

# Nosivost grupe CFA pilota za potrebe temeljenja objekta Kauflanda u Zagrebu

---

Štefković, Valentina

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:267307>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-13**

*Repository / Repozitorij:*



[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,  
ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

# **ZAVRŠNI RAD**

**Valentina Štefković**

**Split, 2020.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,  
ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

**Nosivost grupe CFA pilota za potrebe temeljenja  
objekta Kauflanda u Zagrebu**

**Završni rad**

**Split, 2020.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ  
GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: **VALENTINA ŠTEFKOVIĆ**

BROJ INDEKSA: 4764

KATEDRA: **Katedra za geotehniku**

PREDMET: Mehanika tla i temeljenje

**ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

**Tema:** Nosivost grupe CFA pilota za potrebe temeljenja objekta Kauflanda u Zagrebu

**Opis zadatka:** Za potrebe temeljenja objekta Kauflanda u Zagrebu izvršeni su geotehnički istražni radovi. Rezultati istražnih radova su prilog ovog zadatka. Zbog mekih površinskih slojeva tla na lokaciji, projektom je predviđeno temeljenje objekta na grupama CFA pilota (nacrt i presjek u prilogu zadatka). Potrebno je odrediti nosivost grupe od 4 CFA pilota, te očekivano slijeganje od opterećenja koje odgovara proračunskoj nosivosti te grupe pilota. Proračun izvršiti prema proračunskom pristupu 2.

U Splitu, 23.03.2020. godine

Voditelji Završnog rada:

prof.dr.sc. Predrag Mišćević

izv.prof.dr.sc. Nataša Štambuk Cvitanović

# **Nosivost grupe CFA pilota za potrebe temeljenja objekta Kauflanda u Zagrebu**

## **Sažetak:**

Za potrebe temeljenja objekta Kauflanda u Zagrebu prikazana je nosivost grupe od 4 CFA pilota. Iz geotehničkog elaborata izvedeni su podaci o penetracijskom ispitivanju (SPT) po dubini i po sondažnim bušotinama. Za geotehnički profil A-A' napravljena je obrada SPT podataka za svaki karakteristični sloj i iz tog profila dobivena je srednja vrijednost broja udaraca za pojedini sloj. Određena je nedrenirana čvrstoća ( $C_u$ ) za sve slojeve tla na lokaciji i njena promjena po dubini. S tim podacima izračunata je proračunska nosivost pilota u vertikalnom smjeru (na bazi pilota i trenjem po plaštu pilota) prema proračunskom pristupu 2. Određena je reducirana nosivost zbog djelovanja u grupi i izračunato je očekivano slijeganje.

## **Ključne riječi:**

Nosivost, CFA piloti, slijeganje

# **Load-bearing capacity of a group of CFA piles for the foundation of the Kaufland building in Zagreb**

## **Abstract:**

The paper presents the load-bearing capacity of a group of 4 CFA piles for the purpose of the foundations of the Kaufland building in Zagreb. The geotechnical survey provided the data on the penetration testing (SPT) according to the depth and the probe wells. SPT data was processed for each characteristic layer of the geotechnical profile A-A', and the mean number of strokes for each layer was obtained from that profile. Undrained strength ( $C_u$ ) was determined for all layers of soil on the site, including its change in depth. These data were used for the calculation of the design load of the pile in the vertical direction (based on a pile and friction per pile mantle) according to the calculation approach 2. A reduced load-bearing capacity was determined due to the acting forces within the group, and the expected subsidence was calculated.

## **Keywords:**

Load-bearing capacity, CFA piles, subsidence

## Sadržaj:

1. UVOD .....	6
2. TEHNIČKI OPIS .....	7
2.1. KRATKI OPIS TEHNOLOGIJE .....	7
2.2. GEOLOŠKO GEOTEHNIČKA SVOJSTVA TERENA .....	11
3. DEFINIRANJE PARAMETRA TLA ZA POTREBE ANALIZE .....	13
4. GEOTEHNIČKI PRORAČUNI .....	28
4.1. PRORAČUN NOSIVOSTI PILOTA U VERTIKALNOM SMJERU .....	28
4.2. PRORAČUN NOSIVOSTI U GRUPI OD 4 CFA PILOTA .....	33
4.3. PRORAČUN SLIJEGANJA .....	35
5. ZAKLJUČAK .....	40
6. LITERATURA .....	41
7. PRILOZI .....	42

## 1. UVOD

Za potrebe temeljenja objekta Kauflanda u Zagrebu izvršeni su geotehnički istražni radovi te je prema geotehničkom elaboratu određeno da se na terenu na predmetnoj lokaciji grade slojevi: nasip, smeđa prahovita glina, sivi šljunak i sivo-smeđa do zelenkasto-siva glina. U ovom radu određena je proračunska nosivost grupe od 4 CFA pilota te očekivano slijeganje od opterećenja na osnovi uvjeta prema proračunskom pristupu 2. Radovi su izvedeni sa ciljem utvrđivanja inženjersko-geotehničkih-geomehaničkih značajki tla, odnosno vrsti tla, deformacijskim svojstvima i razini podzemne vode. Na istom terenu u ranijem razdoblju su izvršeni istražni radovi: bušenje 4 istražne bušotine oznake B-P1 do B-P4, terenska identifikacija i klasifikacija jezgre bušenja, uzrokovanje poremećenim i neporemećenim uzorcima te izvođenje standardnog penetracijskog testa (SPT). Također je izrađen prospekcijski pogled s detaljnim istraživanjima koji je obuhvatio cijeli prostor buduće gradnje. Provedeno je seizmičko snimanje (plitke refrakcije) na jednom mjestu gdje se generirao izvor vala (udarom čekića ili eksplozije), a u okolini je mjereno vrijeme dolaska vala pomoću geofona. Za seizmičko snimanje na istražnom terenu korišten je instrument GEA 24 s 24 vertikalna geofona (10.0 Hz) koji su postavljeni na maksimalnom međusobnom rastojanju od 5 m. Snimljen je seizmički profil 1S-1S' (duljine 130 m). Višekanalnom analizom površinskih valova ili MASW je obavljena procjena krutosti tla. Provedena su 3 osnovna koraka: prikupljanje podataka, disperzijska analiza i modeliranje profila s različitim parametrima ( $V_s$ ,  $V_p$ ,  $h$ , itd). MASW metodom na istražnom terenu korišten je seizmički instrument GEA 24 s vertikalnim geofonima s frekvencijom od 4,5 Hz i 24 kanalnim rasporedom, te razmakom od 1 m između geofona (dubina snimanja oko 25 m). Terensko ispitivanje obuhvatilo je 12 istražnih bušotina oznake B1 do B12: 8 bušotina dubine 15 m, 2 bušotine dubine 18 m i 2 bušotine dubine 25 m. Poremećeni i neporemećeni uzorci tla uzeti su za daljnju laboratorijsku obradu. Standardni penetracijski test (SPT) izvedeni u bušotinama kojima se mjerio broj udaraca koji je bio potreban da cilindar uđe u tlo od „jedne stope (30 cm)“. Prema broju udaraca određena je zbijenost materijala, a to su prvenstveno glinovite, muljevite i šljunčano-pjeskovite naslage. Terenski istražni radovi, bušenje i uzimanje uzorka tla za daljnju laboratorijsku obradu izvedeni su u svrhu dobivanja osnovnih parametara. Laboratorijskim ispitivanjima dobiveni su podaci o geomehaničkim karakteristikama tla. Podaci i rezultati istraživanja detaljno su prikazani u geotehničkom izvještaju 26/2018.-12.07.2018.na K.Č 2532/1 K.O. MAKSIMIR, izrađen od strane GEOS d.o.o.

## 2. TEHNIČKI OPIS

### 2.1. KRATKI OPIS TEHNOLOGIJE

- **Općenito**

CFA (Continuous Flight Auger) piloti jedno je od najboljih i najisplativijih rješenja kada govorimo o dubokom temeljenju do dubine 25 m. Pogodnost CFA pilota je u tome što kod visokih razina podzemnih voda nije potrebno izvoditi zaštitnu oblogu cijevima ili isplakama za održavanje stabilnosti stijenke bušotine. Izvode se bušenjem u jednom potezu pomoću beskonačne spirale. Prema alatu koji se koristi prilikom bušenja pilot je dobio i ime. Nakon bušenja, postepeno se s izvlačenjem spirale pumpa beton u bušotinu. Kod izvedbe CFA pilota poželjan je sitnozrnati konzistentno žitki beton. Armatura se postavlja u svježju betonsku masu vibriranjem. Potrebno je osigurati i deblji zaštitni sloj betona 75-100 mm.

- **Izvedba CFA pilota**

CFA piloti izvode se kontinuirano u jednom potezu pomoću beskonačne spirale.



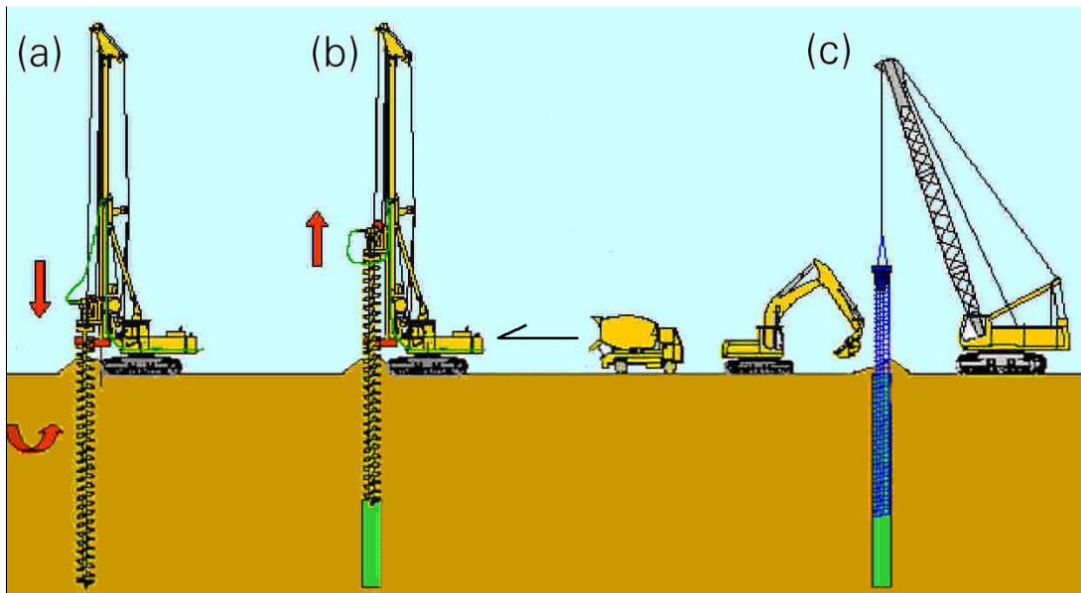
**Slika 1.** Bušća garnitura za CFA pilote



Pogodnost ovih pilota je u tome što prilikom bušenja spirala stalno drži bokove bušotine stabilnim od urušavanja. Nakon postignute, projektom predviđene, dubine spirala se uz minimalnu rotaciju ili bez rotacije kontinuiranom brzinom podiže, a kroz vrh spirale, istovremeno s izvlačenjem, se pumpa sitnozrnati konzistentno žitki beton. Spirala se ne smije izvući više od 15 cm, a da nije počelo upumpavanje betona pod odgovarajućim tlakom. Tlak ugradnje betona na dnu spirale mora biti minimalno jednak efektivnom vertikalnom naprezanju u tlu.

Prevelikim izvlačenjem spirale može doći do relaksacije u tlu i smanjenja nosivosti na vrh pilota, a može doći i do urušavanja stijenki bušotine i miješanje betona i tla.

Kod ove metode je bitno da se prilikom izvlačenja spirale beton konstantno upumpava u bušotinu da ne bi došlo do smanjenja nosivosti pilota trenjem po plaštu.



**Slika 2.** Postupak izrade CFA pilota

Armaturni koševi trebaju biti prethodno pripremljeni. Projektirani su tako da njihova ugradnja ne uzrokuje deformacije ili oštećenja spojeva. Način ugradnje armature je vibriranjem pa je poželjno koristiti armature većih profila. Ponekad zbog lakše ugradnje, armaturne šipke se mogu poviti na vrhu pilota. Potrebno je osigurati i deblji zaštitni sloj betona 75-100 mm. Piloti trebaju biti izvedeni s točnošću +/- 2 cm, a maksimalno odstupanje od vertikale je 2%. Promjer pilota može biti do 90 cm.

- **Beton**

Sastav betona i sastavne materijale za projektirani beton potrebno je odrediti tako da zadovoljavaju svojstva svježeg očvrnutog betona. Tu treba uključiti i konzistenciju, gustoću, čvrstoću, trajnost, zaštitu ugrađenog čelika otpornog na koroziju, uzimajući u obzir proizvodni proces i odabrani postupak izvedbe betonskih radova. Oni uključuju transport, ugradnju, zbijanje, njegovanje i moguće druge tretmane i obrade ugrađenog betona. Beton treba imati takva svojstva da se omogući:

- ugradnja pumpanjem kroz pribor bez poteškoća
- probijanje i ispunjavanje šupljina u tlu nastalih prilikom bušenja
- ugradnja armaturnog koša

Beton se u pravilu ugrađuje odmah nakon izrade, odnosno važno je osigurati njegovu konzistenciju pri ugradnji propisanu projektom. Imajući u vidu taj zahtjev, preporučuje se korištenje betonare u blizini lokacije koja osigurava pravodobnu isporuku dovoljno kvalitetnog betona. Nakon betoniranja pilota potrebno je ukloniti min. 30 cm gornjeg sloja betona lošije kvalitete koji se pomiješa s tlom te je potrebno poravnati površinu zbog jednostavnijeg postavljanja armaturnog koša.

- **Čelik za armiranje i armaturni koševi**

Armaturni koševi trebaju biti tako projektirani da manipulacija ne uzrokuje deformacije ili oštećenja spojeva.



**Slika 3.** Ugradnja armaturnog koša

Potreban zaštitni sloj betona je 100 mm. Zbog načina ugradnje vibriranjem i utiskivanjem, potrebno je koristiti veće profile armature, tj. treba izraditi krute armaturne koševe. Armaturne šipke se zbog lakše ugradnje mogu poviti na vrhu pilota u obliku šiljka.

## 2.2. GEOLOŠKO GEOTEHNIČKA SVOJSTVA TERENA

Istraživanjima su utvrđena 4 različita tipa tla:

- 1) Nasip (N)
  - 2) Smeđa prahovita glina (CL)
  - 3) Sivi šljunak (GC-GP)
  - 4) Sivo-smeđa do zelenkasto-siva glina (CH)
- NASIP (N)

Registriran je na svim istražnim bušotinama na dubinama od 1,0-2,0 m. Sastoji se od drobljenog kamena, šljunka i glinovitog šljunka te komada cigle i betona. Nasip nije temeljno tlo i nije pogodan za bilo kakvu vrstu temeljenja.

- SMEĐA DO SIVO-SMEĐA PRAHOVITA GLINA (CL/CH)

Smeđa prahovita (pjeskovita) glina pripada slabo vezanim, koherentnim, sitnozrnim tlima. Glina je mekana, nisko do visoko plastična, srednje plastičnog do krupno plastičnog konzistentnog stanja. Slojevi gline pojavljuju se u površinskom dijelu istražnog terena do dubine od 4,0-5,0 m. Središnji dio terena ( bušotine B2, B4, B6, B8, B9, B12) su u kontaktu s naslagama sivog glinovitog, jače zaglinjenog šljunka, dok na istočnom dijelu terena (bušotine B1, B3, B5, B7, B11) su u direktnom kontaktu s glinama niske do srednje plastičnosti, polučvrstog do čvrstog konzistentnog stanja.

Laboratorijskim ispitivanjima poremećenih i neporemećenih uzoraka su sljedeće geomehaničke karakteristike:

Simbol	CL/CH
Opis	slabo vezano/koherentno/mekano
Atterbergove granice	$W_L = 28,15-51,72 \%$ $W_P = 20,50-25,75 \%$
Indeks plastičnosti	$I_P = 7,56-31,22$
Indeks konzistencije	$I_C = 0,25-0,55$
Gustoća	$\varphi = 2,04 \text{ g/cm}^3$
Kut unutarnjeg trenja	$\phi = 22,15^\circ$
Kohezija	$c = 16,26 \text{ kPa}$

Iz naslaga ovih glina utvrđenih na istražnom terenu proizlazi da nisu pogodne za temeljenje buduće građevine i potrebno ih je na pozicijama temeljenja u potpunosti odstraniti.

- SIVI ŠLJUNAK (GC-GP)

Naslage se prostiru na gotovo cijelom prostoru buduće gradnje. Sivi šljunak pripada nevezanim, nekoherentnim tlima. Veličina zrna oko 4-6 cm, a negdje i s većim komadima kamena veličine od 10-15 cm (na bušotini B6). Ova tla pripadaju rahlim do srednje zbijenim materijalima. Slojevi šljunka su pjeskoviti i glinoviti i jače glinoviti (GC) te slabo građirani (GP). Unutar sloja šljunka registrirani su proslojci gline s organskim materijalom (bušotina B6 na intervalu dubine 7-8 m). Najveći slojevi debljine pojavljuju se u središnjem dijelu na dubinama od 4 do maksimalno 8.5-9 m (na bušotinama B12). Broj udaraca standardnog penetracijskog testa (SPT) iznosi od 5 do 12 udaraca u ovim materijalima.

- SIVO-SMEĐA DO SIVO-PLAVA GLINA (CL/CH)

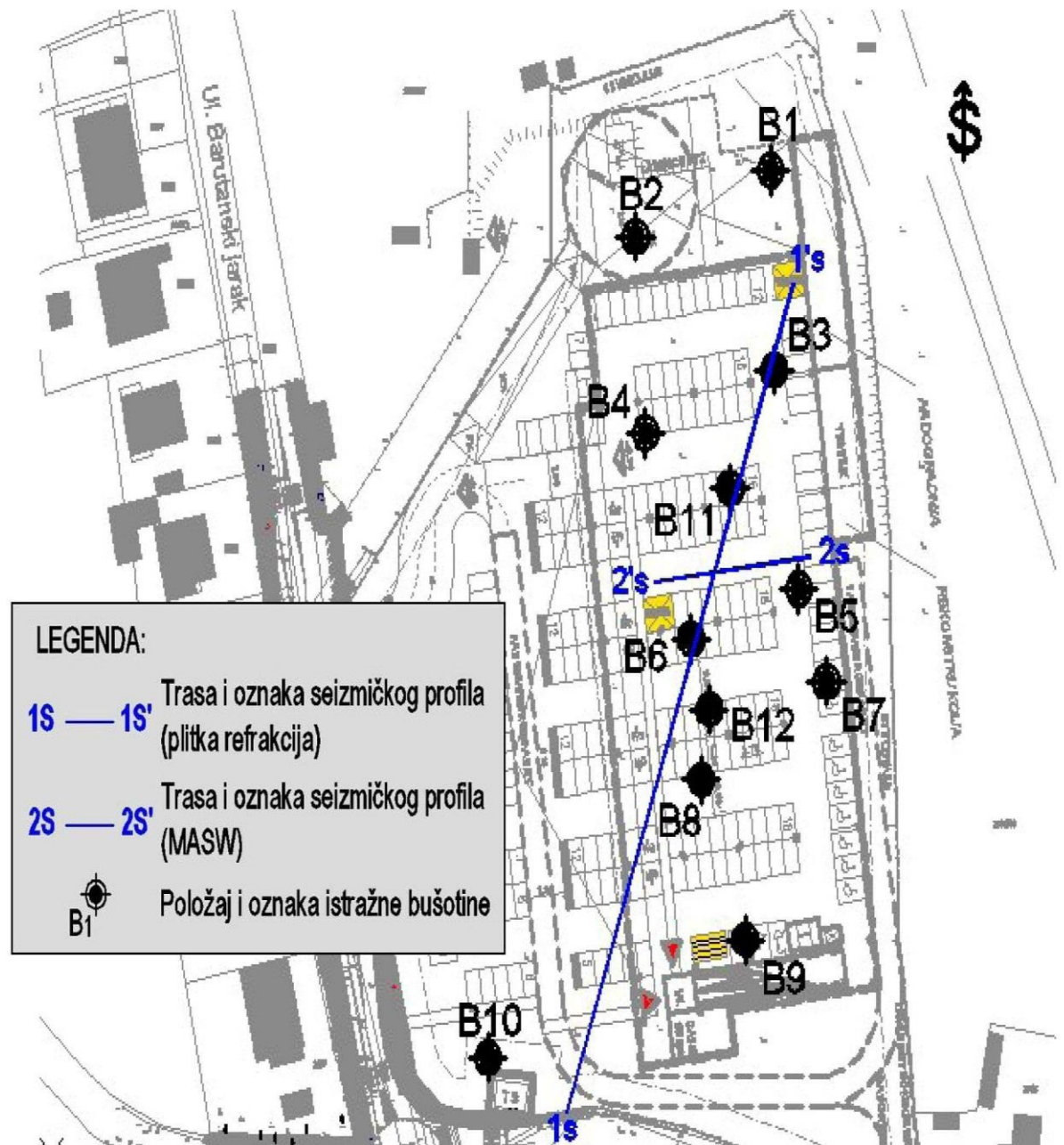
Na istražnom terenu, registrirana je na dubinama većim od 8 m. Takve gline pripadaju slabo vezanim, koherentnim sitnozrnatim tlima. S velikom debljinom naslaga iznad njih, gline ovoga tipa su vrlo čvrste, niske do visoke plastičnosti, polučvrstog do čvrstog konzistentnog stanja.

Laboratorijskim ispitivanjima neporemećenih i poremećenih uzoraka su sljedeće geomehničke karakteristike:

Simbol	CL/CH
Opis	slabo vezano/koherentno/čvrsto
Atterbergove granice	$W_L = 34,11 - 59,14 \%$ $W_P = 14,72 - 28,30 \%$
Indeks plastičnosti	$I_P = 11,11 - 30,84$
Indeks konzistencije	$I_C = 0,90 - 1,19$
Gustoća	$\rho = 1,83 - 2,09 \text{ g/cm}^3$
Kut unutarnjeg trenja	$\phi = 23,27 - 30,54^\circ$
Kohezija	$c = 30,14 - 48,43 \text{ kPa}$
Modul stišljivosti (800-1600 kPa):	$M_S = 17,34 - 28,11 \text{ Mpa}$

### 3. DEFINIRANJE PARAMETRA TLA ZA POTREBE ANALIZE

Standardni penetracijski test (SPT) izveden je da se provjeri zbijenost pojedinih naslaga u tlu, pogotovo u različitim materijalima tijekom bušenja. SPT je izvođen u svim bušotinama kod različitih sredina i različitih dubina.



SLIKA 4. Isječak situacijske karte istraživanog terena s pripadajućom legendom

Obrada rezultata SPT dobiveni na istražnom terenu:

**Tablica 1.** Rezultati standardnog penetracijskog testa (SPT)

Oznaka bušotine	Kota ušća bušoti(m n.m.)	Dubina izvođenja pokusa (m)		Dubina ispitivanja (m n.m.)	Broj udaraca				Nož/šiljak	Korekcija nož-šiljak $N=0,75*N\check{S}$
					N1	N2	N3	(N2+N3)		
B1	133,50	3.00	3.45	130,50	6	15	17	32	šiljak	24
		9.50	9.95	124,00	11	13	18	31	šiljak	23
		14.00	14.45	118,50	13	17	27	44	šiljak	33
B2	132,70	3.50	3.95	129,20	1	2	2	4	šiljak	3
		7.50	7.95	125,20	2	3	5	8	šiljak	6
		14.00	14.45	118,70	12	15	23	38	šiljak	28.5
B3	132,50	2.00	2.45	130,50	4	5	5	10	šiljak	7.5
		4.00	4.45	128,50	4	4	5	9	nož	9
		9.00	9.45	123,50	14	18	20	38	nož	38
		12.00	12.45	120,50	16	19	21	40	nož	40
		14.50	14.95	118,00	13	17	24	41	nož	41
B4	132,40	2.50	2.95	129,90	4	7	8	15	šiljak	11.25
		6.00	6.45	126,40	9	14	12	26	šiljak	19.5
		8.50	8.95	123,90	7	15	17	32	šiljak	24
B5	133,00	3.00	3.45	130,00	3	6	12	18	šiljak	13.5
		5.50	5.95	127,50	5	11	14	25	šiljak	18.75
		10.00	10.45	123,00	20	36	-	>50	šiljak	>50
		16.00	16.45	117,00	9	14	21	35	šiljak	26.25
B6	132,10	3.00	3.45	129,10	1	1	2	3	šiljak	2.25
		4.50	4.95	127,60	6	9	12	21	šiljak	15.75
		8.00	8.45	124,10	6	11	17	28	šiljak	21
		14.00	14.45	118,10	14	18	41	>50	šiljak	>50
B7	133,50	3.00	3.45	130,50	3	4	6	10	šiljak	7.5
		5.50	5.95	128,00	5	5	7	12	šiljak	9
		10.00	10.45	123,50	7	13	18	31	šiljak	23.25
		12.00	12.45	121,50	14	22	39	>50	šiljak	>50
		14.00	14.45	119,50	9	21	32	>50	šiljak	>50
B8	131,80	3.00	3.45	128,80	2	2	9	11	šiljak	8.25
		6.00	6.45	125,80	2	6	9	15	šiljak	11.25
		14.00	14.45	117,80	9	21	27	48	šiljak	36
B9	131,50	2.00	2.45	129,50	1	2	3	5	šiljak	3.75
		5.00	5.45	126,50	9	15	10	25	šiljak	18.75
		8.50	8.95	123,00	14	21	50	>50	šiljak	>50
		14.50	14.95	117,00	15	30	40	>50	šiljak	>50
B10	131,20	3.50	3.95	127,70	3	6	6	12	šiljak	9
		9.00	9.45	122,20	4	6	6	12	šiljak	9
		14.00	14.45	117,20	10	16	20	36	šiljak	27
B11	132,20	4.00	4.45	128,20	3	5	5	10	šiljak	7.5
		9.00	9.45	123,20	9	24	31	>50	nož	>50
		12.00	12.45	120,20	8	14	22	36	šiljak	27
		18.00	18.45	114,20	16	20	21	41	šiljak	30.75
B12	132,10	3.00	3.45	129,10	1	2	2	4	šiljak	3
		5.00	5.45	127,10	2	3	3	6	šiljak	4.5
		7.00	7.45	125,10	7	7	3	10	šiljak	7.5
		14.50	14.95	117,60	30	26	-	>50	šiljak	>50
		22.50	22.95	109,60	13	19	23	42	nož	42

Napravljena je obrada SPT podataka za svaki karakteristični sloj (promjena po dubini).

Odabrane sondažne bušotine s geotehničkog profila A-A':

B2 – 117,7 m n.m

B4 – 117,7 m n.m

B6 – 113,95 m n.m

B8 – 117,0 m n.m

B9 – 116,5 m n.m

**Izračun za SPT:**

Za bušotine (B2,B4,B6,B8,B9) iz tablice br. 1 izvađeni su podaci o broju korigiranih udaraca SPT pokusa i pridruženi su im podaci o dubini na kojoj je izvršeno pojedino ispitivanje.

Podaci iz tablice br. 1:

B2 129,2 m n.m 3

125,2 m n.m 6

118,7 m n.m 28,5

B4 129,9 m n.m 11,25

126,4 m n.m 19,5

123,9 m n.m 24

B6 129,1 m n.m 2,25

127,6 m n.m 15,75

124,1 m n.m 21

118,1 m n.m 44,25

B8 128,8 m n.m 8,25

125,8 m n.m 11,25

117,8 m n.m 36

B9 129,5 m n.m 3,75

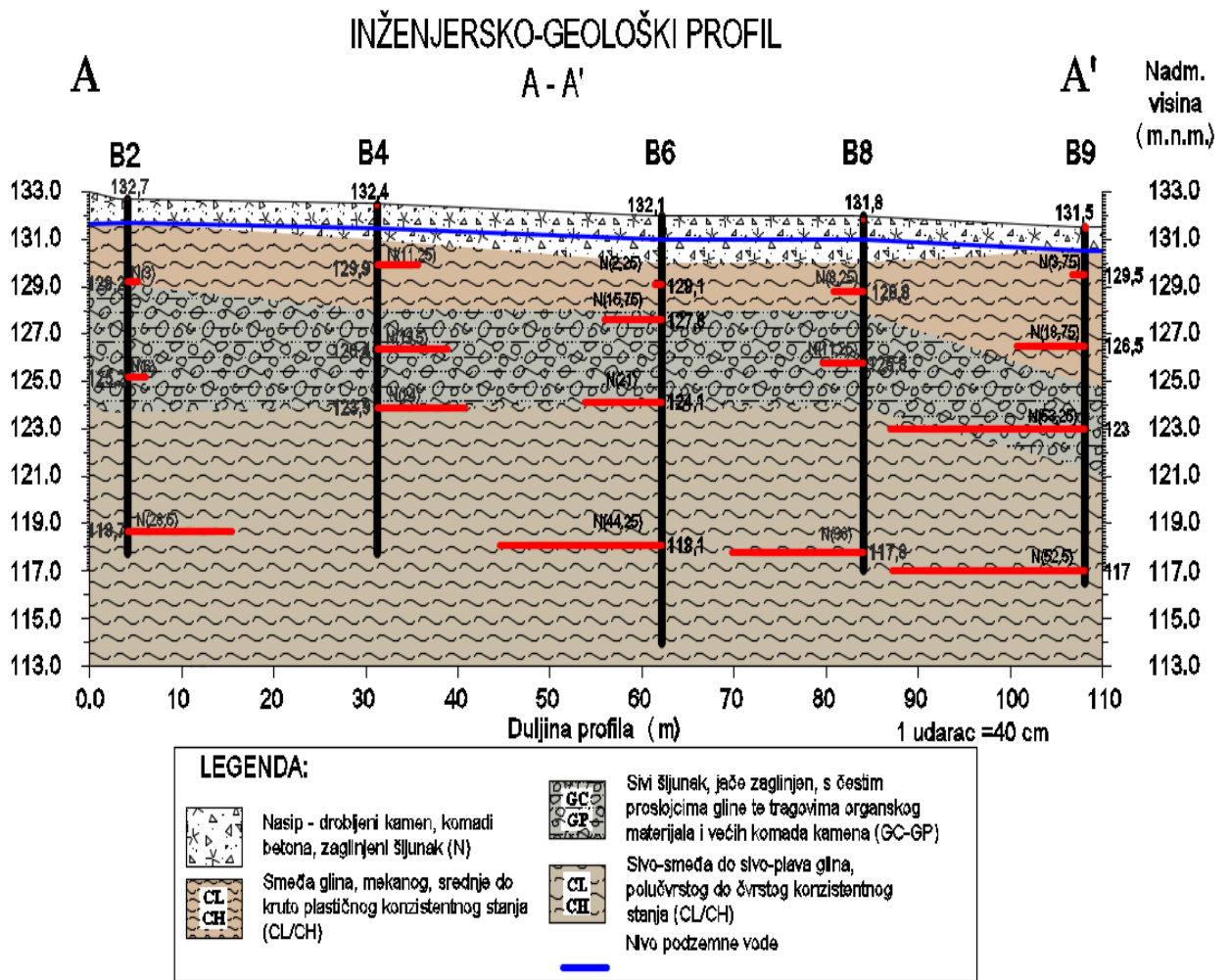
126,5 m n.m 18,75

123 m n.m 53,25

117 m n.m 52,5



Na grafičkom geotehničkom profilu A-A' naznačena je izvedba SPT pokusa za sve bušotine (B2,B4,B6,B8,B9) i prikazan je broj udaraca na pripadajućoj dubini. Iz tog profila vidi se koji su pokusi izvedeni u kojem sloju. Izvršeno je po jedno ispitivanje u svakom od slojeva prikazanih na profilu. Za svaki od tih slojeva uzeti su podaci iz svih bušotina (B2,B4,B6,B8,B9) i izračunata je prosječna vrijednost za taj sloj. Prvi površinski tanki sloj (nasip) se zanemaruje, a za tri donja sloja određena je srednja vrijednost broja udaraca.



**SLIKA 5.** Prikaz grafičkih podataka na geotehničkom profilu A-A'-izvedba SPT pokusa za sve bušotine i prikaz broja udaraca na pripadajućoj dubini

### Srednja vrijednost za SPT:

#### CL/CH

$$\frac{3 + 11,25 + 2,25 + 8,25 + 3,75}{5} = 5,7$$

#### GC-GP

$$\frac{6 + 19,5 + 15,75 + 11,25 + 53,25}{5} = 21,15$$

#### CL/CH

$$\frac{28,5 + 44,25 + 24 + 36 + 52,5}{5} = 37,05$$

Za nedreniranu čvrstoću ( $C_u$ ) određena je jedinična težina tla za sva 4 sloja koja su na profilu. Za nasipni sloj, gornji CL/CH sloj i GC-GP suha jedinična težina i zasićena težina određene su (prema: Look, B. G. (2014.), „Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables, second edition“)(tablica 13). Iz tih podataka dobivena je jedinična vlažna težina iznad RPV i uronjena jedinična težina ispod RPV.

### Izračun nedrenirane čvrstoće ( $C_u$ ):

#### N (nasip)

Vrsta tla: zbijeni drobljeni šljunak – tvrde sedimentne stijene (konglomerat, pješčenjak)

$\gamma_d = 14 \text{ kN/m}^3$  – suha jedinična težina

$$\gamma_s = G \cdot \gamma_w = 2,65 \cdot 9,81 = 26 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} - \text{jedinična težina čvrstih čestica}$$

$$n = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_s} = \frac{26 - 14}{26} = 0,462 - \text{porozitet}$$

-iznad RPV

$$\gamma = \gamma_d - \frac{\gamma_w \cdot \gamma_d}{\gamma_s} + \gamma_w = 14 - \frac{9,81 \cdot 14}{26} + 9,81 = 18,53 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} - \text{vlažna jedinična težina}$$

-ispod RPV

$$\gamma' = (1 - n) \cdot (\gamma_s - \gamma_w) = (1 - 0,462) \cdot (26 - 9,81) = 8,71 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} - \text{uronjena jed. težina}$$

### Gornji CL/CH sloj (glina)

Vrsta tla: koherentno tlo (prah, glina) – čvrsto

$\gamma_d = 18 \text{ kN/m}^3$  – suha jedinična težina

$$\gamma_s = G \cdot \gamma_w = 2,65 \cdot 9,81 = 26 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} - \text{jedinična težina čvrstih čestica}$$

$$n = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_s} = \frac{26 - 18}{26} = 0,308 - \text{porozitet}$$

-iznad RPV

$$\gamma = \gamma_d - \frac{\gamma_w \cdot \gamma_d}{\gamma_s} + \gamma_w = 18 - \frac{9,81 \cdot 18}{26} + 9,81 = 21,02 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} - \text{vlažna jed. težina}$$

-ispod RPV

$$\gamma' = (1 - n) \cdot (\gamma_s - \gamma_w) = (1 - 0,308) \cdot (26 - 9,81) = 11,20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} - \text{uronjena jed. težina}$$

### GC-GP (šljunak)

Vrsta tla: šljunak i pijesak-srednje zbijeno

$\gamma_d = 17 \text{ kN/m}^3$  – suha jedinična težina

$$\gamma_s = G \cdot \gamma_w = 2,65 \cdot 9,81 = 26 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} - \text{jedinična težina čvrstih čestica}$$

$$n = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_s} = \frac{26 - 17}{26} = 0,346 - \text{porozitet}$$

-iznad RPV

$$\gamma = \gamma_d - \frac{\gamma_w \cdot \gamma_d}{\gamma_s} + \gamma_w = 17 - \frac{9,81 \cdot 17}{26} + 9,81 = 20,40 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} - \text{vlažna jed. težina}$$

-ispod RPV

$$\gamma' = (1 - n) \cdot (\gamma_s - \gamma_w) = (1 - 0,346) \cdot (26 - 9,81) = 10,59 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} - \text{uronjena jed. težina}$$

Za donji CL/CH sloj iz tablice 15 vidi se iz koje dubine je izvađen uzorak te izmjerena gustoća  $\rho$ , suha gustoća  $\rho_d$  i vlažnost  $W$ . Iz tih podataka određena je srednja vrijednost gustoće, suhe gustoće i vlažnosti. Iz srednje vrijednosti gustoće, suhe gustoće i vlažnosti izračunata je težina čvrstih čestica, suha težina i porozitet te je dobivena vlažna jedinična težina iznad RPV i uronjena jedinična težina ispod RPV.

### Donji CL/CH sloj (glina)

**B2** CL 13-14 m,  $\rho=1,95 \text{ g/cm}^3$ ,  $\rho_d=1,54 \text{ g/cm}^3$ ,  $W=27,2\%$

**B4** ML 10-10,3 m,  $\rho=1,93 \text{ g/cm}^3$ ,  $\rho_d=1,51 \text{ g/cm}^3$ ,  $W=28,1\%$

**B4** CL 14,7-15 m,  $\rho=2,04 \text{ g/cm}^3$ ,  $\rho_d=1,67 \text{ g/cm}^3$ ,  $W=21,9\%$

**B6** ML 10-10,3 m,  $\rho=1,96 \text{ g/cm}^3$ ,  $\rho_d=1,58 \text{ g/cm}^3$ ,  $W=24,2\%$

**B6** CH 17-17,3 m,  $\rho=1,91 \text{ g/cm}^3$ ,  $\rho_d=1,46 \text{ g/cm}^3$ ,  $W=30,8\%$

**B8** CL 9,5-9,8 m,  $\rho=2,09 \text{ g/cm}^3$ ,  $\rho_d=1,72 \text{ g/cm}^3$ ,  $W=21,5\%$

**B8** CL 12-12,3 m,  $\rho=2,04 \text{ g/cm}^3$ ,  $\rho_d=1,69 \text{ g/cm}^3$ ,  $W=20,8\%$

**B9** CL 10,7-11 m,  $\rho=1,98 \text{ g/cm}^3$ ,  $\rho_d=1,6 \text{ g/cm}^3$ ,  $W=23,7\%$

$$\rho = \frac{1,95 + 1,93 + 2,04 + 1,96 + 1,91 + 2,09 + 2,04 + 1,98}{8} = 1,99 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} - \text{gustoća}$$

$$\rho_d = \frac{1,54 + 1,51 + 1,67 + 1,58 + 1,46 + 1,72 + 1,69 + 1,6}{8} = 1,6 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} - \text{suha gustoća}$$

$$W = \frac{27,2 + 28,1 + 21,9 + 24,2 + 30,8 + 21,5 + 20,8 + 23,7}{8} = 24,78\% - \text{vlažnost}$$

-iznad RPV

$\gamma = \rho \cdot g = 1,99 \cdot 9,81 = 19,52 \text{ kN/m}^3$  – vlažna jed. težina

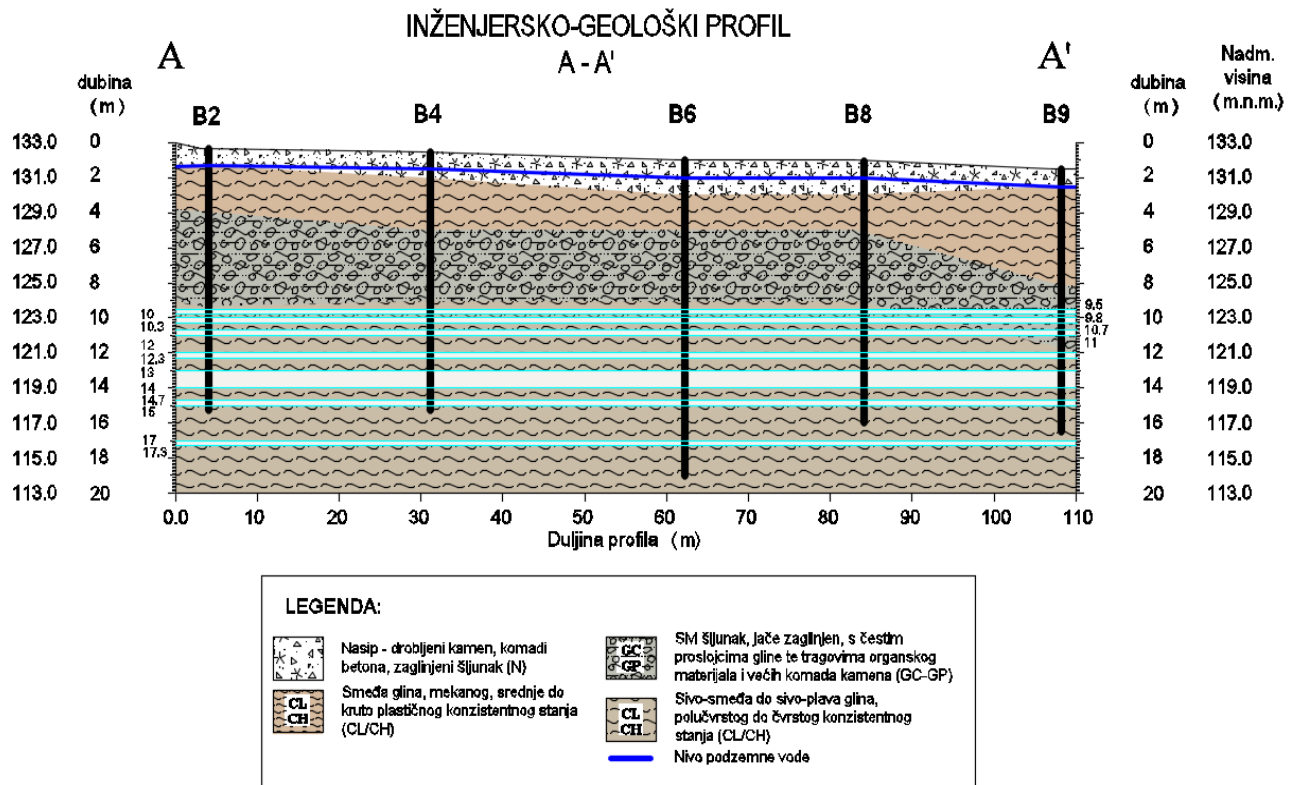
$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + W} = \frac{19,52}{1 + 24,78\%} = 15,64 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} - \text{suha jedinična težina}$$

$$\gamma_s = \frac{\gamma_d}{1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_w} \cdot W} = \frac{15,64}{1 - \frac{15,64}{9,81} \cdot 24,78\%} = 25,85 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} - \text{jedinična težina čvrstih čestica}$$

$$n = \frac{\gamma_d}{\gamma_w} \cdot W = \frac{15,64}{9,81} \cdot 24,78 = 0,395 - \text{porozitet}$$

-ispod RPV

$\gamma' = (1-n) \cdot (\gamma_s - \gamma_w) = (1-0,395) \cdot (25,85 - 9,81) = 9,70 \text{ kN/m}^3$  – uronjena jed. težina



**SLIKA 6.** Grafički prikaz profila A-A' za donji CL/CH sloj iz koje je izvađen uzorak po dubini

Za svaku bušotinu (B2,B4,B6,B8,B9) napravljena je raspodjela vertikalnih geostatičkih efektivnih naprezanja po dubini/debljini slojeva. U proračunu je korištena vlažna jedinična težina iznad razine podzemne vode i uronjena jedinična težina ispod razine podzemne vode.

**Tablica 2. Bušotina B2**

Dubina(z) (m)	$\Delta z$ (m)	$\sigma'_{vo} = \gamma \cdot \Delta z$ (kPa)
0	0	0
1	1	$1 \cdot 18,53=18,53$
3,5	2,5	$18,53+11,2 \cdot 2,5=46,53$
9	5,5	$46,53+10,59 \cdot 5,5=104,78$
15	6	$104,78+9,7 \cdot 6=162,98$

**Tablica 3. Bušotina B4**

Dubina(z) (m)	$\Delta z$ (m)	$\sigma'_{vo} = \gamma \cdot \Delta z$ (kPa)
0	0	0
1	1	$18,53 \cdot 1 = 18,53$
1,5	0,5	$18,53 + 0,5 \cdot 8,71 = 22,89$
4,5	3	$22,89 + 3 \cdot 11,2 = 56,49$
8,5	4	$56,49 + 4 \cdot 10,59 = 98,85$
15	6,5	$98,85 + 6,5 \cdot 9,7 = 161,9$

**Tablica 4. Bušotina B6**

Dubina(z) (m)	$\Delta z$ (m)	$\sigma'_{vo} = \gamma \cdot \Delta z$ (kPa)
0	0	0
1	1	$18,53 \cdot 1 = 18,53$
1,5	0,5	$18,53 + 0,5 \cdot 8,71 = 22,89$
4	2,5	$22,89 + 2,5 \cdot 11,2 = 50,89$
8	4	$50,89 + 4 \cdot 10,59 = 93,25$
18	10	$93,25 + 10 \cdot 9,7 = 190,25$

**Tablica 5. Bušotina B8**

Dubina(z) (m)	$\Delta z$ (m)	$\sigma'_{vo} = \gamma \cdot \Delta z$ (kPa)
0	0	0
1	1	$18,53 \cdot 1 = 18,53$
2	1	$18,53 + 1 \cdot 8,71 = 27,24$
4	2	$27,24 + 2 \cdot 11,2 = 49,64$
8	4	$49,64 + 4 \cdot 10,59 = 92$
15	7	$92 + 7 \cdot 9,70 = 159,9$



Za gornji CL/CH sloj nisu ispitani uzorci nedrenirane kohezije pa se procjenjuje kao 30 % od vertikalnih geostatičkih efektivnih naprezanja. Naprezanja su uzeta na sredini sloja.

**Za gornji CL/CH sloj:**

Pomnožena je nedrenirana čvrstoća s korekcijskim faktorom iz tablice 14 (korekcija prema Orr-u) kako bi se odredila karakteristična vrijednost.

**B2**

$\sigma'_{vo}=32,53$  kPa -vertikalno efektivno naprezanje

Dubina 2,25 m

$C_u \approx 0,3 \sigma'_{vo} \approx 0,3 \cdot 32,53 \approx 9,76$  kPa  $\cdot 0,85 \approx 8,3$  kPa—nedrenirana čvrstoća

**B4**

$\sigma'_{vo}=39,69$  kPa -vertikalno efektivno naprezanje

Dubina 3 m

$C_u \approx 0,3 \sigma'_{vo} \approx 0,3 \cdot 39,69 \approx 11,91$  kPa  $\cdot 0,85 \approx 10,12$  kPa—nedrenirana čvrstoća

**B6**

$\sigma'_{vo}=39,69$  kPa-vertikalno efektivno naprezanje

Dubina 3 m

$C_u \approx 0,3 \sigma'_{vo} \approx 0,3 \cdot 39,69 \approx 11,91$  kPa  $\cdot 0,85 \approx 10,12$  kPa—nedrenirana čvrstoća

**B8**

$\sigma'_{vo}=38,44$  kPa -vertikalno efektivno naprezanje

Dubina 3 m

$C_u \approx 0,3 \sigma'_{vo} \approx 0,3 \cdot 38,44 \approx 11,53$  kPa  $\cdot 0,85 \approx 9,8$  kPa—nedrenirana čvrstoća

**B9**

$\sigma'_{vo}=46,84$  kPa -vertikalno efektivno naprezanje

Dubina 3,75 m

$C_u \approx 0,3 \sigma'_{vo} \approx 0,3 \cdot 46,84 \approx 14,05$  kPa  $\cdot 0,85 \approx 11,94$  kPa—nedrenirana čvrstoća



Za donji CL/CH sloj iz tablice 15 uzet je indeks plastičnosti  $i$  iz toga je određena nedrenirana čvrstoća na sredini raspona. Za taj sloj dobivena je srednja vrijednost nedrenirane čvrstoće.

**Za donji CL/CH sloj:**

**B2**

$I_p=17,94$  - indeks plastičnosti

Dubina 13,5 m

$\sigma'_{vo}=148,43$  kPa - vertikalno efektivno naprezanje

$$\frac{Cu}{\sigma'_{vo}} = 0,11 + 0,0037 \cdot I_p$$

$$\frac{Cu}{148,43} = 0,11 + 0,0037 \cdot 17,94$$

$Cu = 26,19$  kPa – nedrenirana čvrstoća

**B4**

$I_p=11,11$  - indeks plastičnosti

Dubina 10,15 m

$\sigma'_{vo}=114,86$  kPa - vertikalno efektivno naprezanje

$$\frac{Cu}{\sigma'_{vo}} = 0,11 + 0,0037 \cdot I_p$$

$$\frac{Cu}{114,86} = 0,11 + 0,0037 \cdot 11,11$$

$Cu = 17,36$  kPa – nedrenirana čvrstoća

$I_p=13,61$  - indeks plastičnosti

Dubina 14,85 m

$\sigma'_{vo}=160,41$  kPa - vertikalno efektivno naprezanje

$$\frac{Cu}{\sigma'_{vo}} = 0,11 + 0,0037 \cdot I_p$$

$$\frac{Cu}{160,41} = 0,11 + 0,0037 \cdot 13,61$$

$Cu = 25,72$  kPa – nedrenirana čvrstoća

**B6**

$I_p=18,06$ - indeks plastičnosti

Dubina 10,15 m

$\sigma'_{vo}=114,1$  kPa-vertikalno efektivno naprežanje

$$\frac{Cu}{\sigma'_{vo}} = 0,11 + 0,0037 \cdot I_p$$

$$\frac{Cu}{114,1} = 0,11 + 0,0037 \cdot 18,06$$

$Cu = 20,18$  kPa – nedrenirana čvrstoća

$I_p=30,84$ - indeks plastičnosti

Dubina 17,5 m

$\sigma'_{vo}=185,4$  kPa-vertikalno efektivno naprežanje

$$\frac{Cu}{\sigma'_{vo}} = 0,11 + 0,0037 \cdot I_p$$

$$\frac{Cu}{185,4} = 0,11 + 0,0037 \cdot 30,84$$

$Cu = 41,55$  kPa– nedrenirana čvrstoća

**B8**

$I_p=7,72$ - indeks plastičnosti

Dubina 9,65 m

$\sigma'_{vo}=108,0$  kPa-vertikalno efektivno naprežanje

$$\frac{Cu}{\sigma'_{vo}} = 0,11 + 0,0037 \cdot I_p$$

$$\frac{Cu}{108,0} = 0,11 + 0,0037 \cdot 7,72$$

$Cu = 14,96$  kPa– nedrenirana čvrstoća

$I_p=8,67$ - indeks plastičnosti

Dubina 12,15 m

$\sigma'_{vo}=132,26$  kPa-vertikalno efektivno naprežanje

$$\frac{Cu}{\sigma'_{vo}} = 0,11 + 0,0037 \cdot I_p$$

$$\frac{Cu}{132,26} = 0,11 + 0,0037 \cdot 8,67$$

$Cu = 18,79$  kPa– nedrenirana čvrstoća

## B9

$I_p=24,88$  - indeks plastičnosti

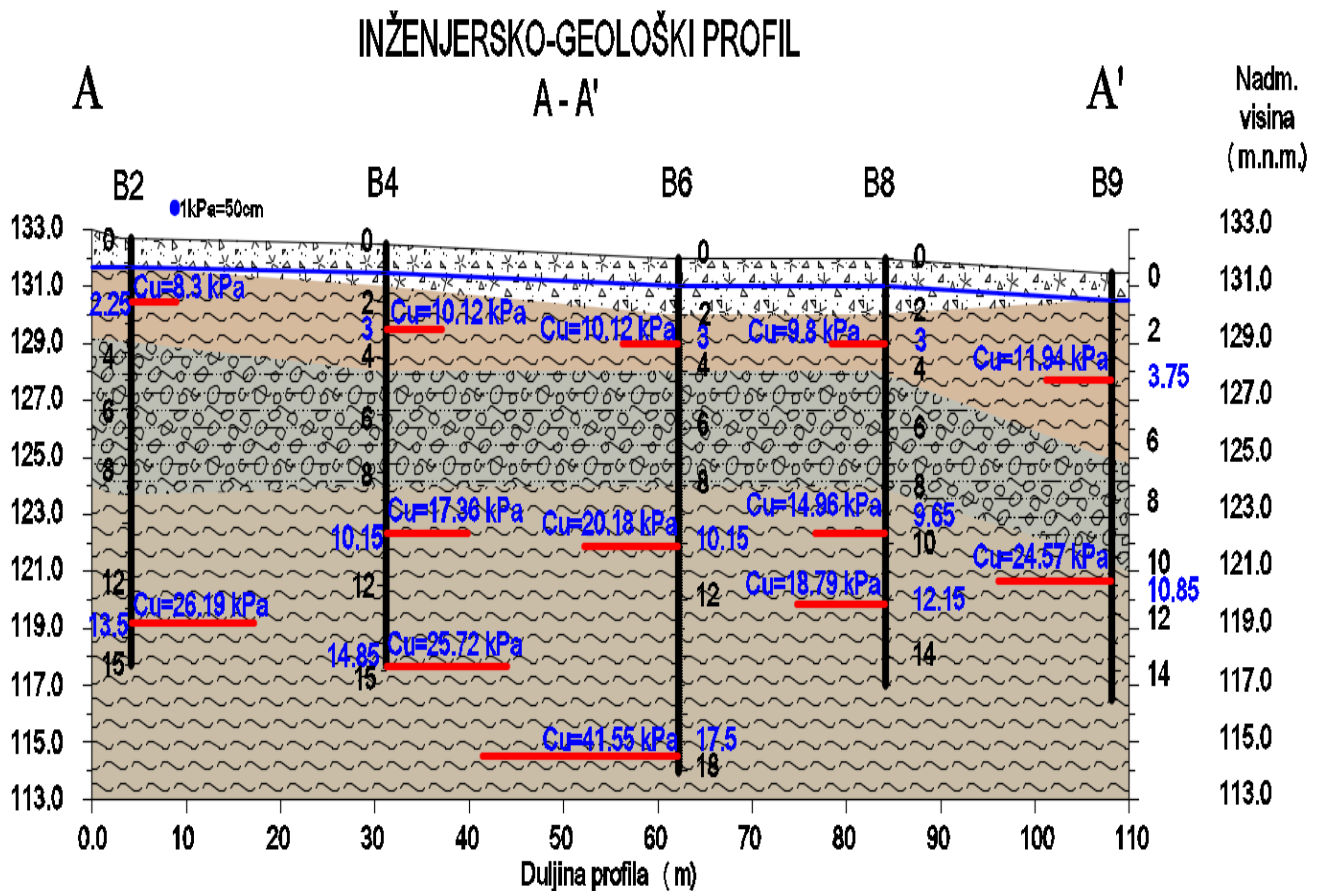
Dubina 10,85 m

$\sigma'_{vo}=121,62$  kPa-vertikalno efektivno naprežanje

$$\frac{C_u}{\sigma'_{vo}} = 0,11 + 0,0037 \cdot I_p$$

$$\frac{C_u}{121,62} = 0,11 + 0,0037 \cdot 24,88$$

$C_u = 24,57$  kPa– nedrenirana čvrstoća



SLIKA 8. Dijagram nedrenirane čvrstoće ( $C_u$ ) po dubini

**Srednja vrijednosti za nedreniranu čvrstoću (Cu):**

**Donji CL/CH sloj:**

$$\bar{c}_u = \frac{26,19 + 17,36 + 20,18 + 14,96 + 24,57}{5} = 20,65 \text{ kPa}$$

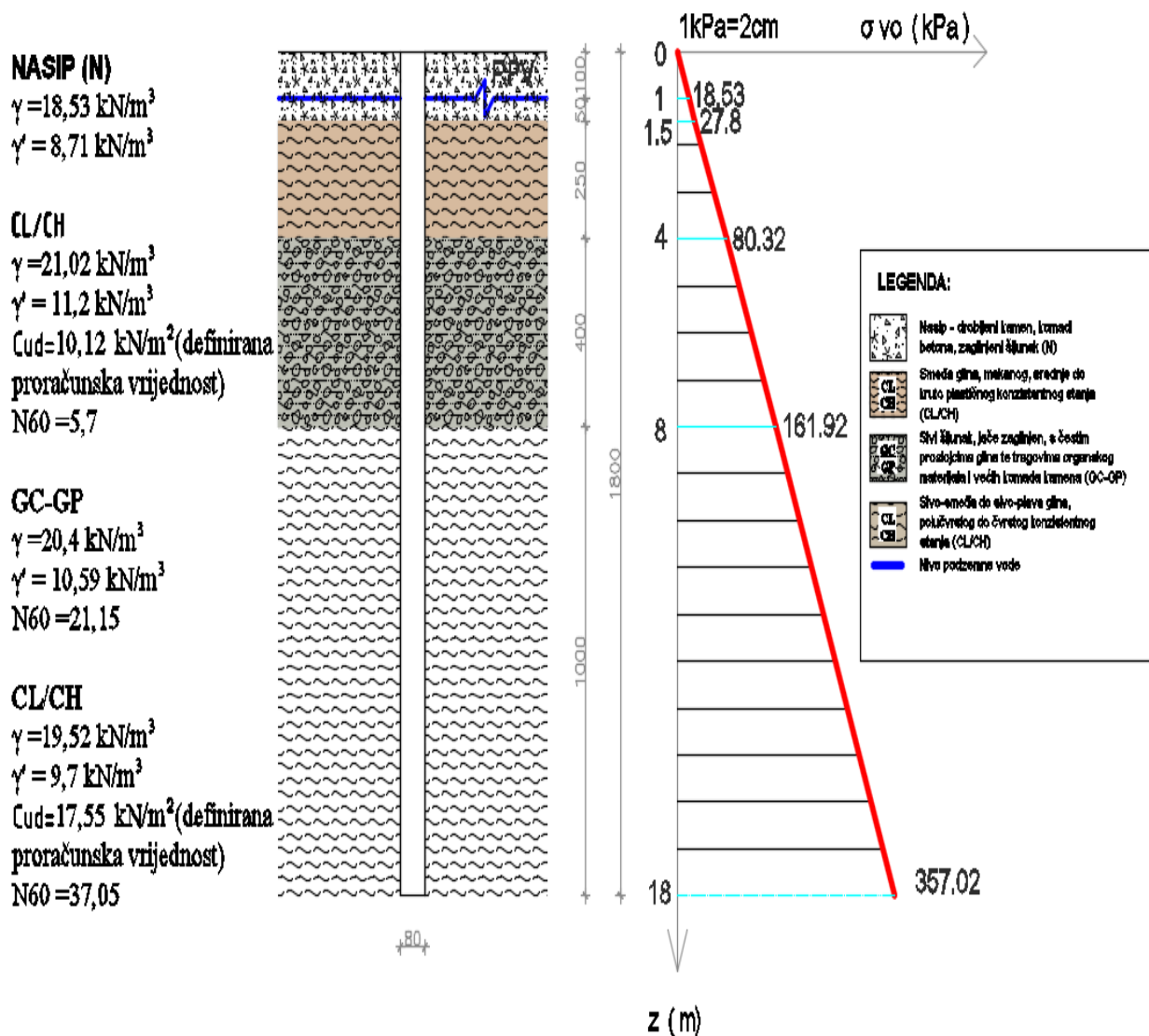
Pomnožena je nedrenirana čvrstoća s korekcijskim faktorom iz tablice 14 (korekcija prema Orr-u) kako bi se odredila karakteristična vrijednost :

$$c_{uk} = \bar{c}_u \cdot k = 20,65 \cdot 0,85 = 17,55 \text{ kPa}$$

## 4. GEOTEHNIČKI PRORAČUNI

### 4.1. PRORAČUN NOSIVOSTI PILOTA U VERTIKALNOM SMJERU

CFA pilot postavljen kroz 4 sloja. Svojstva tla i dimenzije pilota su navedene na slici.



SLIKA 9. Vertikalno ukupno naprezanje na dubini osnove pilota u bušotini B6

## Izračun proračunske nosivosti prema EN 1997-1:2012 (proračunski pristup 2)

**Tablica 7.** Proračunski pristup

Za proračunsku nosivost pilota korišten je proračunski pristup 2.

Proračunski pristup 1	Proračunski pristup 2	Proračunski pristup 3
osno opterećeni piloti i sidra: K1 <sup>a</sup> : A1 + M1 + R1 K2 <sup>a</sup> : A2 + (M1 <sup>b</sup> ili M2 <sup>c</sup> ) + R4	A1 + M1 + R2	(A1 <sup>d</sup> ili A2 <sup>e</sup> ) + M2 + R3
sve ostale konstrukcije: K1 <sup>a</sup> : A1 + M1 + R1 K2 <sup>a</sup> : A2 + M2 + R1		

*a* odvojeni proračuni za K1 i K2  
*d* za sile od konstrukcije  
*b* za pilote i sidra  
*e* za geotehničke sile (sile od tla i sl.)  
*c* za nepovoljno djelovanje od negativnog trenja ili bočnog opterećenja pilota

**Tablica 8.** Parcijalni faktori djelovanja i svojstva materijala

### Parcijalni faktori po skupinama za granična stanja STR i GEO

**(1) Parcijalni faktori djelovanja ( $\gamma_f$ ) i učinka djelovanja ( $\gamma_E$ )**

Djelovanja	simbol	A1	A2
trajna nepovoljna	$\gamma_{G;dst}$	1,35	1,0
povoljna	$\gamma_{G;stb}$	1,0	1,0
promjenjiva nepovoljna	$\gamma_{Q;dst}$	1,5	1,3
povoljna	$\gamma_{Q;stb}$	0	0

**(2) Parcijalni faktori svojstva materijala (tlo, stijena) ( $\gamma_M$ )**

Svojstvo	simbol	M1	M2
tangens efektivnog kuta trenja	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
efektivna kohezija	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
nedrenirana i jednoosna čvrstoća	$\gamma_{cu}$ ili $\gamma_{qu}$	1,0	1,4
težinska gustoća	$\gamma_{\gamma}$	1,0	1,0

**Tablica 9.** Parcijalni koeficijent za otpornost bušenih pilota  $\gamma_R$  (STR i GEO)

Otpornost	Simbol	Skupina			
		R1	R2	R3	R4
Osnovica	$\gamma_b$	— <sup>a</sup>	1,2	1,0	— <sup>a</sup>
Plasť (tlačni piloti)	$\gamma_s$	— <sup>a</sup>	1,2	1,0	— <sup>a</sup>
Ukupna/kombinirana (tlačni piloti)	$\gamma_t$	— <sup>a</sup>	1,2	1,0	— <sup>a</sup>
Plasť (vlačni piloti)	$\gamma_{st}$	— <sup>a</sup>	1,2	1,0	— <sup>a</sup>

<sup>a</sup> R1 i R4 nisu primjenjivi u Republici Hrvatskoj jer se primjenjuju proračunski pristupi 2 i 3.

Prema EN 1997-1:

- Geotehnička ktg.2
- Granično stanje nosivosti: GEO
- Proračun temelja na analitičkoj metodi
- Za odabrani **proračunski pristup 2: A1+M1+R2**

trajna nepovoljna djelovanja (A1):	$\gamma_{G;sup} = 1,35$
promjenjiva nepovoljna djelovanja (A1):	$\gamma_Q = 1,5$
trajna povoljna djelovanja (A1):	$\gamma_{G;inf} = 1,00$
tangens kuta unutarnjeg trenja (M1):	$\gamma_{\rho'} = 1,00$
efektivna kohezija (M1):	$\gamma_{C'} = 1,00$
nedrenirana posmična čvrstoća (M1):	$\gamma_{cu} = 1,00$
bušeni pilot otpornost osnovica (R2):	$\gamma_b = 1,20$
bušeni pilot otpornost plašt(tlačni pilot) (R2):	$\gamma_s = 1,20$

Proračunski parametar  $C_{ud}$  :

- za gornji CL/CH sloj (nedrenirani uvjeti u sitnozrnomo tlu):

$$C_{ud1} = \frac{C_{uk}}{\gamma_{cu}} = \frac{10,12}{1} = 10,12 \frac{kN}{m^2} - \text{karakteristična vrijednost nedrenirane kohezije}$$

- za sloj GC-GP (drenirani uvjeti u krupnozrnomo tlu):

$$C_{2d} = \frac{C_{2k}}{\gamma_c} = \frac{0}{1} = 0 \frac{kN}{m^2} - \text{karakteristična vrijednost kohezije}$$

- za donji CL/CH sloj (nedrenirani uvjeti u sitnozrnomo tlu):

$$C_{ud2} = \frac{C_{uk}}{\gamma_{cu}} = \frac{17,55}{1} = 17,55 \frac{kN}{m^2} - \text{karakteristična vrijednost nedrenirane kohezije}$$

Proračun na osnovi rezultata ispitivanja tla. Nosivost na bazi pilota određena je za sitnozrno tlo (CL/CH).

Proračunska nosivost pilota na bazi pilota:

- otpornost pilota u sitnozrnom tlu:

$$q_b = N_c \cdot C_u + \sigma_{vo} \quad \text{gdje je :}$$

$q_b$  – otpornost na dubini osnovice pilota

$C_{ud}$  – nedrenirana čvrstoća temeljnog tla

$N_c = 9$

$\sigma_{vo}$  – vertikalno ukupno naprezanje na dubini osnovice pilota

**Tablica 10.** Proračun vertikalnog efektivnog naprezanja, pornog tlaka i vertikalnog ukupnog naprezanja

$z$ (m)	$\Delta z$ (m)	$\sigma'_{vo} = \gamma \cdot \Delta z$ (kPa)	$U = \gamma_w \cdot \Delta z$ (kPa)	$\sigma_{vo} = \sigma'_{vo} + u$ (kPa)
0	0	0	0	0
1	1	$18,53 \cdot 1 = 18,53$	0	18,53
1,5	0,5	$18,53 + 0,5 \cdot 8,71 = 22,89$	$0,5 \cdot 9,81 = 4,905$	$22,89 + 4,905 = 27,8$
4	2,5	$22,89 + 2,5 \cdot 11,2 = 50,89$	$4,905 + 2,5 \cdot 9,81 = 29,43$	$50,89 + 29,43 = 80,32$
8	4	$50,89 + 4 \cdot 10,59 = 93,25$	$29,43 + 4 \cdot 9,81 = 68,67$	$93,25 + 68,67 = 161,92$
18	10	$93,25 + 10 \cdot 9,7 = 190,25$	$68,67 + 10 \cdot 9,81 = 166,77$	$190,25 + 166,77 = 357,02$

Proračun otpornosti na dubini osnovice pilota u bušotini B6:

$$q_b = 9 \cdot 17,55 + 357,02 = 514,97 \text{ kPa}$$

Proračun otpornosti na bazi pilota u bušotini B6:

$$R_B = q_b \cdot A_b = 514,97 \cdot \frac{0,8^2 \pi}{4} = 258,85 \text{ kN}$$

Proračunska otpornost na bazi pilota:

$$R_{b,d} = \frac{R_b}{1,5 \cdot \gamma_b} = \frac{258,85}{1,5 \cdot 1,2} = 143,81 \text{ kN}$$

Gdje je:

- 1,5 – koeficijent modela s kojim je potrebno pomnožiti vrijednost parcijalnih faktora  $\gamma_b$  i  $\gamma_s$  (HRN EN 1997-1:2012), PP2
- $\gamma_b$  parcijalni koeficijent za otpornost pilota



Proračunska nosivost trenjem po plaštu:

- **sloj CL/CH gornji:**

nedrenirani uvjeti u sitnoznom tlu:

$$q_s = \alpha \cdot C_{ud}$$

$$\alpha = \frac{C_{ud}}{p_a} = \frac{10,12}{100} = 0,10 \leq 1,5 \rightarrow \alpha = 0,55$$

-jedinična otpornost po plaštu

$$q_s = 0,55 \cdot 10,12 = 5,57 \text{ kPa}$$

- **sloj GC-GP:**

drenirani uvjeti u krupnozrnem tlu:

$$q_s = \beta \cdot \sigma'_y$$

$$\beta = 2 - 0,15(y(m))^{0,75} = 2 - 0,15(4 + 4/2)^{0,75} = 1,43$$

$$\text{za } 0,25 \leq \bar{\beta} < 1,8 \rightarrow \text{vrijedi da je } \beta = \bar{\beta}$$

$$0,25 \leq 1,43 < 1,8 \rightarrow \text{usvojeno } \beta = \bar{\beta} = 1,43$$

-jedinična otpornost po plaštu:

$$q_s = 1,43 \cdot (1 \cdot 18,53 + 0,5 \cdot 8,71 + 2,5 \cdot 11,2 + 2 \cdot 10,59) = 103,05 \text{ kPa}$$

- **sloj CL/CH donji:**

nedrenirani uvjeti u sitnoznom tlu:

$$q_s = \alpha \cdot C_u$$

$$\alpha = \frac{C_u}{p_a} = \frac{17,55}{100} = 0,18 \leq 1,5 \rightarrow \alpha = 0,55$$

-jedinična otpornost po plaštu

$$q_s = 0,55 \cdot 17,55 = 9,65 \text{ kPa}$$

Proračun otpornosti po plaštu pilota u bušotini B6:

$$R_s = 0 \cdot \sum_i q_s \cdot L_i = 0,8 \pi (2,5 \cdot 5,57 + 4 \cdot 103,05 + 10 \cdot 9,65) = 1313,5 \text{ kN}$$

*Proračunska otpornost po plaštu pilota:*

$$R_{s,d} = \frac{R_s}{1,5 \cdot \gamma_s} = \frac{1313,5}{1,5 \cdot 1,2} = 729,72 \text{ kN}$$

## 4.2. PRORAČUN NOSIVOSTI U GRUPI OD 4 CFA PILOTA

$$G_{r,i} = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot R$$

gdje su:

G – koeficijent redukcije

$\lambda_1$  – koeficijent koji ovisi o vrsti tla, razmaku pilota, dužini pilota i očekivanom slijeganju

$\lambda_2$  – koeficijent ovisan o veličini grupe pilota

$\lambda_3$  – koeficijent ovisan o tipu pilota (za bušene pilote  $\lambda_3 = 1.0$ )

a – razmak pilota

R – nosivost pojedinog pilota

d – duljina pilota

D – promjer pilota

Za očitavanje koeficijenta  $\lambda_1$  upotrijebljena je redukcija za kutni pilot (corner) te za očitavanje je potreban razmak pilota i duljina pilota, a za koeficijent  $\lambda_2$  linija za grupu od 3x3 pilota.

$$\frac{a}{d} = \frac{160}{1800} = 0,09$$

$$\lambda_1 = 0,55$$

$$\lambda_2 = 2,0$$

$$\lambda_3 = 1,0$$

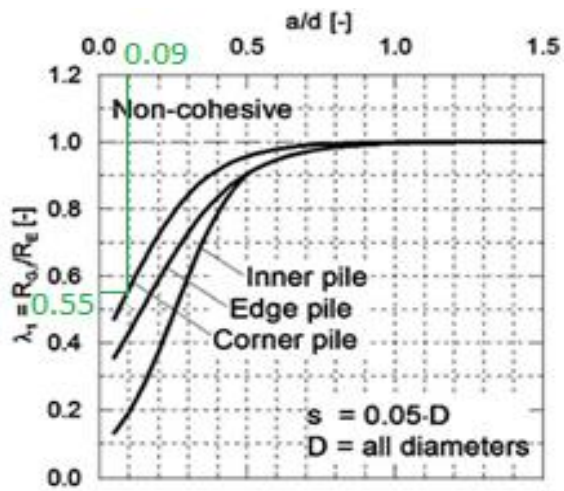
Proračunska otpornost na bazi pilota:

$$R_{b,d} = 143,76 \text{ kN}$$

Proračunska otpornost trenjem po plaštu pilota:

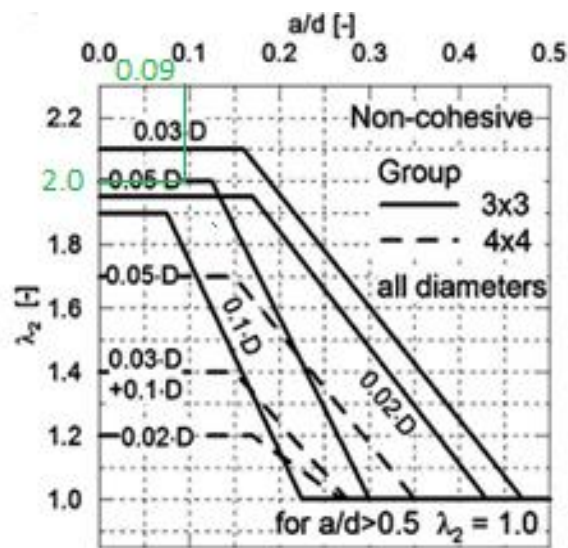
$$R_{s,d} = 729,44 \text{ kN}$$

Na dijagramu je očitano koeficijent  $\lambda_1$  za nekoherentno tlo i red veličine očekivanog slijeganja 0.05 D



Slika 10. Koeficijent  $\lambda_1$  za nekoherentno tlo i red veličine očekivanog slijeganja 0.05 D

Na dijagramu je očitano koeficijent  $\lambda_2$  za nekoherentno tlo



Slika 11. Koeficijent  $\lambda_2$  za nekoherentno tlo

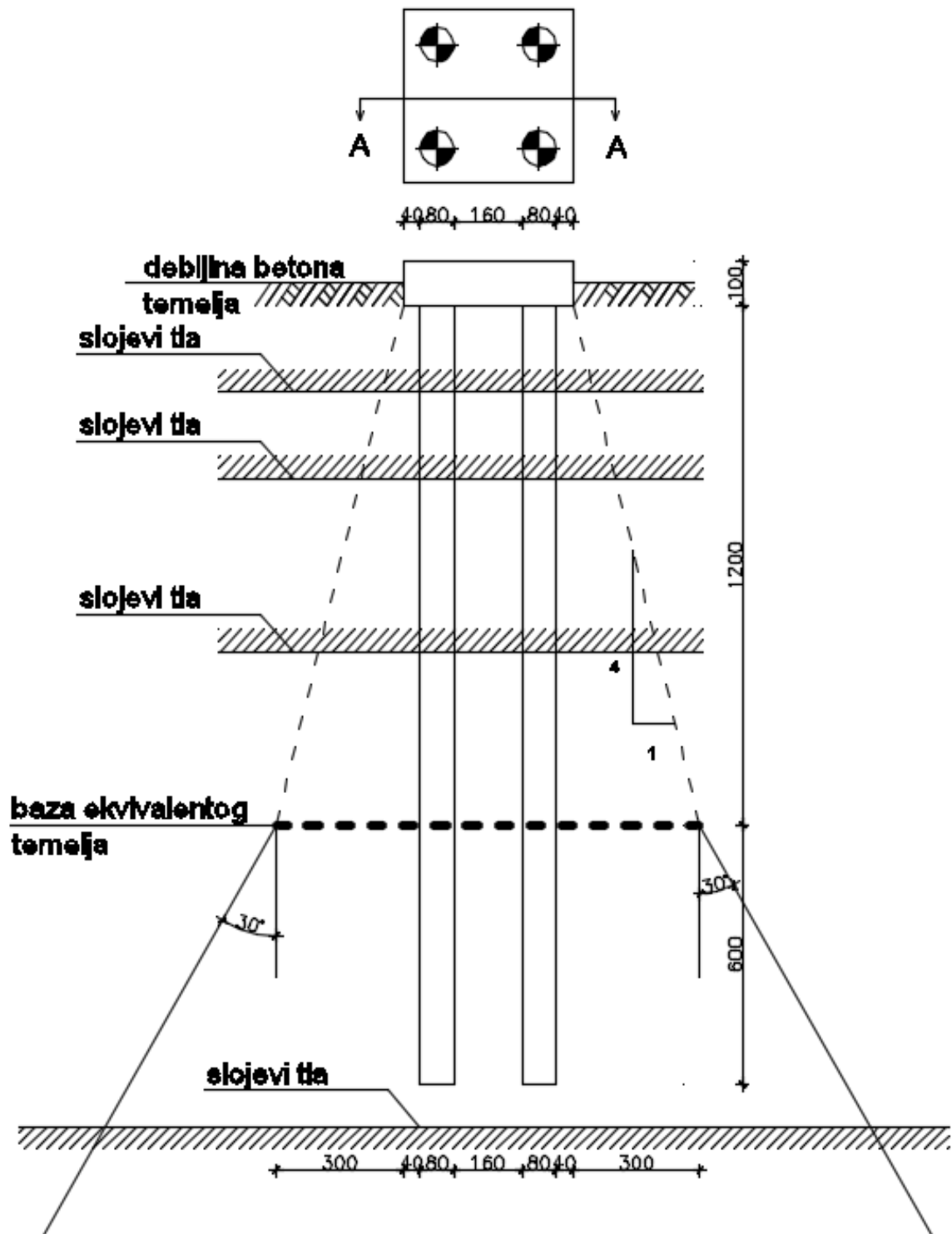
Proračun reducirane nosivosti zbog djelovanja u grupi :

$$G_b = 0,55 \cdot 2,0 \cdot 1 \cdot 143,81 = 158,19 \text{ kN}$$

$$G_t = 0,55 \cdot 2,0 \cdot 1 \cdot 729,72 = 802,69 \text{ kN}$$

### 4.3. PRORAČUN SLIJEGANJA

Slijeganje je izračunato za grupu pilota sa raspodjelom uspravnog naprezanja prema slici 12. Proračun se vrši za površinu određenu na 2/3 dubine pilota, a koja predstavlja ekvivalentni temelj. U ovom slučaju to je dubina od 12 m.



Slika 12. Raspodjela uspravnog naprezanja ispod grupe pilota M 1:100

Nosivost na bazi grupe pilota:

$$G = 4 \cdot G_b = 4 \cdot 158,19 = 632,76 \text{ kN}$$

Nosivost trenjem po plaštu grupe pilota:

$$G = 4 \cdot G_t = 4 \cdot 802,69 = 3210,76 \text{ kN}$$

$$\text{Ekvivalentna površina: } L = 3 + 0,4 + 0,8 + 1,6 + 0,8 + 0,4 + 3 = 10 \text{ m}$$

$$B = 3 + 0,4 + 0,8 + 1,6 + 0,8 + 0,4 + 3 = 10 \text{ m}$$

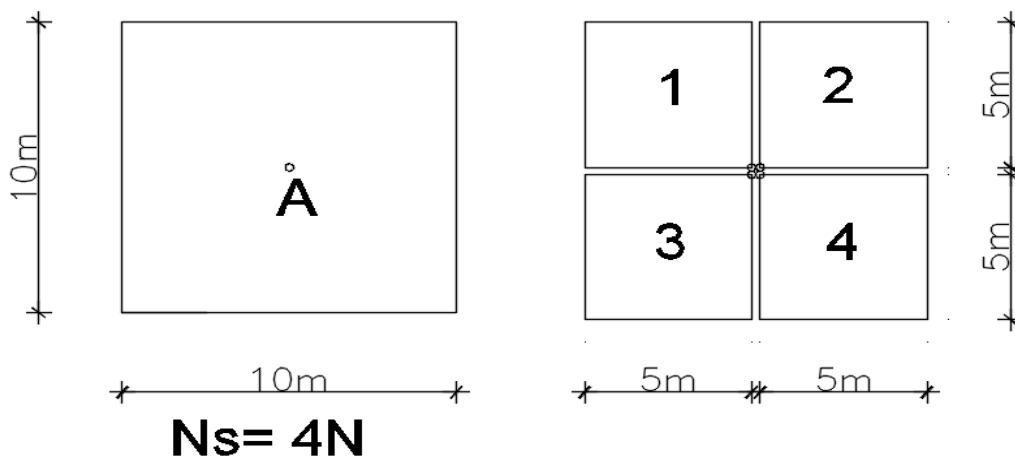
$$L \cdot B = 10 \cdot 10 = 100 \text{ m}^2$$

Ukupno opterećenje grupe:

$$V = 632,76 + 3210,76 = 3843,52 \text{ kN}$$

$$\text{Naprezanje na ekvivalentnoj površini } p = \frac{V}{L \cdot B} = \frac{3843,52}{100} = 38,44 \text{ kPa}$$

#### DODATNO NAPREZANJE PO STEINBRENNERU



**SLIKA 13.** Dodano naprezanje po Steinbrenneru

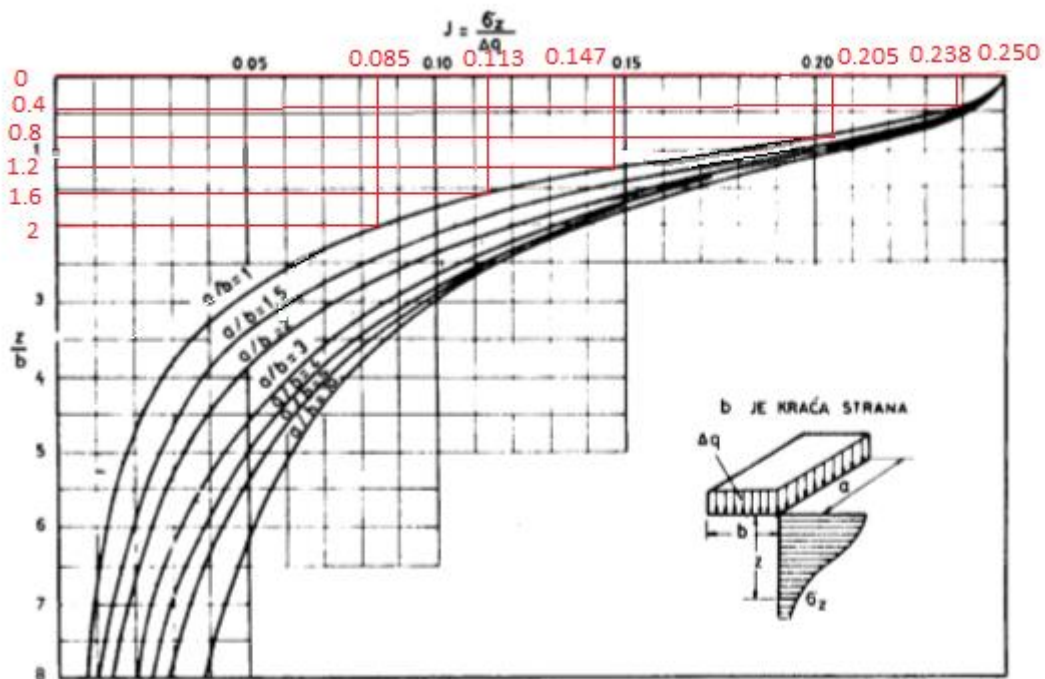
$$\frac{a}{b} = \frac{5}{5} = 1$$

$$b = 5$$

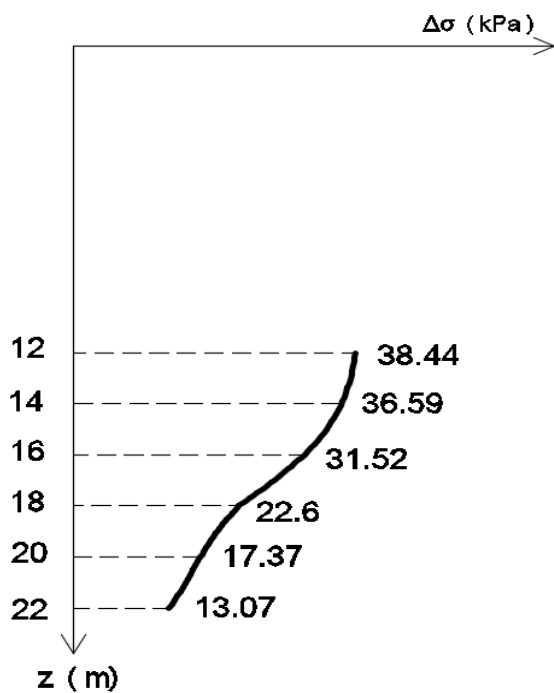
Očitamo N na Steinbrenner-ovom dijagramu

**Tablica 11.** Proračun uspravnih dodatnih naprezanja po Steinbrenneru

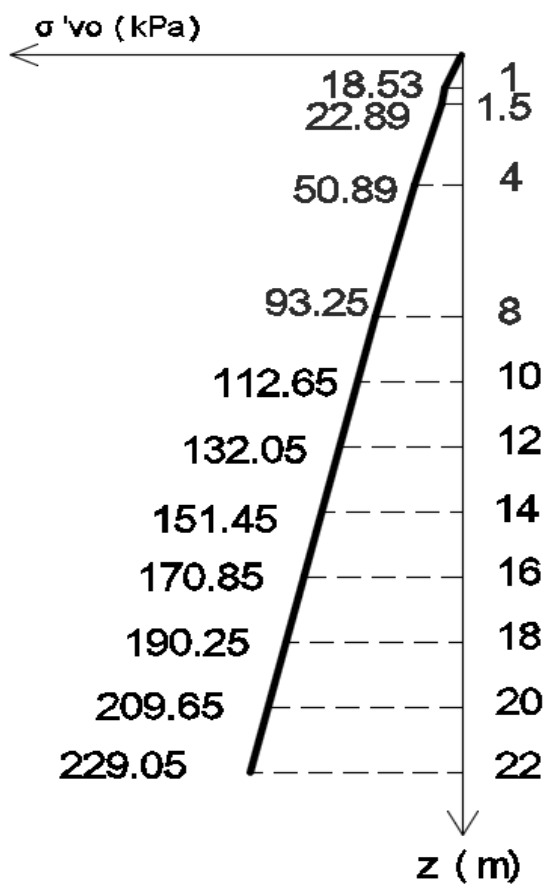
$z$ (m)	$z'$ (m)	$z'/b$	$N$	$N_s = 4 \cdot N$	$\Delta\sigma = N_s \cdot p$
12	0	0	0,250	1	38,44
14	2	0,4	0,238	0,952	36,59
16	4	0,8	0,205	0,82	31,52
18	6	1,2	0,147	0,588	22,60
20	8	1,6	0,113	0,452	17,37
22	10	2	0,085	0,34	13,07



**SLIKA 14.** Steinbrennerov dijagram za proračun uspravnih dodatnih naprezanja



**SLIKA 15.** Raspodjela dodatnih naprezanja po dubini ispod ekvivalentne površine. Proračun je prema Steinbrenneru, za središnju točku



**SLIKA 16.** Dijagram efektivnih naprezanja

Slijeganje donjeg CL/CH sloja

$$N_{60} = 37,05$$

$$q_c = 400 \cdot N_{60} = 400 \cdot 37,05 = 14820 \text{ kPa} \text{ --za nekoherentna tla}$$

$$C = 1,5 \cdot \frac{q_c}{\sigma'_{vo}} = 1,5 \cdot \frac{14820}{132,05} = 168,35$$

IZRAZ ZA SLIJEGANJE:

$$\Delta s_i = \frac{2,3}{C} \left( \log \frac{\overline{\sigma'_{vo}} + \overline{\Delta\sigma}}{\overline{\sigma'_{vo}}} \right) \cdot \Delta z_i$$

**Tablica 12.** Proračun slijeganja

z (m)	z' (m)	$\sigma'_{vo}$ (kPa)	$\overline{\sigma'_{vo}}$ (kPa)	$\Delta\sigma$ (kPa)	$\overline{\Delta\sigma}$ (kPa)	$\overline{\sigma'_{vo}} + \overline{\Delta\sigma}$ (kPa)	$\Delta z_i$ (cm)	$\Delta s_i$ (cm)
12	0	132,05	-	38,44	-	-	-	-
14	2	151,45	141,75	36,59	39,52	181,27	200	0,29
16	4	170,85	161,15	31,52	34,06	195,21	200	0,23
18	6	190,25	180,55	22,6	27,06	207,61	200	0,17
20	8	209,65	199,95	17,37	19,99	219,94	200	0,11
22	10	229,05	219,35	13,07	15,22	239,57	200	0,10
$S_s = \sum_i \Delta s_i = 0,9 \text{ cm}$								

**Slijeganje iznosi:  $s = 0,9 \text{ cm}$**



## 5. ZAKLJUČAK

Određivanjem nosivosti grupe od 4CFA pilota pokazano je da proračunska reducirana nosivost na bazi grupe pilota iznosi  $G=632,76$  kN, a nosivost trenjem po plaštu grupe pilota iznosi  $G=3210,76$  kN za potrebe temeljenja objekta Kauflanda u Zagrebu. Slijeganje temelja je neizbježna deformacija tla nastala zbog promjene naprezanja u vertikalnom smjeru u tlu te konkretno za priloženi zadatak može se zaključiti da je proračunata vrijednost od 0,9 cm u granicama dopuštenog slijeganja, odnosno da zadovoljava za opterećenje koje odgovara nosivosti navedene grupe pilota.

## 6. LITERATURA

1. Geomehanički elaborat trgovačkog centra Kaufland u Zagrebu, Barutanski jarak
2. Geotechnical engineering circular (GEC) No.8 ; Design and construction of continuous flight auger piles (2007.) ; Dan A. Brown, Ph.D., P.E., Steven D. Dapp, Ph.D., P.E., W. Robert Thompson, III, P.E., and Carlos A. Lazarte, Ph.D., P.E.
3. Nastavni materijali predavanja i vježbi „Mehanika tla i temeljenje“, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split
4. Look, B.G.(2014.) „Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables, second edition“
5. HRN EN1997-1:2012/NA 2016, Eurokod 7: geotehničko projektiranje

## 7. PRILOZI

**Tablica 13.** Jedinična težina tla (prema: Look, B. G. (2014.), "Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables, second edition")

vrsta tla	opis	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )
zbijeni drobljeni šljunak	meke sedimentne stijene (kreda, šejl, siltit)	12	18
	tvrde sedimentne stijene (konglomerat, pješčenjak)	14	19
	metamorfne stijene	18	20
	magmatske stijene	17	21
šljunak i pijesak	vrlo rahli	14	17
	srednje zbijen	17	20
	zbijen	19	21
	vrlo zbijen	21	22
rahli pijesak	uniformno graduiran	14	17
	dobro graduiran	16	19
zbijeni pijesak	uniformno graduiran	18	20
	dobro graduiran	19	21
koherentno tlo (prah, glina)	meko organsko	8	14
	meko anorgansko	12	16
	kruto	16	18
	čvrsto	18	20

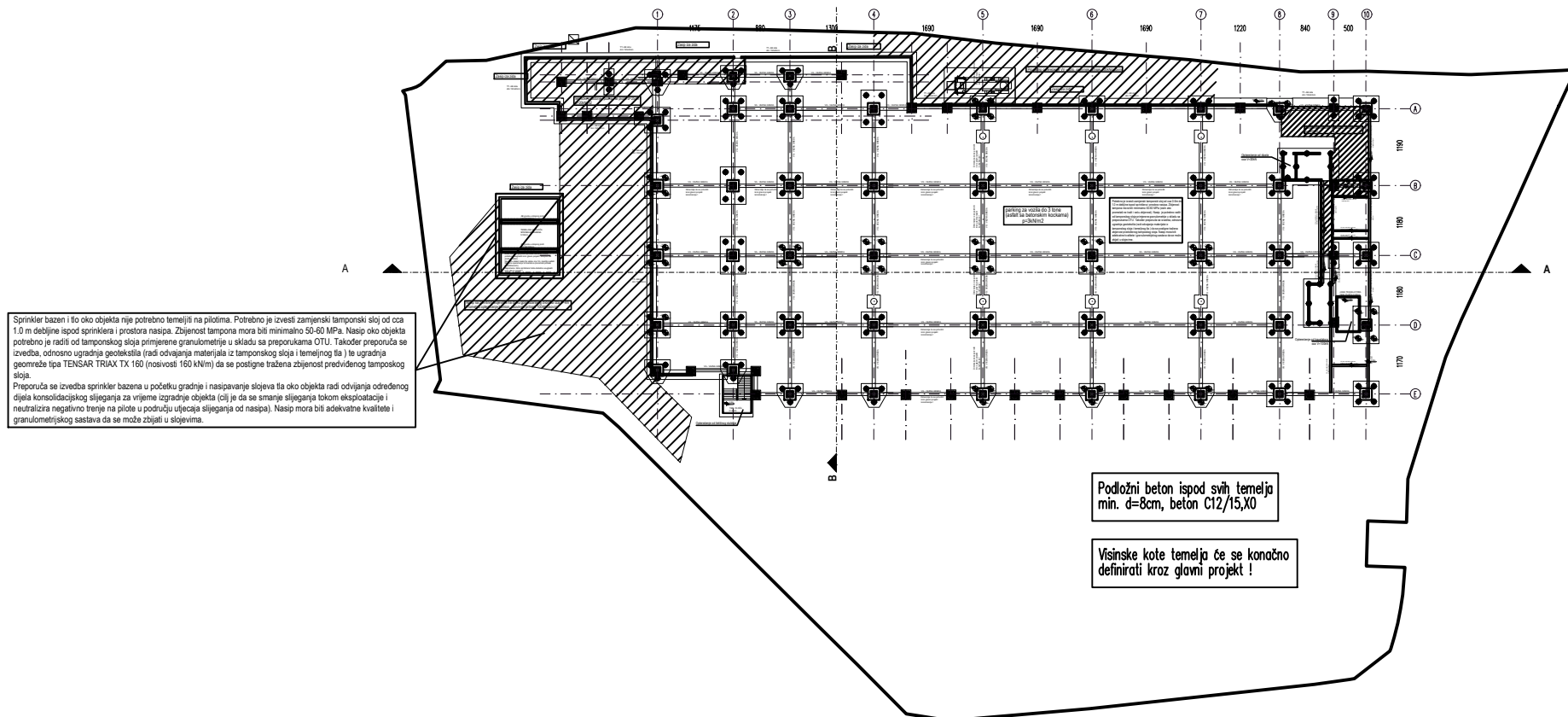
**Tablica 14.** Korekcija parametra tla

parametar tla	simbol	korekcija
tangens efektivnog kuta trenja	$\text{tg } \varphi'$	0.95
efektivna kohezija	$c'$	0.80
nedrenirana čvrstoća	$c_u$	0.85
edometerski modul	$E_{oed}$	0.80
gustoća	$\rho$	1.00





# TLOCRT TEMELJA



PRESJEK GRUPE OD 4 CFA PILOTA

