

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:

Rodman, G., 2013. Geotehnična analiza za projekt gradbene jame v Ljubljani. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Logar, J., somentor Pulko, B.): 34 str.

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:

Rodman, G., 2013. Geotehnična analiza za projekt gradbene jame v Ljubljani. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Logar, J., co-supervisor Pulko, B.): 34 pp.

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

PRVOSTOPENJSKI
ŠTUDIJSKI PROGRAM
GRADBENIŠTVO (UN)
GRADBENIŠTVO / PROMET

Kandidat:

GREGA RODMAN

GEOTEHNIČNA ANALIZA ZA PROJEKT GRADBENE JAME V LJUBLJANI

Diplomska naloga št.: 94/B-GR

GEOTECHNICAL ANALYSIS OF DEEP EXCAVATION

Graduation thesis No.: 94/B-GR

Mentor:

izr. prof. dr. Janko Logar

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

doc. dr. Boštjan Pulko

Ljubljana, 26. 09. 2013

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Grega Rodman izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom Geotehnična analiza za projekt gradbene jame v Ljubljani

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 9. 9. 2013

Podpis:

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 624.04:624.131(497.4Ljubljana)(043.2)
Avtor: Grega Rodman
Mentor: izr.prof. dr. Janko Logar
Somentor: doc. dr. Boštjan Pulko
Naslov: Geotehnična analiza za projekt gradbene jame v Ljubljani
Obseg in oprema: 34 str., 1 pregl., 14 sl.
Ključne besede: gradbena jama, konstrukcijska zasnova, statična analiza
Izvleček:

V diplomski nalogi sem obravnaval gradbeno jamo, ki se nahaja v Ljubljani v trikotniku med Glonarjevo ulico in železniški progo Ljubljana – Novo mesto. Globina gradbene jame je 6 m. Izvedel sem statično analizo gradbene jame. Gradbeno jamo sem si zamislil kot enkrat sidrano pilotno steno. Za račun zemeljskih pritiskov sem uporabil Rankinovo metodo. Preveril sem zemeljske pritiske v 3 značilnih profilih. Dimenzioniral sem tudi pilote in sidra. Preveril sem globalno stabilnost.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 624.04:624.131(497.4Ljubljana)(043.2)
Author: Grega Rodman
Supervisor: Assoc. Prof. Janko Logar, Ph. D.
Cosupervisor: Assist. Prof. Boštjan Pulko, Ph. D.
Title: Geotechnical analysis of construction pit in Ljubljana
Scope and tools: 34 p., 1 tab., 14 fig.
Key words: deep excavation, construction design, static analysis

Abstract:

In my thesis the design calculations were made for the excavation, which is located in Ljubljana between Glonarjeva street and railway track Ljubljana – Novo mesto. The depth of the excavation pit is approximately 6 m. The excavation pit is supported with bored pile wall and prestressed geotechnical anchors. For the calculation of lateral earth pressure the Rankine's theory was used. Three different profiles were analysed. Piles and anchors were dimensioned. The global stability was checked.

ZAHVALA

Na tem mestu bi se rad iskreno zahvalil mentorju izr. prof. dr. Janku Logarju za vso strokovno pomoč in vodenje pri diplomski nalogi.

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

KAZALO VSEBINE

IZJAVA O AVTORSTVU	2
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	3
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	4
1 UVOD	1
1.1 Splošno o gradbeni jami.....	1
1.2 Splošno o uporabljenih konstrukcijskih elementih	2
1.2.1 Piloti	2
1.2.2 Geotehnična sidra.....	3
2 TEORETIČNA IZHODIŠČA	4
2.1 Opis teoretičnega ozadja	4
2.2 Osnove geotehničnega projektiranja	4
2.2.1 Projektne zahteve	4
2.2.2 Projektiranje z računskimi analizami	5
2.2.3 Mejno stanje nosilnosti	7
2.2.4 Mejno stanje uporabnosti	8
2.3 Podporne konstrukcije – vpete stene.....	9
2.4 Sidra	11
3 GRADBENA JAMA POSLOVNO STANOVANJSKEGA OBJEKTA OB GLONARJEVI ULICI V LJUBLJANI	13
3.1 Opis gradbene jame.....	13
3.2 Geologija in geotehnični podatki	13
3.3 Geostatična analiza	15
3.3.1 Profil V-2	19
3.3.2 Profil V-3	22
3.3.3 Profil V-1	24
3.3.4 Winklerjev model.....	26
3.4 Dimenzioniranje.....	28
3.4.1 Piloti	28

3.4.2 Sidra.....	29
3.4.3 Sidrna greda.....	30
3.4.4 Globalna stabilnost	32
4 ZAKLJUČEK.....	33
VIRI.....	34

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Priporočene vrednosti delnih faktorjev za projektiranje podpornih konstrukcij skladno z Dodatkom A k Evrokodu 7-1 [1]	8
---	----------

KAZALO SLIK

Slika 1 – lokacija gradbene jame na zemljevidu [12]	13
Slika 2 – Situacija objekta z lokacijami vrtin [11]	14
Slika 3 – Skica 1 krat sidrane, podprte ali razprte podporne [5]	16
Slika 4 – Sidrana podporna konstrukcija v dvo slojnih tleh [5]	16
Slika 5 – Obremenitev temeljnih tal s pasovno obtežbo [6]	18
Slika 6 – Smeri dodatnih glavnih napetosti v temeljnih tleh zaradi pasovne obremenitve [6]	18
Slika 7 – aktivni in pasivni pritiski – profil v območju vrtine V 2	22
Slika 8 – aktivni in pasivni pritiski – profil v območju vrtine V 3	24
Slika 9 – aktivni in pasivni pritiski – profil v območju vrtine V 1	26
Slika 10 – aktivni pritiski, rezultante pasivnih pritiskov, vzmeti	27
Slika 11 – shema grede na elastični podlagi	31
Slika 12 – upogibni moment v sidrni gredi	31
Slika 13 – prečne sile v sidrni gredi	31
Slika 14 – globalna stabilnostna analiza profila V -2	32

1 UVOD

1.1 Splošno o gradbeni jami

Izkop gradbene jame je potreben za skoraj vsak gradbeni objekt. Izvedba gradbene jame je lahko preprosta, lahko pa je celo bolj zahtevna od izvedbe temeljev objekta ali samega objekta. Vse je odvisno od lastnosti tal, kjer bo stal objekt, in njegovih karakteristik.

Izvedba gradbene jame je odvisna:

- od globine temeljenja objekta,
- od globine (nivoja) talne vode,
- od vrste temeljnih tal,
- od lokacije gradbenega objekta. [5]

V temeljnih tleh je skoraj vedno prisotna voda. Nivo talne vode je lahko blizu površja tal, lahko pa je v globini, nižje od dna gradbene jame. Glede na pojav talne vode ločimo:

- suho gradbeno jamo,
- gradbeno jamo pod gladino podtalnice,
- gradbeno jamo v vodi.

Pri načrtovanju gradbenih jam je pomembno v kakšni vrsti tal bo izvedena gradbena jama. Ključne so tri karakteristične lastnosti tal: prepustnost, deformabilnost in trdnost zemljine. Te karakteristike skupaj z lokacijo oz. razpoložljivim prostorom pogojujejo na kakšen način bo izvedena gradbena jama. Najlažja je izvedba gradbene jame v primeru, ko za varovanje izkopnih brežin ni potrebna nobena začasna ali trajna podporna konstrukcija. Glede na naklon izkopnih brežin jame ločimo:

- gradbene jame s prostimi brežinami in
- gradbene jame, kjer so izkopne brežine podprte ali ojačane z različnimi konstrukcijami.

Če izvedemo gradbeno jamo s prostimi brežinami, moramo naklone brežin dokazati z ustreznimi stabilnostnimi analizami. Poleg globalne stabilnosti je potrebno zagotoviti tudi površinsko stabilnost brežin:

- obrizgi (cementni, bitumenski, brizgan beton),
- zaščite brežin z mrežami (pocinkane žice, naravni materiali, geotekstil, geomreže),
- vegetativna zaščita. [5]

Kadar moramo brežine gradbene jame varovati z gradbenimi konstrukcijami, je treba te konstrukcije ustrezno dimenzionirati.

Glede na razpoložljivi prostor v gradbeni jami podporne konstrukcije:

- podpiramo in/ali razpiramo
- sidramo.

Glede na značaj podporne konstrukcije ločimo:

- začasne podporne konstrukcije,
- trajne podporne konstrukcije (so del objekta).

Začasne podporne konstrukcije po zgraditvi objekta nimajo več podporne funkcije. Zemeljske pritiske okolice prevzame zasuti objekt.

Glede na pojav talne vode v zaledju gradbene jame ločimo podporne konstrukcije na:

- vodotesne,
- prepustne. [5]

1.2 Splošno o uporabljenih konstrukcijskih elementih

1.2.1 Piloti

Piloti okroglega in različno velikega prereza (od 30 do 150 cm) sestavljajo upogibno podporno konstrukcijo – pilotno steno. Uporablja se za varovanje globokih gradbenih jam ter v primerih, ko je zaradi potencialne nestabilnosti terena potrebno v tla najprej vgraditi nek konstrukcijski element in šele nato izvršiti izkop. Piloti so lahko nameščeni eden zraven drugega ali pa so razmaknjeni. Vmesni prostor med piloti lahko ostane po izkopu nezapolnjen ali pa se ga zapolni z betonom ali brizganim betonom. Pilotne stene se po potrebi tudi sidra, kar je odvisno od globine izkopa. Največja tehnična slabost takih konstrukcij je slaba izkoriščenost armature v okroglem prerezu. Zaradi izvedbe in morebitnih kasnejših dodatnih sider se priporoča simetrično armiranje pilotov. Če so koli nameščeni na medosni razdalji manjši od trikratnega premera pilotov, računamo tako steno kot kontinuirno (kot npr. diafragma). [4], [2]

Ločimo:

- pilotne stene s prekrivajočimi se koli,
- pilotne stene z dotikajočimi se koli,
- pilotne stene z razmaknjenimi koli.

1.2.2 Geotehnična sidra

Namen geotehničnih sider je:

- podpirati podporno konstrukcijo,
- zagotoviti stabilnost brežin, vkopov in predorov,
- prevzeti vzgonske sile na konstrukcije.

Kot trajna, ki morajo svojo funkcijo opravljati celotno predvideno življenjsko dobo sidranega objekta, imenujemo sidra, ki so:

- vgrajena v agresivno okolje,
- izpostavljena blodečemu toku,
- predvidena na življenjsko dobo več kot dve leti.

Ostala sidra, ki svojo funkcijo opravljajo le omejen čas (do dve leti), so lahko oblikovana kot začasna sidra. Za obe vrsti sider veljajo enake zahteve glede nosilnosti. Razlikujejo pa se zahteve pri oblikovanju protikorozijske zaščite.

Sidro je sestavljeno iz sidrne glave, ki drži kabel napet in prenaša vzpostavljeno silo s pramenov na zasidrani gradbeni objekt, prostega dela sidra, ki služi za prenos sile, ter veznega dela sidra preko katerega se natezna sila prenese v temeljna tla. [7]

2 TEORETIČNA IZHODIŠČA

2.1 Opis teoretičnega ozadja

Področje geotehničnega projektiranja je pokrito s standardom Evrokod 7. Sestavljata ga 2 dokumenta:

- Evrokod 7-1: SIST EN 1997-1:2005 – Evrokod 7: Geotehnično projektiranje – 1.del: Splošna pravila
- Evrokod 7-2: SIST EN 1997-2:2007 – Evrokod 7: Geotehnično projektiranje – 2.del: Preiskovanje in preiskovanje tal.

V Sloveniji je SIST izdal tudi nacionalni dodatek v Evrokodu 7-1 pod oznako:

- SIST EN 1997-1:2005/A101:2006 – Evrokod 7: Geotehnično projektiranje – 1.del: Splošna pravila – Nacionalni dodatek.

2.2 Osnove geotehničnega projektiranja

2.2.1 Projektne zahteve

Namen projektiranja je zagotoviti, da ni prekoračeno nobeno mejno stanje. Imamo 2 skupini mejnih stanj:

- mejna stanja nosilnosti (MSN),
- mejna stanja uporabnosti (MSU).

Mejno stanje nosilnosti je povezano z izgubo ravnotežja konstrukcije ali dela konstrukcije kot togega telesa, pretiranimi deformacijami, ki povzročijo odpoved konstrukcije ali njenega elementa. Mejno stanje uporabnosti predstavlja prekoračitev kriterijev vezanih na uporabnost konstrukcije. Ti kriteriji so lahko:

- deformacije,
- razpoke,
- vibracije,
- poškodbe nekonstrukcijskih elementov. [10]

Preveriti moramo, da ne pride do mejnih stanj:

- ki so posledica odpovedi tal,
- ki so posledica odpovedi konstrukcije,
- ki so posledica odpovedi konstrukcije zaradi prekomernih deformacij tal. [4]

2.2.2 Projektiranje z računskimi analizami

Čeprav projektiranje z računskimi analizami ni edini način geotehničnega projektiranja, bo to še vedno najbolj pogost način preverjanja mejnih stanj. Tak način projektiranja vključuje:

- določitev vplivov (sil ali vsiljenih pomikov),
- določitev geometrijskih podatkov,
- ugotovitev materialnih lastnosti tal in konstrukcij,
- izbiro mejnih vrednosti deformacij, širine razpok, vibracij,
- izbiro računskega modela za obravnavano mejno stanje, ki omogoča izračun učinka vpliva odpornosti in deformacije tal ter upošteva različna projektna stanja,
- dokaz, da pojav mejnega stanja ni mogoč. [10]

Evrokod 7 pri projektiranju na osnovi računskih analiz posebej opozarja, da sta poznavanje pogojev tal in kontrola izvedbe običajno pomembnejša za izpolnitev temeljnih zahtev kot pa natančnost računskih modelov ali delnih faktorjev.

Računski modeli so lahko:

- analitični modeli,
- empirična ali polempirična pravila,
- numerični modeli.

Pri računskih modelih, za katere je znano, da njihovi rezultati odstopajo od točnih rezultatov, zahtevajo uporabo dodatnih modelnih faktorjev γ_M .

Vplivi so definirane količine, ki jih ne izračunamo iz računskega modela. To so sile ali pomiki konstrukcije.

Projektne vrednosti vplivov F_d izračunamo po enačbi:

$$F_d = F_k \times \gamma_F,$$

kjer je:

F_k ... karakteristična vrednost vpliva,

γ_F ... delni varnostni faktor za obtežbo.

Velja načelo istega vira – za stalne vplive, ki izvirajo iz istega vira, pa čeprav lahko delujejo eni ugodno in drugi neugodno, se uporabi isti delni faktor. [10]

Lastnosti tal dobimo lahko neposredno iz geotehničnih preiskav, iz preiskav posredno preko teoretičnih ali empiričnih korelacij ali iz drugih ustreznih podatkov (npr. iz povratnih analiz meritev posevkov ali porušitev tal). Vrednosti, ki jih dobimo iz rezultatov preiskav in drugih podatkov, je treba interpretirati ustrezno glede na obravnavano mejno stanje. To npr. pomeni, da je vrednost strižnega kota tal lahko različna za preverjanje nosilnosti tal pod temeljem kot za preverjanje globalne stabilnosti vkopne brežine.

Karakteristično vrednost geotehničnega parametra izberemo kot varno oceno vrednosti, ki vpliva na pojav mejnega stanja. Izbira karakterističnih vrednosti geotehničnih parametrov mora temeljiti na dobljenih vrednostih iz laboratorijskih in terenskih preiskav, dopoljenih z uveljavljenimi izkušnjami in mora upoštevati:

- geološke in druge spremljajoče informacije, kot so podatki iz prejšnjih projektov,
- spremenljivost vrednosti merjene lastnosti in druge informacije, npr. iz obstoječega znanja,
- obsežnost terenskih in laboratorijskih preiskav,
- vrsto in število vzorcev,
- razsežnost območja tal, ki vpliva na obnašanje konstrukcije v obravnavanem mejnem stanju,
- zmožnost konstrukcije, da prenese obremenitev iz šibkih na trdnejša področja v tleh.

Postopek izbire karakterističnih vrednosti sestavljata dva koraka:

- izmera vrednosti mehanskih lastnosti,
- izbira karakteristične vrednosti kot varne (predvidene) ocene vrednosti, ki vpliva na obravnavano mejno stanje, vključujoč vse razpoložljive dodatne informacije.

Karakteristična vrednost je nižja (ali višja) od povprečne oziroma najbolj verjetne vrednosti. Za vsak izračun mora biti uporabljena najbolj neugodna kombinacija spodnjih in zgornjih vrednosti neodvisnih parametrov. [10]

Projektne vrednosti geotehničnih parametrov X_d izračunamo po enačbi:

$$X_d = \frac{X_k}{\gamma_M}$$

kjer je:

X_k ... karakteristična vrednost parametra,

γ_F ... delni varnostni faktor za karakteristike materiala.

2.2.3 Mejno stanje nosilnosti

Preveriti je potrebno, da projektne vrednosti učinkov vplivov E_d nikoli ne presežejo projektne nosilnosti oziroma projektne vrednosti odpornosti R_d . Veljati mora:

$$E_d \leq R_d,$$

kjer je:

E_d ...projektna vrednost učinka vpliva $E_d = E_k \times \gamma_E$,

R_d ...projektna vrednost odpornosti, $R_d = R_k \times \gamma_R$.

γ_E, γ_R ... delni faktorji varnosti.

Gornja enačba pomeni, da mora biti projektna vrednost učinka vplivov (E_d) manjša ali enaka projektne vrednosti odpornosti (R_d) za vsako analizirano mejno stanje posebej. [10]

Zaradi različnih možnosti uporabe delnih faktorjev varnosti Evrokod 7-1 omogoča tri različne metode za preverjanje geotehničnih mejnih stanj. Prikazani so v preglednici 1.

Projektni pristop	Vplivi ali učinki vplivov		Odpornost tal
	iz konstrukcije	iz tal	
DA 1	Komb. 1	$\gamma_G = 1,35; \gamma_{G,inf} = 1,00; \gamma_Q = 1,50$	$\gamma_\varphi = \gamma_c = \gamma_{cu} = 1,00; \gamma_R = 1,00$
	Komb. 2	$\gamma_G = 1,00; \gamma_Q = 1,30$	$\gamma_\varphi = \gamma_c = 1,25; \gamma_{cu} = 1,40; \gamma_R = 1,00$
DA 2	$\gamma_G = 1,35; \gamma_{G,inf} = 1,00; \gamma_Q = 1,50$		$\gamma_\varphi = \gamma_c = \gamma_{cu} = 1,00;$ $\gamma_{R,e} = \gamma_{R,v} = 1,40; \gamma_{R,h} = 1,10$
DA 3	$\gamma_G = 1,35; \gamma_{G,inf} = 1,00; \gamma_Q = 1,50$	$\gamma_\varphi = \gamma_c = 1,25; \gamma_{cu} = 1,40; \gamma_R = 1,00$	
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)		Varnost definiramo kot razmerje med razpoložljivo in aktivirano strižno trdnostjo: $\tau_{projektni} = \tau_{karakterist} / \gamma_\tau = \frac{c' + \sigma' \operatorname{tg} \varphi'}{\gamma_\tau}$ $\tau_{projektni} = \frac{c'}{\gamma_c} + \sigma' \frac{\operatorname{tg} \varphi'}{\gamma_\varphi} = c'_{projektni} + \sigma' \operatorname{tg} \varphi'_{projektni}$ $\varphi_d = \operatorname{arctg} \left(\frac{\operatorname{tg} \varphi}{\gamma_\varphi} \right), c_d = \frac{c}{\gamma_c}$	

Preglednica 1: Priporočene vrednosti delnih faktorjev za projektiranje podpornih konstrukcij skladno z Dodatkom A k Evrokodu 7-1 [1]

V Sloveniji se za geotehnično projektiranje uporablja projektni pristop 2 (DA 2), razen za preverjanje globalne stabilnosti, kjer se uporablja projektni pristop 3 (DA 3).

2.2.4 Mejno stanje uporabnosti

Preverimo z dokazom, da je učinek vseh vplivov manjši od sprejemljive velikosti iste količine (C_d):

$$E_d \leq C_d,$$

kjer je:

E_d ...projektna vrednost učinka vpliva (npr. pomik, zasuk),

C_d ...mejna projektna vrednost učinka vpliva (npr. mejni pomik, mejni zasuk).

Delni faktorji varnosti pri mejnem stanju uporabnosti so praviloma enaki 1,0. [3]

2.3 Podporne konstrukcije – vpete stene

Pri projektiranju podpornih konstrukcij razlikujemo naslednje tri glavne vrste:

- težnostne zidove,
- vpete stene,
- sestavljene podporne konstrukcije.

Osredotočili se bomo na vpete stene. To so tanke stene iz jekla, armiranega betona ali lesa. Podprte so s sidri, oporniki ali pasivnim zemeljskim pritiskom.

Pri vpetih stenah lahko pride do spodaj naštetih mejnih stanj:

- izguba globalne stabilnosti,
- porušitev konstrukcijskega elementa kot je stena, sidro, razpora ali porušitev na stikih med elementi,
- kombinirana porušitev v zemljini in konstrukcijskemu elementu,
- porušitev zaradi hidravličnega dviga in notranje erozije talne vode,
- premik podporne konstrukcije, ki lahko povzroči porušitev ali vpliva na izgled ali učinkovito rabo konstrukcije ter z njo podprtih sosednjih zgradb in infrastrukture,
- nesprejemljivo puščanje skozi steno ali pod njo,
- nesprejemljiv transport delcev zemljine skozi steno ali pod njo,
- nesprejemljiva sprememba režima podtalnice,
- porušitev zaradi rotacije ali premika stene ali njegovega dela,
- porušitev zaradi pomanjkanja vertikalnega ravnotežja. [10]

Pri projektiranju je potrebno upoštevati naslednje vplive:

- težo zalednega materiala,
- dodatne obtežbe (na primer bližnje objekte, mirujoča ali premikajoča se vozila, dvigala, deponije materiala, dobrin, zabojnikov, ki so nameščeni na ali v bližini površine podpirane zemljine),
- težo vode,
- sile zaradi valov ali ledu,
- sile strujanja vode,
- sile zaradi trčenja,
- učinke temperature.

Potrebno je upoštevati tudi naslednja projektna stanja:

- spreminjanje lastnosti zemljine, nivojev vode ter tlakov porne vode v prostoru,
- pričakovane spremembe lastnosti zemljine, nivojev vode ter tlakov porne vode s časom,
- spreminjanje vplivov in načinov, kako se vplivi kombinirajo, [10]
- izkope, zdrse, ali erozijo pred podporno konstrukcijo,
- učinke zgoščanja zemljine za podporno konstrukcijo,
- učinke predvidenih bodočih zgradb in dodatne obremenitve ali razbremenitve na ali v bližini podprtega materiala,
- pričakovane premike tal zaradi pogrezanja in zmrzovanja. [10]

Za mnoge podporne konstrukcije se upošteva, da nastopi kritično mejno stanje takrat, ko premiki zidu povzročijo poškodbe bližnjih objektov ali infrastrukture. Čeprav ne grozi neposredna porušitev zidu, lahko stopnja poškodb znatno preseže mejno stanje uporabnosti podprte konstrukcije.

Pri projektiranju podpornih konstrukcij je potrebno upoštevati tudi:

- učinke izgradnje zidu (priprava platojev, faznost del),
- zahtevano stopnjo vodoprepustnosti končanega zidu,
- izvedljivost izgradnje zidu do sloja nizke prepustnosti, tako da tvori bariero za vodo (tok podtalnice),
- izvedljivost geotehničnih sider v okolnih tleh,
- izvedljivost izkopavanja med razporami podpornih zidov,
- sposobnost zidu, da nosi vertikalno obremenitev,
- duktilnost konstrukcijskih elementov,
- dostopnost za vzdrževanje zidu in z njim povezanih drenažnih ukrepov,
- izgled ter trajnost zidu in vgrajenih sider,
- stabilnost vrtin in odprtih panelnih izkopov varovanih s težko izplako,
- lastnosti razpoložljivih zasipnih materialov in sredstev za njihovo zgoščanje neposredno za podporno konstrukcijo. [10]

2.4 Sidra

Možna mejna stanja za vgrajena sidra so:

- konstrukcijska porušitev pramen sidra ali sidrne glave, povzročena z vnesenimi napetostmi,
- deformacije ali korozija sidrne glave,
- porušitev na stiku med injekcijsko maso in tlemi (za injektirana sidra),
- porušitev na stiku med jeklenimi prameni in injekcijsko maso (za injektirana sidra),
- porušitev zaradi nezadostne odpornosti težnostnega bloka (za sidra vpeta v težnostni blok),
- izguba sidrne sile zaradi prevelikih pomikov sidrne glave ali zaradi lezenja in relaksacije,
- porušitev ali prevelike deformacije delov konstrukcije zaradi vnesenih sidrnih sil,
- izguba globalne stabilnosti podpiranih tal in podporne konstrukcije,
- interakcija skupin sider s tlemi in s sosednjimi konstrukcijami. [7]

Osnovna zahteva pri projektiranju na mejno stanje nosilnosti je podana z enačbo:

$$P_d \leq R_{a;d},$$

kjer je:

P_d ...projektna vrednost obremenitve sidra,

$R_{a;d}$... projektna vrednost odpornosti sidra na izvlek $R_{a;d} \leq \frac{R_{a;k}}{\gamma_a}$,

$R_{a;k}$... karakteristična odpornost sidra,

γ_a ... delni varnostni faktor, ki je pri sidrih 1,1.

Projektna vrednost notranje nosilnosti sidra pa mora izpolnjevati naslednji pogoj:

$$R_{a;d} \leq R_{t;d},$$

kjer je $R_{t;d}$ nosilnost materiala sider, ustrezno izračunana po standardih EN 1992, EN 1993 in EN 1537:1999.

Projektno vrednost sidrne sile P_d je potrebno določiti v skladu z izračunom podporne konstrukcije kot največjo izmed:

- sile določene z upoštevanjem mejnega stanja nosilnosti podpirane konstrukcije,

-
- sile določene z upoštevanjem mejnega stanja uporabnosti podpirane konstrukcije.

$$P_d = \text{Max} \begin{cases} P_d(MSN) \\ 1,35 P_{MSU} \\ 1,35 P_o \end{cases}$$

kjer je:

$P_d(MSN)$... projektna sila, izračunana na mejno stanje nosilnosti,

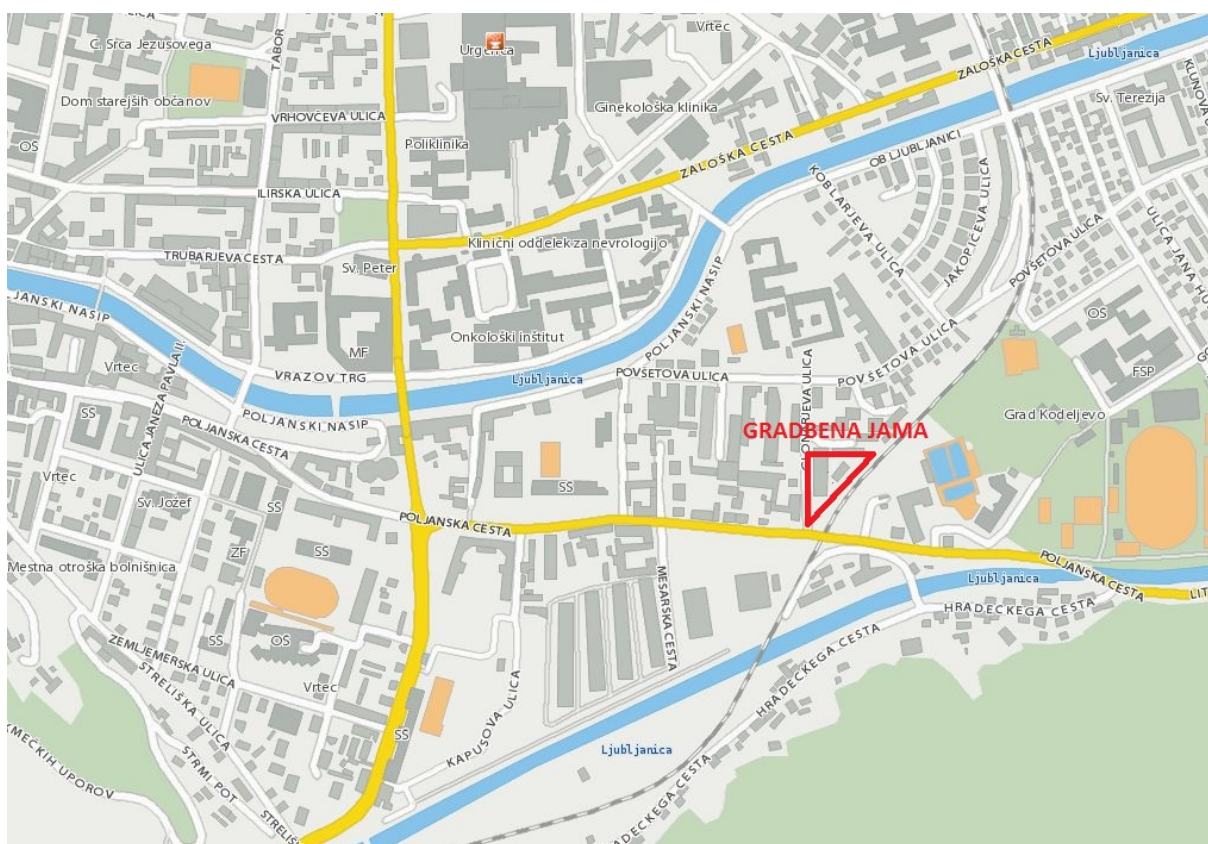
P_{MSU} ... projektna sila, izračunana na mejno stanje uporabnosti,

P_o ... sila zaklinjanja sider. [10]

3 GRADBENA JAMA POSLOVNO STANOVANJSKEGA OBJEKTA OB GLONARJEVI ULICI V LJUBLJANI

3.1 Opis gradbene jame

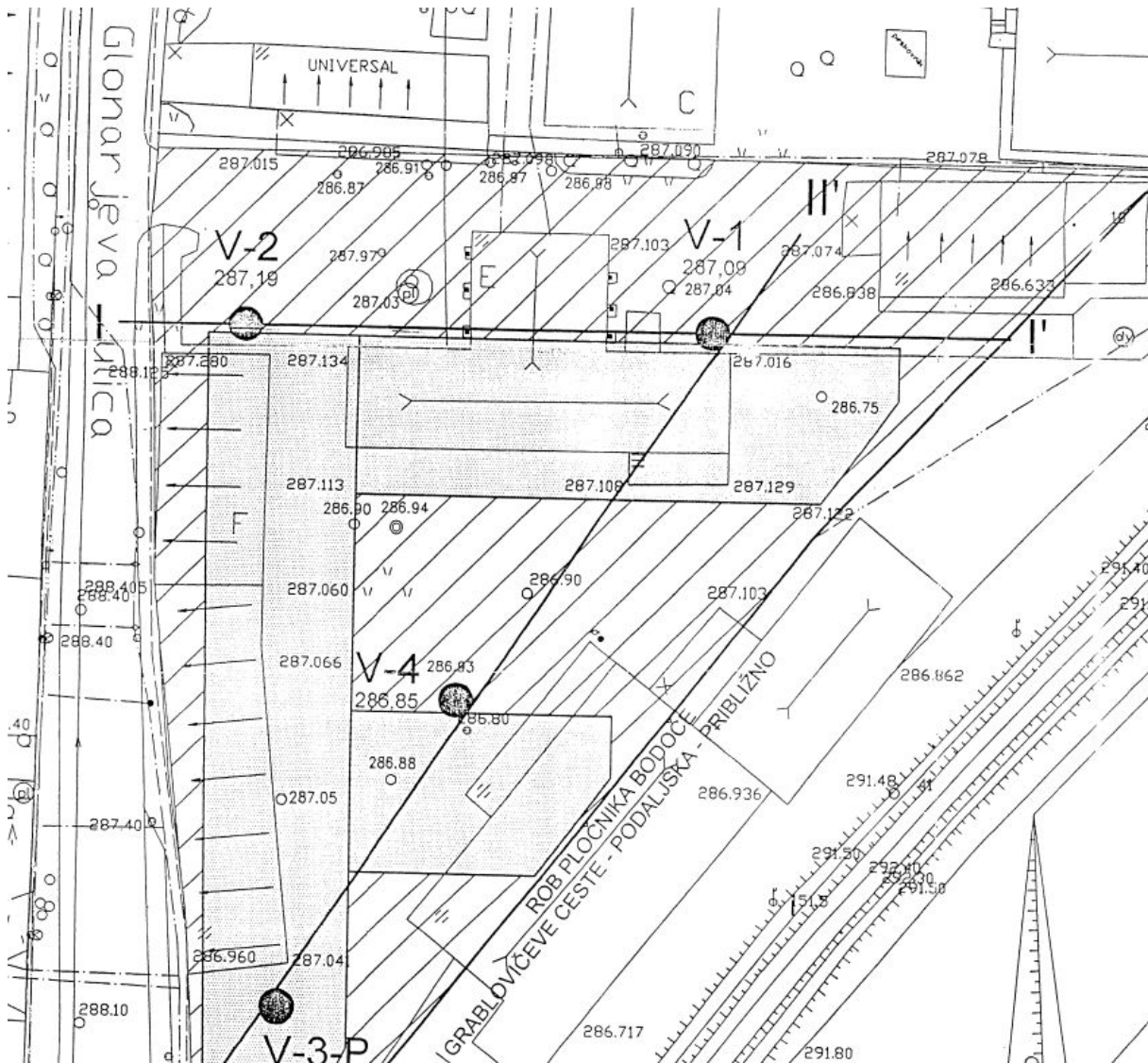
Gradbena jama se nahaja v trikotniku med Glonarjevo ulico in železniško progo Ljubljana – Novo mesto. Na tem prostoru je bila predvidena izgradnja stanovanjskih objektov višine P+4 z garažami v dveh kletih. Dno temeljev bo na približni koti 281,4 m, to je približno 6 metrov v obstoječ teren.



Slika 1 – lokacija gradbene jame na zemljevidu [12]

3.2 Geologija in geotehnični podatki

Vrtalna ekipa podjetja GEOT d.o.o. je na obravnavani lokaciji izvrtala 4 sondažne vrtnine globine po 15 m. Lega vrtnin je razvidna iz priložene situacije (Slika 2) .



Slika 2 – Situacija objekta z lokacijami vrtin [11]

Sondažne raziskave so pokazale sledečo sestavo tal:

Pod umetnim nasutjem, ki je najdebelejše na območju vrtine V_3 , so ugotovili v pretežni meri slabo do dobro vezan konglomerat in deloma meljast prod s plastmi konglomerata. Taka sestava tal je najmanj do globine 7,00 m. Od globine 7,00 m dalje se pojavljajo leče glinastega proda in lahko gnetne gline s prodniki. V vrtini V_2 so na globini 9,80 m do 12,00 m ugotovili lahko gnetno glino in meljast prod s peščenjakovimi prodniki. Očitno so to potočni nanosi z bližnjega Golovca. [11]

Vse ostale plasti pripadajo prodnemu in konglomeratnemu pleistocenskemu zasipu reke Save. Pod območjem z lečami glinastega proda je od globine 9,3 oziroma 11,4 m spet v pretežni meri meljast prod s plastmi konglomerata. Od globine 14,5 m dalje smo v vseh vrtinah ugotovili gost siv meljast prod. [11]

Talno vodo so v času vrtanja ugotovili na globini 9,6 m do 9,8 m pod površino terena.

Gostoto prodnatih plasti so ugotavljali s standardnimi penetracijskimi preiskavami. Iz rezultatov je vidno, da so meljasti prodi srednje gosti do zelo gosti. V vrtini V₁ so na globini 6,00 in 7,00 m naleteli na dobro vezan konglomerat, kjer so izmerili nizko penetrabilnost.

To pomeni dobro zlepljenost prodnih zrn. Na osnovi rezultatov penetracijskih preiskav in arhivskih laboratorijskih preiskav na podobnih zemljinah lahko za to področje podamo sledeče karakteristične vrednosti zemljin. [11]

Zemljina 1

umetno nasutje: $\gamma=20 \text{ kN/m}^3$, $c = 0$, $\varphi=32^\circ$

Zemljina 2

meljast prod z redkimi plastmi konglomerata: $\gamma=22 \text{ kN/m}^3$, $c = 0$, $\varphi=38^\circ$, $M_v=35000 \text{ kN/m}^2$

Zemljina 3

dobro do slabo vezan konglomerat: $\gamma=23 \text{ kN/m}^3$, $c = 20 \text{ kN/m}^2$, $\varphi=40^\circ$

Zemljina 4

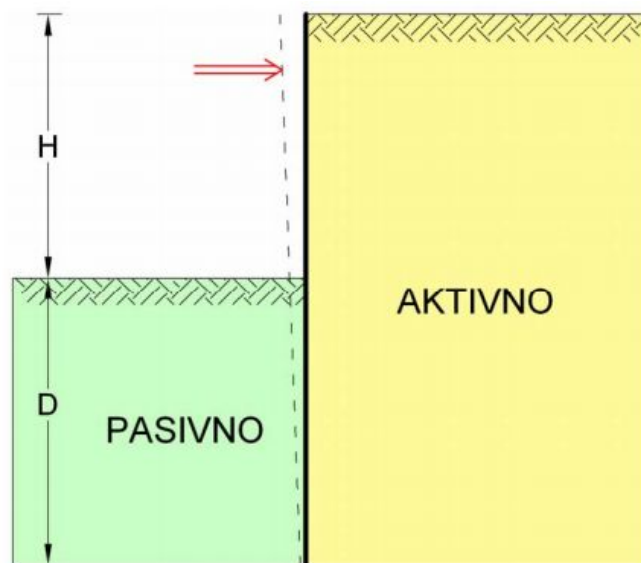
leče lahko gnetne glin s prodniki: $\gamma=19 \text{ kN/m}^3$, $c = 0$, $\varphi=22^\circ$, $M_v=3000-5000 \text{ kN/m}^2$

3.3 Geostatična analiza

Odločil sem se izvesti enkrat sidrano podporno konstrukcijo na način, ki smo ga obravnavali pri predmetu Geotehnika.

Računske predpostavke:

- podporna konstrukcija se odmakne od zaledja po vsej globini
- v zaledju delujejo na konstrukcijo aktivni zemeljski pritiski
- pod dnom gradbene jame, na zračni strani podporne konstrukcije, kjer se konstrukcija nasloni na temeljna tla, zemljina nudi pasivni odpor
- obstaja ena sama globina vpetja D podporne konstrukcije, kjer so v ravnovesju aktivni zemeljski pritiski (E_a), pasivni odpor (E_p) in sidrna sila (S_H)

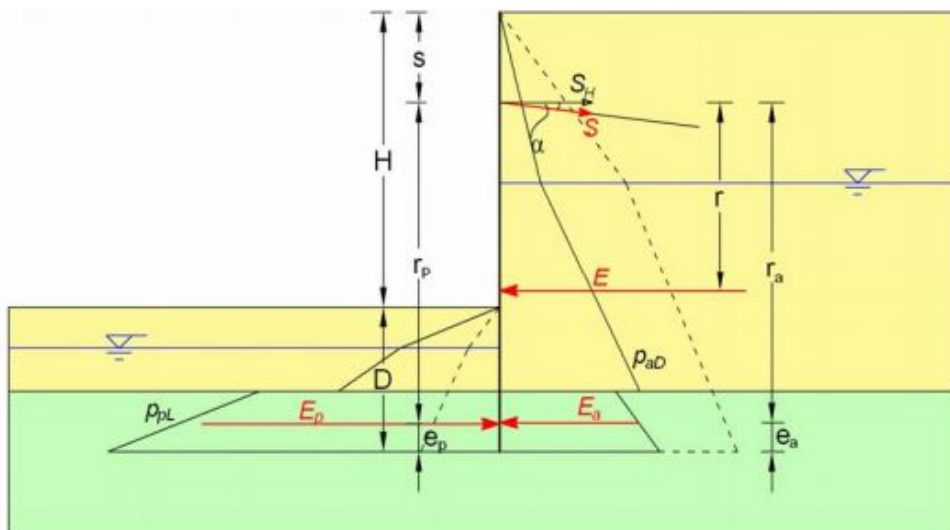


Slika 3 – Skica 1 krat sidrane, podprte ali razprte podporne [5]

Iz dveh ravnovesnih pogojev:

$$\sum X = 0 \text{ in } \sum M = 0$$

lahko izračunamo dve neznani količini; globino vpetja D in sidrno silo S . Sledi račun prečnih sil in upogibnih momentov v konstrukciji ter dimenzioniranje kritičnih prerezov.



Slika 4 – Sidrana podporna konstrukcija v dvo slojnih tleh [5]

Z vpeljavo projektnih vplivov s karakterističnimi trdnostnimi lastnostmi tal je izveden račun zemeljskih pritiskov mejnih stanj po metodi Rankina. Za obravnavan računski primer, kjer je pobočnica zaledja vodoravna, podporna konstrukcija pa navpična, velja:

$$k_a = tg^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)$$
$$k_p = tg^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)$$

Karakteristična vrednost aktivnega efektivnega pritiska, ki se pojavi na mestih, kjer se konstrukcije odmakne od zaledja, je enaka:

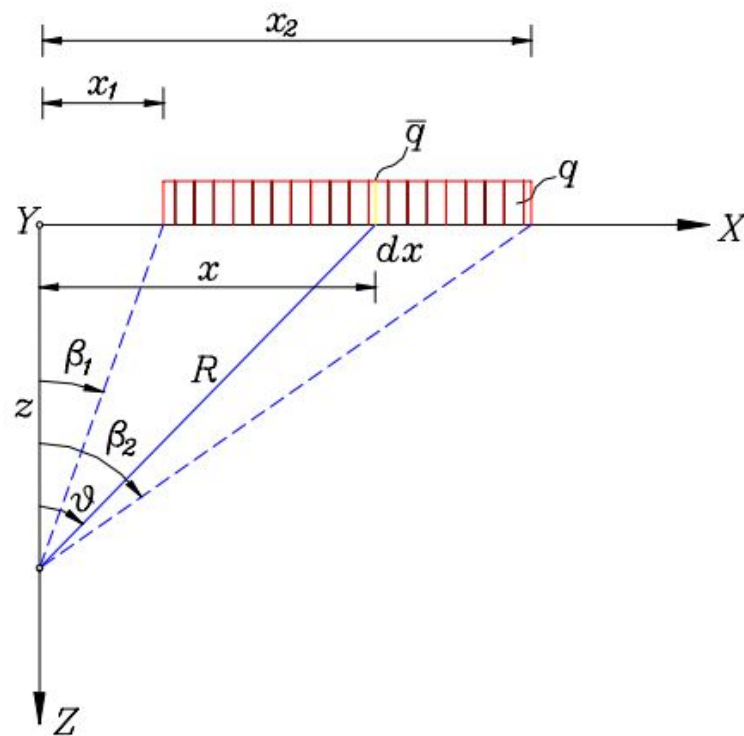
$$p_a = \sigma' k_a - 2c \sqrt{k_a}$$

Vrednost karakterističnega efektivnega pasivnega pritiska, ki se pojavi na mestih, kjer se konstrukcija primakne k zaledju, je:

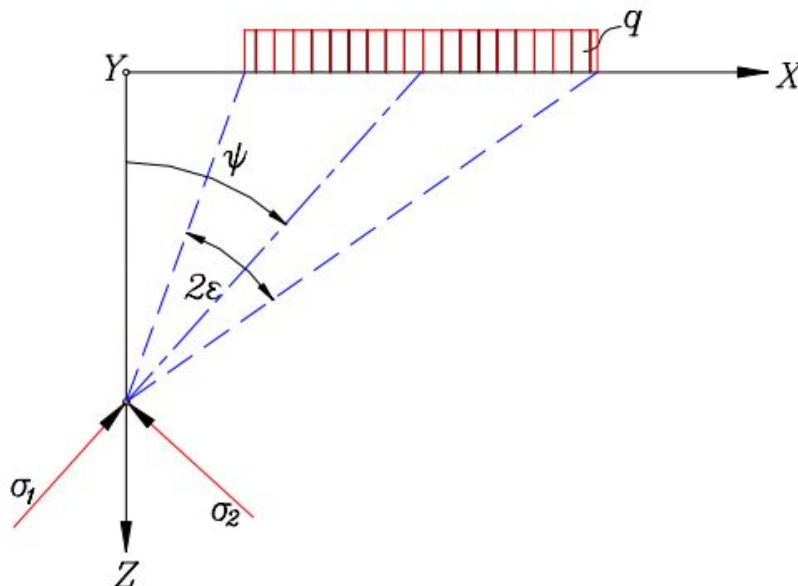
$$p_p = \sigma' k_p + 2c \sqrt{k_p}$$

Dodatne napetosti v temeljnih tleh zaradi obtežbe objekta so računane z modelom končne trakaste tlorisne oblike. Dodatne napetosti so izračunane po enačbi:

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



Slika 5 – Obremenitev temeljnih tal s pasovno obtežbo [6]



Slika 6 – Smeri dodatnih glavnih napetosti v temeljnih tleh zaradi pasovne obremenitve [6]

Vsota momentov na prijemašče sile sidra:

$$\sum M^* = -E e^* + M_L^* = 0$$

$$M_L^* = \frac{A D^3}{3} + (A(H-s) - p_{inL}) \frac{D^2}{2} - (H-s)p_{inL}D$$

$$A = \gamma \left(\frac{k_p}{\gamma_R} - \gamma_E k_a \right)$$

$$e^* = e - s$$

Ravnotežni pogoj $\sum X=0$:

$$F_{SH} = E - \frac{A D^2}{2} + p_{inL}D$$

$$F_S = \frac{F_{SH}}{\cos \alpha}$$

3.3.1 Profil V-2

Najprej bomo obravnavali prečni profil V-2. Karakteristični prečni profil V – 2 je v Prilogi E.

Zemljina 1

umetno nasutje: $\gamma=20 \text{ kN/m}^3$, $c = 0$, $\varphi=32^\circ$

Zemljina 2

meljast prod z redkimi plastmi konglomerata: $\gamma=22 \text{ kN/m}^3$, $c = 0$, $\varphi=38^\circ$, $M_v=35000 \text{ kN/m}^2$

Zemljina 3

dobro do slabo vezan konglomerat: $\gamma=23 \text{ kN/m}^3$, $c = 20 \text{ kN/m}^2$, $\varphi=40^\circ$

$$k_a = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$k_{a1} = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{32^\circ}{2} \right) = 0,3073$$

$$k_{a2} = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{38^\circ}{2} \right) = 0,2379$$

$$k_{a3} = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{40^\circ}{2} \right) = 0,2174$$

Profil V-2 je tik ob Glonarjevi ulici, tako da bomo upoštevali dodatno obtežbo ulice in dodatno obtežbo hiš. Za obtežbo hiš smo izbrali trakasto obtežbo $q=50 \text{ kN/m}^2$ širine 20 m na oddaljenosti 3 m, cesto pa smo modelirali v skladu s členom 3.2.1.2. Smernic in predpisov za cestne gradnje in sicer $q=15 \text{ kN/m}^2$ na oddaljenosti 5m.

Izračunamo dodatne vrednosti navpičnih napetosti v osi obravnavanega profila. Dodatne vrednosti navpičnih napetosti zaradi dodatnih obtežb prištejemo prvotnim napetostim. Projektiramo v skladu s projektnim pristopom 2, ki se v Sloveniji uporablja za geotehnično projektiranje. Tako je delni faktor za neugodni stalni vpliv $\gamma_g=1,35$, delni faktor za ugodni stalni vpliv $\gamma_{G, inf}=1,0$, delni faktor za spremenljivi vpliv $\gamma_Q=1,5$, delni faktor za pasivni zemeljski pritisk (odpornost zemljine) $\gamma_{R,e}=1,4$.

Račun zemeljskih pritiskov, rezultat:

Vpliv Glonarjeve ulice:

z(m)	β_1	β_2	2ε	2ψ	$\sin(2\varepsilon)$	$\cos(2\psi)$	$\Delta\sigma_v$
0	$\pi/2$	$\pi/2$	0	π	0	1	0
1,5	1,27	1,43	0,15	2,71	0,15	-0,91	0,06
1,5	1,27	1,43	0,15	2,71	0,15	-0,91	0,06
5,4	0,74	1,11	0,36	1,86	0,35	-0,28	1,26
5,4	0,74	1,11	0,36	1,86	0,35	-0,28	1,26
5,8	0,71	1,08	0,37	1,79	0,365	-0,22	1,394

Vpliv hiš:

z(m)	β_1	β_2	2ε	2ψ	$\sin(2\varepsilon)$	$\cos(2\psi)$	$\Delta\sigma_v$
0	$\pi/2$	$\pi/2$	0	π	0	1	0
1,50	1,11	1,51	0,40	2,61	0,39	-0,86	1,01
1,50	1,11	1,51	0,40	2,61	0,39	-0,86	1,01
5,40	0,51	1,34	0,83	1,85	0,74	-0,27	10,04
5,40	0,51	1,34	0,83	1,85	0,74	-0,27	10,04
5,80	0,48	1,32	0,85	1,80	0,75	-0,23	10,75

z(m)	σ_{zz} (kPa)	σ_{zz} (kPa)	p_a (kPa)	p_a (kPa)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,50	30+1,01+0,07	31,08	31,07*0,3073*1,35	12,89
1,50	30+1,01+0,07	31,08	31,08*0,2379*1,35	9,98
5,40	115,8+10,04+1,26	127,11	127,11*0,2379*1,35	40,82
5,40	115,8+10,04+1,26	127,11	(127,11*0,2174-2*10*sqrt(0,2174))*1,35	24,72
5,80	125+10,75+1,39	137,15	(137,15*0,2174-2*10*sqrt(0,2174))*1,35	27,66

$E_1=$	9,66 kN/m	$e_1=$	1 m
$E_2=$	99,07 kN/m	$e_2=$	3,85 m
$E_3=$	10,48 kN/m	$e_3=$	5,60 m
$E=$	119,21 kN/m	$e=$	3,77 m

$s=$	1,5 m
$A=$	68,79 kN/m ³
$p_{inL}=$	27,66 kPa
$H=$	5,8 m

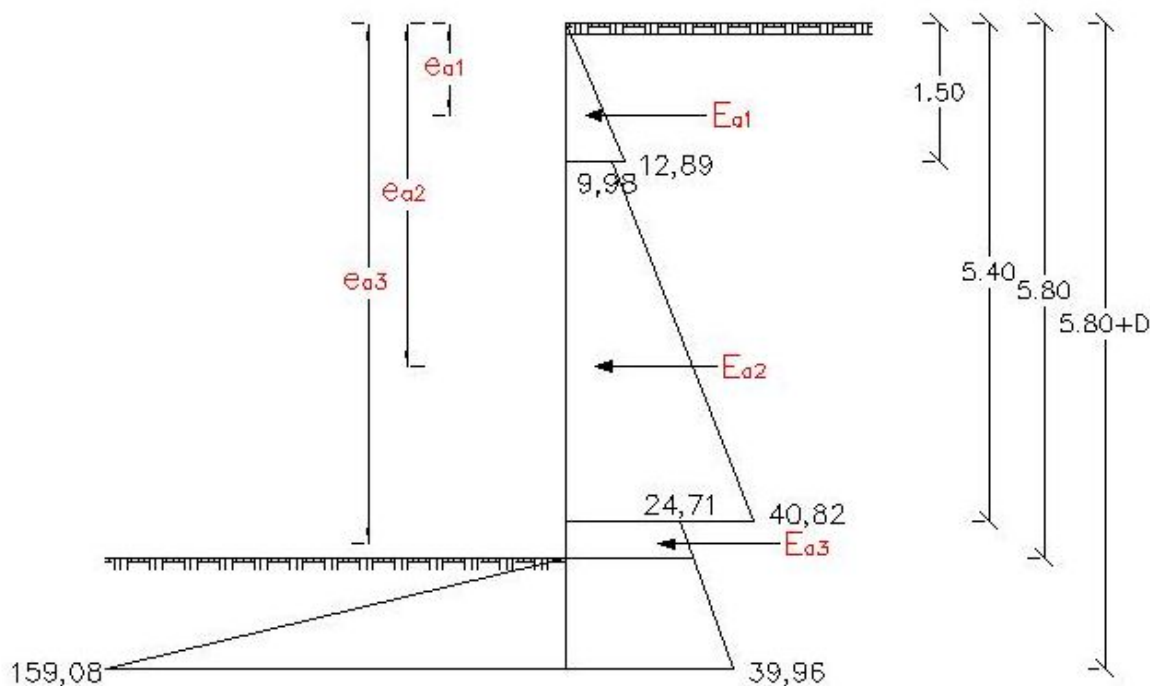
$e^*=$	2,26 m
$D=$	1,7 m
$M_L^*=$	270,43 kNm/m

$F_{SH}=$	72 kN/m
-----------------------------	----------------

Račun zemeljskih pritiskov na globini vpetja:

$$p_a(z = 7,5m) = (179,05 * 0,2174 - 2 * 10 * \sqrt{0,2174}) * 1,35 = 39,96 \text{ kPa}$$

$$p_p(z = 1,7m) = \frac{(39,1 * 4,599 + 2 * 10 * \sqrt{4,599})}{1,4} = 159,8 \text{ kPa}$$



Slika 7 – aktivni in pasivni pritiski – profil v območju vrtine V 2

3.3.2 Profil V-3

Profil V-3 je najjužnejši profil gradbene jame. Glonarjeva ulica je oddaljena 5 m, železnica pa je na taki oddaljenosti, da ne vpliva na potek vertikalnih napetosti.

Računski model tal je v Prilogi F.

Zemljina 1

umetno nasutje: $\gamma=20 \text{ kN/m}^3$, $c = 0$, $\varphi= 32^\circ$

Zemljina 2

meljast prod z redkimi plastmi konglomerata: $\gamma=22 \text{ kN/m}^3$, $c = 0$, $\varphi=38^\circ$, $M_v=35000 \text{ kN/m}^2$

Zemljina 3

dobro do slabo vezan konglomerat: $\gamma=23 \text{ kN/m}^3$, $c = 20 \text{ kN/m}^2$, $\varphi= 40^\circ$

$$k_a = tg^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$k_{a1} = tg^2 \left(45^\circ - \frac{32^\circ}{2} \right) = 0,3073$$

$$k_{a3} = tg^2 \left(45^\circ - \frac{40^\circ}{2} \right) = 0,2174$$

$$k_{a2} = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{38^\circ}{2}\right) = 0,2379$$

Račun zemeljskih pritiskov, rezultant

Vpliv Glonarjeve ulice:

z(m)	β_1	β_2	2ε	2ψ	$\sin(2\varepsilon)$	$\cos(2\psi)$	$\Delta\sigma_v$ (kPa)
0,00	$\pi/2$	$\pi/2$	0,00	π	0,00	1,00	0,00
4,10	0,88	1,21	0,33	2,10	0,32	-0,50	0,80
4,10	0,88	1,21	0,33	2,10	0,32	-0,50	0,80
5,80	0,71	1,09	0,37	1,80	0,37	-0,22	1,39

z(m)	σ_{zz} (kPa)	σ_{zz} (kPa)	p_a (kPa)	p_a (kPa)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,10	82+0,80	92,80	$92,8*0,3073*1,35$	38,50
4,10	82+0,80	82,80	$(82,8*0,2174-2*10*\sqrt{0,2174})*1,35$	11,71
5,80	121,1+1,39	122,49	$(122,49*0,2174-2*10*\sqrt{0,2174})*1,35$	23,36

$E_1 = 78,92 \text{ kN/m}$ $e_1 = 2,73 \text{ m}$
 $E_2 = 29,81 \text{ kN/m}$ $e_2 = 5,04 \text{ m}$
 $E = 108,73 \text{ kN/m}$ $e = 3,54 \text{ m}$

$s = 1,5 \text{ M}$

$e^* = 1,87 \text{ M}$

$p_{inL} = 23,36 \text{ kPa}$

$A = 58,99 \text{ kN/m}^3$

$H = 5,8 \text{ m}$

$D = 1,6 \text{ m}$

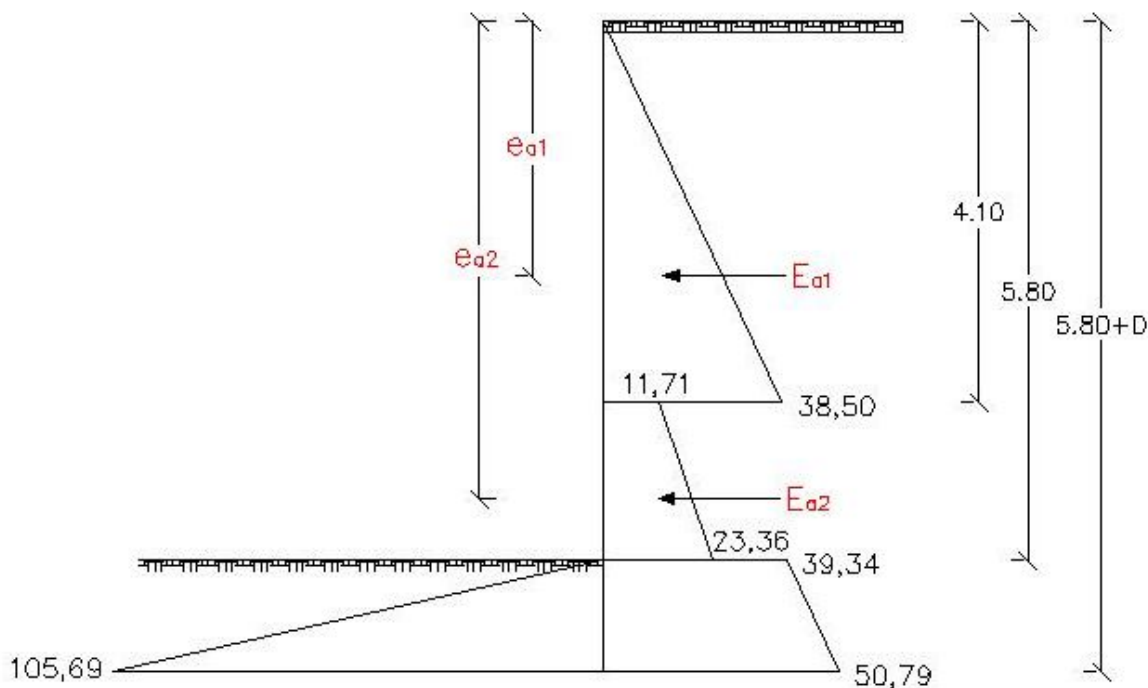
$M_L^* = 202,9 \text{ kNm/m}$

$F_{SH} = 73 \text{ kN/m}$

Račun pritiskov na globini vpetja:

$$p_a(z = 7,4m) = (158,13 * 0,2379) * 1,35 = 50,79 \text{ kPa}$$

$$p_p(z = 1,6m) = \frac{(35,2 * 4,2037)}{1,4} = 105,69 \text{ kPa}$$



Slika 8 – aktivni in pasivni pritiski – profil v območju vrtine V 3

3.3.3 Profil V-1

Profil V-1 je na severovzhodu gradbene jame, v območju vrtine V -1. V Prilogi D je izdelan karakteristični prečni profil tal.

Zemljina 1

umetno nasutje: $\gamma=20 \text{ kN/m}^3$, $c = 0$, $\varphi= 32^\circ$

Zemljina 2

meljast prod z redkimi plastmi konglomerata: $\gamma=22 \text{ kN/m}^3$, $c = 0$, $\varphi=38^\circ$, $M_v=35000 \text{ kN/m}^2$

Zemljina 3

dobro do slabo vezan konglomerat: $\gamma=23 \text{ kN/m}^3$, $c = 20 \text{ kN/m}^2$, $\varphi= 40^\circ$

Opazimo, da so karakteristike tal neprimerno boljše, kakor v ostalih profilih. Srednji sloj konglomerata zagotavlja razmeroma majhne obremenitve oporne konstrukcije.

Za obtežbo hiš smo enako kot v profilu V-2 izbrali trakasto obtežbo $q=50 \text{ kN/m}^2$ širine 20 m na oddaljenosti 3 m.

Račun zemeljskih pritiskov, rezultat:

Vpliv hiš:

z(m)	β_1	β_2	2ε	2ψ	$\sin(2\varepsilon)$	$\cos(2\psi)$	$\Delta\sigma_v$
0,00	$\pi/2$	$\pi/2$	0,00	π	0,00	1,00	0,00
0,50	1,41	1,55	0,14	2,95	0,14	-0,98	0,05
0,50	1,41	1,55	0,14	2,95	0,14	-0,98	0,05
4,50	0,59	1,38	0,79	1,97	0,71	-0,38	8,22
4,50	0,59	1,38	0,79	1,97	0,71	-0,38	8,22
5,80	0,48	1,32	0,85	1,80	0,75	-0,23	10,75

z(m)	σ_{zz} (kPa)	σ_{zz} (kPa)	p_a (kPa)	p_a (kPa)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	10+0,05	10,05	$10,05 \cdot 0,3073 \cdot 1,35$	4,17
0,50	10+0,05	10,05	$(10,05 \cdot 0,2174 - 2 \cdot 10 \cdot \sqrt{0,2174}) \cdot 1,35$	-9,64
4,50	102+8,22	111,22	$((111,22 \cdot 0,2174 - 2 \cdot 10 \cdot \sqrt{0,2174}) \cdot 1,35$	20,05
4,50	102+8,22	110,22	$111,22 \cdot 0,2379 \cdot 1,35$	35,72
5,80	130,6+10,75	141,35	$141,35 \cdot 0,2379 \cdot 1,35$	45,40

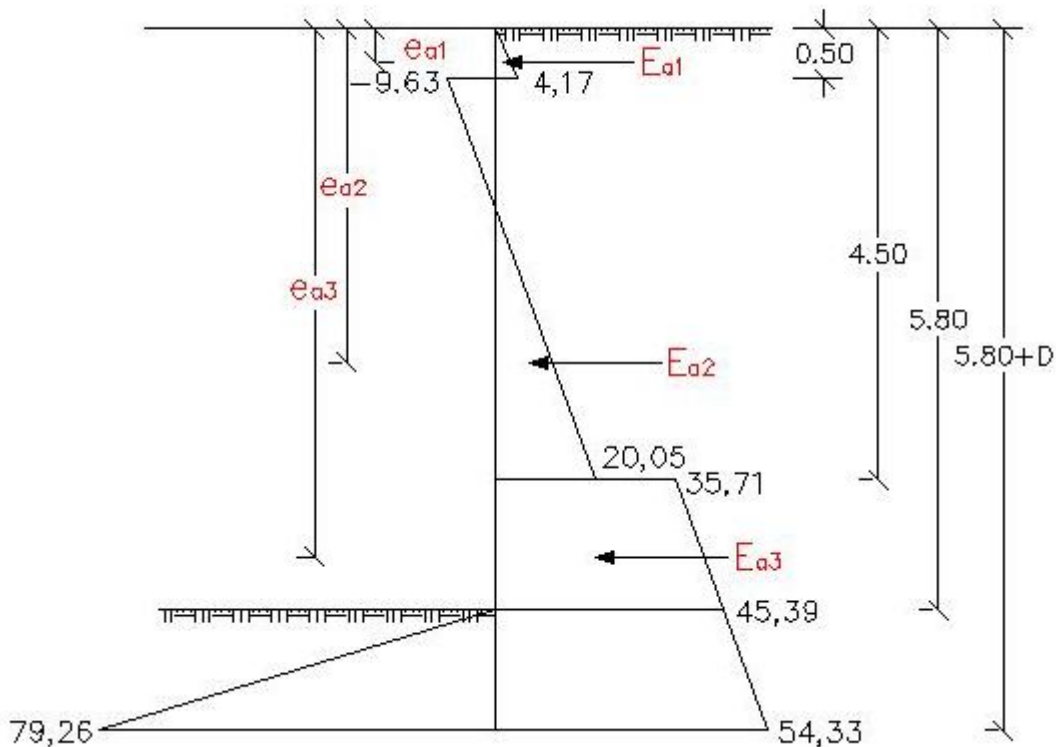
$E_1 =$	1,04 kN/m	$e_1 =$	0,33 m
$E_2 =$	20,82 kN/m	$e_2 =$	4,40 m
$E_3 =$	52,73 kN/m	$e_3 =$	5,18 m
$E =$	74,60 kN/m	$e =$	4,89 m

$s =$	1,5 m
$p_{inL} =$	45,4 kPa
$e^* =$	3,4 m
$A =$	58,99 kN/m ³
$D =$	2,15 m
$M_L^* =$	253,01 kNm/m

$F_{SH} = 36,5 \text{ kN/m}$

$$p_a(z = 7,4\text{m}) = 54,33\text{kPa}$$

$$p_p(z = 1,6\text{m}) = 79,26\text{kPa}$$



Slika 9 – aktivni in pasivni pritiski – profil v območju vrtine V 1

3.3.4 Winklerjev model

Za analizo vpete oporne konstrukcije smo uporabili tudi Winklerjev model tal, ki temelji na takoimenovanemu modulu reakcije tal k . Po definiciji je modul reakcije tal enak količniku med obremenitvijo in posedkom tal.

$$k \left(\frac{kN}{m^3} \right) = \frac{p \left(\frac{kN}{m^2} \right)}{\rho (m)}$$

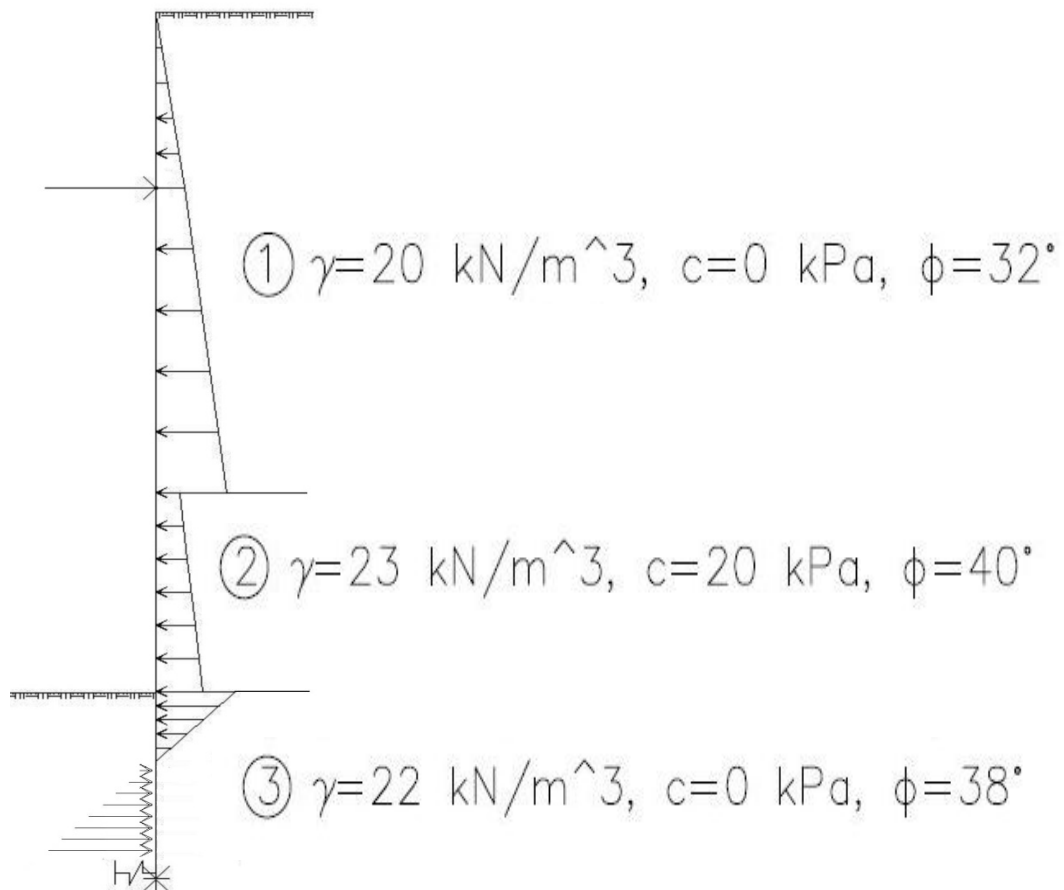
Fizikalno lahko razumemo modul reakcije tal kot konstanto vzmeti. Če obravnavamo temeljna tla kot Winklerjev polprostor, to pomeni, da opišemo obnašanje temeljnih tal z obnašanjem neskončno velikega števila različno močnih vzmeti, ki podpirajo nosilec v stiku s tlemi. [13]

S pomočjo Winklerjevega polprostora analiziramo profil V 3. Modul reakcije tal ocenimo:

$$k = \frac{35 \text{ MN}}{m^2} / m$$

Odpor zemljine modeliramo z Winklerjevimi vzmetmi togosti k , aktivni zemeljski pritiski pa ostanejo enaki. Račun pokaže, da v primeru, ko celotne pasivne pritiske zamenjamo z Winklerjevimi vzmetmi, sile v vzmeteh do določene globine presežejo vrednost, ki jo lahko prevzame zemljina. Ta del nadomestimo z rezultantami sil pasivnih pritiskov.

Rezultati pokažejo, da lahko Winklerjeve vzmeti namestimo na globini od 7,4 m do globine 7,2 m.



Slika 10 – aktivni pritiski, rezultante pasivnih pritiskov, vzmeti

Maksimalni moment: 86 kNm/m

Sidrna sila: 72 kN/m

Potek momentne linije je skoraj identičen, sidrna sila je enaka kot v prvotnem izračunu.

Interpretacija rezultatov:

Vzmeti smo lahko namestili na relativno majhnem območju, saj drugače vrednosti sil v vzmeteh presegajo maksimalne dovoljene obremenitve, to so vrednosti pasivnih pritiskov. Odpor zemljine je polno izkoriščen do globine 7,2 m.

3.4 Dimenzioniranje

3.4.1 Piloti

Za gradbene jame se pogosto uporablja okrogle pilote od premera 60 cm do 150 cm. Glede na naše relativno majhne upogibne momente, bomo najprej preverili, kakšen moment lahko prevzame pilot $\Phi=80$ cm.

Moment, ki ga lahko prenese pilot, bomo preverili s pomočjo interakcijskih diagramov za okrogle prereze. Interakcijski diagrami za okrogle prereze so v Prilogi A.

Prerez:

$\Phi=80$ cm

Beton C40/50

Jeklo S500

$d_1/h = 0,1$

$$A_c = \pi r^2 = \pi * (40\text{cm})^2 = 5027 \text{ cm}^2$$

Najmanjši prerez vzdolžne armature stebrov je v EC2 določen z

$$A_{s,min} = \frac{0,15 N_{Ed}}{f_{yd}} \geq 0,003 A_c$$

$$A_{s,min} = 0,003 A_c = 0,003 * 5027 \text{ cm}^2 = 15\text{cm}^2$$

Izberemo 12 $\Phi 14$.

$$A_{s,dej} = 18,48\text{cm}^2$$

Ko imamo prerez armature in ploščino prereza, z uporabo interakcijskih diagramov pridemo do upogibnega momenta, ki ga prerez prenese.

$$A_s = \omega * A_c * \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

Iz zgoraj zapisane enačbe sledi:

$$\omega = \frac{A_s * f_{yd}}{A_c * f_{cd}} = \frac{18,48 \text{ cm}^2 * 43,48 \text{ kN/cm}^2}{5027 \text{ cm}^3 * 2,67 \text{ kN/cm}^2} = 0,06$$

Z uporabo interakcijskih diagramov odčitamo $\mu_{Ed}=0,025$.

$$M_{Ed} = \mu_{Ed} * A_c * h * f_{cd} = 0,025 * 5027 \text{ cm}^2 * 80 \text{ cm} * 2,67 \text{ kN/cm}^2 = 268 \text{ kNm}$$

Opazimo, da je upogibni moment, ki ga prenese pilot s premerom 80 cm, 268 kNm. Največji upogibni moment, ki smo ga izračunali, pa je 94 kNm/m. Ugotovimo, da četudi razporedimo pilote na medsebojni razdalji 2 m, kar je nekje maksimalna razdalja med piloti takih dimenzij, odpornost zaradi upogibnega momenta ni problematična.

3.4.2 Sidra

Primerjali bomo dobljene sidrne sile, ki so bile izračunane v obravnavanih profilih. Izbrali smo naklon sider 15° .

profil	F_{SH} (kN/m)	F_s (kN/m)
V - 1	37	38,5
V - 2	72	74,5
V - 3	73	75,6

Če namestimo sidra na medsebojni razdalji 4 m, potem bo sidrna sila 302,4 kN.

Izberemo Freyssinet sidra tip 3T15S. Minimalna sidra tekom življenjske dobe sidra je 239 kN, maksimalna sila tekom življenjske dobe sidra je 677 kN. Smo na varni strani.

Sidra so sestavljena iz veznega in prostega dela sider. Prosti del prenaša silo iz veznega dela na sidrno glavo, vezni del pa prenaša natezno silo v zaledje. Evrokod 7 priporoča vsaj 5m dolg prosti del sidra,

vezna dolžina pa ne sme biti manjša od 3 in ne večja od 10 m. Pomembno je, v kakšnem materialu se nahaja vezni del sidra. V našem primeru bomo namestili vezni del v konglomerat ali prod. [7]

Profil V -1:

Naklon sider: $\alpha = 15^{\circ}$

Vezni del: $l_v = 7$ m

Prosti del: $l_p = 5$ m

Položaj sider je viden v Prilogi D.

Profil V – 2:

Naklon sider: $\alpha = 15^{\circ}$

Vezni del: $l_v = 7$ m

Prosti del: $l_p = 5$ m

Položaj sider je viden v Prilogi E.

Pofil V – 3:

Naklon sider: $\beta = 25^{\circ}$

Vezni del: $l_v = 8,5$ m

Prosti del: $l_p = 7$ m

Položaj sider je viden v Prilogi F.

Dolžina prostega dela v profilu V – 3 je daljša, ker ima umeten nasip preveč slabe karakteristike za vgradnjo geotehničnih sider.

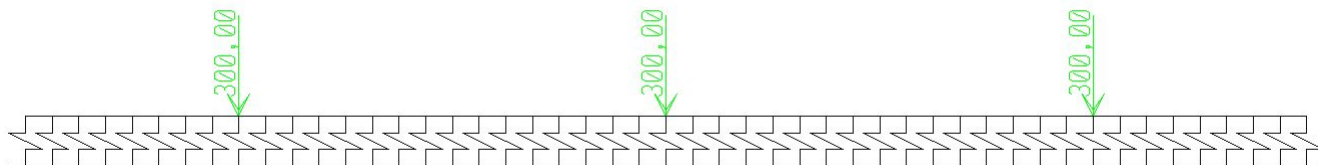
V profilu I-I bomo izbrali naklon 15° , dolžino prostega dela 5 m in dolžno veznega dela 7 m. Sidranje ob Glonarjevi ulici pa bomo izvedli z naklonom 25° , dolžino prostega dela 8,5 m in dolžino veznega dela 7 m.

3.4.3 Sidrna greda

Grede porazdelijo sidrne sile enakomerno preko večje dolžine stene in omogočajo prerazporeditev sil, če katero sidro popusti. V gredah armaturo okrog sidra posebej pripravimo in pustimo v njej odprtino za sidro. [7]

Greda je obremenjena s sidrno silo $F_s = 300$ kN na medsebojni razdalji sider 4 m.

Shema grede na elastični podlagi:



Slika 11 – shema grede na elastični podlagi

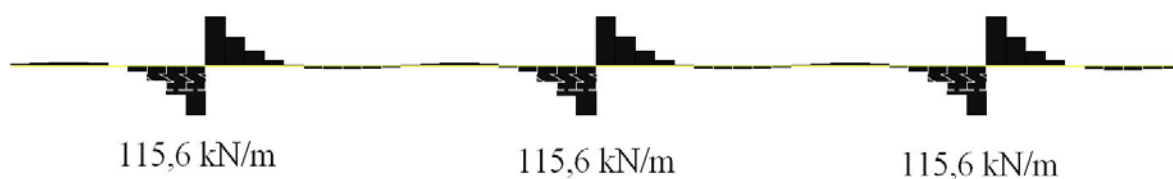
Statični izračun vpliva sidrnih sil na gredo s programom SAP 2000:

Upogibni moment:



Slika 12 – upogibni moment v sidrni gredi

Prečna sila:



Slika 13 – prečne sile v sidrni gredi

(Zavedamo se, da je potek prečnih sil med vozlišči linearen, ekstremne vrednosti pa so pravilne.)

AB greda

Beton C30/35

Armatura: S500

Minimalni moment: -7,81 kNm

Maksimalni moment: 45,48 kNm

Prečna sila: 115,6 kN

Višina prereza: 1,0 m

Širina prereza: 1,0 m

Statična višina: 0,90 m

S pomočjo tabel za enojno armaturo (Priloga C) določimo k_d :

$$k_d = \frac{M_{Ed}}{f_{cd} * h * d^2} = \frac{45,08 * 100}{2 * 100 * 90^2} = 0,003$$

Vrednosti 0,003 ni v preglednici, ker je premajhna. Iz tega sledi, da namestimo minimalno armaturo.

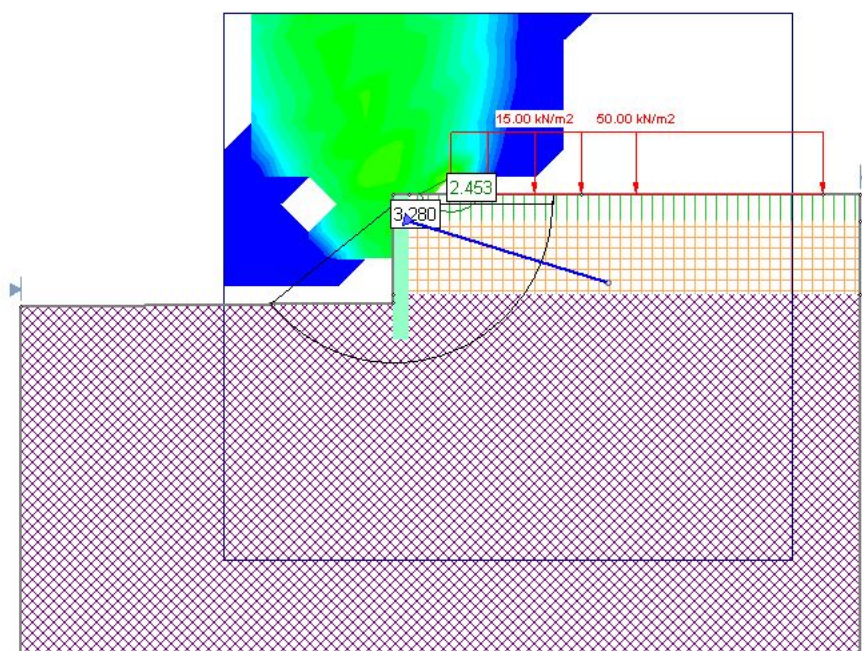
Minimalna vzdolžna armatura:

$$A_{s,min} = 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * h * d = 0,26 * \frac{0,29}{50} * 80 * 45 = 5,5 \text{ cm}^2$$

Izberemo minimalno vzdolžno armaturo 4Φ14 ($A_{s,dej}=6,16\text{cm}^2$).

3.4.4 Globalna stabilnost

Globalno stabilnost gradbene jame sem preveril v programu Slide 6.017 na mestu, kjer so se pojavile največje notranje statične količine. Rezultati so prikazani na Sliki 14.



Slika 14 – globalna stabilnostna analiza profila V -2

S slike opazimo, da je izračunana varnost 2,453 in je večja od potrebne varnosti.

4 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi sem obravnaval gradbeno jamo v Ljubljani. Tekom analize gradbene jame sem dobil občutek kako karakteristike tal vplivajo na odpornost. Obravnavana gradbena jama stoji v relativno dobrih tleh. To se kaže tako, da so v večini primerov lahko uporabljene minimalne vrednosti armatur, prerezov. Uporabili smo skoraj najmanjše pilote, uporabljena geotehnična sidra so med manj nosilnimi na trgu. Faktor varnosti pri globalni stabilnosti je relativno visok.

VIRI

- [1] Klopčič, J. 2011. Projektni pristopi po EC-7.
[http://ucilnica1213.fgg.uni-lj.si/file.php/873/Vaje -
_Jure/Priloga_projektni_pristopi_po_EC-7.pdf](http://ucilnica1213.fgg.uni-lj.si/file.php/873/Vaje_-_Jure/Priloga_projektni_pristopi_po_EC-7.pdf) (Pridobljeno 5. 9. 2013.)
- [2] Korpar, L. 2004. Projektiranje in izvedba sidranih zidov in pilotnih sten.
<http://www.sloged.si/LinkClick.aspx?fileticket=bXXgN6UCtk4%3D&tabid=128>
(Pridobljeno 5. 9. 2013.)
- [3] Logar, J. 2012. Evrokod prosojnice.
[http://ucilnica1213.fgg.uni-lj.si/file.php/873/EC7 - za solo.pdf](http://ucilnica1213.fgg.uni-lj.si/file.php/873/EC7_-_za_solo.pdf) (Pridobljeno 5. 9. 2013.)
- [4] Logar, J. 2011. Podporne konstrukcije.
[http://ucilnica1213.fgg.uni-lj.si/file.php/873/Predavanja -
_Logar/Podporne_konstrukcije_2011.pdf](http://ucilnica1213.fgg.uni-lj.si/file.php/873/Predavanja_-_Logar/Podporne_konstrukcije_2011.pdf) (Pridobljeno 5.9.2013.)
- [5] Majes, B. 2006. Gradbena jama.
<http://www.fgg.uni-lj.si/kmtal-gradiva/GR-UNI/F1/gradbena%20jama.pdf>
(Pridobljeno 5. 9. 2013.)
- [6] Majes, B. 2006. Napetosti v polprostoru.
[http://ucilnica1213.fgg.uni-lj.si/file.php/869/Skripta/NAPETOSTI - kompletno.pdf](http://ucilnica1213.fgg.uni-lj.si/file.php/869/Skripta/NAPETOSTI_-_kompletno.pdf)
(Pridobljeno 5.9.2013.)
- [7] Majes, B. 2011. Sidranje konstrukcij, FGG Ljubljana, študijsko gradivo
<http://www.fgg.uni-lj.si/kmtal-gradiva/GR-UNI/F1/sidranje%20konstrukcij.pdf>
(Pridobljeno 5. 9. 2013.)
- [8] SIST EN 1997-1:2005 – Evrokod 7: Geotehnično projektiranje – 1.del: Splošna pravila
- [9] SIST EN 1997-1:2005/A101:2006 – Evrokod 7:Geotehnično projektiranje – 1.del: Splošna pravila – Nacionalni dodatek.
- [10] Beg, D., Pogačnik, A. 2011. Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po evrokod standardih. 1. ponatis. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije
- [11] Geološko – geomehansko poročilo o sestavi in nosilnosti tal na območju med Glonarjevo ulico in železniško progo (del območja urejanja CS 7/9) v Ljubljani
- [12] najdi.si. 2013. zemljevid.najdi.si (Pridobljeno 9.9.2013.)
- [13] Logar, J. 2005. Plitvo temeljenje.

<http://www.fgg.uni-lj.si/kmtal-gradiva/Gradiva%20za%20vec%20predmetov/Skripta%20Janko%20Logar/plitvo%20temeljenje.pdf> (Pridobljeno 14.9.2013.)

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: INTERAKCIJSKI DIAGRAMI ZA OKROGLE PREREZE

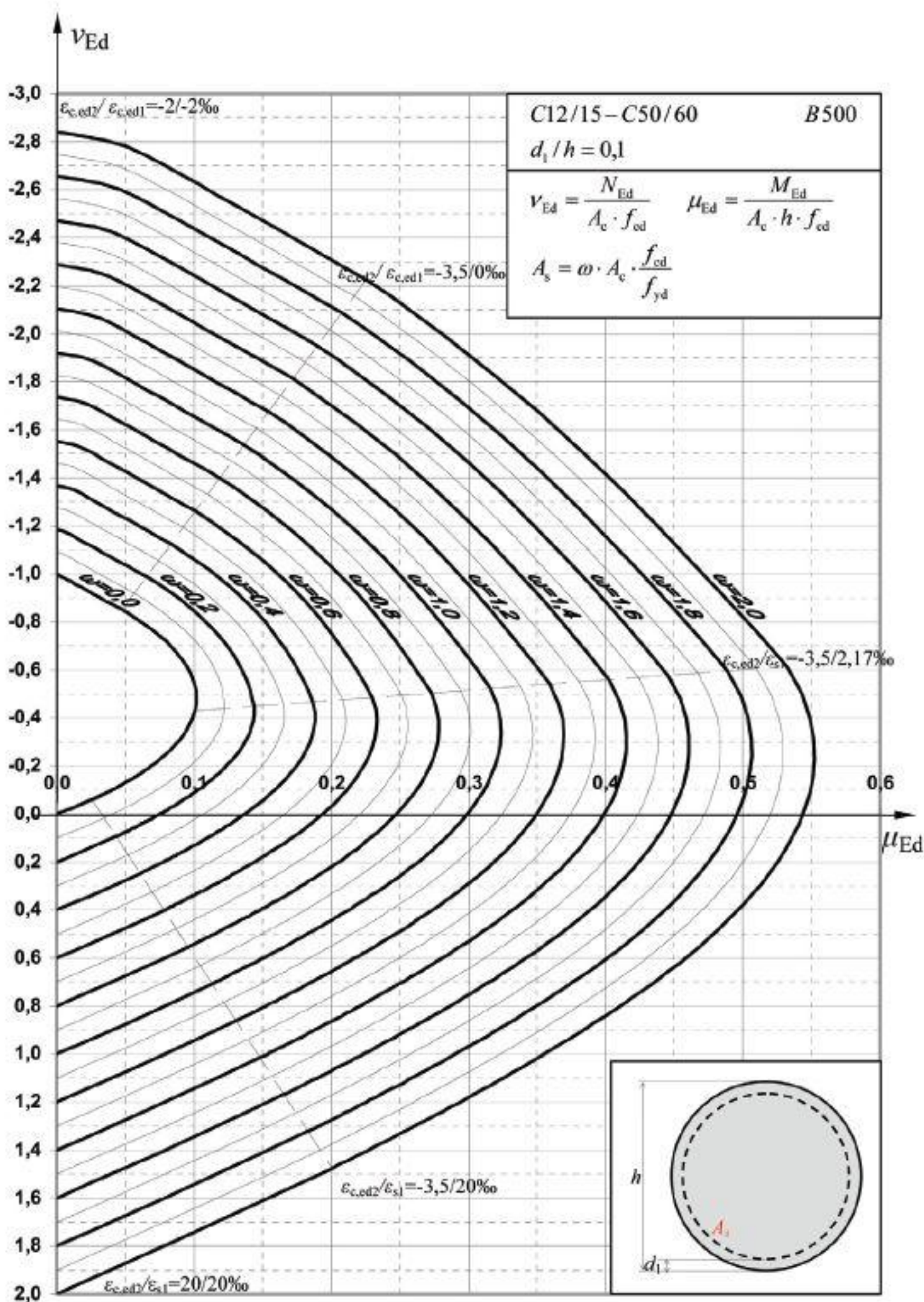
PRILOGA B: TABELE ZA RAČUN ENOJNE ARMATURE

PRILOGA C: SITUACIJA PILOTOV IN SIDER

PRILOGA D: KARAKTERISTIČNI PROFIL V – 1

PRILOGA E: KARAKTERISTIČNI PROFIL V – 2

PRILOGA F: KARAKTERISTIČNI PROFIL V - 3

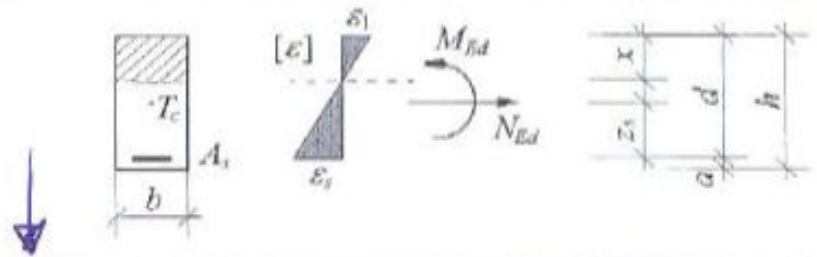


Pr. P1-1. Velika ekscentričnost – enojna armatura: vsi trdnostni razredi betona (pri $\varepsilon_1 = \varepsilon_{cu2}$)

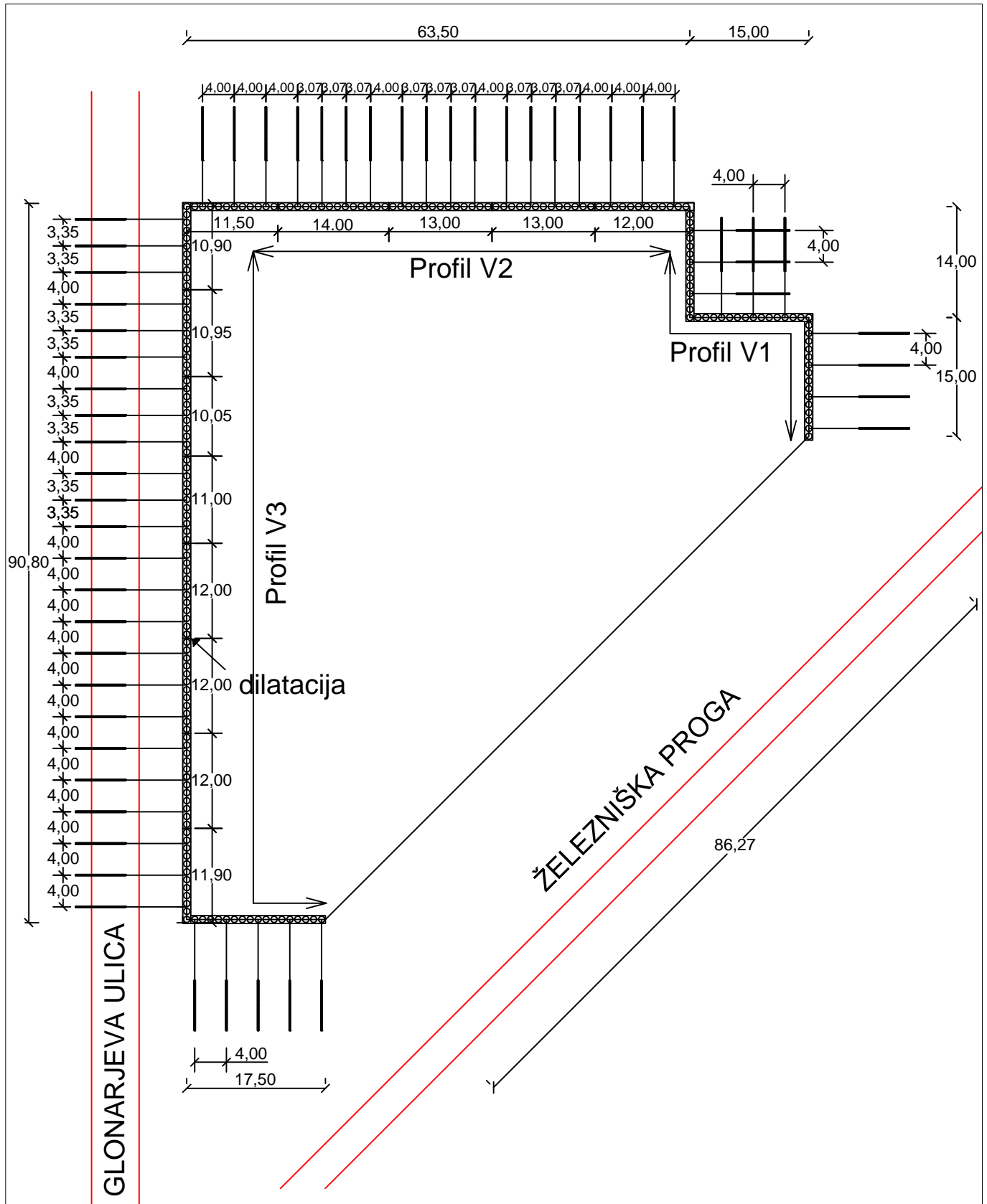
$$M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_s$$


$$k_d = \frac{M_{Eds}}{f_{cd} \cdot b \cdot d^2} \rightarrow k_s \text{ in } k_x$$

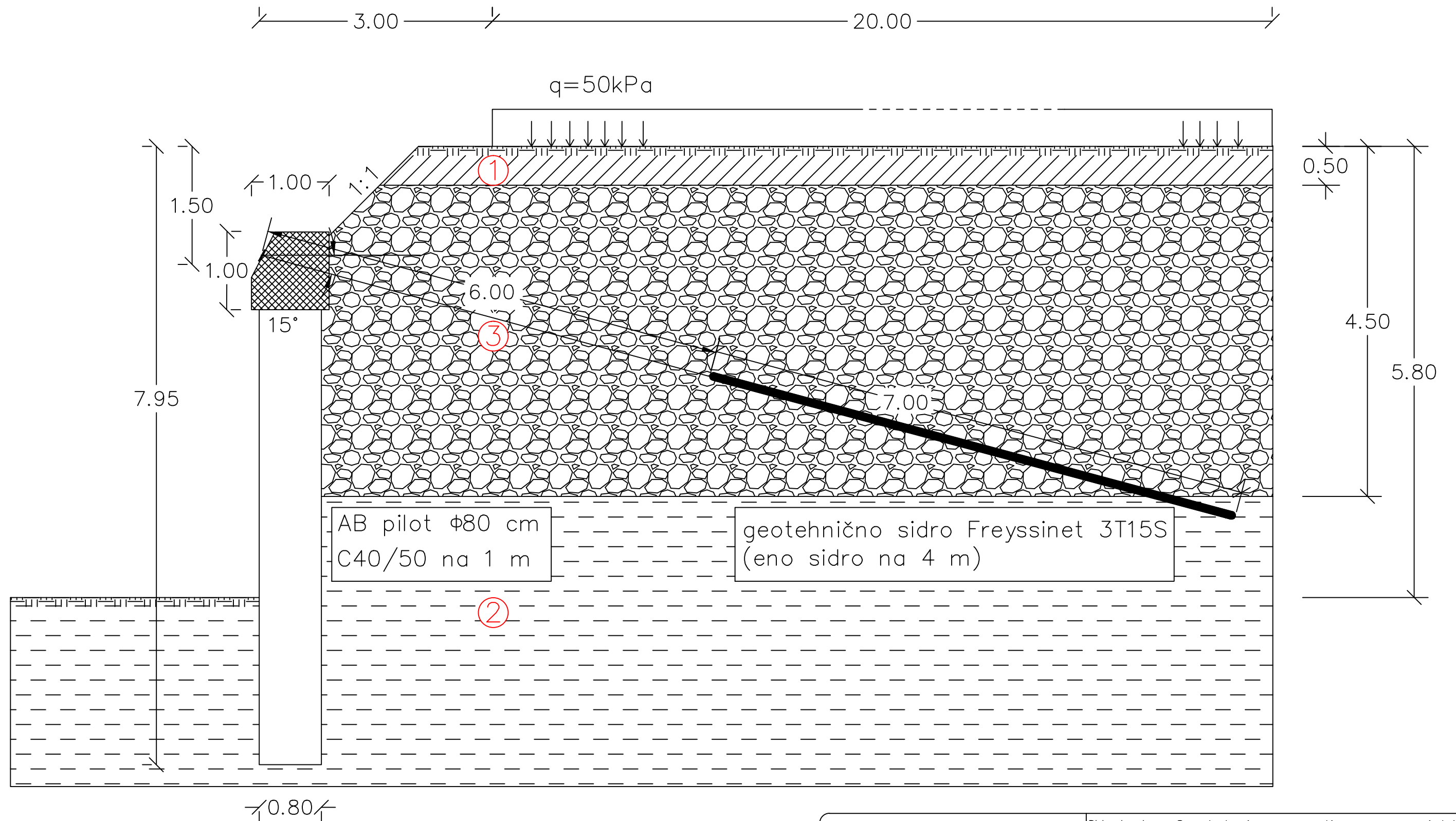
$$A_s = k_s \frac{M_{Eds}}{d \cdot \sigma_s} + \frac{N_{Ed}}{\sigma_s}; \quad x = k_x \cdot d$$



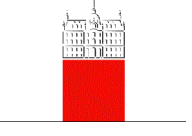
Armatura			ε_s [‰]		Beton					
S 500-A	S 500-B	S 500			$\leq C50/60$	C55/67	C60/75	C70/85	C80/95	C90/105
σ_s [kN/cm ²]	σ_s [kN/cm ²]	σ_s [kN/cm ²]			ε_1 [‰]					
					-3,5	-3,1	-2,9	-2,7	-2,6	-2,6
30,00	30,00	30,00	1,5	k_{xc}	0,700	0,674	0,659	0,643	0,634	0,634
				k_{xs}	1,411	1,359	1,331	1,303	1,290	1,288
				k_{xd}	0,402	0,368	0,344	0,314	0,295	0,287
43,48	43,48	43,48	2,17	k_{xc}	0,617	0,588	0,572	0,554	0,545	0,545
				k_{xs}	1,345	1,299	1,275	1,251	1,240	1,238
				k_{xd}	0,371	0,336	0,312	0,282	0,263	0,257
43,56	43,54	43,48	3	k_{xc}	0,538	0,508	0,492	0,474	0,464	0,464
				k_{xs}	1,289	1,249	1,228	1,207	1,197	1,196
				k_{xd}	0,338	0,302	0,278	0,250	0,232	0,226
43,65	43,61	43,48	4	k_{xc}	0,467	0,437	0,420	0,403	0,394	0,394
				k_{xs}	1,241	1,206	1,188	1,171	1,162	1,162
				k_{xd}	0,304	0,269	0,246	0,219	0,203	0,198
43,75	43,68	43,48	5	k_{xc}	0,412	0,383	0,367	0,351	0,342	0,342
				k_{xs}	1,207	1,176	1,161	1,145	1,138	1,137
				k_{xd}	0,276	0,241	0,220	0,195	0,180	0,175
43,84	43,76	43,48	6	k_{xc}	0,368	0,341	0,326	0,310	0,302	0,302
				k_{xs}	1,181	1,154	1,140	1,127	1,120	1,119
				k_{xd}	0,253	0,219	0,199	0,176	0,162	0,158
43,94	43,83	43,48	7	k_{xc}	0,333	0,307	0,293	0,278	0,271	0,271
				k_{xs}	1,161	1,137	1,124	1,112	1,106	1,106
				k_{xd}	0,232	0,200	0,181	0,159	0,147	0,143
44,03	43,90	43,48	8	k_{xc}	0,304	0,279	0,266	0,252	0,245	0,245
				k_{xs}	1,145	1,123	1,112	1,101	1,095	1,095
				k_{xd}	0,215	0,185	0,166	0,146	0,134	0,131
44,13	43,97	43,48	9	k_{xc}	0,280	0,256	0,244	0,231	0,224	0,224
				k_{xs}	1,132	1,112	1,101	1,091	1,086	1,086
				k_{xd}	0,200	0,171	0,154	0,135	0,124	0,120
44,22	44,05	43,48	10	k_{xc}	0,259	0,237	0,225	0,213	0,206	0,206
				k_{xs}	1,121	1,102	1,093	1,083	1,079	1,079
				k_{xd}	0,187	0,159	0,143	0,125	0,115	0,112
44,70	44,41	43,48	15	k_{xc}	0,189	0,171	0,162	0,153	0,148	0,148
				k_{xs}	1,085	1,072	1,065	1,059	1,055	1,055
				k_{xd}	0,141	0,119	0,106	0,092	0,084	0,082
45,18	44,77	43,48	20	k_{xc}	0,149	0,134	0,127	0,119	0,115	0,115
				k_{xs}	1,066	1,055	1,050	1,045	1,042	1,042
				k_{xd}	0,113	0,094	0,084	0,073	0,066	0,064
45,41	44,96	43,48	22,5	k_{xc}	0,135	0,121	0,114	0,107	0,104	0,104
				k_{xs}	1,059	1,050	1,045	1,040	1,038	1,038
				k_{xd}	0,103	0,086	0,076	0,066	0,060	0,058
-	45,50	43,48	30	k_{xc}	0,104	0,094	0,088	0,083	0,080	0,080
				k_{xs}	1,045	1,038	1,035	1,031	1,029	1,029
				k_{xd}	0,081	0,067	0,059	0,051	0,047	0,045
-	46,23	43,48	40	k_{xc}	0,080	0,072	0,068	0,063	0,061	0,061
				k_{xs}	1,035	1,029	1,026	1,023	1,022	1,022
				k_{xd}	0,063	0,052	0,046	0,039	0,036	0,035
				k_{xs}	0,072	0,064	0,061	0,057	0,055	0,055

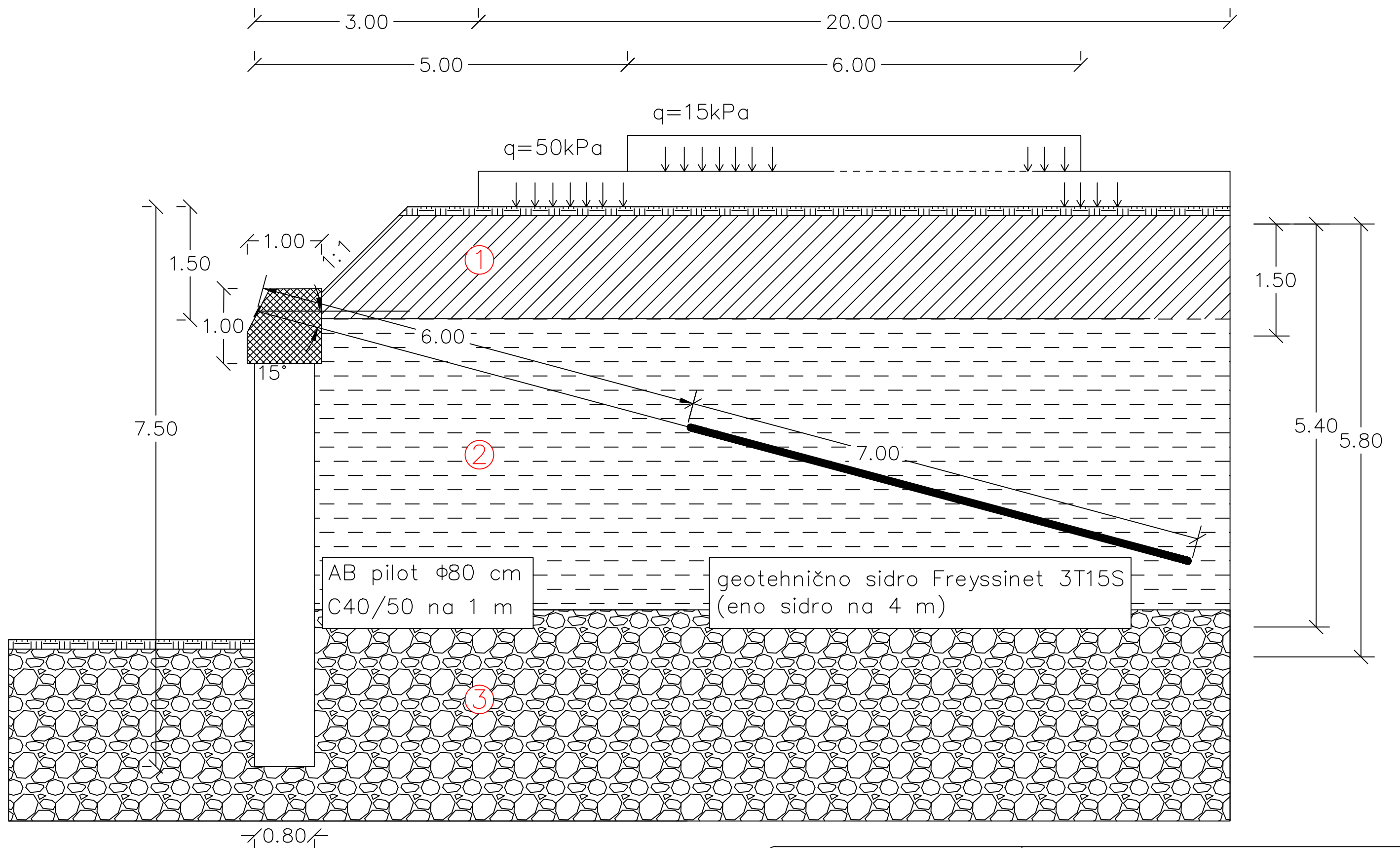


Univerza v Ljubljani Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo  GR UNI - B MODUL: PROMET	Jamova 2, 1000 Ljubljana, Slovenija		Diplomska naloga: Geotehnična analiza za projekt gradbene jame v Ljubljani		
			Objekt: Poslovno stanovanjski objekt ob Glonarjevi ulici v Ljubljani		
	ime in priimek, naziv:	id. števil:	podpis:	Datum:	12. 9. 2013
Mentor:	izr. prof. dr. Janko Logar, univ. dipl. inž. grad.			Vrsta načrta:	Zaščita gradbene jame z 1x sidrano pilotno steno
Kandidat:	Grega Rodman	26109054		Priloga:	C
				Merilo:	1:150




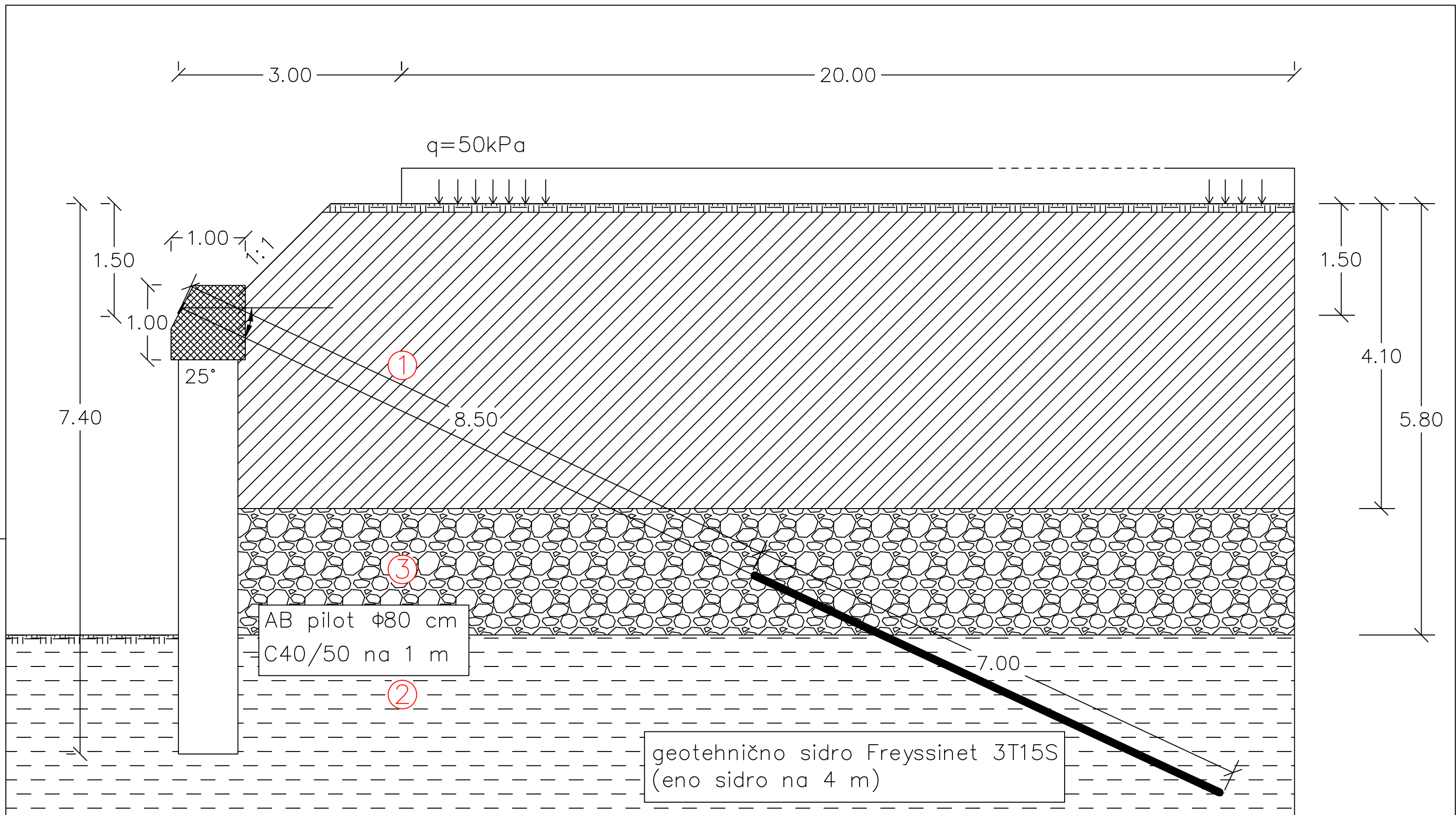
- ① $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, $c = 0 \text{ kPa}$, $\phi = 32^\circ$
- ② $\gamma = 23 \text{ kN/m}^3$, $c = 20 \text{ kPa}$, $\phi = 40^\circ$
- ③ $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$, $c = 0 \text{ kPa}$, $\phi = 38^\circ$

Univerza v Ljubljani Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		Jamova 2, 1000 Ljubljana, Slovenija		Diplomska naloga: Geotehnična analiza za projekt gradbene jame v Ljubljani	
		GR UNI - B MODUL: PROMET		Objekt: Poslovno stanovanjski objekt ob Glonarjevi ulici v Ljubljani Profil V1	
ime in priimek, naziv:	id. št. št.:	podpis:	Datum:	12. 9. 2013	
Mentor:	izr. prof. dr. Janko Logar, univ. dipl. inž. grad.		Vrsta načrta:	Zaščita gradbene jame z 1x sidrano pilotno steno	
Kandidat:	Grega Rodman		Priloga:	D	
			Merilo:	1: 50	




- ① $\gamma=20 \text{ kN/m}^3$, $c=0 \text{ kPa}$, $\phi=32^\circ$
- ② $\gamma=23 \text{ kN/m}^3$, $c=20 \text{ kPa}$, $\phi=40^\circ$
- ③ $\gamma=22 \text{ kN/m}^3$, $c=0 \text{ kPa}$, $\phi=38^\circ$

Univerza v Ljubljani Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo  Jamova 2, 1000 Ljubljana, Slovenija GR UNI - B MODUL: PROMET	Diplomska naloga: Geotehnična analiza za projekt gradbene jame v Ljubljani			
	Objekt: Poslovno stanovanjski objekt ob Glonarjevi ulici v Ljubljani Profil V2			
ime in priimek, naziv:	id. št.:	podpis:	Datum:	12. 9. 2013
Mentor: izr. prof. dr. Janko Logar, univ. dipl. inž. grad.			Vrsta načrta:	Zaščita gradbene jame z 1x sidrano pilotno steno
Kandidat: Grega Rodman	26109054		Priloga:	E
			Merilo:	1:50



1:0.80

- ① $\gamma=20 \text{ kN/m}^3$, $c=0 \text{ kPa}$, $\phi=32^\circ$
- ② $\gamma=23 \text{ kN/m}^3$, $c=20 \text{ kPa}$, $\phi=40^\circ$
- ③ $\gamma=22 \text{ kN/m}^3$, $c=0 \text{ kPa}$, $\phi=38^\circ$

Univerza v Ljubljani Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo  Jamova 2, 1000 Ljubljana, Slovenija GR UNI - B MODUL: PROMET	Diplomska naloga: Geotehnična analiza za projekt gradbene jame v Ljubljani			
	Objekt: Poslovno stanovanjski objekt ob Glonarjevi ulici v Ljubljani Profil V3			
ime in priimek, naziv:	id. štev.:	podpis:	Datum:	12. 9. 2013
Mentor: izr. prof. dr. Janko Logar, univ. dipl. inž. grad.			Vrsta načrta:	Zaščita gradbene jame z 1x sidrano pilotno steno
Kandidat: Grega Rodman	26109054		Priloga:	F
			Merilo:	1:50