

Dimenzioniranje pilota u čvrstoj glini

ETC 10 Proračunski primjer 2.3.

LUKA BOLFAN, dipl.ing.građ.

INSTITUT IGH d.d., J. Rakuše 1

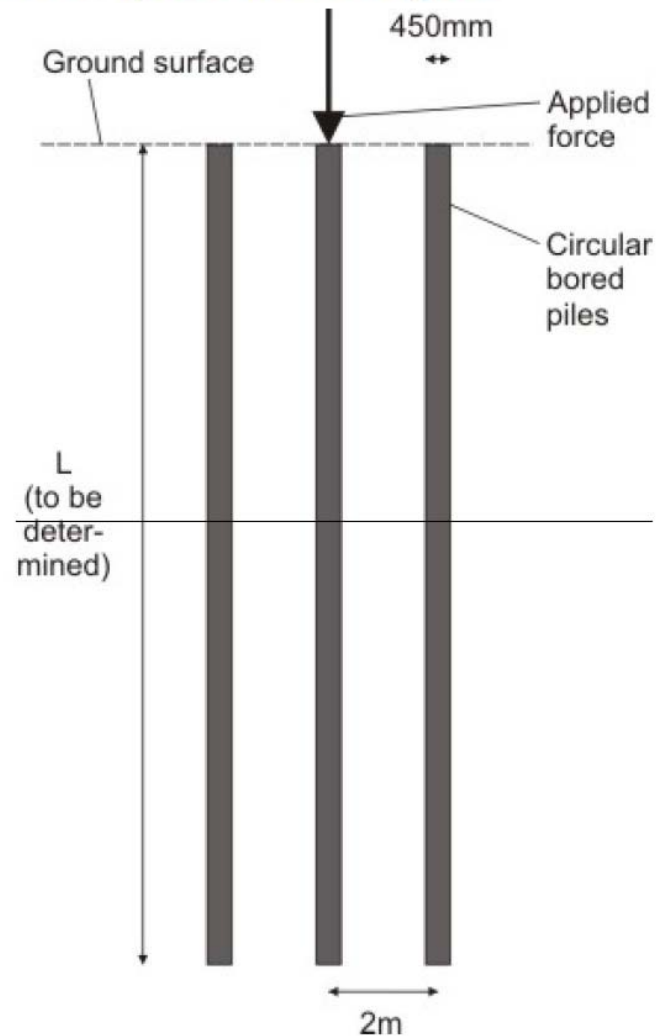
Zavod za geotehniku - Odjel za temeljenje

Zadatak:

Zgradu će podupirati bušeni piloti promjera 450 mm koji su u potpunosti uronjeni u čvrstu glinu sa centralnim razmacima od 2 m. Piloti su izbušeni suhi, bez ikakve zaštite, te betonirani istog dana. Svaki pilot nosi karakteristično vertikalno stalno opterećenje od 300 kN i karakteristično vertikalno varijabilno pokretno opterećenje od 150 kN. Ovdje se radi o malom projektu kod kojeg neće biti testiranja opterećenja. Pomaci uslijed eksploatacije će se ograničiti na 20 mm. Projektirani vijek trajanja pilota je 50 godina. Glina je prekonsolidirana morska glina iz razdoblja Miocena te se sastoji od pukotina i ponekad komadima kamenja. Tlo je horizontalno uslojeno.

Nedrenirana posmična čvrstoća gline na različitim dubinama može se odrediti iz rezultata 4 različita testa izvedena na licu mjesta: troosni testovi na uzorcima 6 izbušenih bušotina SG 11, SG 12, SG 14, SG 15, SG 16 i SG 17, SPP-ovi na ovih 6 bušotina, 1 CPT test i 2 samobušaćka testa presiometra, izvedena na lokaciji označenoj pod 2.3.a. Rezultati nedreniranih troosnih testova prikazani su pod 2.3.b., rezultati CPT testa pod 2.3.c, logovi bušotina pod SG 14 i RC 13 pod 2.3.d i 2.3.e, rezultati SPP broja udaraca od 6 bušotina na 2.3.f i rezultati 2 presiometra na 2.3.g. Projektant može izabrati samo neke ili čak sve podatke. Upotrijebit će se odgovarajuće korelacije kako bi se odredile karakteristične vrijednosti za projekt. Ispod 20 m dubine, pretpostavlja se da se nedrenirana posmična čvrstoća više ne povećava.

Razina podzemne vode je na površini gline te se za pritiske vode može reći da su hidrostatski. Zapreminska težina gline je 20 kN/m^3 . Na ovoj lokaciji se za površinu tla uzima +17m, što je također i razina površine čvrste gline.



SITUACIJA

Using Eurocode 7, determine the design length of the pile at the location shown in Figure 2.3a.

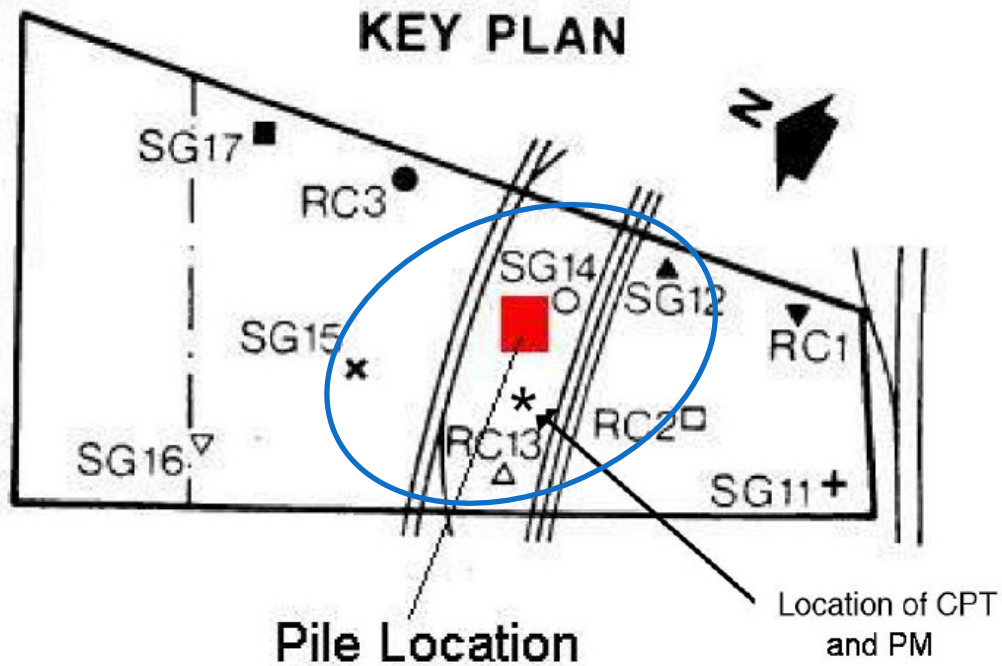


Figure 2.3a: Site plan showing the locations of the boreholes (SG11-17), cone penetration test (CPT), and two profiles of self-boring pressuremeter tests (marked PM on this figure)

U proračun su uzeti samo najbliži istražni radovi.

DEFINIRANJE PRORAČUNSKIH PARAMETARA

- UU troosni pokus (SG12, SG14 i SG15)
- CPT q_c – otpor na šiljku (MPa)
- SPP broj udaraca N –nekorigiran (SG12, SG14 i SG15)
- PMT –pritisci presimetra p_{lim} (kPa)

Sva gore navedena ispitivanja uzeta su u proračun sa prosječnim vrijednostima.

UU troosni pokus - rezultati:

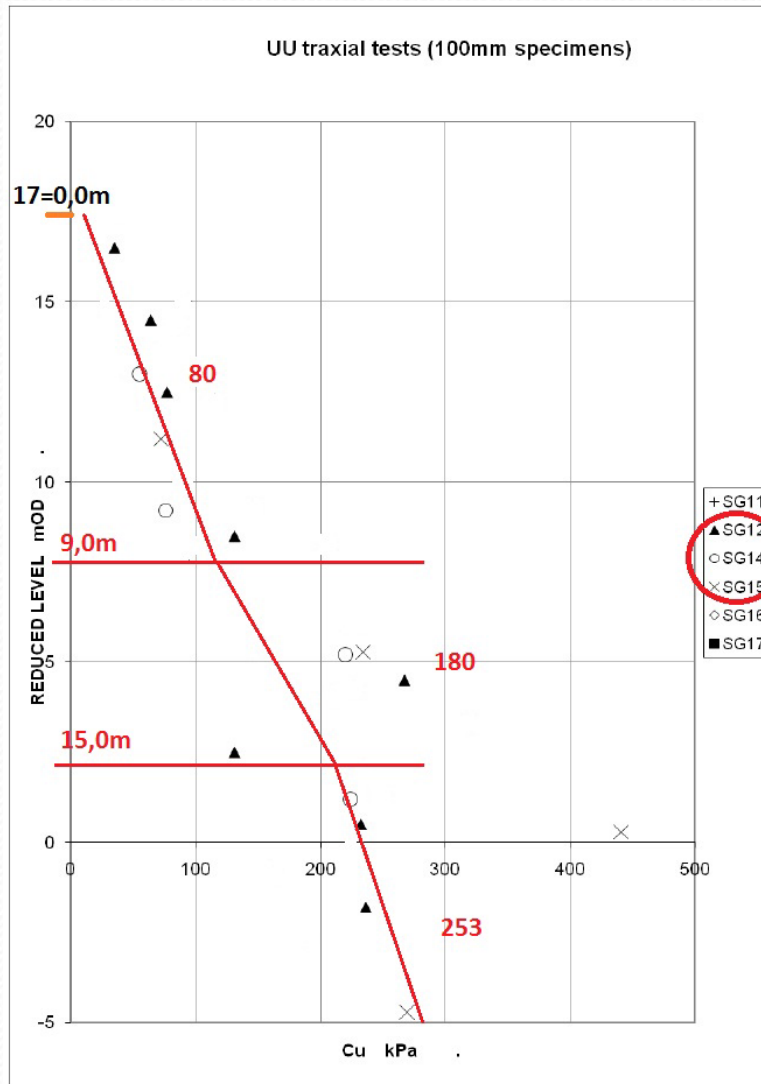


Figure 2.3b: Undrained Triaxial Test Results

Prema rezultatima troosnog pokusa iz bušotina SG12, SG14 i SG15 tlo je podijeljeno u tri sloja. Ovi slojevi su manje više jednoliki na svim ostalim testovima zato je prikaz slojeva ujednačen zbog jednostavnosti proračuna.

Prosječne vrijednosti:

- 0 – 9 m $c_u = 80$ kPa
- 9 – 15 m $c_u = 180$ kPa
- 15 – 22 m $c_u = 253$ kPa

CPT pokus - rezultati:

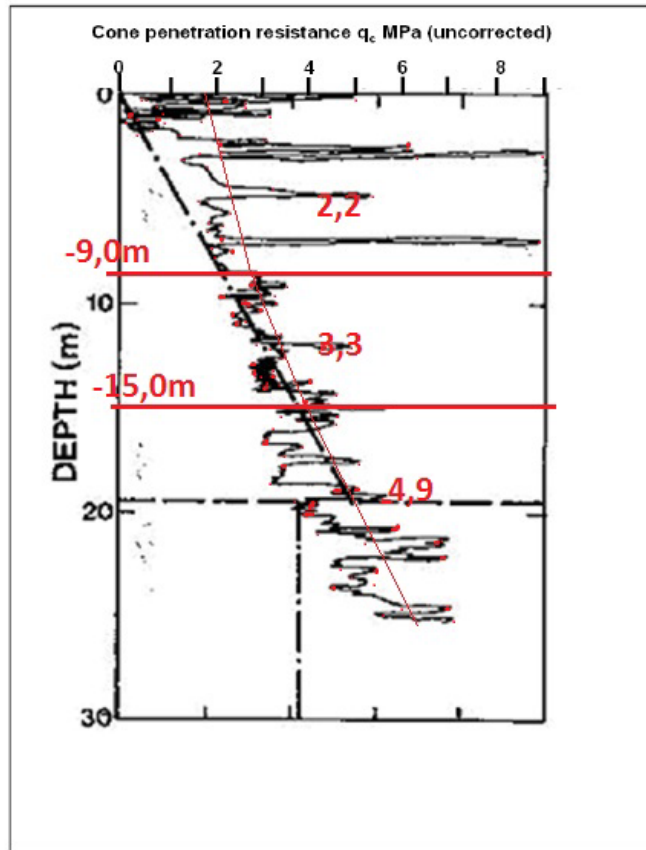


Figure 2.3c: Cone penetration resistance from CPT test

Empirijska korelacija za c_u iz CPT-a je uzeta iz knjige "Cone penetration testing in geotechnical practice". Autori su Tom Lunne, Peter K. Robertson i John J.M. Powell.

N_k koeficijent uzet na temelju iskustva iz čvrstih glina.

Izračun c_u iz q_c prema formuli:

$$c_u = \frac{q_c - \sigma_{v0}}{N_k}$$

$N_k = 20$ (Londonske gline)

Vrijednosti za slojeve tla:

- 0 – 9 m $c_u = \frac{2200 - (4,5 \cdot 20)}{20} = 106 \text{ kPa}$
- 9 – 15 m $c_u = \frac{3300 - (12 \cdot 20)}{20} = 153 \text{ kPa}$
- 15 – 22 m $c_u = \frac{4900 - (18 \cdot 20)}{20} = 227 \text{ kPa}$

SPP pokus - rezultati:

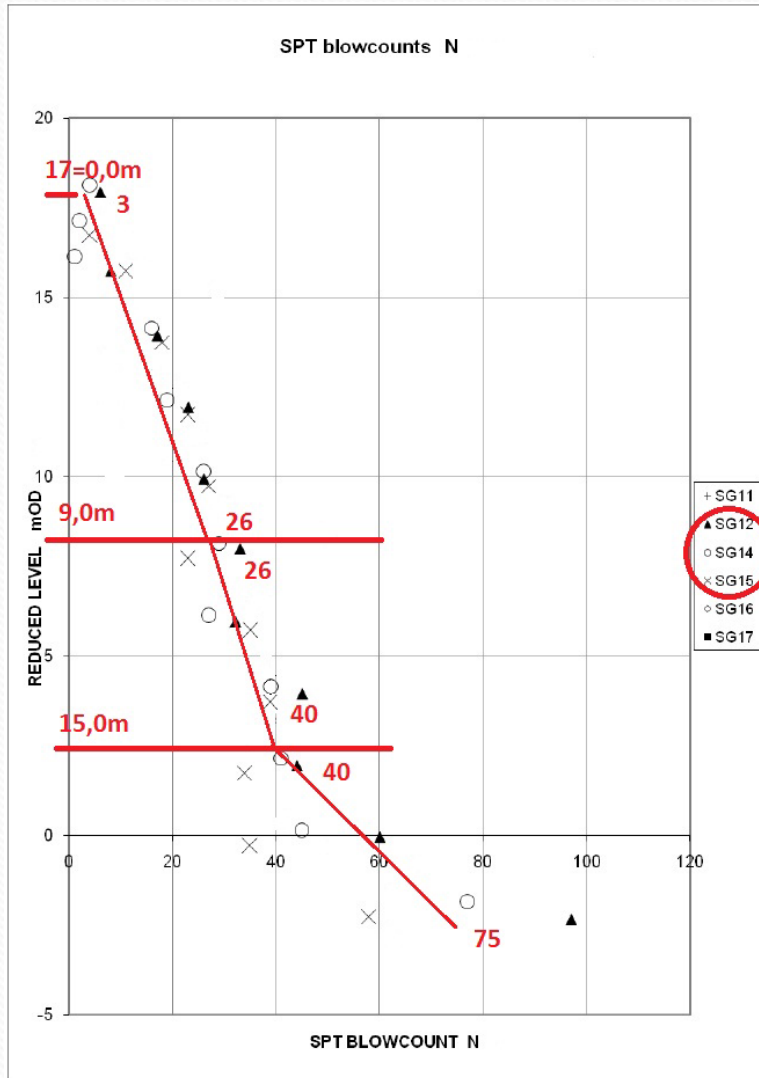
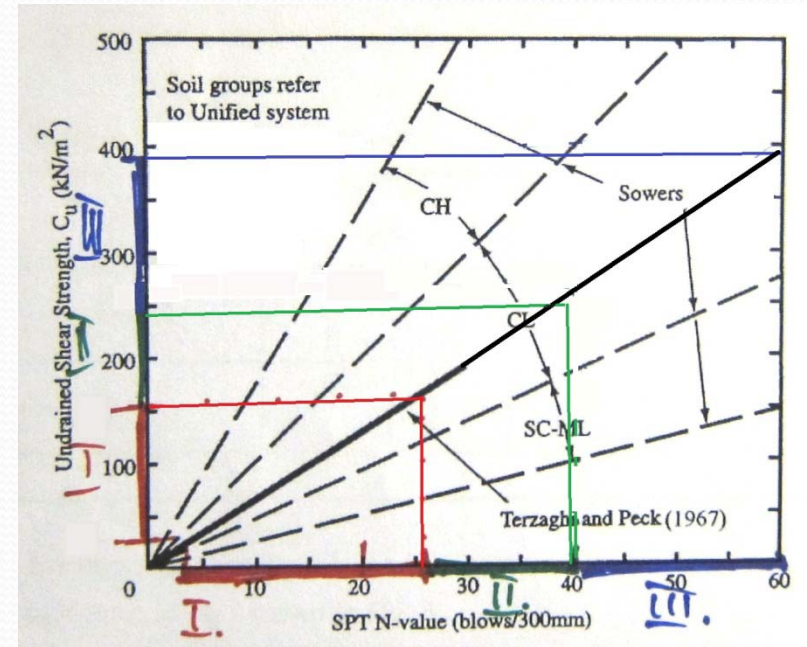


Figure 2.3f: Combined SPT blowcounts from Boreholes SG 11, SG 12, SG 14, SG 15, SG 16 and SG 17



Iz približne korelacije između nedrenirane čvrstoće gline i SPP broja udarača (prema Sowers, 1979), vrijednost c_u za slojeve je:

- 0 – 9 m 30-150, prosjek = 90 kPa
- 9 – 15m 150-210, prosjek = 180 kPa
- 15 – 22m 210-390, prosjek = 300 kPa

Presiometar (PM) - rezultati:

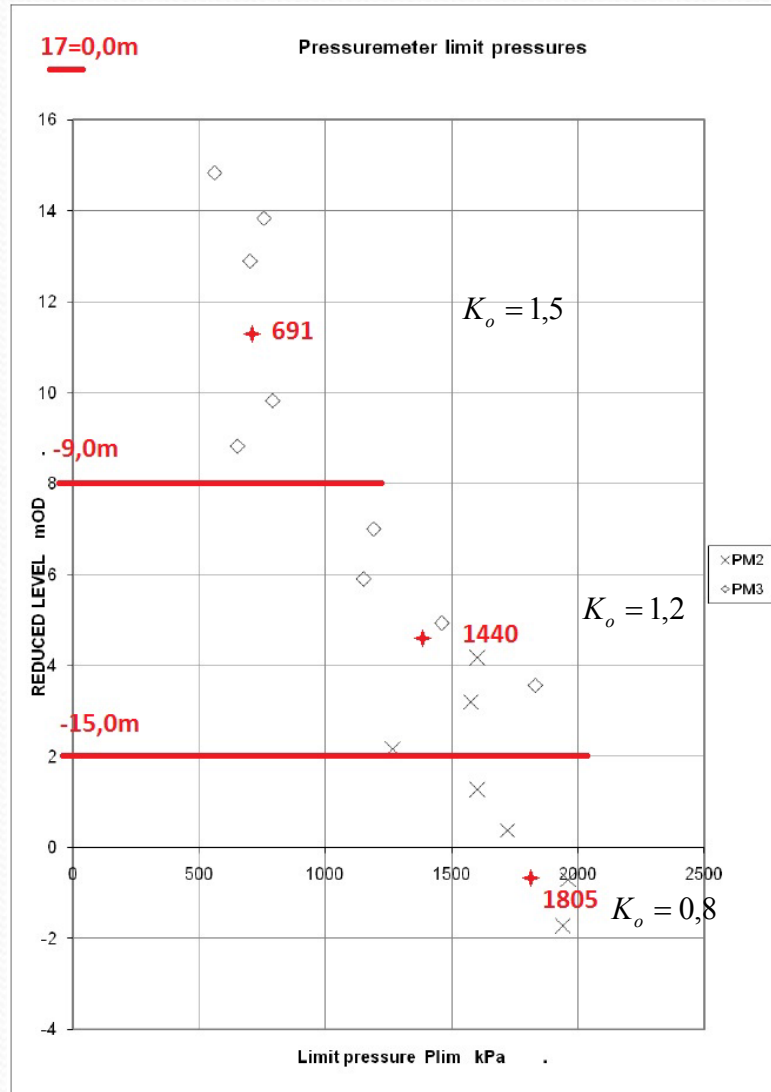


Figure 2.3g: Results of self-boring pressuremeter tests in two boreholes PM2 and PM3

Korelacija za c_u presiometarskog parametra p_{lim} uzeta je iz knjige "Pressuremeter testing – methods and interpretation. autori su R.J. Mair and D.M. Wood.

K_o je uzet prema postojećim istraživanjima o londonskoj glini.

Izračun c_u iz p_{lim} prema formuli:

$$c_u = \frac{p_{lim} - \sigma_{h0}}{N_p}$$

$N_p = 6,2$ (usvojena vrijednost iz literature)

Vrijednosti za slojeve:

- 0 – 9 m $c_u = \frac{691 - (4,5 \cdot 20 \cdot 1,5)}{6,2} = 90 \text{ kPa}$
- 9 – 15 m $c_u = \frac{1440 - (12 \cdot 20 \cdot 1,2)}{6,2} = 186 \text{ kPa}$
- 15 – 22 m $c_u = \frac{1805 - (16 \cdot 20 \cdot 0,8)}{6,2} = 245 \text{ kPa}$

Tablica rezultata

DUBINA	Nedrenirana čvrstoća tla c_u (kPa)					
	UU	CPT	SPP	PMT	MINIMALNO	PROSJEK
(m)	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
0 - 9	80	106	90	90	80	92
9 - 15	180	153	180	186	153	175
15 - 22	253	227	300	245	227	256

GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI (GSN):

Proračunski postupak određivanja duljine pilota preuzet iz članka autora R. Franka, "Design of pile foundations following Eurocode 7", Ljubljana, 29-31. May 2006.

Sam proračun temeljen je na alfa metodi za gline.

Depth (m)	c_u (kPa)	$q_b=c_u \cdot N_c$ (kPa)	$q_s=\alpha \cdot c_u$ (kPa)	N_c	α
0-9	92	800,4	50,6	8,7	0,55
9-15	175	1557,5	92,75	8,9	0,53
15-22	256	2304,0	115,2	9,0	0,45

$$R_{b,cal} = \pi \frac{D^2}{4} \cdot q_b = 0,15896 \cdot q_b$$

$$R_{s,cal} = \pi \cdot D \int q_s dz = 1,413 \int q_s dz$$

$$R_{cal} = R_{b,cal} + R_{s,cal}$$

$$R_k = R_{cal} / \xi_3$$

U proračun su uzeti samo podaci o prosječnim karakteristikama tla iz prethodnog slide-a.

U slijedećoj tablici za korelacijski koeficijent ξ uzeto je da je $\xi = \xi_3$ za prosječne vrijednosti.

Tablica : Korelacijski koeficijenti za određivanje karakterističnih otpornosti tla uzdužno opterećenih pilota prema EN 1997:2004

iz statičkog probnog opterećenja ($n =$ broj probno opterećenih pilota)							
$n =$	1	2	3	4	≥ 5		
ξ_1	1.40	1.30	1.20	1.10	1.00		
ξ_2	1.40	1.20	1.05	1.00	1.00		
iz parametara tla ($n =$ broj bušotina, sondažnih profila)							
$n =$	1	2	3	4	5	7	10
ξ_3	1.40	1.35	1.33	1.31	1.29	1.27	1.25
ξ_4	1.40	1.27	1.23	1.20	1.15	1.12	1.08
iz dinamičkih pokus ($n =$ broj ispitanih pilota)							
$n =$	≥ 2	≥ 5	≥ 10	≥ 15	≥ 20		
ξ_5	1.60	1.50	1.45	1.42	1.40		
ξ_6	1.50	1.35	1.30	1.25	1.25		

Za proračun je uzeto $\xi = 1,33$ zbog obuhvaćene 3 bušotine ili sondažna profila.

Izračun duljine pilota:

Dubina m	$R_{b,k}$ (kPa)	$R_{s,k}$ (kPa i m)
0 – 9	127,3	71,5 L_1
9 – 15	247,7	643,5 + 131,1 L_2
15 – 22	366,4	1430,1 + 162,9 L_3

$L_1 [0, 9]$

$L_2 [0, 6]$

$L_3 [0, 7]$

Dubina m	R_{cal} na vrhu sloja (kN)	R_{cal} na dnu sloja (kN)
0 - 9	127,3	770,8
9 - 15	891,2	1677,8
15 - 22	1796,5	2936,8

$$L_{uk} = L_1 + L_2 + L_3$$

$$R_{cal} = 127,3 + 71,5 L_1 \leq 771,10 \text{ kN} \quad \rightarrow \text{uvjet za } L_1 = 9 \text{ m}$$

$$R_{cal} = 247,7 + 643,5 + 131,1 L_2 > 771,1 \text{ kN} \leq 1677,8 \text{ kN} \quad \rightarrow \text{uvjet za } L_2 = 6 \text{ m}$$

$$R_{cal} = 366,4 + 1430,1 + 162,9 L_3 > 1677,8 \text{ kN}$$

Pretpostavka da su q_{bi} i q_s karakteristične srednje vrijednosti :

$$R_k = R_{cal} / \xi_3 = 127,3 / 1,33 + 71,5 / 1,33 L_1 \leq 579,77 \text{ kN}$$

$$= 247,7 / 1,33 + 643,5 / 1,33 + 131,1 / 1,33 L_2 > 579,77 \text{ kN} \leq 1261,50 \text{ kN}$$

$$= 366,4 / 1,33 + 1430,1 / 1,33 + 162,9 / 1,33 L_3 > 1261,50 \text{ kN}$$

Proračun R_d prema formuli:

$$R_d = R_{b,k} / \gamma_b + R_{s,k} / \gamma_s$$

Tablica parcijalnih faktora proračunskih pristupa i kombinacija u geotehnici:

(1) Parcijalni faktori djelovanja (γ_F) i učinka djelovanja (γ_E) Djelovanja			PRARAČUNSKI PRISTUPI			
			PP1		PP2	PP3
			K1	K2		
trajna	nepovoljna	γ_G	1.35	1.0	1.35	1.35
	povoljna	γ_G	1.0	1.0	1.0	1.0
promjenjiva	nepovoljna	γ_Q	1.5	1.3	1.5	1.5
	povoljna	γ_Q	0	0	0	0
(2) Parcijalni faktori svojstva materijala (tlo, stijena) (γ_M) Svojstvo						
	tangens efektivnog kuta trenja	$\gamma_{\phi'}$	1.0		1.25	
	efektivna kohezija	$\gamma_{c'}$	1.0		1.25	
	nedrenirana i jednoosna čvrstoća	γ_{cu} ili γ_{qu}	1.0		1.4	
	težinska gustoća	γ_γ	1.0		1.0	
(3) Parcijalni faktori otpora (γ_R): Otpornost [†]						
<u>Plitki temelji</u>	nosivost	R_v	1.0	-	1.4	1.0
	klizanje	R_h	1.0	-	1.1	1.0
<u>Zabijeni piloti</u>	stopa	γ_b	1.0	1.3	1.1	1.0
	plašt (tlak)	γ_o	1.0	1.3	1.1	1.0
	stopa+plašt (tlak)	γ_t	1.0	1.3	1.1	1.0
	plašt (vlak)	$\gamma_{o;t}$	1.25	1.6	1.15	1.1
<u>Bušeni piloti</u>	stopa	γ_b	1.25	1.6	1.1	1.0
	plašt (tlak)	γ_o	1.0	1.3	1.1	1.0
	stopa+plašt (tlak)	γ_t	1.15	1.5	1.1	1.0
	plašt (vlak)	$\gamma_{o;t}$	1.25	1.6	1.15	1.1
<u>Prednapeta sidra</u>	privremena	$\gamma_{a;t}$	1.1	1.1	1.1	1.0
	trajna	$\gamma_{a;p}$	1.1	1.1	1.1	1.0
<u>Potporne konstrukcije</u>	nosivost	$\gamma_{R;v}$	1.0	-	1.4	1.0
	klizanje	$\gamma_{R;h}$	1.0	-	1.1	1.0
	otpor tla	$\gamma_{R;e}$	1.0	-	1.4	1.0
<u>Kosine i opća stabilnost</u>	otpor tla	$\gamma_{R;e}$	1.0	-	1.1	1.0

Proračunski pristup 1

Kombinacija 1

$$F_d = 1,35 \times 300 + 1,5 \times 150 = 630 \text{ kN} > 579,77 \text{ kN}$$

$$R_d = (247,7/1,33) / 1,25 + (643,5/1,33) / 1,0 + (131,1 L_2/1,33) / 1,0 = 632,69 + 98,54 L_2$$

uvjet $F_d \leq R_d$ daje rezultat $L_{uk} \geq 9,0 \text{ m}$

Kombinacija 2

$$F_d = 1,00 \times 300 + 1,3 \times 150 = 495 \text{ kN} < 579,77 \text{ kN}$$

$$R_d = (127,3/1,33) / 1,60 + (71,5 L_1/1,33) / 1,30 = 59,82 + 41,35 L_1$$

uvjet $F_d \leq R_d$ daje rezultat $L_{uk} \geq 10,5 \text{ m}$ što ulazi u drugi sloj za koji vrijedi uvjet:

$$R_d = (247,7/1,33) / 1,60 + (643,5/1,33) / 1,30 + (131,1 L_2/1,33) / 1,30 = 488,58 + 75,82 L_2$$

zaključno: PP1 K2 daje ukupan rezultat $L_{uk} \geq 9,1 \text{ m}$

Proračunski pristup 2

$$F_d = 1,35 \times 300 + 1,5 \times 150 = 630 \text{ kN} > 579,77 \text{ kN}$$

$$R_d = (247,7/1,33) / 1,10 + (643,5/1,33) / 1,10 + (131,1 L_2/1,33) / 1,10 = 609,15 + 89,61 L_2$$

uvjet $F_d \leq R_d$ daje rezultat $L_{uk} \geq 9,23 \text{ m}$

Proračunski pristup 3

$$F_d = 1,35 \times 300 + 1,5 \times 150 = 630 \text{ kN} > 579,77 \text{ kN}$$

$$R_d = (247,7/1,33) / 1,00 + (643,5/1,33) / 1,00 + (131,1 L_2/1,33) / 1,00 = 670,1 + 98,57 L_2$$

uvjet $F_d \leq R_d$ daje rezultat $L_{uk} \geq 8,6 \text{ m}$

ZAKLJUČNO:

PRORAČUNSKI PRISTUPI		$L_{uk} \geq$
PP1	K1	9.00
	K2	9.10
PP2		9.23
PP3		8.60

Kao finalni rezultat imamo ukupnu duljinu pilota $L_{uk} \geq 9,23 \text{ m}$ iz PP2

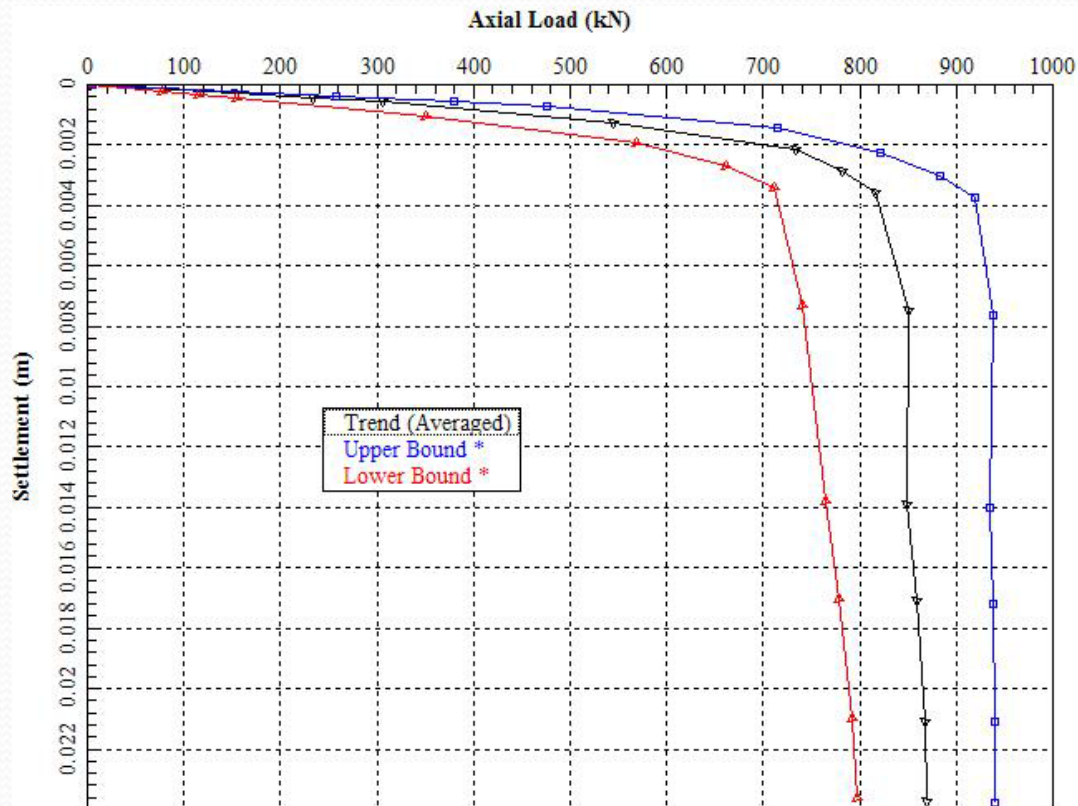
Naime, kako se zadano opterećenje na pilot (stalno + korisno) nalazi na samoj granici prvog i drugog sloja tla dolazi do male matematičke nepravilnosti prilikom izračuna nosivosti u PP1-K2 i PP3. Greška je u tome što se nedrenirana čvrstoća uzela kao prosjek za neki sloj, a ne kao linearna funkcija koja ovisi o dubini sloja. Proračun duljine pilota bio bi puno točniji (pravilniji) da se nedrenirana čvrstoća izrazi u ovisnosti o dubini, a ne kao prosjek.

U daljnji proračun prema uzeta je duljina pilota $L_{uk} = 10 \text{ m}$

GRANIČNO STANJE UPORABIVOSTI (GSU):

Iz prethodnog proračuna dobivena je minimalna duljina pilota od 9,23 m. U proračun nosivosti kompjutorskim programom SHAFT v6.0 uzeta je duljina od 10 m. Dobivena je krivulja opterećenja i slijezanja s faktorom sigurnosti $F_s=1,0$.

Za zadano opterećenja izvode se slijezanja prema proračunskim pristupima kako slijedi:



Očitavanje slijeganja iz dijagrama pomaka i vertikalnog opterećenja pilota:

Proračunski pristup 1

Kombinacija 1

$$F_d = 1,35 \times 300 + 1,5 \times 150 = 630 \text{ kN}$$

maksimalno slijeganje od opterećenja $s = 2 \text{ mm} < 20 \text{ mm}$

Kombinacija 2

$$F_d = 1,00 \times 300 + 1,3 \times 150 = 495 \text{ kN}$$

maksimalno slijeganje od opterećenja $s = 1 \text{ mm} < 20 \text{ mm}$

Proračunski pristup 2

$$F_d = 1,35 \times 300 + 1,5 \times 150 = 630 \text{ kN}$$

maksimalno slijeganje od opterećenja $s = 2 \text{ mm} < 20 \text{ mm}$

Proračunski pristup 3

$$F_d = 1,35 \times 300 + 1,5 \times 150 = 630 \text{ kN}$$

maksimalno slijeganje od opterećenja $s = 2 \text{ mm} < 20 \text{ mm}$

Vidljivo je da je slijeganje pilota unutar dopuštenih granica.



PITANJA?



Hvala na pažnji !