

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:

Srebovt, A., 2013. Načrt varovanja gradbene jame v Ljubljani. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Logar, J., somentor Pulko, B.): 31 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:

Srebovt, A., 2013. Načrt varovanja gradbene jame v Ljubljani. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Logar, J., co-supervisor Pulko, B.): 31 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
GK^o " - V@uf \ (UN)**

Kandidat:

Diplomska naloga št.: 93/B-GR

Graduation thesis No.: 93/B-GR

Mentor:

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

Ljubljana, 26. 09. 2013

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Anej Srebovt izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »Načrt varovanja gradbene jame«.

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

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

Ljubljana, 16.9.2013

Podpis:

ZAHVALA

Za strokovno pomoč se iskreno zahvaljujem mentorju izr. prof. dr Janku Logarju ter somentorju doc. dr. Boštjanu Pulku.

Prav tako se zahvaljujem podjetju Vojmir Šterk s.p. GRAFIKA GEOMEHANIKA za geotehnično poročilo in načrt zaščite gradbene jame s sidranimi AB piloti.

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 624.131(497.4Ljubljana)(043.2)

Avtor: Anej Srebovt

Mentor: izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor: doc. dr. Boštjan Pulko

Naslov: Načrt varovanja gradbene jame

Obseg in oprema: 31 str., 25 sl., 11 pregl.

Ključne besede: Gradbena jama, pilot, sidra, statični izračun

Izveček:

V diplomskem delu izvedemo geostatični izračun gradbene jame poslovnega objekta, ki se nahaja v južnem predelu Ljubljane. Gradbena jama je globoka 9 metrov ter leži v slabo nosilnih tleh – barjanskih tleh. Geostatični izračun smo izvedli po Evrokodu 7 po projektnem pristopu 2. Analitično smo izračunali globino vpetja sidrane pilotne stene ter določili sidrno silo. Ob upoštevanju dolžine pilotov in zemeljskih pritiskov smo s programom SAP2000 izračunali notranje statične količine. Te smo še preverili z računom po metodi Winklerjevih vzmeti. Na podlagi kritičnih rezultatov smo dimenzionirali pilote in gredo. Globalno stabilnost konstrukcije smo preverili s programom SLIDE 5.0.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 624.131(497.4Ljubljana)(043.2)

Author: Anej Srebovt

Mentor: izr. prof. Janko Logar, Ph. D.

Co – Mentor: doc. Boštjan Pulko, Ph. D

Title: Design of construction pit in Ljubljana

Contents: 31 p., 25 fig., 11tab.

Keywords: construction pit, piles, geostatic analysis

Abstract:

The thesis deals with geostatic analysis of deep excavavation for non-residential building located in the southern part of Ljubljana. The excavation is 9 m deep and located in very soft soil. For the design project approach 2, according to Eurocode 7 was adopted. The necessary depth of anchored pile-wall and anchor force were calculated analytically. The internal forces (bending moments and shear forces) were calculated by using computer program SAP2000 and were checked with Winkler spring model. Based on results we determined the critical bending moment and the anchor force in order to design pilots and beams. Global stability of construction was checked with the program SLIDE.

KAZALO VSEBINE

IZJAVA O AVTORSTVU	IV
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	VI
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	VII
1. UVOD	1
1.1 Splošno o gradbeni jami	1
2. GRADBENA JAMA V KRAKOVSKEM PREDMESTJU	3
2.1 Opis gradbene jame	3
2.1 Geotehnična poročila	4
2.1.1. Sestava tal in lastnosti zemljin	4
2.2 Karakteristični prečni profil	5
2.3 Obtežba	6
3. SPLOŠNO O PODPORNIM KONSTRUKCIJAM	6
3.1 Osnove geotehničnega projektiranja	6
3.2 Gradbena jama s prostimi brežinami	8
3.3 Konzolna podporna konstrukcija	8
3.4 Sidrana podporna konstrukcija	9
4. GEOSTATIČNA ANALIZA	10
4.1 Gradbena jama s prostimi brežinami	10
4.2 Konzolna podporna konstrukcija	10
4.3 Sidrana podporna konstrukcija	14
4.3.1 Geostatični izračun sidrane pilotne stene	15
4.3.1.1 Izračun za sestavo tal po vrtni V3	15
4.3.1.2 Izračun za sestavo tal po vrtni V2	17
4.3.1.3 Izračun notranje statičnih količin z uporabo programa SAP2000:	19
4.3.1.4 Winklerjeve vzmeti	21
4.3.2 Dimenzioniranje pilotov	24
4.3.3 Dimenzioniranje grede	25
4.3.4 Dimenzioniranje sider	29
5. GLOBALNA STABILNOSTNA ANALIZA	31
6. ZAKLJUČEK	32
VIRI	33
PRILOGE	34

KAZALO SLIK

Slika 1: Lokacija gradbene jame v Ljubljani.....	3
Slika 2: Gradbena jama v Krakovskem predmestju [5].....	3
Slika 3: Razvit profil po obodu gradbene jame	6
Slika 4: Rezultirajoči zemeljski pritiski vzdolž konzolne konstrukcije [1].....	9
Slika 5: Rezultirajoči zemeljski pritiski vzdolž sidrane podporne konstrukcije [1].....	10
Slika 6: Računski model gradbene jame v kritičnem prerezu	11
Slika 7: Vpliv trakaste obtežbe na vertikalne napetosti [7].....	11
Slika 8: Shema računa globine vpetja	14
Slika 9: Zemeljski pritiski na sidrano podporno konstrukcijo za primer vrtine V3 [kPa].....	16
Slika 10: Zemeljski pritiski na sidrano podporno konstrukcijo za primer vrtine V2 [kPa].....	18
Slika 11: Diagram upogibnih momentov v konstrukciji ($M_{\max} = 3111 \text{ kNm/m}$)	19
Slika 12: Diagram prečnih sil v konstrukciji ($Q_{\max} = 570 \text{ kN/m}$)	20
Slika 13: Računska shema metode z Winklerjevimi vzmetmi	21
Slika 14: Končni računski model metode z Winklerjevimi vzmetmi.....	22
Slika 15: Diagram upogibnih momentov v konstrukciji - izračun z Winklerjevimi vzmetmi ($M_{\max} = 3080 \text{ kNm/m}$).....	22
Slika 16: Diagram prečnih sil v konstrukciji – izračun z Winklerjevimi vzmetmi ($Q_{\max} = 543$ kN/m).....	23
Slika 17: Potek pomikov po konstrukciji ($u_{\max} = 3,6 \text{ cm}$).....	23
Slika 18: Shema armature v pilotu [4].....	24
Slika 19: Shema grede na elastični podlagi	26
Slika 20: Upogibni momenti v gredi zaradi obremenitve s posamezno silo [kNm].....	26
Slika 21: Prečne sile v gredi zaradi obremenitve s posamezno silo [kN].....	26
Slika 22: Upogibni moment za primer obremenitve skupine sidrnih sil na gredo [kNm].....	27
Slika 23: Prečne sile za primer obremenitve skupine sidrnih sil na gredo [kN]	27
Slika 24: Kontrola globalne stabilnosti sidrane podporne konstrukcije	31
Slika 25: Podporna konstrukcija.....	32

KAZALO RAZPREDELNIC

Razpredelnica 1: Priporočene vrednosti delnih faktorjev za projektiranje po Evrokodu 7	7
Razpredelnica 2: Vpliv trakaste obtežbe glede na globino	12
Razpredelnica 3: Zemeljski pritiski in napetosti v odvisnosti od globine	13
Razpredelnica 4: Vrednosti globine vpetja in vrlišča	13
Razpredelnica 5: Zemeljski pritiski in napetosti v odvisnosti od globine za vrtino V3	15
Razpredelnica 6: Zemeljski pritiski in napetosti v odvisnosti od globine za vrtino V2	17
Razpredelnica 7: Moment in osna sila na pilot	24
Razpredelnica 8: Dimenzije prereza in lastnosti materiala	24
Razpredelnica 10: Sidrna sila.....	25
Razpredelnica 11: Dimenzije grede	28

1. UVOD

1.1 Splošno o gradbeni jami

Gradnja objektov se praviloma začne z izkopom gradbene jame. Pomembno je, da se zagotovi varen izkop gradbene jame, da ne pride do porušitve, ali do poškodb bližnjih objektov.

Neustrezna izvedba gradbene jame poveča čas izgradnje objekta.

Izvedba gradbene jame je odvisna:

- od globine temeljenja objekta
- od globine (nivoja) talne vode
- od vrste in lastnosti temeljnih tal
- od lokacije gradbenega objekta

Pri načrtovanju gradbene jame je pomembno, v kakšnih tleh bo izvedena. Za gradnjo so najboljša temeljna tla, v katerih ne pride do prevelikih posedkov objektov oziroma zdrsa. Takšna temeljna tla so na primer kompaktna kamnina. Pomembne so vse tri mehanske lastnosti tal: prepustnost, deformabilnost in trdnost zemljin. Če so temeljna tla slaba in je globina gradbene jame velika, moramo gradbeno jamo varovati z gradbenimi konstrukcijami, ki jih je treba ustrezno dimenzionirati.

Glede na način podpiranja vertikalnega izkopa gradbene jame ločimo [1]:

- Toge podporne konstrukcije :
 - Podporne konstrukcije brez opor (podpor) ali sider
 - Enkrat oprte (podprte) ali sidrane podporne konstrukcije
 - Večkrat oprte (podprte) ali sidrane podporne konstrukcije
- Gibke podporne konstrukcije :
 - Enkrat oprte (podprte) ali sidrane podporne konstrukcije
 - Večkrat oprte (podprte) ali sidrane podporne konstrukcije

Glede na značaj podporne konstrukcije ločimo na:

- Začasne podporne konstrukcije
- Trajne podporne konstrukcije (so del objekta)

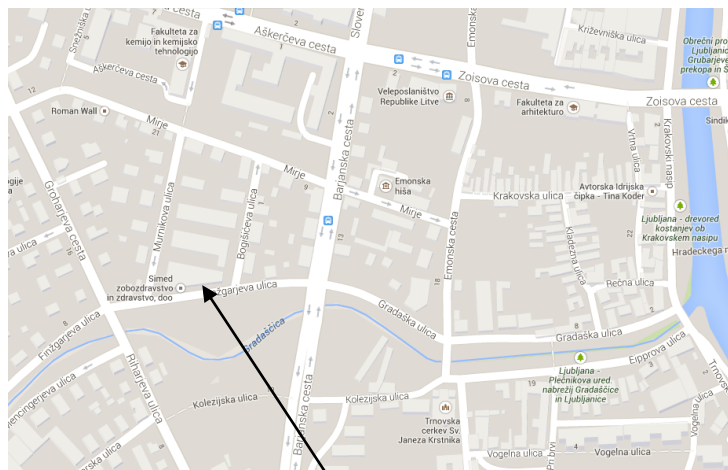
Začasne podporne konstrukcije so lahko vse vrste podpornih konstrukcij. Lahko so narejene tako, da izkopano zemljino na mestu podporne konstrukcije nadomestimo z armiranim betonom, zemljino lahko na mestu podporne konstrukcije injektiramo ali pa elemente podporne konstrukcije v tla uvrstimo ali zabijemo. Po izgradnji objekta le te nimajo več podporne funkcije. Zemeljski pritiski okolice se prenesejo na zasuti objekt [1].

Trajne podporne konstrukcije so običajno armiranobetonske konstrukcije.

2. GRADBENA JAMA V KRAKOVSKEM PREDMESTJU

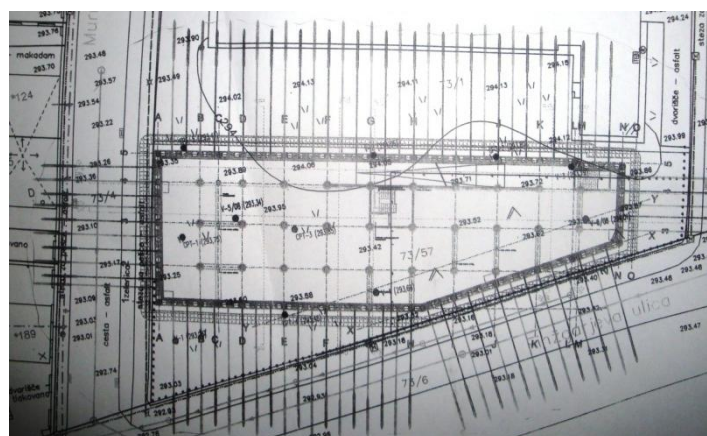
2.1 Opis gradbene jame

Za poslovni objekt, ki se nahaja v južnem predelu Ljubljane, v Krakovskem predmestju, je bilo potrebno izvesti gradbeno jamo, globine približno 9 metrov. Zaradi lokacije v naselju izkop gradbene jame s prostimi brežinami ni bil mogoč. Zaradi barjanske sestave tal, je potrebno gradbeno jamo zavarovati s pilotno steno. Gradbeno jamo je 67,5 m dolga in do 22,5 m široka, obseg gradbene jame je 166 m.



Slika 1: Lokacija gradbene jame v Ljubljani

(<https://maps.google.si/maps?hl=sl&tab=wl>)



Slika 2: Gradbeno jamo v Krakovskem predmestju [5]

2.1 Geotehnična poročila

V sklopu geoloških preiskav [5] so bile izvedene geotehnične raziskave tal s statičnim penetrometrom, sondažno vrtanje z ugotavljanjem gostote zemljin s standardnimi penetracijskimi poizkusi, odvzem intaktnih vzorcev zemljin ter laboratorijska preiskava vzorcev zemljin. Na osnovi terenskega ogleda lokacije, štirih sondažnih vrtin in petih sond s statičnim penetrometrom, je določena sledeča sestava tal, kot je opisana v nadaljevanju: Pod površjem je do 1 metra debela plast humusa in nasipa. Pod nasipom se nahaja podpovršinska skorja zemljin, iz pustih in peščenih glin ter zaglinjenih meljev in meljev. Sloj glinasto meljnih zemljin se pričinja v globinah okoli 1 metra in poteka vse do globine 5,2 m oziroma 8,5 m. Pod to skorjo se nahajajo barjanski sedimenti v obliki mastne gline in močno stisljivih meljev, ki se pojavijo nekje na globini 6,5 m in nastopajo vse do globine 22 metrov. Globlje so plasti prodnato do gruščnato peščeno meljnih zemljin. V teh zemljinah se geomehanske raziskave tudi zaključijo. Vodo prvič zasledimo na globini 3 m [5].

2.1.1. Sestava tal in lastnosti zemljin

Površinska skorja iz humusa in umetnega nasipa [5]:

- AC klasifikacija: GM
- Naravna prostorninska teža: $\gamma = 19,5 \text{ kN/m}^3$
- Kot notranjega trenja: $\varphi = 30^\circ$
- Kohezija: $c = 1 \text{ kPa}$
- Modul stisljivosti: $M_v = 30000 \text{ kN/m}^2$

Površinska skorja iz peščenih glin, zaglinjenih meljev in meljev [5]:

- AC klasifikacija: CI-MI, CL-ML, SM
- Naravna prostorninska teža: $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- Kot notranjega trenja: $\varphi = 31^\circ$
- Kohezija: $c = 1 \text{ kPa}$
- Modul stisljivosti: $M_v = 2855 \text{ kN/m}^2$

Glinasto meljaste zemljine židke konsistence [5]:

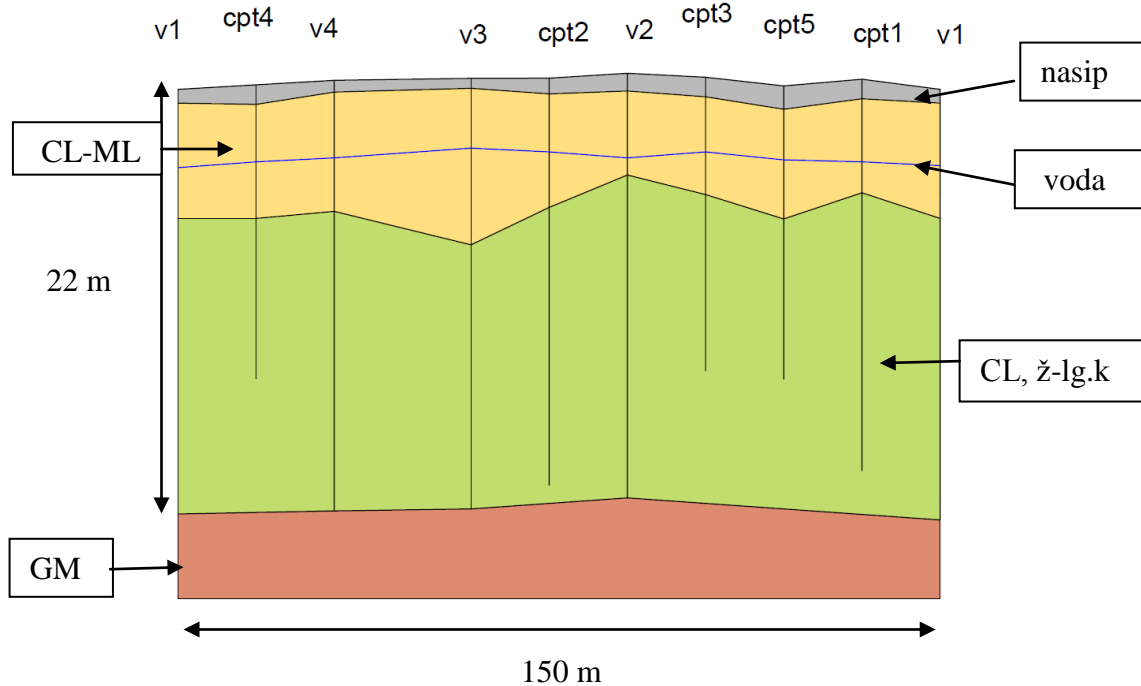
- AC klasifikacija: CL, židke do lahko gnetne konsistence
- Naravna prostorninska teža: $\gamma = 19,5 \text{ kN/m}^3$
- Kot notranjega trenja: $\varphi = 28^\circ\text{-}30^\circ$
- Kohezija: $c = 0 \text{ kPa}$
- Modul stisljivost: $M_v = 2179\text{-}2463 \text{ kN/m}^2$

Prodnato peščene zemljine v podlagi [5]:

- AC klasifikacija: GM
- Naravna prostorninska teža: $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$
- Kot notranjega trenja: $\varphi = 40^\circ$
- Kohezija: $c = 0 \text{ kPa}$
- Modul stisljivost: $M_v = 60000 \text{ kN/m}^2$

2.2 Karakteristični prečni profil

Za določitev karakterističnega prečnega profila gradbene jame smo izbrali vrtine, ki potekajo po robu gradbene jame ter jih prikazali v ravni liniji, po obodu gradbene jame. Tako smo dobili pregled sestave tal po obodu gradbene jame. Za kasnejše geostatične analize smo izbrali najbolj ugodno ter neugodno - kritično sestavo tal.



Slika 3: Razvit profil po obodu gradbene jame

2.3 Obtežba

Prometno obtežbo ceste, ki je na zahodni strani gradbene jame oddaljena 5,5 metrov, smo upoštevali kot trakasto obtežbo širine 6 metrov in velikosti $q = 30 \text{ kN/m}^2$. Upoštevali smo tudi vpliv gradbene mehanizacije, ki se prav tako vozi po gradbišču ob robu gradben jame. Za ta primer smo upoštevali trakasto obtežbo, širine $b=4$ metre in velikosti $q = 30 \text{ kN/m}^2$. Te obtežbe dodatno vplivajo na velikost zemeljskih pritiskov na pilotno steno.

3. SPLOŠNO O PODPORNIM KONSTRUKCIJAM

3.1 Osnove geotehničnega projektiranja

Konstrukcijo uvrstimo v geotehnično kategorijo, na podlagi geotehničnih razmer, velikost in zasnove objekta, obtežbe in pomembnosti objekta. Predvidena zaščita gradbene jame spada v drugo geotehnično kategorijo po Evrokodu 7 [2].

Za vsako geotehnično projektno stanje je treba preveriti, da ne presega nobenega mejnega stanja, ki jih definira SIST EN 1990. Ločimo mejno stanje nosilnosti (MSN) in mejno stanje uporabnosti (MSU) [2].

Za obravnavano konstrukcijo Evrokod 7 zahteva preverjanje naslednjih mejnih stanj nosilnosti:

- STR: notranja odpoved ali pretirana deformacija konstrukcije ali konstrukcijskih elementov vključno s temelji, piloti, kletnimi stenami itd., kjer je za zagotavljanje odpornosti pomembna trdnost materialov v konstrukciji
- GEO: odpoved ali pretirana deformacija tal, pri čemer je za zagotavljanje odpornosti pomembna trdnost zemljine ali kamnine

Zaradi različnih možnosti uporabe delnih faktorjev varnosti Evrokod 7-1 omogoča tri različne pristope za preverjanje geotehničnih mejnih stanj. Za vsako mejno stanje je treba preveriti, da projektne vrednosti učinkov vplivov E_d nikoli ne presežejo projektne nosilnosti oziroma projektne vrednosti odpornosti R_d [2].

$$E_d \leq R_d \quad (1)$$

kjer je :

$$E_d = E_k * \gamma_E (\text{Obremenitev projektna} = \text{Obremenitev karakterist} * \gamma_{\text{obremenitev}}) \quad (2)$$

$$R_d = R_k * \gamma_R (\text{Odpor projektni} = \text{Odpor karakterist} / \gamma_{\text{odpor}}) \quad (3)$$

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

Razpredelnica 1: Priporočene vrednosti delnih faktorjev za projektiranje po Evrokodu 7 [6]

V Sloveniji se za geotehnično projektiranje uporablja projektni pristop 2 (DA 2). Za preverjanje globalne stabilnosti pa se uporablja projektni pristop 3 (DA 3). Pri projektne pristopu 2 se delne faktorje za karakteristične vplive uporabi na začetku računa [2].

3.2 Gradbena jama s prostimi brežinami

Neugodna, barjanska sestava tal, podzemna voda in lokacija novogradnje v urbanem pozidanem okolju onemogoča izvedbo jame s prostimi brežinami. V takem okolju gradbeno jamo običajno zaščitimo z vertikalno podporno konstrukcijo.

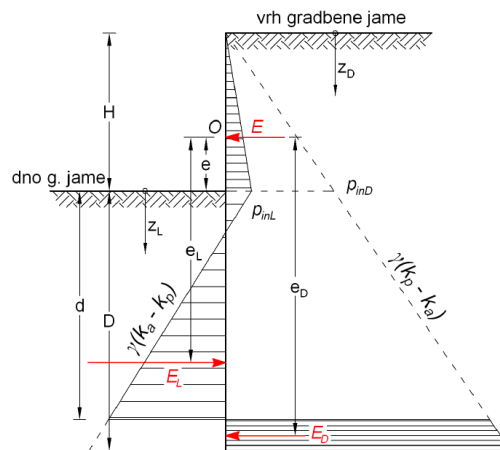
3.3 Konzolna podporna konstrukcija

Analitičen izračun konzolne podporne konstrukcije temelji na naslednjih predpostavkah [1]:

- podporna konstrukcija je toga
- podporna konstrukcija se zavrti okrog vrtilišča v temeljnih tleh
- v področju, kjer se konstrukcija odmakne od temeljnih tal delujejo na konstrukcijo aktivni zemeljski pritiski, kjer pa se konstrukcija nasloni na temeljna tla zemljina nudi pasivni odpor
- konzolna konstrukcija pride v poštev, če je največji vodoravni pomik v dopustnih mejah in kadar lahko s konstrukcijo prevzamemo relativno velike upogibne obremenitve

Postopek računanja obsega [1]:

- izračun aktivnih in pasivnih zemeljskih pritiskov do dna gradbene jame
- nad dnom gradbene jame izračunamo rezultanto aktivnih in pasivnih zemeljskih pritiskov
- pod dnom gradbene jame se bodo zaradi odmika konstrukcije od zaledja v zaledju mobilizirali aktivni zemeljski pritiski, na svetli strani konstrukcije pa pasivni odpor zemljine
- ravnovesje bo doseženo pri neki globini vpetja konzolne stene in pri določeni globini vrtilišča



Slika 4: Rezultirajoči zemeljski pritiski vzdolž konzolne konstrukcije [1]

3.4 Sidrana podporna konstrukcija

Analitičen izračun sidrane podporne konstrukcije temelji na naslednjih predpostavkah [1]:

- podporna konstrukcija se odmakne od zaledja po vsej globini
- v zaledju delujejo na konstrukcijo aktivni zemeljski pritiski
- prvotni mirni pritiski v zaledju konstrukcije se z odmikom konstrukcije začnejo zmanjševati proti aktivnim tlakom, s primikom konstrukcije k zemljini pa se mirni pritiski začno povečevati proti pasivnim tlakom

Postopek računanja obsega naslednje faze [1]:

- nad dnom gradbene jame izračunamo rezultanto pasivnih in aktivnih zemeljskih pritiskov
- iz momentnega ravnotežnega pogoja na prijemališče sider, določimo eno samo globino vpetja podporne konstrukcije

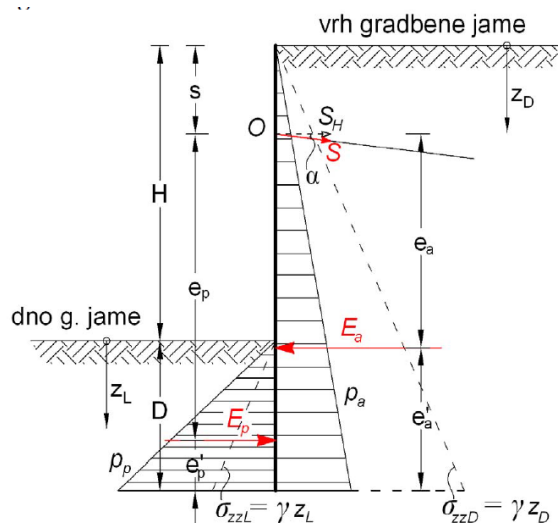
$$\sum M^s = 0$$

$$E_p * e_p - E_a * e_a = 0 \quad (4)$$

- iz ravnotežnega pogoja vsote horizontalnih sil določimo vodoravno komponento sidrne sile [1]

$$\sum x = 0$$

$$S_H + E_p - E_a = 0 \quad (5)$$



Slika 5: Rezultirajoči zemeljski pritiski vzdolž sidrane podporne konstrukcije [1]

4. GEOSTATIČNA ANALIZA

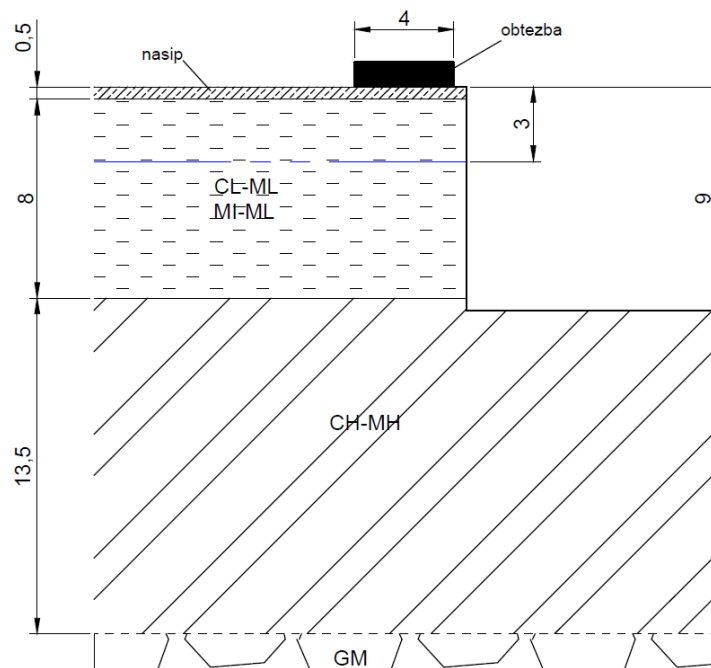
4.1 Gradbena jama s prostimi brežinami

Izvedba gradbene jame s prostimi brežinami je neizvedljiva. Neugodna, barjanska sestava tal, podzemna voda in lokacija v urbanem pozidanim okolju onemogoča izvedbo jame s prostimi brežinami.

4.2 Konzolna podporna konstrukcija

Računski model gradbene jame temelji na podatkih dobljenih iz meritev v kritični vrtini. Upoštevan je vpliv dodatne trakaste obežbe širine 4 m in velikosti $q = 30 \text{ kN/m}^2$, ki je od roba gradbene jame oddaljena 0,5 m. Voda je na globini 3 metrov.

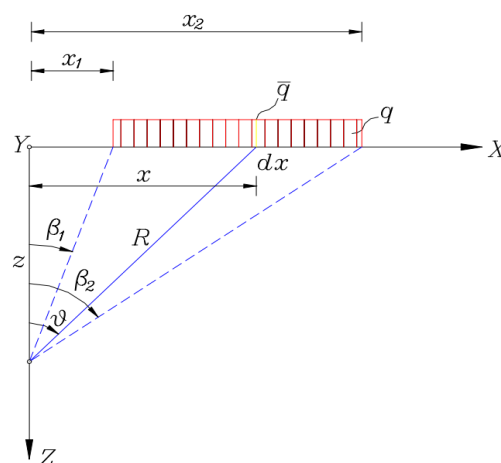
Računski model je prikazan na sliki 6:



Slika 6: Računski model gradbene jame v kritičnem prerezu

Dodatne napetosti v temeljnih tleh zaradi obtežbe so računane po enačbi (6) in ob upoštevanju oznak na sliki 7.

$$\sigma_{zz} = \frac{q}{\pi} [\sin 2\varepsilon * \cos 2\psi + 2\varepsilon] \quad (6)$$



Slika 7: Vpliv trakaste obtežbe na vertikalne napetosti [7]

$$X_1 = 0,5 \text{ m}$$

$$X_2 = 4,5 \text{ m}$$

z [m]	β_1	β_2	2ε	2ψ	$\sin 2\varepsilon$	$\cos 2\psi$	σ_{zz} (kPa)
0,00	1,57	1,57	0,00	3,14	0,00	1,00	0,00
0,50	0,79	1,46	0,67	2,25	0,62	-0,62	2,72
3,00	0,17	0,98	0,82	1,15	0,73	0,41	10,67
6,80	0,07	0,58	0,51	0,66	0,49	0,79	8,58
8,50	0,06	0,49	0,43	0,55	0,42	0,85	7,48
9,00	0,06	0,46	0,41	0,52	0,40	0,87	7,19
10,00	0,05	0,42	0,37	0,47	0,36	0,89	6,66
11,00	0,05	0,39	0,34	0,43	0,34	0,91	6,19
12,00	0,04	0,36	0,32	0,40	0,31	0,92	5,77
13,00	0,04	0,33	0,29	0,37	0,29	0,93	5,40
14,00	0,04	0,31	0,28	0,35	0,27	0,94	5,07
15,00	0,03	0,29	0,26	0,32	0,26	0,95	4,78
16,00	0,03	0,27	0,24	0,31	0,24	0,95	4,51
17,00	0,03	0,26	0,23	0,29	0,23	0,96	4,27
18,00	0,03	0,24	0,22	0,27	0,22	0,96	4,06
19,00	0,03	0,23	0,21	0,26	0,20	0,97	3,86
20,00	0,02	0,22	0,20	0,25	0,20	0,97	3,68
21,00	0,02	0,21	0,19	0,23	0,19	0,97	3,52
22,00	0,02	0,20	0,18	0,22	0,18	0,97	3,37

Razpredelnica 2: Vpliv trakaste obtežbe glede na globino

Enačbe za izračun zemeljskih pritiskov:

$$p_a = \sigma'_v * k_a - 2c\sqrt{k_a} \quad (7)$$

$$p_p = \sigma'_v * k_p + 2c\sqrt{k_a} \quad (8)$$

$$\sigma'_v = \sigma_v - u \quad (9)$$

$$\sigma_v = \sigma_{vz} + \sigma_{zz} \quad (10)$$

$$k_a = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (11)$$

$$k_p = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) \quad (12)$$

p_a ...aktivni zemeljski pritiski

σ_{zz} ... napetosti zaradi dodatne obtežbe

p_p ...pasivni zemeljski pritiski

σ_v ... totalne napetosti

k_a ... količnik aktivnega zemeljskega pritiska

σ'_v ... efektivne napetosti

k_p ... količnik pasivnega zemeljskega pritiska

u ... porni tlak

σ_{vz} ...napetosti zaradi lastne teže tal

φ ...strižni kot

c ... kohezija

Izračun globine vrtilišča in vpetja:

$$M_D = \frac{A}{3}(D^3 - d^3) + \frac{1}{2}(AH + p_{inD})(D^2 - d^2) + Hp_{inD}(D - d) \quad (13)$$

$$M_L = \frac{Ad^3}{3} + (AH - p_{inL})\frac{d^2}{2} - Hp_{inL}d \quad (14)$$

$$A = \gamma \left(\frac{k_p}{\gamma_R} - k_a \gamma_E \right) \quad (15)$$

$$\sum M^0 = E * e + M_L - M_D \quad (16)$$

γ ...prostorninska teže zemljine

$$\gamma_E = 1,35$$

H ...višina gradbene jame

$$\gamma_R = 1,4$$

P_{inD} ... aktivni zem. pritiski na dnu gradbene jame z upoštevanjem varnostnega faktorja

p_{inL} ... pasivni zem. pritiski na dnu gradbene jame z upoštevanjem varnostnega faktorja

z [m]	ov[kPa]	u[kPa]	ov'[kPa]	ka	2cv/ka[kPa]	pa[kPa]	pa+u[kPa]	kp	pa'[kPa]	pa'+u[kPa]
0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	1,15	-1,15	-1,15	3,00	-1,56	-1,56
0,50	12,47	0,00	12,47	0,33	1,15	3,00	3,00	3,00	4,05	4,05
0,50	12,47	0,00	12,47	0,32	1,13	2,86	2,86	3,12	3,86	3,86
3,00	70,42	0,00	70,42	0,32	1,13	21,41	21,41	3,12	28,90	28,90
8,50	177,23	55,00	122,23	0,32	1,13	37,99	92,99	3,12	51,29	106,29
8,50	177,23	55,00	122,23	0,35	0,00	42,41	97,41	2,88	57,25	112,25
9,00	186,69	60,00	126,69	0,35	0,00	43,96	103,96	2,88	59,34	119,34
22,00	440,48	190,00	250,48	0,35	0,00	86,91	276,91	2,88	117,33	307,33

Razpredelnica 3: Zemeljski pritiski in napetosti v odvisnosti od globine

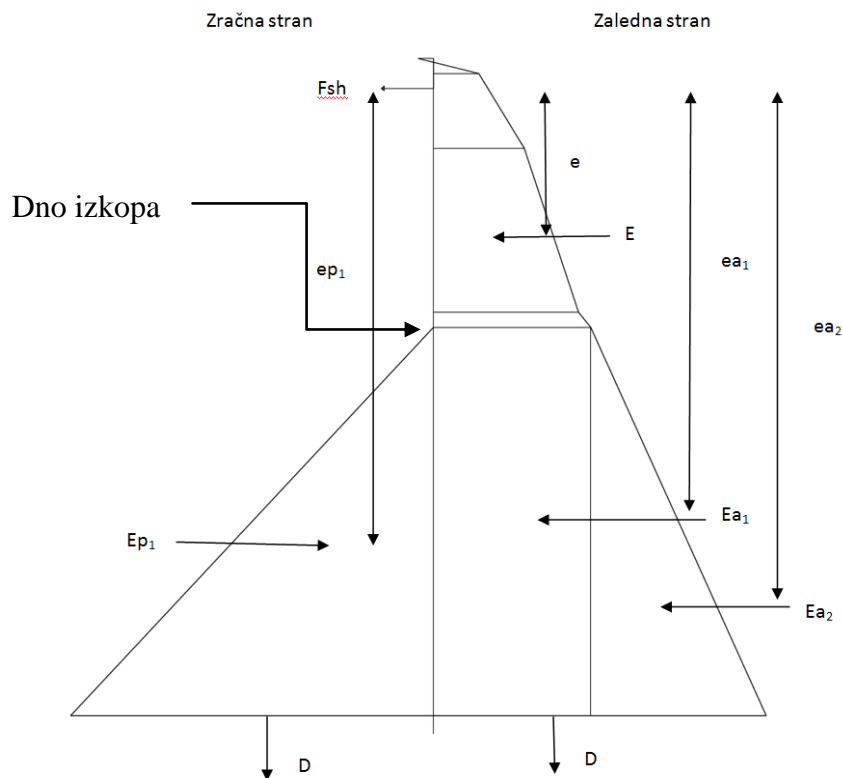
D – globina vpetja	32,1 m
d – globina vrtilišča	29,0 m

Razpredelnica 4: Vrednosti globine vpetja in vrtilišča

Konzolna podporna konstrukcija ni izvedljiva zaradi prevelike globine vpetja.

4.3 Sidrana podporna konstrukcija

Pri sidrani podporni konstrukciji upoštevamo podoben računski model, kot pri konzolno podprti konstrukciji. Računsko smo preverili dva računski profila po podatkih vrtin V2 in V3, ki se najbolj razlikujeta od ostalih. Pri računskem profilu, ki upošteva sestavo tal po vrtini V3 upoštevamo obtežbo ($q = 30 \text{ kN/m}^2$) v oddaljenosti 0,5 m od roba gradbene jame. Pri računskem profilu, ki upošteva sestavo tal po vrtini V2, ne upoštevamo dodatne obtežbe zaledja. Oba računski modela bosta sidrana na razdalji 1 m od vrha gradbene jame. Zaradi neugodne sestave tal v zgornjih slojih, bo globina vpetja konstrukcije segala v prodno peščene zemljine. Izračunati moramo globino vpetja v sloj prodno peščenih zemljin.



Slika 8: Shema računa globine vpetja

4.3.1 Geostatični izračun sidrane pilotne stene

4.3.1.1 Izračun za sestavo tal po vrtni V3

Izračun obremenitev in velikosti zemeljskih pritiskov je prikazan v razpredelnici 5.

z [m]	σ_v [kPa]	u[kPa]	σ'_v [kPa]	k_a	$2c_v/k_a$ [kPa]	pa[kPa]	pa+u[kPa]	kp	pa'[kPa]	pa'+u[kPa]
0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	1,15	-1,15	-1,15	3,00	-1,56	-1,56
0,50	12,47	0,00	12,47	0,33	1,15	3,00	3,00	3,00	4,05	4,05
0,50	12,47	0,00	12,47	0,32	1,13	2,86	2,86	3,12	3,86	3,86
3,00	70,42	0,00	70,42	0,32	1,13	21,41	21,41	3,12	28,90	28,90
8,50	177,23	55,00	122,23	0,32	1,13	37,99	92,99	3,12	51,29	106,29
8,50	177,23	55,00	122,23	0,35	0,00	42,41	97,41	2,88	57,25	112,25
9,00	186,69	60,00	126,69	0,35	0,00	43,96	103,96	2,88	59,34	119,34
22,00	440,48	190,00	250,48	0,35	0,00	86,91	276,91	2,88	117,33	307,33

Razpredelnica 5: Zemeljski pritiski in napetosti v odvisnosti od globine za vrtno V3

Globina sider $h = 1$ m

Globina gradbene jame $H = 9$ m

$$\gamma_G = 1,35 ; \gamma_R = 1,4$$

$$\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$$

Rezultanta zemeljskih pritiskov na zaledni strani, pod globino 22 m:

$$(\sigma'_v * k_a + (\gamma - \gamma_w) * k_a) * \gamma_G * u + \gamma_w * D =$$

$$(250,48 * 0,217 + 12D * 0,217) * 1,35 + 190 + 10D = 263,513 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 13,52D$$

Rezultanta zemeljskega odpora na zračni strani, pod globino 22 m:

$$\frac{(\sigma'_v * k_p + (\gamma - \gamma_w) * k_p)}{\gamma_R} * u + \gamma_w * D =$$

$$\frac{(123,5 * 4,599 + 12D * 4,599)}{1,4} + 130 + 10D = 535,67 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 49,42D$$

Rezultante zemeljskih pritiskov in pripadajoče razdalje do vpetja sider:

$E = 471,25 \text{ kN/m}$	$e = 5,206 \text{ m}$	$E_{p1} = 2497,54 \text{ kN/m}$	$e_{p1} = 16,67 \text{ m}$
$E_{a1} = 1551,46 \text{ kN/m}$	$e_{a1} = 14,5 \text{ m}$	$E_{p2} = 535,67 * D$	$e_{p2} = (21 + 1/2D) \text{ m}$
$E_{a2} = 1221,03 \text{ kN/m}$	$e_{a2} = 16,67 \text{ m}$	$E_{p3} = 49,42 * D^2/2$	$e_{p3} = (21 + 2/3D) \text{ m}$
$E_{a3} = 263,513 * D$	$e_{a3} = (21 + 1/2D) \text{ m}$		
$E_{a4} = 13,52 * D^2/2$	$e_{a4} = (21 + 2/3D) \text{ m}$		

Izračun globine vpetja in sidrne sile po enačbi (4) in (5):

$$\Sigma M^s = 0$$

$$\begin{aligned} -471,25 * 5,206 - 1551,46 * 14,5 - 1221,03 * 16,67 - 6,76 * D^2 * (21 + \frac{2}{3} * D) - 263,513 * D * (21 + \frac{D}{2}) \\ + 2497,82 * 16,67 + 535,67 * D * (21 + \frac{D}{2}) + 27,7 * D^2 * (21 + \frac{2}{3} * D) = 0 \end{aligned}$$

Pri pogoju $\Sigma M^s = 0$, iterativno določimo globino vpetja:

$$D = 0,61 \text{ m} \Rightarrow \text{skupna dolžina vpetja: } 13 \text{ m} + 0,61 \text{ m} = 13,61 \text{ m}$$

Sidrna sila:

$$\Sigma E_a = 471,25 + 1551,46 + 1221,03 + 160,22 + 2,5 = 3406,466 \text{ kN/m}$$

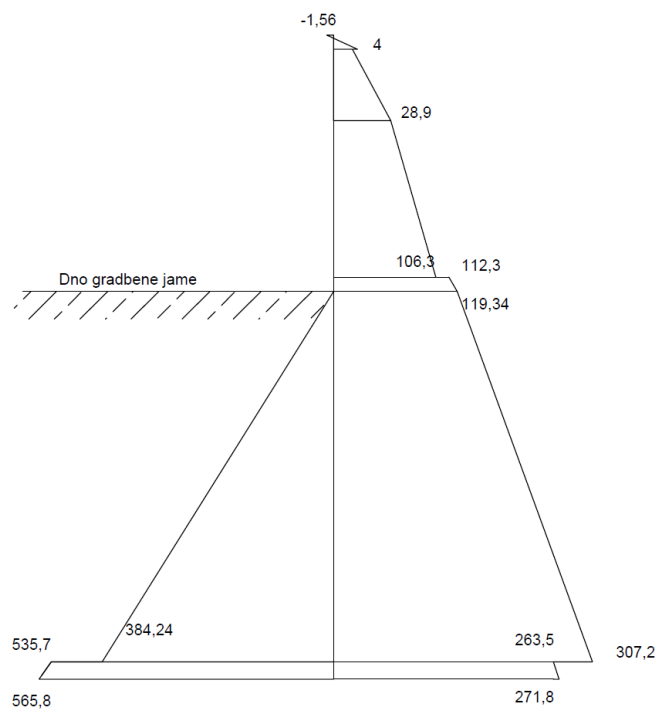
$$\Sigma E_p = 2497,82 + 325,69 + 9,13 = 2832,64 \text{ kN/m}$$

$$F_{sh} = \Sigma E_a - \Sigma E_p$$

$$F_{sh} = 573,82 \text{ kN/m}$$

$$F_s = \frac{573,82}{\cos 45^\circ} = 811,5 \text{ kN/m}$$

Zemeljski pritiski na sidrano podporno konstrukcijo za primer vrtine V3 so prikazani na sliki 9.



Slika 9: Zemeljski pritiski na sidrano podporno konstrukcijo za primer vrtine V3 [kPa]

4.3.1.2 Izračun za sestavo tal po vrtini V2

z [m]	σ_v [kPa]	u[kPa]	σ_v' [kPa]	k_a	$2c_v/k_a$ [kPa]	p_a [kPa]	p_a+u [kPa]	k_p	p_a' [kPa]	$p_a'+u$ [kPa]
0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	1,15	-1,15	-1,15	3,00	-1,56	-1,56
0,90	17,55	0,00	17,55	0,33	1,15	4,70	4,70	3,00	6,34	6,34
0,90	17,55	0,00	17,55	0,32	1,13	4,49	4,49	3,12	6,06	6,06
3,50	69,55	0,00	69,55	0,32	1,13	21,13	21,13	3,12	28,53	28,53
5,20	103,55	17,00	86,55	0,32	1,13	26,57	43,57	3,12	35,87	52,87
5,20	103,55	17,00	86,55	0,35	0,00	30,03	47,03	2,88	40,54	57,54
9,00	177,65	55,00	122,65	0,35	0,00	42,56	97,56	2,88	57,45	112,45
22,00	431,15	185,00	246,15	0,35	0,00	85,41	270,41	2,88	115,30	300,30

Razpredelnica 6: Zemeljski pritiski in napetosti v odvisnosti od globine za vrtino V2

Globina sider – $h = 1$ m

Višina gradbene jame – $H = 9$ m

$$\gamma_G = 1,35$$

$$\gamma_R = 1,4$$

$$\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$$

Rezultanta zemeljskih pritiskov na zaledni strani, pod globino 22 m:

$$(\sigma_v' * k_a + (\gamma - \gamma_w) * k_a) * \gamma_G + u + \gamma_w D =$$

$$(246,15 * 0,217 + 12D * 0,217) * 1,35 + 185 + 10D = 257,24 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 13,52D$$

Rezultanta zemeljskega odpora na zračni strani, pod globino 22 m:

$$\frac{(\sigma_v' * k_p + (\gamma - \gamma_w) * k_p)}{\gamma_R} + u + \gamma_w D =$$

$$\frac{(123,5 * 4,599 + 12D * 4,599)}{1,4} + 130 + 10D = 535,67 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 49,42D$$

Rezultante zemeljskih pritiskov in pripadajoče razdalje do vpetja sider:

$$E = 439,29 \text{ kN/m}$$

$$e = 5,327 \text{ m}$$

$$E_{p1} = 2497,54 \text{ kN/m}$$

$$e_{p1} = 16,67 \text{ m}$$

$$E_{a1} = 1461,86 \text{ kN/m}$$

$$e_{a1} = 14,5 \text{ m}$$

$$E_{p2} = 535,67 * D$$

$$e_{p2} = (21 + 1/2D) \text{ m}$$

$$E_{a2} = 1221,03 \text{ kN/m}$$

$$e_{a2} = 16,67 \text{ m}$$

$$E_{p3} = 49,42 * D^2 / 2$$

$$e_{p3} = (21 + 2/3D) \text{ m}$$

$$E_{a3} = 257,243 * D$$

$$e_{a3} = (21 + 1/2D) \text{ m}$$

$$E_{a4} = 13,52 * D^2 / 2$$

$$e_{a4} = (21 + 2/3D) \text{ m}$$

Izračun globine vpetja in sidrne sile po enačbi (1) in (2):

$$\Sigma M^s = 0$$

$$\begin{aligned} -439,286 * 5,327 - 1461,86 * 14,5 - 1221,03 * 16,67 - 6,76 * D^2 * (21 + \frac{2}{3} * D) - 257,24 * D * (21 + \frac{D}{2}) \\ + 2497,82 * 16,67 + 535,67 * D * (21 + \frac{D}{2}) + 27,7 * D^2 * (21 + \frac{2}{3} * D) = 0 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow D = 0,37 \text{ m} \Rightarrow \text{skupna dolžina vpetja: } 13 \text{ m} + 0,37 \text{ m} = 13,37 \text{ m}$$

Sidrna sila:

$$\Sigma E_a = 439,29 + 1461,86 + 1221,03 + 95,18 + 1,85 = 3219,21 \text{ kN/m}$$

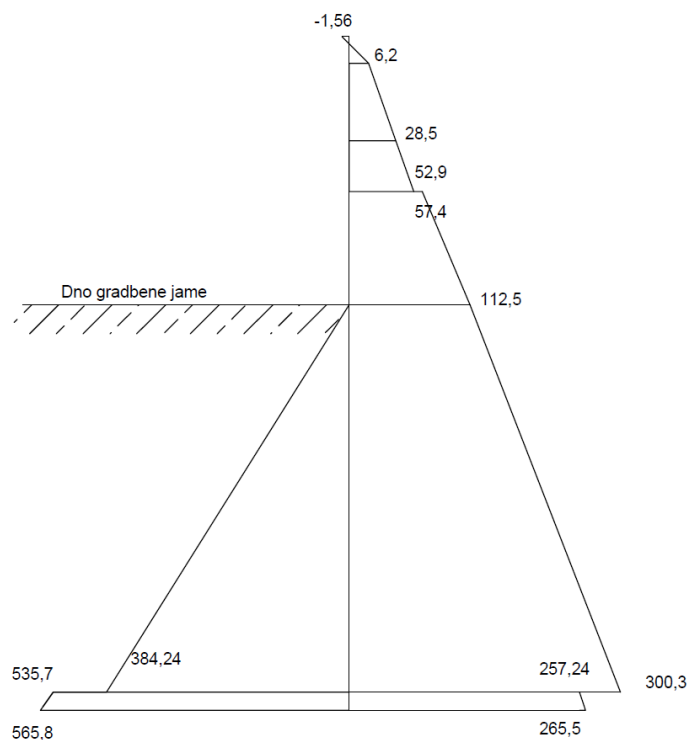
$$\Sigma E_p = 2497,82 + 198,20 + 6,77 = 2702,79 \text{ kN/m}$$

$$F_{sh} = \Sigma E_a - \Sigma E_p$$

$$F_{sh} = 516,42 \text{ kN/m}$$

$$F_s = \frac{516,42}{\cos 45^\circ} = 730,33 \text{ kN/m}$$

Zemeljski pritiski na sidrano podporno konstrukcijo za primer vrtine V2 so prikazani na sliki 10.



Slika 10: Zemeljski pritiski na sidrano podporno konstrukcijo za primer vrtine V2 [kPa]

Iz računa globine vpetja v dveh primerih, na podlagi podatkov iz vrtin V2 in V3, lahko ugotovimo, da se globina vpetja ne razlikuje bistveno (za 24 cm). Uporabili bomo pilote enotne dolžine 22,6 m. V nadaljevanju so prikazani izračuni za sestavo tal po vrtini V3.

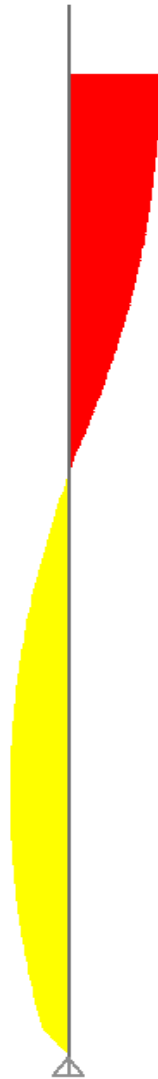
4.3.1.3 Izračun notranje statičnih količin z uporabo programa SAP2000:

Na sliki 11 je shematično prikazan diagram upogibnih momentov v konstrukciji. Maksimalen upogibni moment, ki ga upoštevamo pri dimenzioniranju pilotov, znaša 3111 kNm/m.



Slika 11: Diagram upogibnih momentov v konstrukciji ($M_{\max} = 3111$ kNm/m)

Na sliki 12 je prikaz poteka prečnih sil v konstrukciji.

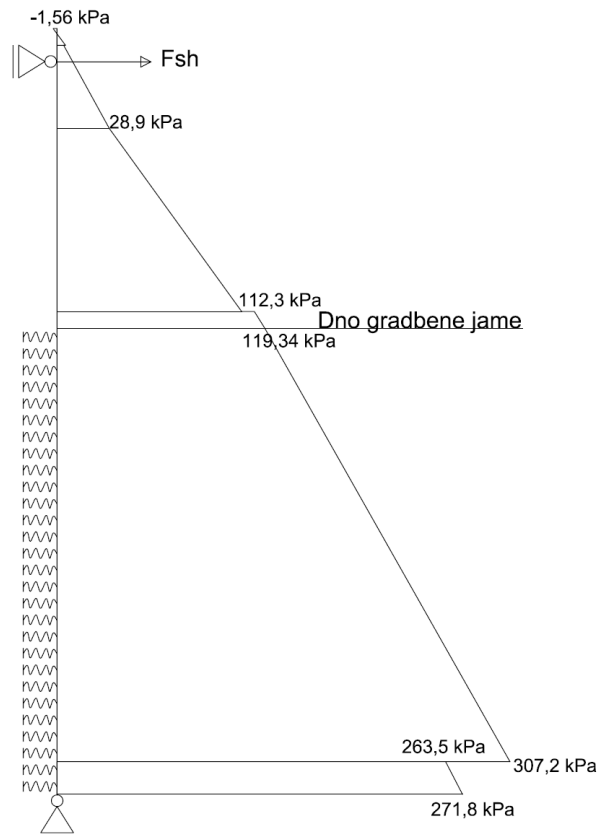


Slika 12: Diagram prečnih sil v konstrukciji ($Q_{\max} = 570 \text{ kN/m}$)

Maksimalna prečna sila, velikosti 570 kN/m se pojavi na mestu sidranja, 1 m od vrha konstrukcije.

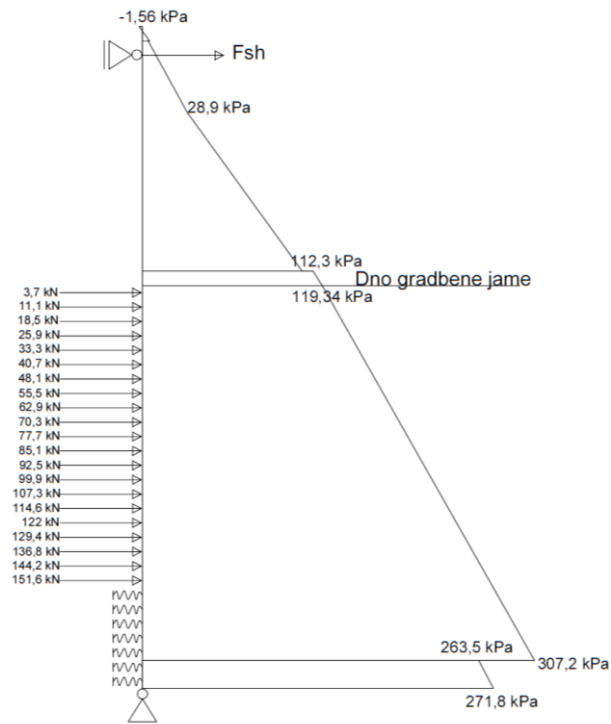
4.3.1.4 Winklerjeve vzmeti

Odpor zemljine smo nadomestili z Winklerjevimi vzmetmi ob upoštevanju geometrije in modula reakcij tal $k = 3000 \frac{kN}{m^2} / m$ v glinah in modula reakcij tal $k = 60000 \frac{kN}{m^2} / m$ v prodnato peščenih zemljinah.



Slika 13: Računska shema metode z Winklerjevimi vzmetmi

Vzmeti, ki so bile obremenjene več, kot je znašal zemeljski odpor, smo postopoma odstranili in jih nadomestili s silami, ki prikazujejo odpor zemljine na tem mestu. Ko je obremenitev v vzmeti enaka zemeljskemu odporu dobimo končni računski model metode z Winklerjevimi vzmetmi, ki je prikazan na sliki 14.



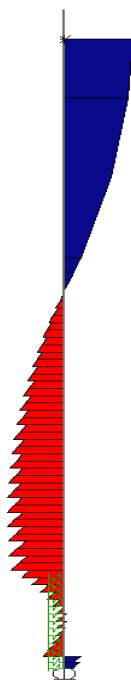
Slika 14: Končni računski model metode z Winklerjevimi vzmetmi

Na sliki 15 je shematično prikazan diagram upogibnih momentov v konstrukciji izračunan z Winklerjevimi vzmetmi. Maksimalen moment znaša 3080 kNm/m.

Slika 15: Diagram upogibnih momentov v konstrukciji - izračun z Winklerjevimi vzmetmi
($M_{\max} = 3080 \text{ kNm/m}$)

Potek prečnih sil konstrukcije izračunane z Winklerjevimi vzmetmi je prikaza na sliki 16.

Maksimalna prečna sila znaša 543 kN/m.



Slika 16: Diagram prečnih sil v konstrukciji – izračun z Winklerjevimi vzmetmi ($Q_{\max} = 543$ kN/m)

Z metodo Winklerjevih vzmeti preverimo tudi pomike v konstrukciji, ki so prikazani na sliki 17. Maksimalen pomik znaša 3,6 cm.



Slika 17: Potek pomikov po konstrukciji ($u_{\max} = 3,6$ cm)

4.3.2 Dimenzioniranje pilotov

Pri dimenzioniranju si moramo najprej izbrati tip pilota in medosno razdaljo med piloti. Predvidenih je 83 pilotov premera 1,25 m na medosni razdalji 2 m. Izračun izvedemo za maksimalno projektno vrednost momenta 3111 kNm/m.

AB pilot:

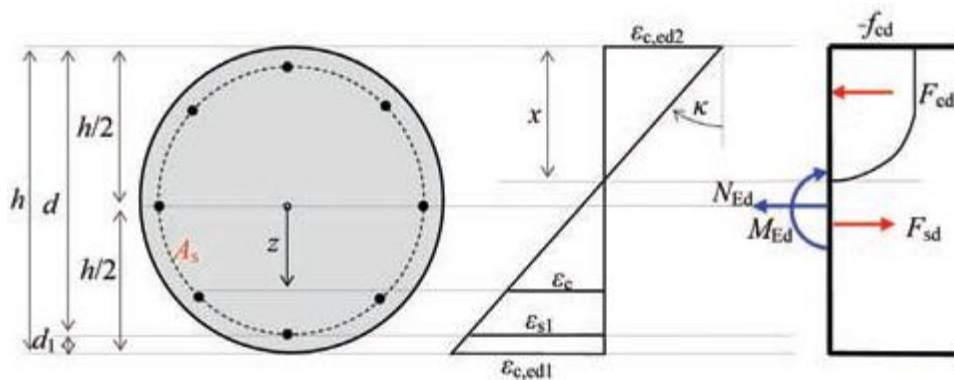
Beton: C30/37

Armatura: S500

Premer: 1,25 m

Medosna razdalja pilotov [m]	1,25	2
Moment M_{max} [kNm]	3888,8	6222
Oсна sila zaradi lastne teže [kN]	694	694

Razpredelnica 7: Moment in osna sila na pilot



Slika 18: Shema armature v pilotu [4]

h [m]	1,25	f_{ck} [kN/cm ²]	2
d [m]	1,125	f_{yd} [kN/cm ²]	43,48
d_1 [m]	0,125	A_c [cm ²]	12271,85

Razpredelnica 8: Dimenzije prereza in lastnosti materiala

$$\mu_{ed} = \frac{Med}{Ac * h * fcd} = \frac{622200}{12271,85 * 125 * 2} = 0,20$$

Iz interakcijskega diagrama (priloga 1) odčitamo vrednost $\omega = 0,6$.

$$As = \omega * \frac{fcd}{fyd} * Ac = 0,6 * \frac{2}{43,48} * 12271,85 = 339 \text{ cm}^2$$

Izberemo armaturo: 35 palic $\phi 36$ ($As_{dej} = 356,3 \text{ cm}^2$)

Stopnja armiranja:

$$\frac{As}{Ac} * 100 = \frac{356,3}{12271,85} * 100 = 2,9\% < 4\%$$

Maksimalna stopnja armiranja je 4%. (EN 1992-1-1:2004: 9.2.1.1(3))

4.3.3 Dimenzioniranje grede

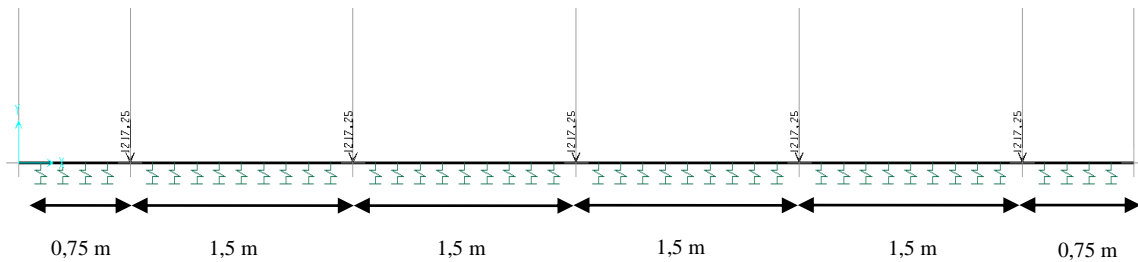
Sidrno armiranobetonsko gredo moramo dimenzionirati tako, da poveže pilote in prenese obtežbo na sidra. Statični izračun AB grede izvedemo za primer nosilca na elastični podlagi. Upoštevamo sidrno silo, ki smo jo dobili pri statičnem izračunu. Sidra smo razporedili na razdalji 1,5 m.

Razmak med sidri [m]	1	1,5
Sidrna sila F_s [kN]	811,5	1217,25

Razpredelnica 9: Sidrna sila

Za elastično podprto vezno gredo smo upoštevali modul reakcije tal k [kN/m³] v vrednosti 3000 kN/m²/m.

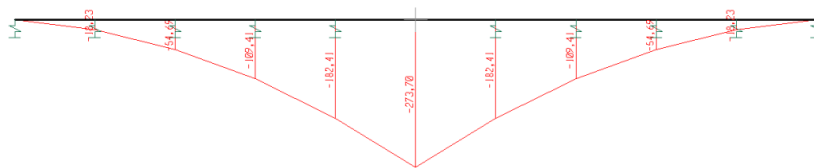
Shema grede na elastični podlagi:



Slika 19: Shema grede na elastični podlagi

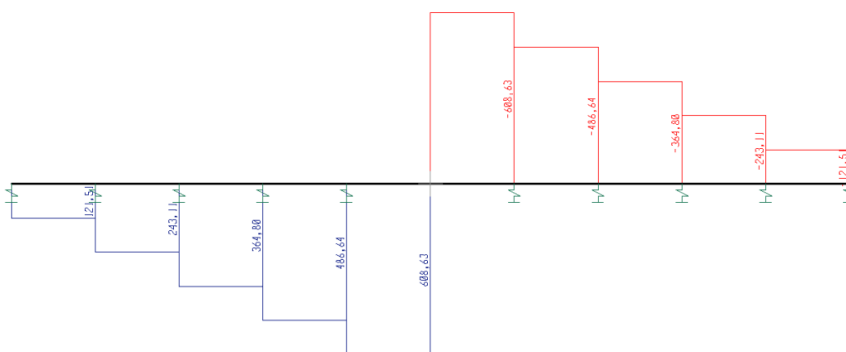
Statični izračun vpliva posamezne sidrne sile na gredo s programom SAP2000:

Upogibni momenti v AB gredi za primer obremenitve s posamezno sidrno silo (faza napenjanja) je prikazan na sliki 20.



Slika 20: Upogibni momenti v gredi zaradi obremenitve s posamezno silo [kNm]

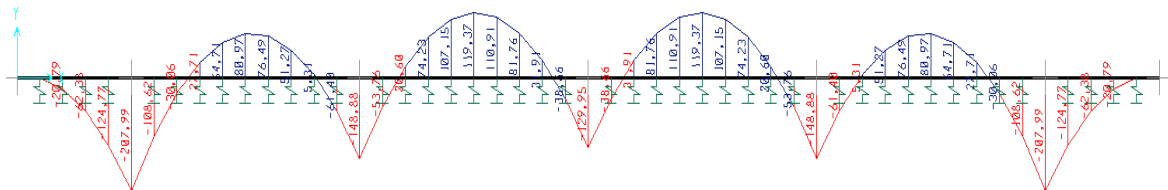
Prečne sile v AB gredi za primer obremenitve s posamezno sidrno silo (faza napenjanja) so prikazane na sliki 21.



Slika 21: Prečne sile v gredi zaradi obremenitve s posamezno silo [kN]

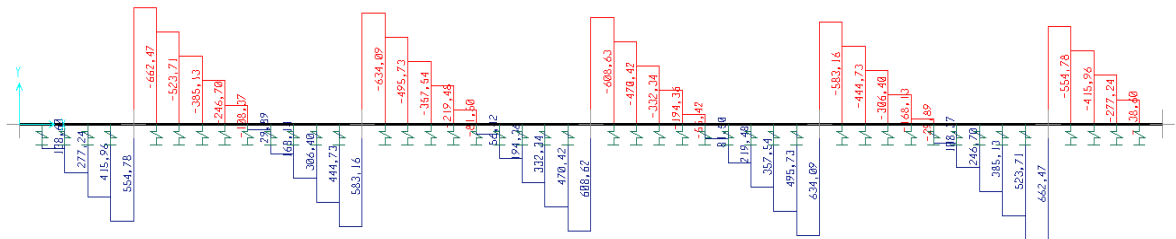
Statični izračun vpliva sidrnih sil na del grede je bil izračunan s programom SAP2000.

Upogibni momenti v AB gredi za primer obremenitve skupine sidrnih sil so prikazani na sliki 22.



Slika 22: Upogibni moment za primer obremenitve skupine sidrnih sil na gredo [kNm]

Prečne sile v AB gredi za primer obremenitve skupine sidrnih sil so prikazane na sliki 23.



Slika 23: Prečne sile za primer obremenitve skupine sidrnih sil na gredo [kN]

Dimenzioniranje AB grede:

Beton: C30/35

Armatura: S500

Minimalni moment -273,8 kNm/m

Maksimalni moment 119,4 kNm/m

Prečna sila: 662,5 kN/m

višina prereza h [m]	0,8
širina prereza b [m]	1,35
statična višina d [m]	1,2

Razpredelnica 10: Dimenzije grede

$$kd = \frac{Med}{fcd * h * d^2} = \frac{273,8 * 100}{2 * 80 * 120^2} = 0,012$$

Iz tabel (priloga 2) odčitamo $k_s = 1,121$

$$A_s = k_s * \frac{Med}{d * f_{yd}} = 1,121 * \frac{273,8 * 100}{120 * 43,48} = 5,3 \text{ cm}^2$$

Minimalna vzdolžna armatura (EN 1992-1-1:2004: 9.2.1 .1(1)) :

$$A_{s \min} = 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * h * d = 0,26 * \frac{0,29}{50} * 80 * 120 = 14,5 \text{ cm}^2$$

Vstavimo minimalno vzdolžno armaturo 5 palic $\phi 20$ ($A_{s \text{dej}} = 15,7 \text{ cm}^2$)

Določitev strižne armature vezne grede:

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp} \right] b_w * d \geq (v_{\min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w * d$$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$$

$$k_1 = 0,15$$

$$v_{\min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d [\text{mm}]}} \leq 2$$

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w * d} \leq 0,02$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{ed}}{A_c} < 0,2 f_{cd}$$

$$V_{Rd,c} = \left[0,12 * 1,5 (100 * 0,015 * 30)^{1/3} + 0,15 * 0 \right] 800 * 1200 = 614,6 \text{ kN}$$

Ker je $V_{ed} < V_{Rd,c}$ računski strižna armatura ni potrebna. Namestimo minimalno strižno

$$\text{armaturo: } A_{sw \min} = \rho_w * s * b_w = 0,0009 * 80 * 30 = 2,2 \text{ cm}^2$$

4.3.4 Dimenzioniranje sider

Geotehnična sidra, se izvedejo v skupni dolžini 39 m v naklonu 45°. Dolžina prostega dela sidra je 30 m, veznega dela pa 9 m. Sidra so iz 7 pramen ($A_1 = 150 \text{ mm}^2$, $d_1 = 36,6 \text{ mm}$), kvalitete jekla $f_{tk} = 1770 \text{ N/mm}^2$.

Projektna sidrna sila P_d mora biti manjša ali enaka projektni vrednosti odpora proti izvleku

$$R_{a,d}:$$

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

$$P_d = 1217,25 \text{ kN}$$

$$R_{a,d} = 1217,25 \text{ kN}$$

Izračun odpornosti sidra na izvlek po Lendi – ju izvedemo z enačbo (17) [4].

$$H_f = R_{a,d} (\tan \varphi'_d, c_d)$$

$$H_f = \frac{8R * \gamma * z_t * \tan \varphi * l_v}{\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha (1 + 2 \tan^2 \varphi) + 2 \sin \alpha \cos \alpha} + c * 2 * \pi * R * l_v * \cos^2 \varphi \quad (17)$$

Ob upoštevanju lastnosti prodnato peščenih zemljin, premera vrtine – R, nosilnosti sidra ter naklona sider – α izračunamo dolžino veznega dela sidra, ki znaša 8,4 m.

V splošnem velja, da vezna dolžina ne sme biti manjša od 3 m in ne večja od 10 m [4]. Dejanska nosilnost sidra se določi s testnimi sidri v skladu z Evrokodom 7.

Notranja nosilnost:

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

$R_{a,d}$...projektna vrednost notranje nosilnosti sidra

$R_{t,d}$...projektna vrednost nateznega odpora sidra

Za 7 vrvno prednapeto sidro velja: $P_{t,k} = A_{7, vrvi} * f_u = 1050 * 1770 = 1858,5 \text{ kN}$

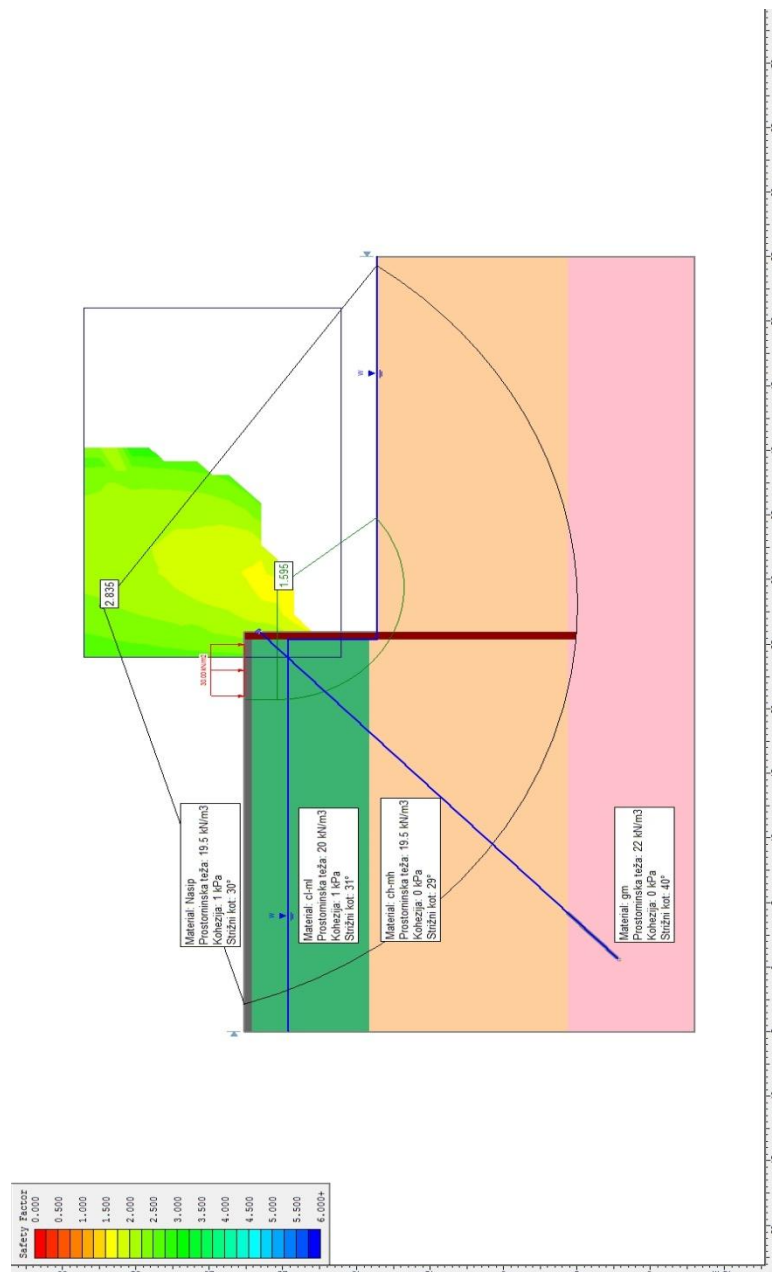
Projektno vrednost nateznega odpora sider dobimo:

$$R_{t,d} = \frac{1858,5}{1,15} = 1616,1 \text{ kN}$$

Pogoju je zadoščeno.

5. GLOBALNA STABILNOSTNA ANALIZA

Globalna stabilnostna analiza varovane gradbene jame s sidrano podporno konstrukcijo je narejena s programom SLIDE 5.0. Drsine, ki potekajo pod konstrukcijo imajo varnost 2,8 kar je več od zahtevane. Izkaže se, da je konstrukcija globalno stabilna.



Slika 24: Kontrola globalne stabilnosti sidrane podporne konstrukcije

6. ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi smo preverili varovanje gradbene jame poslovnega objekta. Geostatično analizo smo izvedeli po dveh analitičnih postopkih. Gre za gradbeno jamo globine 9 m v neugodnih barjanskih tleh. Računsko potrebna globino vpetja znaša 22,6 m, od tega le 0,6 m v ugodnejše prodnato peščene zemljine. Z vidika varnosti, bi bilo pilote smiselno uvrstati vsaj 1 m v ugoden prodnato peščen sloj. Geostatičen izračun po Winklerjevi metodi z elastičnimi vzmetmi izkaže nekoliko manjše notranje sile glede na analitični izračun. Za dimenzioniranje konstrukcije uporabimo maksimalne izračunane vrednosti notranjih sil, tako da je varnost zagotovljena. Za razliko od analitične metode, izračun po Winklerjevi metodi z uporabo elastičnih vzmeti omogoča tudi izračun pomikov konstrukcije. Maksimalni izračunani pomik konstrukcije znaša 3,6 cm in je v splošnem sprejemljivega velikostnega reda, tako da je zagotovljeno tudi mejno stanje nosilnosti. V izogib težavam pri sidranju konstrukcije z dolgimi in podajnimi sidri, bi bilo, glede na širino gradbene jame (od 13 do 22,5 m), bolj smiselno izvesti razpiranje z jeklenimi razporami (slika 25).



Slika 25: Podporna konstrukcija

(Vir: <http://www.maths.ox.ac.uk/news/2459?page=4>)

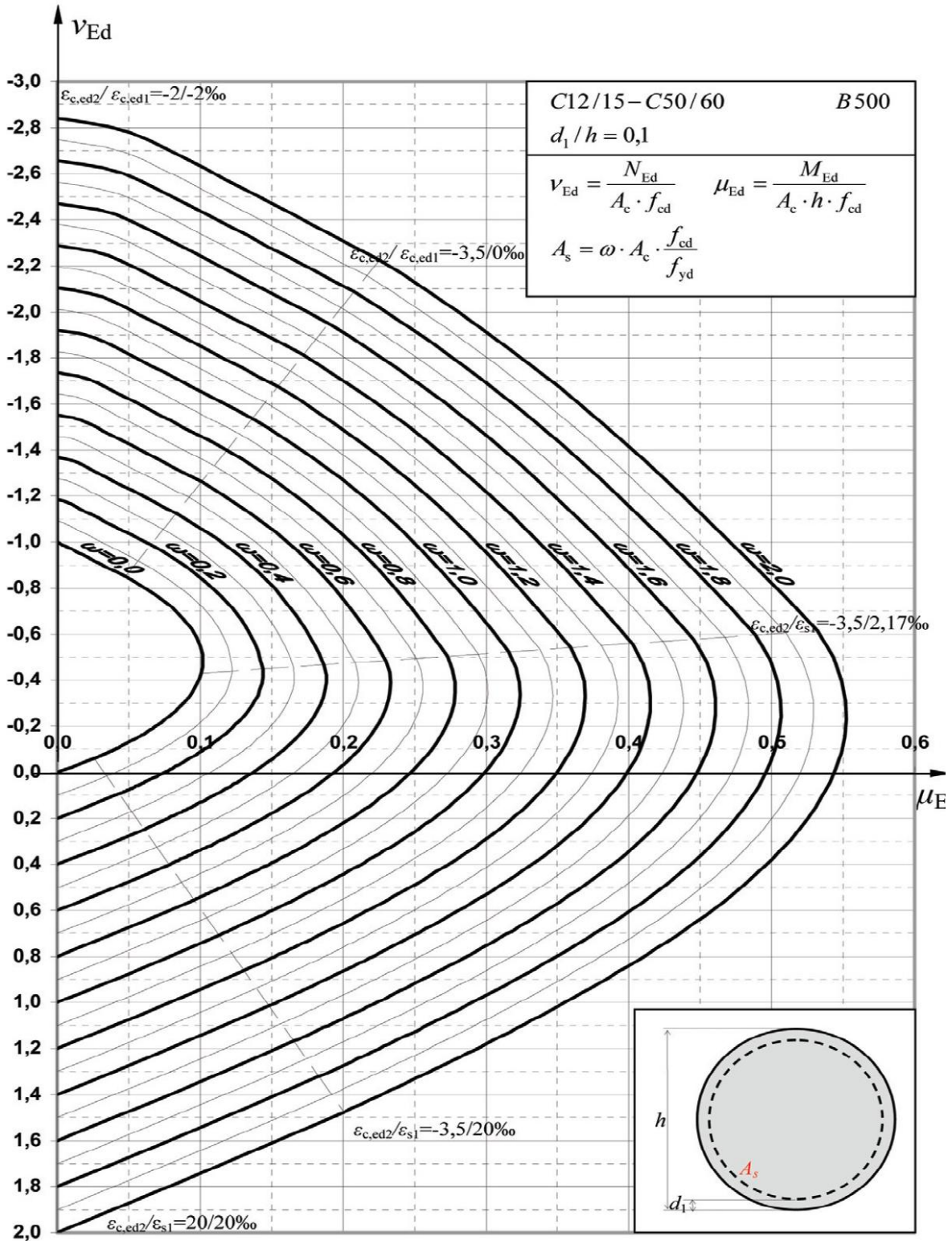
Globalno stabilnost podporne konstrukcije smo preverili s programom Slide 5.0. Računska varnost znaša $F = 2,8$, kar je več od s predpisi zahtevane računske varnosti $F_{min} = 1,25$.

VIRI

- [1] Majes, B. 2006. Gradbena jama.
<http://www.fgg.uni-lj.si/kmtal-gradiva/GR-UNI/F1/gradbena%20jama.pdf> (Pridobljeno 2. 7. 2013.)
- [2] Beg, D., Pogačnik, A. 2009. Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po Evrokod standardih. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije
- [3] Željko Smolčić, Davor Grandić, Interaction diagrams for reinforced concrete circular cross-section. *Revija Građevinar* **64** (2012)
- [4] 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.)
- [5] INI d.o.o., Geotehnično poročilo o pogojih gradnje nestanovanjskega objekta krakovsko predmestje, 2008
- [6] 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 (Pridobljeno 9. 9. 2013.)
- [7] Majes, B. 2006 Napetosti v polprostoru.
http://ucilnica1213.fgg.uni-lj.si/file.php/869/Skripta/NAPETOSTI_-_kompletno.pdf (Pridobljeno 5.9.2013.)

PRILOGE

Priloga 1



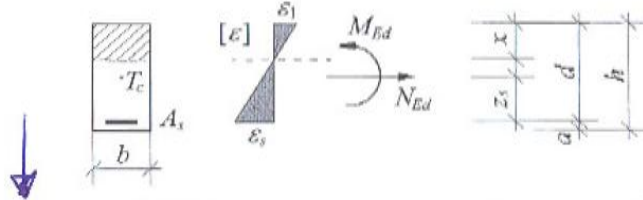
Priloga 2

Pr. PI-1. Velika ekscentričnost – enojna armatura: vsi trdnostni razredi betona (pri $\epsilon_1 = \epsilon_{cu2}$)

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

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

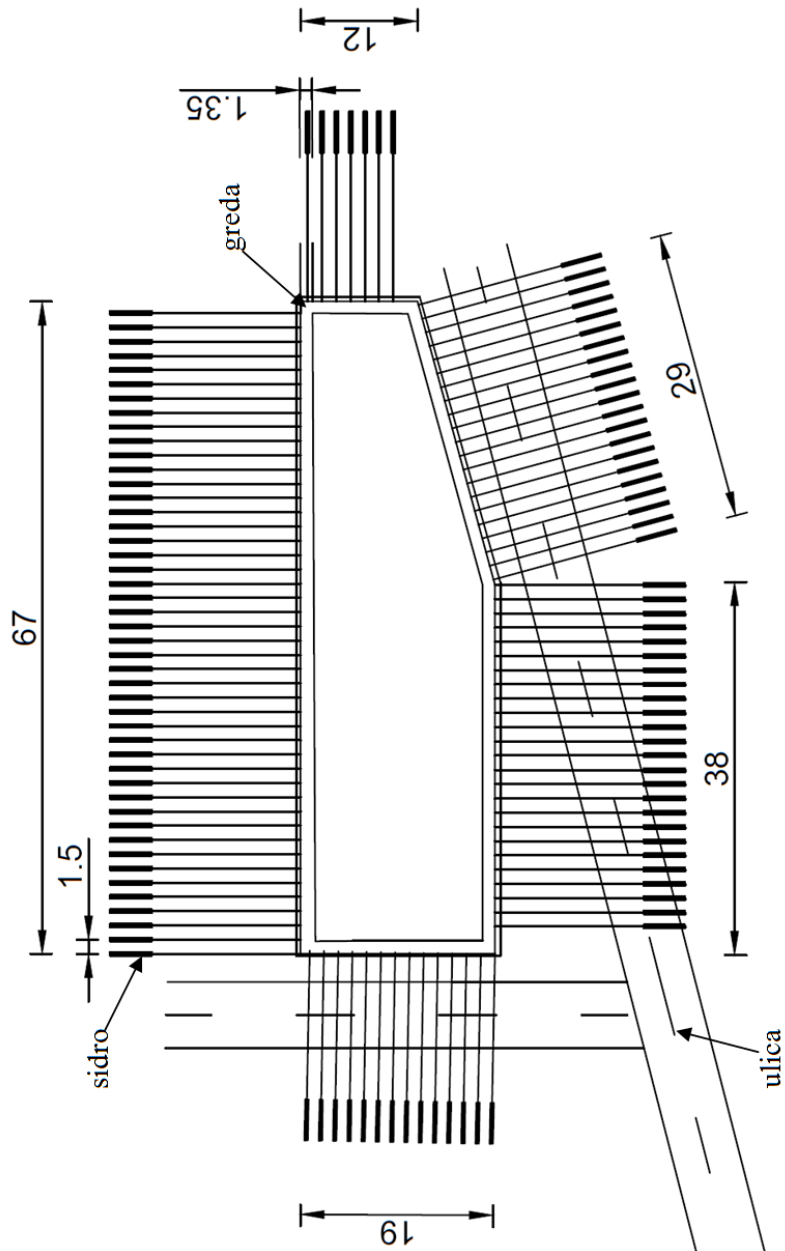
$$A_s = k_s \frac{M_{Eds}}{d \cdot \sigma_s} + \frac{N_{Ed}}{\sigma_s}; \quad x = k_x \cdot d$$



Armatura			εz	Beton						
S 500-A	S 500-B	S 500		≤ C50/60	C55/67	C60/75	C70/85	C80/95	C90/105	
σs [kN/cm²]	σs [kN/cm²]	σs [kN/cm²]		ε1 [%o]						
30,00	30,00	30,00	1,5	-3,5	-3,1	-2,9	-2,7	-2,6	-2,6	
				kx	0,700	0,674	0,659	0,643	0,634	0,634
				ks	1,411	1,359	1,331	1,303	1,290	1,288
				kd	0,402	0,368	0,344	0,314	0,295	0,287
43,48	43,48	43,48	2,17	kx	0,617	0,588	0,572	0,554	0,545	0,545
				ks	1,345	1,299	1,275	1,251	1,240	1,238
				kd	0,371	0,336	0,312	0,282	0,263	0,257
43,56	43,54	43,48	3	kx	0,538	0,508	0,492	0,474	0,464	0,464
				ks	1,289	1,249	1,228	1,207	1,197	1,196
				kd	0,338	0,302	0,278	0,250	0,232	0,226
43,65	43,61	43,48	4	kx	0,467	0,437	0,420	0,403	0,394	0,394
				ks	1,241	1,206	1,188	1,171	1,162	1,162
				kd	0,304	0,269	0,246	0,219	0,203	0,198
43,75	43,68	43,48	5	kx	0,412	0,383	0,367	0,351	0,342	0,342
				ks	1,207	1,176	1,161	1,145	1,138	1,137
				kd	0,276	0,241	0,220	0,195	0,180	0,175
43,84	43,76	43,48	6	kx	0,368	0,341	0,326	0,310	0,302	0,302
				ks	1,181	1,154	1,140	1,127	1,120	1,119
				kd	0,253	0,219	0,199	0,176	0,162	0,158
43,94	43,83	43,48	7	kx	0,333	0,307	0,293	0,278	0,271	0,271
				ks	1,161	1,137	1,124	1,112	1,106	1,106
				kd	0,232	0,200	0,181	0,159	0,147	0,143
44,03	43,90	43,48	8	kx	0,304	0,279	0,266	0,252	0,245	0,245
				ks	1,145	1,123	1,112	1,101	1,095	1,095
				kd	0,215	0,185	0,166	0,146	0,134	0,131
44,13	43,97	43,48	9	kx	0,280	0,256	0,244	0,231	0,224	0,224
				ks	1,132	1,112	1,101	1,091	1,086	1,086
				kd	0,200	0,171	0,154	0,135	0,124	0,120
44,22	44,05	43,48	10	kx	0,259	0,237	0,225	0,213	0,206	0,206
				ks	1,121	1,102	1,093	1,083	1,079	1,079
				kd	0,187	0,159	0,143	0,125	0,115	0,112
44,70	44,41	43,48	15	kx	0,189	0,171	0,162	0,153	0,148	0,148
				ks	1,085	1,072	1,065	1,059	1,055	1,055
				kd	0,141	0,119	0,106	0,092	0,084	0,082
45,18	44,77	43,48	20	kx	0,149	0,134	0,127	0,119	0,115	0,115
				ks	1,066	1,055	1,050	1,045	1,042	1,042
				kd	0,113	0,094	0,084	0,073	0,066	0,064
45,41	44,96	43,48	22,5	kx	0,135	0,121	0,114	0,107	0,104	0,104
				ks	1,059	1,050	1,045	1,040	1,038	1,038
				kd	0,103	0,086	0,076	0,066	0,060	0,058
-	45,50	43,48	30	kx	0,104	0,094	0,088	0,083	0,080	0,080
				ks	1,045	1,038	1,035	1,031	1,029	1,029
				kd	0,081	0,067	0,059	0,051	0,047	0,045
-	46,23	43,48	40	kx	0,080	0,072	0,068	0,063	0,061	0,061
				ks	1,035	1,029	1,026	1,023	1,022	1,022
				kd	0,063	0,052	0,046	0,039	0,036	0,035
				kx	0,072	0,064	0,061	0,057	0,055	0,055

Priloga 3

Skica tlorisa gradbene jame. Dimenzije so v metrih.



Priloga 4

Skica prereza gradbene jame. Dolžine so v metrih.

