bi se konsolidacija zaključila v manj kot letu dni, vendar bi z gruščnatimi koli hkrati dosegli tudi zmanjšanje posedkov temeljnih tal.

VIRI

- [1] Rijavec, B., Kraljič Kenk, M., Šenk, J. 2009. Geološko – geotehnični elaborat št. 8944/09 FAZA: IDP, Ljubljana, Geoinženiring d.o.o.
- [2] Majes, B. Napetosti v temeljnih tleh, FGG Ljubljana, študijsko gradivo <http://ucilnica.fgg.uni-lj.si/> (Pridobljeno 10. 3. 2014): str. 10-13, 52-54.
- [3] Oblak, R. 2006. Načrtovanje, gradnja in spremljava zemeljskih del pri gradnji prometnic – nasipi in vkopi. Magistrska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba R. Oblak): str. 46, 90-96, 98-99, 104-117.
- [4] Majes, B. Konsolidacija. Skripta. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Konstrukcijska smer: 40 str.
- [5] Logar J. Vpliv nasipov na temeljna tla, FGG Ljubljana, študijsko gradivo <http://ucilnica.fgg.uni-lj.si/> (Pridobljeno 10. 3. 2014).
- [6] Majes, B. Mejna napetostna stanja v temeljnih tleh – Stabilnostne analize. Skripta. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Konstrukcijska smer: str. 17, 40, 45-47.
- [7] Logar, J. Ukrepi za izboljšanje stabilnostnih razmer, FGG Ljubljana, študijsko gradivo <http://ucilnica.fgg.uni-lj.si/> (Pridobljeno 10. 3. 2014).
- [8] Majes, B. Konsolidacija, FGG Ljubljana, študijsko gradivo <http://ucilnica.fgg.uni-lj.si/> (Pridobljeno 10. 3. 2014).
- [9] Pulko, B. Vpliv gruščnatih kolov na posedke in strižno trdnost temeljnih tal pod cestnim nasipom.
<http://www.sloged.si/LinkClick.aspx?fileticket=VyFEOJQMgT4%3D&tabid=154>
(Pridobljeno 15.7.2014).
- [10] Logar, J. Gruščnati koli, FGG Ljubljana, študijsko gradivo <http://ucilnica.fgg.uni-lj.si/> (Pridobljeno 12. 5. 2014).
- [11] Majes, B. Gruščnati slopi, FGG Ljubljana, študijsko gradivo <http://ucilnica.fgg.uni-lj.si/> (Pridobljeno 12. 5. 2014).
- [12] SIST EN 1997-1. 2005. Evrokod 7: Geotehnično projektiranje – 1. del: Splošna pravila., Ljubljana, Slovenski inštitut za standardizacijo.
- [13] Zakon o kmetijskih zemljiščih (ZKZ). (25.10.1996). Uradni list RS, št. 59/1996.

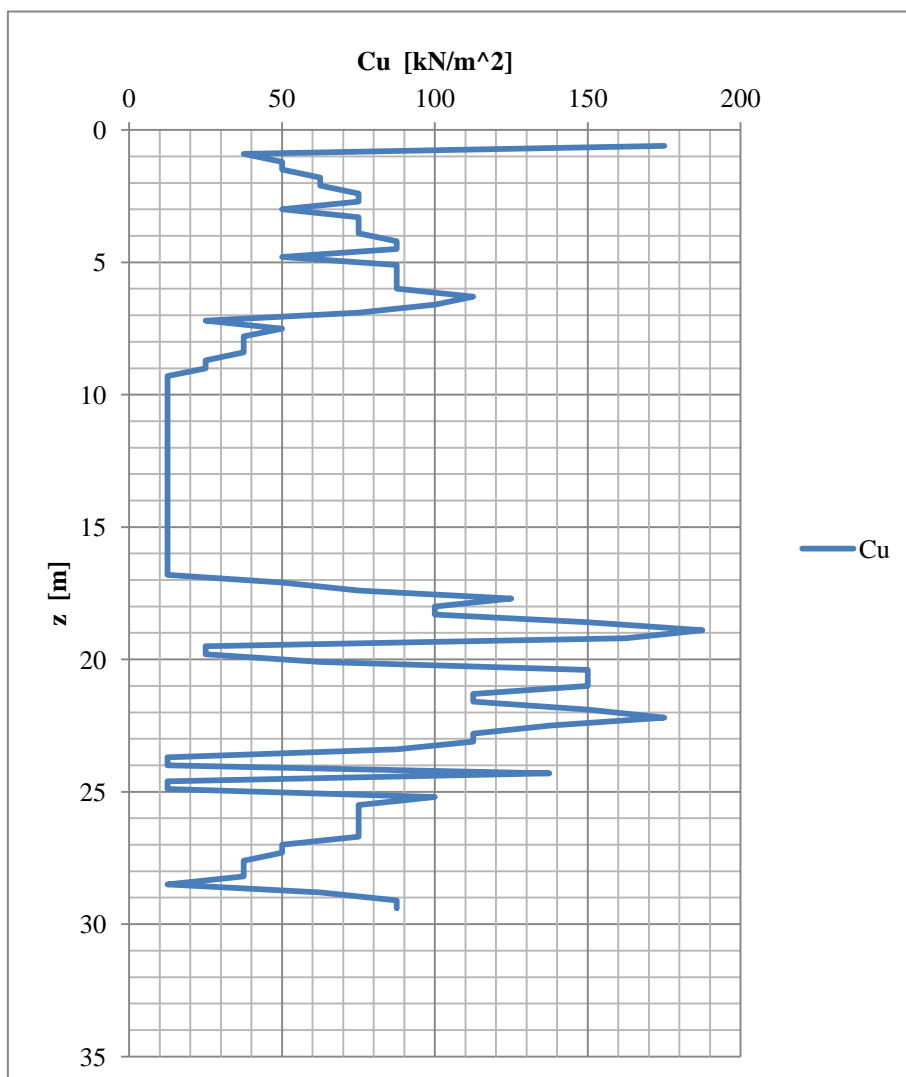
SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: REZULTATI DINAMIČNE PENETRACIJSKE SONDAŽE KDR-10 V
P208

PRILOGA B: GRAFIČEN PRIKAZ REZULTATOV LABORATORIJSKIH PREISKAV

Ta stran je namenoma prazna.

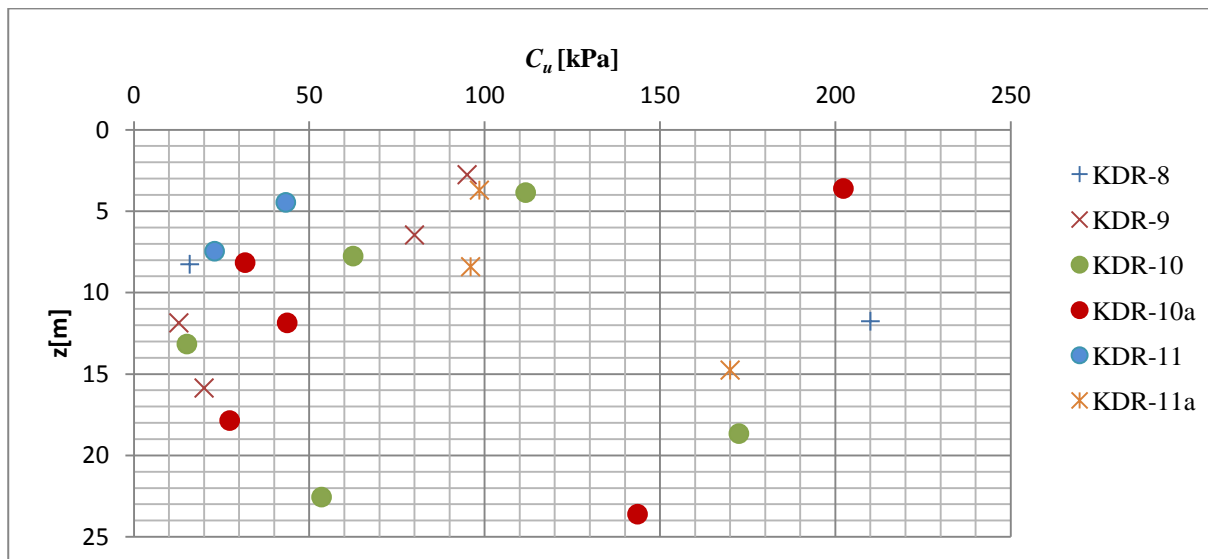
PRILOGA A: REZULTATI DINAMIČNE PENETRACIJSKE SONDAŽE KDR-10 V P208



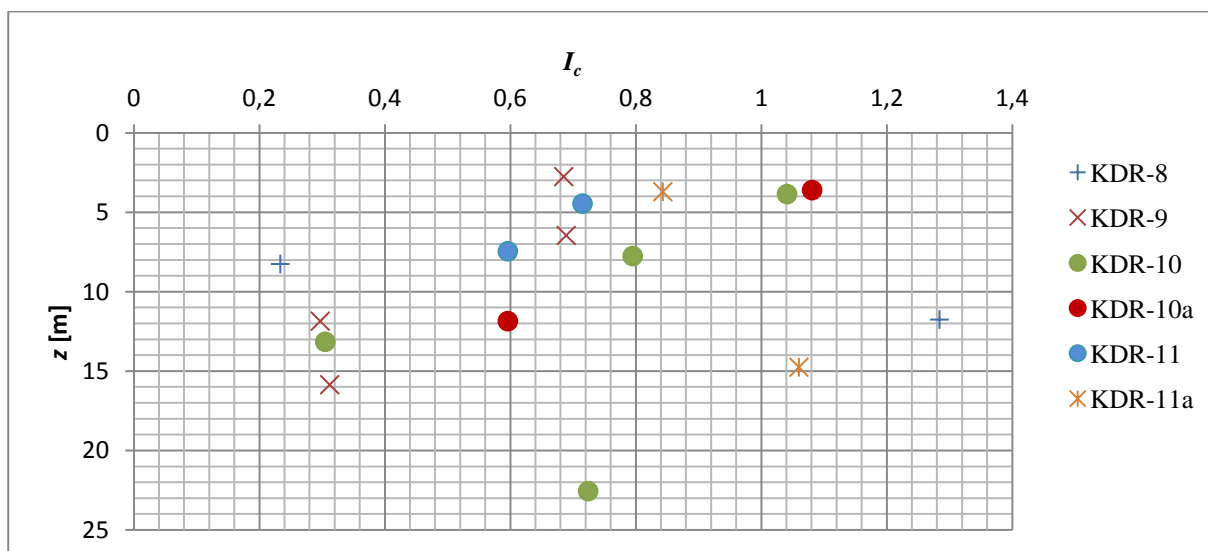
Grafikon A.1: Rezultati dinamične penetracijske sondaže KDR-10 v P208

PRILOGA B: GRAFIČEN PRIKAZ REZULTATOV LABORATORIJSKIH PREISKAV

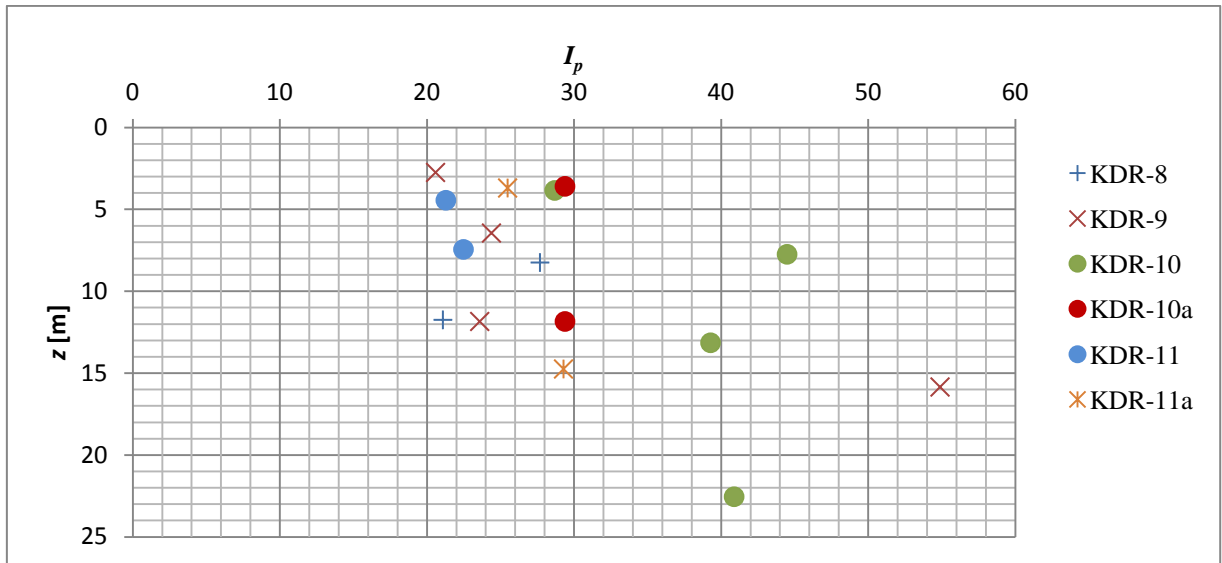
V prilogi so grafično prikazani rezultati laboratorijskih preiskav vzorcev iz raziskovalnih vrtin. S polnimi pikami so označeni rezultati vrtin, ki ležijo bližje obravnavanemu karakterističnemu profilu P205.



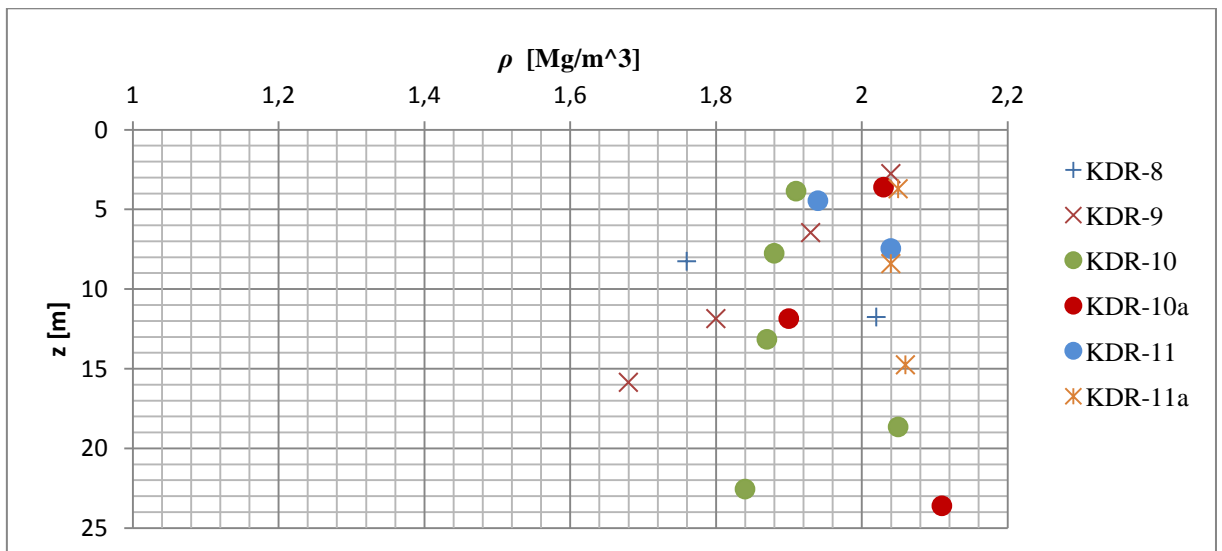
Grafikon B.1: Laboratorijsko izmerjene vrednosti nedrenirane strižne trdnosti



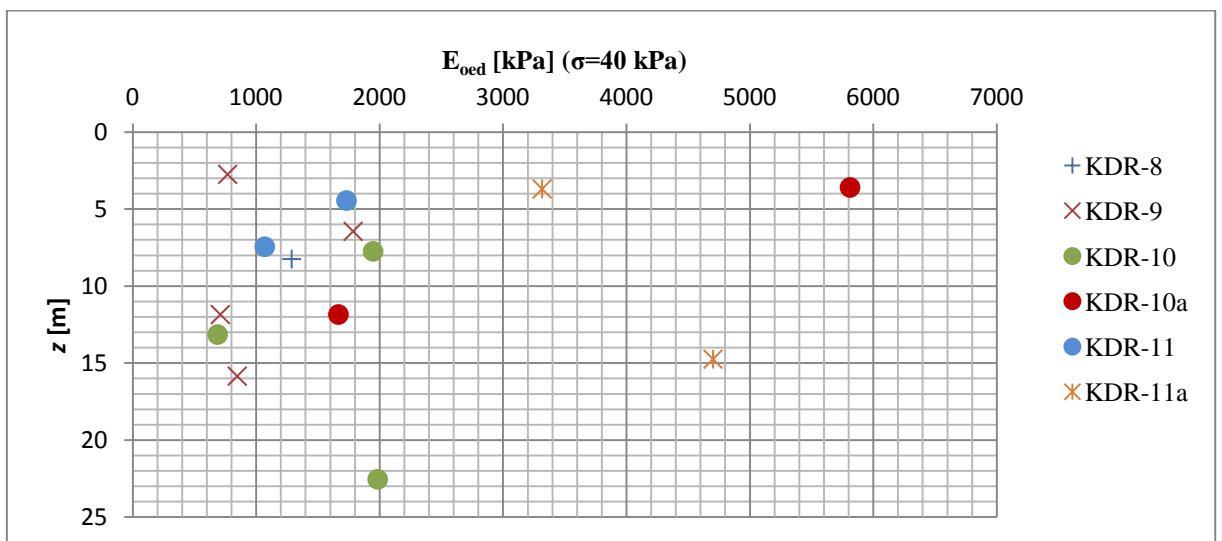
Grafikon B.2: Indeks konsistence



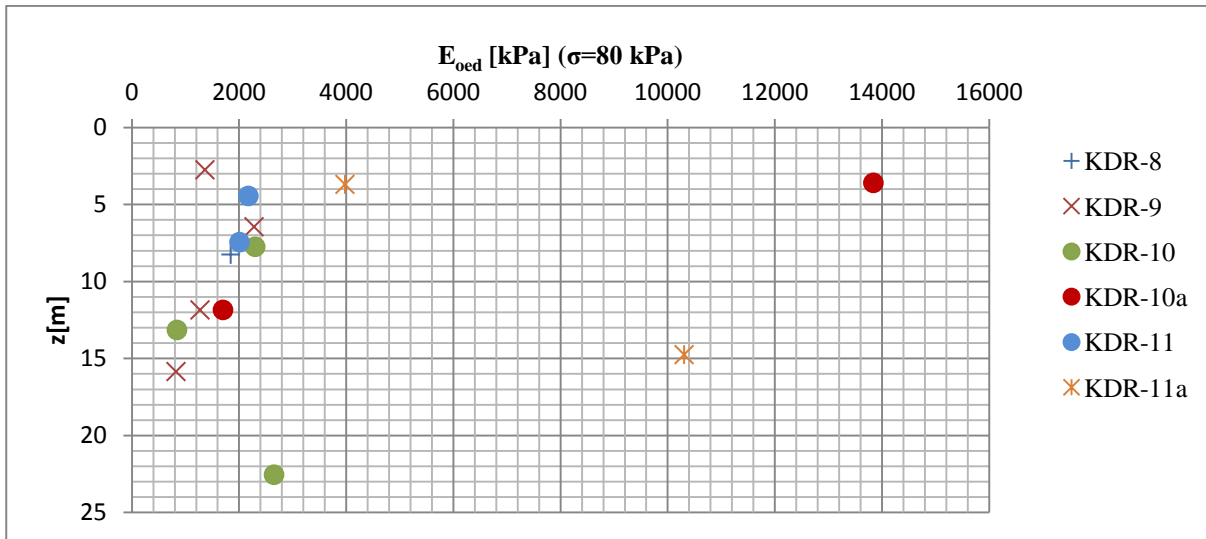
Grafikon B.3: Indeks plastičnosti



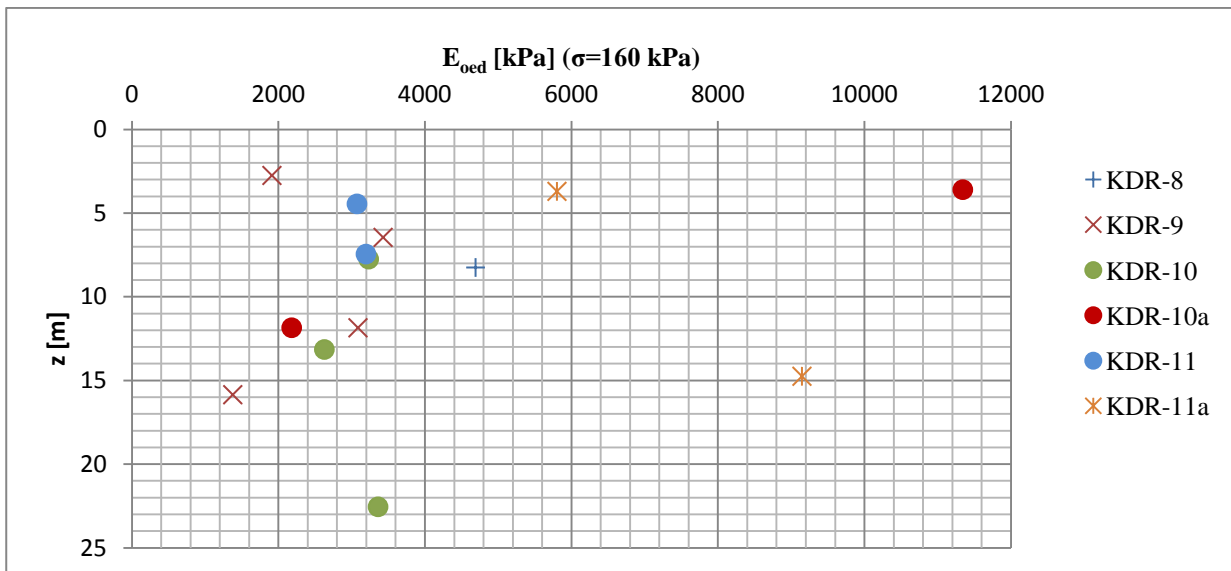
Grafikon B.4: Naravna gostota



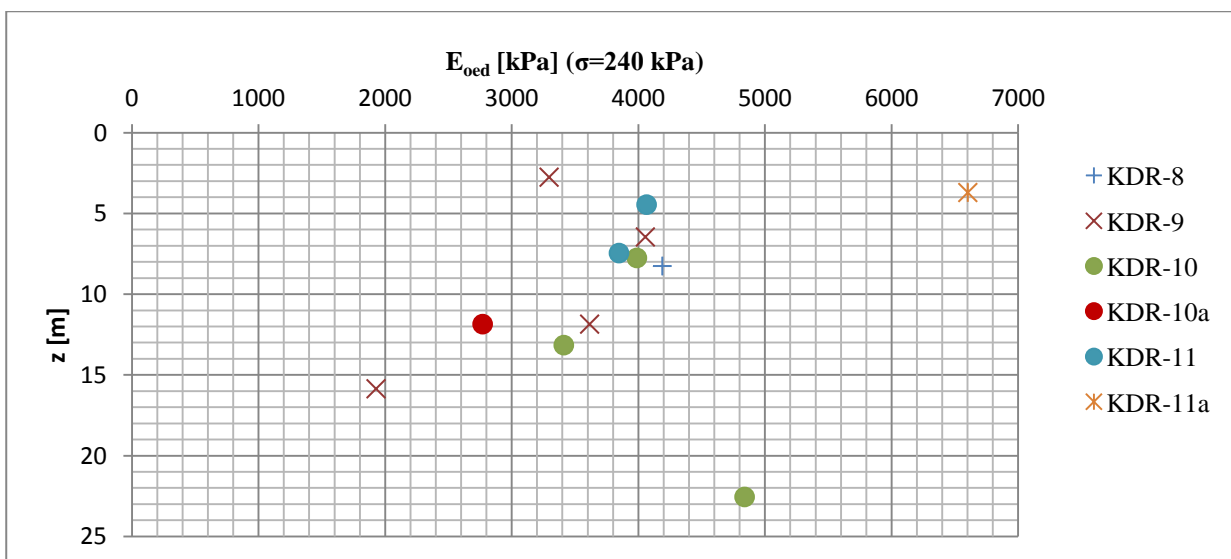
Grafikon B.5: Modul stisljivosti pri obremenitvi s 40 kPa



Grafikon B.6: Modul stisljivosti pri obremenitvi z 80 kPa



Grafikon B.7: Modul stisljivosti pri obremenitvi s 160 kPa



Grafikon B.8: Modul stisljivosti pri obremenitvi z 240 kPa