Nosivost mlazno injektiranih stupnjaka za potrebe rekonstrukcije bazena hotela Meteor u Makarskoj

Drmić, Dora-Ana

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:035803

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split

zir.nsk.hr

UNIVERSITY OF SPLIT

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

ZAVRŠNI RAD

Dora - Ana Drmić

Split, 2020

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: **DORA-ANA DRMIĆ**

BROJ INDEKSA: 4539

KATEDRA: **Katedra za geotehniku**

PREDMET: Mehanika tla i temeljenje

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Nosivost mlazno injektiranih stupnjaka za potrebe rekonstrukcije bazena hotela Meteor u Makarskoj

Opis zadatka: Zbog diferencijalnog slijeganja postojećeg otvorenog bazena hotela Meteor u Makarskoj, predviđeno je rušenje postojećeg objekta i gradnja novog. Temeljenje nove konstrukcije predviđeno je na mlazno injektiranim stupnjacima. Kao prilog zadatku dat je izvještaj o izvršenim geotehničkim istražnim radovima sa situacijom položaja istražnih radova i prognoznim geotehničkim profilima tla. Za zadano opterećenje od konstrukcije bazena (tablica), te zadan raspored stupnjaka (situacija i karakteristični presjek), potrebno je provjeriti proračunsku nosivost stupnjaka u vertikalnom smjeru a prema proračunskom pristupu 2. Pri tome treba provjeriti nosivost materijala samog stupnjaka te kontakta s okolnim tlom (nosivost trenjem po plaštu i na bazi stupnjaka).

U Splitu, 23.3.2020. godine

Voditelj Završnog rada:

izv.prof.dr.sc. Nataša Štambuk Cvitanović

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Nosivost mlazno injektiranih stupnjaka za potrebe rekonstrukcije bazena hotela Meteor u Makarskoj

Završni rad

Split, 2020

Sažetak:

Za potrebe rekonstrukcije bazena hotela Meteor u Makarskoj proračunati su mlazno injektirani stupnjaci, za promjer stupnjaka od 60 cm i za dužine L=9,35 m i L=10,35 m. U zadanom geotehničkom elaboratu dani su rezultati terenskih (SPT) i laboratorijskih ispitivanja. Mlazno injektirani stupnjaci proračunati su u vertikalnom smjeru prema proračunskom pristupu 2.(PP2)
Ključne riječi:

Mlazno injektirani stupnjaci, nosivost mlazno injektiranih stupnjaka

Bearing capacity of jet- grouting columns for reconstruction of the swimming pool of hotel Meteor in Makarska

Abstract:

For the purposes of reconstruction of hotel Meteor's swimming pool in Makarska, jet- grouting columns are calculated with a diameter of 60 cm and a length of L=9.35 m and L=10.35 m. Field (SPT) and laboratory test results are shown in the default geotechnical report. The jet-grouting columns are calculated in the vertical direction according to Eurocode 7 (HRN EN 1997-1:2012/NA).

Keywords:

Jet-grouting columns, bearing capacity of the jet-grouting columns

Sadržaj

1. Tehnički opis 1
1.1. Uvod 1
1.2. Osvrt na geotehničke istražne radove 1
1.3. Karakteristike terena 2
1.4. Mišljenje o temeljenju 3
1.5. Parametri tla mjereni na terenu 4
1.5.1. SPT- standardni penentracijski pokus 4
2. Slojevi tla 7
2.1. Slojevi tla: Bušotina 1 (B-1) 7
2.2. Slojevi tla: Bušotina 2 (B-2) 8
2.3. Slojevi tla: Bušotina 3 (B-3) 8
3. Analiza parametara 9
3.1. Parametri tla za bušotinu 1 9
3.2. Parametri tla za bušotinu 2 10
3.3. Parametri tla za bušotinu 3 10
3.4. Karakteristične vrijednosti parametara (Orr i Farrell) 10
4. Vertikalno efektivno naprezanje (σ'_{ov}) 12
4.1. Vertikalno efektivno naprezanje B – 1 12
4.2. Vertikalno efektivno naprezanje B – 2 13
4.3. Vertikalno efektivno naprezanje B – 3 13
5. Proračunska nosivost 14
5.1. Proračunska nosivost na bazi stupnjaka 15
5.2. Proračunska nosivost trenjem po plaštu 19
5.3. Nosivost materijala samog stupnjaka 24
5.4. Provjera nosivosti stupnjaka u vertikalnom smjeru 26
6. Zaključak 27
7. Literatura 29
8. Prilozi 30
8.1. Situacija 30
8.2. Sondažni profili 31
8.3. Prognozni inženjersko geološki profili 32
8.4. Tlocrt temelja s pozicijama mlazno-injektiranih stupnjaka 33
8.5. Poprečni presjek 34

1. Tehnički opis

1.1. Uvod

U ovom radu određena je proračunska nosivost stupnjaka u vertikalnom smjeru prema HRN EN 1997-1:2012/NA (proračunski pristup 2).

Zbog diferencijalnog slijeganja postojećeg otvorenog bazena hotela Meteor u Makarskoj, predviđeno je rušenje postojećeg objekta i gradnja novog. Temeljenje nove konstrukcije predviđeno je na mlazno injektiranim stupnjacima, potrebno je provjeriti proračunsku nosivost stupnjaka u vertikalnom smjeru. Pri tome treba provjeriti nosivost materijala samog stupnjaka te kontakta s okolnim tlom (nosivost trenjem po plaštu i na bazi stupnjaka).

Na temelju ugovora koji je sklopljen, Odjel zavoda za geotehniku Instituta IGH u Splitu je obavio geološko-geotehničke istražne radove na lokaciji bazena hotela Meteor u Makarskoj. Prema dobivenim podatcima iz Idejnog projekta, planira se izgradnja kompleksa otvorenog bazena na ukupnoj tlocrtnoj površini cca 1600 m^2 s izgradnjom podzemnog i nadzemnog dijela.

Geološko-geotehnički istražni radovi izvedeni su s ciljem utvrđivanja sastava i geološko-geotehničkih značajki terena.

1.2. Osvrt na geotehničke istražne radove

Terenski istražni radovi sastojali su se od istražnog bušenja na ukupno tri (3) pozicije do dubine 12.0 m (B-1), 9.80 m (B-2) i 11.10 m (B-3), mjereno od sadašnje površine terena. Istražno bušenje je obavljeno motornom bušaćom garniturom tip “RESKA 20“, uz korištenje vode kao isplake za bušenje kroz dobro zbijene deluvijalne naslage – šljunak, te “na suho“ kroz meke kvartarne naslage.
Tijekom bušenja izvedeno je ispitivanje zbijenosti kvartarnih naslaga primjenom standardnog penetracijskog pokusa (SPP).
Geotehnički istražni radovi provedeni su sredinom svibnja 2015. godine.

1.3. Karakteristike terena

Na bušotini (B-1) registrirani su sljedeći slojevi kvartarnih naslaga:

- ML (prah glinovit pjeskovit sivosmeđe boje u površini humuziran, nisko plastičan, s učešćem vapnenačkog kršja) do -1,8 m od kote terena.
- CH (glina prašinasta sive boje, visoko plastična, uglavnom lako gnječive mjestimično i žitke konzistencije s učešćem pijeska), od -1,8 m do -8,4 m.
- CH (glina prašinasta sive boje, visoko plastična, uglavnom lako do teško gnječive konzistencije s učešćem pijeska i šljunka), od -8,4 m do -10,8 m.
- GW (šljunak pjeskovit i veće valutice (10-15 cm), s učešćem gline prašinaste; šljunak je vrlo zbijen), od -10,8 m do -12,0 m.

Na bušotini (B-2) registrirani su sljedeći slojevi kvartarnih naslaga:

- ML (prah glinovit pjeskovit sivosmeđe boje u površini humuziran, nisko plastičan, s učešćem vapnenačkog kršja i šljunka) do -3,2 m od kote terena.
- GW (šljunak pjeskovit krupnozrnat srednje zbijen), od -3,2 m do -4,0 m.
- CH (glina prašinasta sive boje, visoko plastična, uglavnom lako gnječive mjestimično i žitke konzistencije s učešćem pijeska, organski onečišćena), od -4,0 m do -9,6 m.
- GW (šljunak pjeskovit s učešćem gline prašinaste, srednje zbijen), od -9,6 m do -9,8 m.

Na bušotini (B-3) registrirani su sljedeći slojevi kvartarnih naslaga:

- ML (prah glinovit pjeskovit sivosmeđe boje u površini humuziran, nisko plastičan, s učešćem vapnenačkog kršja i šljunka) do -1,3 m od kote terena.
- CH (glina prašinasta tamnosive boje, visoko plastična, lako gnječive konzistencije s učešćem pijeska i šljunka), od -1,3 m do -2,4 m.
- GW (šljunak pjeskovit s učešćem gline prašinaste sive boje; šljunak je zbijen do vrlo zbijen), od -2,4 m do -5,5 m.
- CH (glina prašinasta sive boje, visoko plastična, uglavnom lako do teško gnječive konzistencije s učešćem pijeska, organski onečišćena), od -5,5 m do -10,8 m.
- CH/GW (glina prašinasta tamnosive boje, visoko plastična, teško gnječive konzistencije s učešćem pijeska, šljunka i valutica), od -10,8 m do 11,1 m.

Praćenjem nivoa podzemne vode unutar bušotina utvrđen je nivo podzemne vode na koti 0.40 do 0.70 m n. m.

1.4. Mišljenje o temeljenju

Na temelju rezultata provedenih istražnih radova može se dati sljedeće mišljenje o temeljenju otvorenog bazena:

Istražnim bušenjem do dubine 12.0 m (B-1), 9.80 m (B-2) i 11.10 m (B-3), matična stijena na predmetnoj lokaciji nije registrirana, a cijeli profil terena do dubine bušenja izgrađuju kvartarne naslage vrlo heterogene po sastavu, zbijenosti i deformacijskim značajkama.

Debljina različitih slojeva tla kao i njihova dubina pojavljivanja na bušotinama je različita, a što za posljedicu ima različite deformacijske značajke terena na pojedinim lokacijama. Zbog navedenih činjenica postojeći otvoreni bazen je tijekom vremena doživio slijeganje za cca 40 cm te diferencijalno slijeganje južnog dijela bazena za cca 25 cm.

Kod razmatranja varijanti temeljenja otvorenog bazena nameće se zaključak o nužnosti poboljšanja zbijenosti ili premoštenja slabo zbijenog tla, odnosno produbljeno temeljenje na dobro zbijenom tlu koje se nalazi na dubinama 9.60 do 10.80 m.

Odabrana varijanta je :

Mlaznoinjektirani stupnjaci – Jet grouting

Osnovni zadatak mlaznog injektiranja (JET GROUTING) je ojačanje temeljnog tla s ciljem bitnog poboljšanja deformacijskih značajki formiranjem temeljnih stupnjaka sastavljenih od mlaznoinjektiranih stupova tla (tzv.stupnjaci) koji se integriraju unutar postojećeg tla.

Primjenom ove metode razbija se struktura tla te se čestice tla mješaju s vezivnim sredstvom pa nastaje homogenizirana masa poboljšanih svojstava

Prednosti su ove metode da mlazno injektiranje može započeti na svakoj prihvatljivoj dubini, a također i završeno u bilo kojoj razini ispod površine terena, ovisno o potrebama zahvata ojačanja tla.

Projektna nosivost na tlu poboljšanom mlaznim injektiranjem preporučaju se koristiti do vrijednosti:

$$\sigma_{rd} = 300 \text{ kN/m2}$$

Za registrirani materijal na predmetnoj lokaciji može se ostvariti minimalni promjer stupnjaka Ø=600 - 800 mm.

Dužina stupnjaka koji će se izvesti do nivoa pojave dobro zbijenog šljunka iznosila bi 10 do 11 m.

Seizmološke značajke tla

Budući da se predmetna lokacija nalazi u zoni za koju se predviđa za povratni period od 500 godina uz 63 % vjerojatnosti, maksimalni intezitet potresa u iznosu od 9 MSK-64 ljestvice, predlaže se provedba seizmičkog proračuna s tim stupnjem seizmičnosti.

Temeljno tlo se prema Eurocodu može svrstati u razred "D" po dokumentu (HRN ENV, 1998-11:2004). Razred „D" je definiran kao: Naslage rastresitog tla s mekim koherentnim slojevima ili bez njih. Brzina širenja poprečnih valova Vs,30 ≤ 180 m/s u gornjih 20 m. Prema karti akceleracija za temeljno tlo – matičnu stijenu, može se usvojiti maksimalna horizontalne akceleracije (amax izraženo u jedinici g) za povratni period od 475 godina, u iznosu amax=0.276 g.

1.5. Parametri tla mjereni na terenu

Za proračun nosivosti stupnjaka potrebno je poznavati:

- Parametre tla za pojedini sloj

1.5.1. SPP – standardni penentracijski pokus

→SPP je najraširenije terensko ispitivanje. Prvenstveno se koristi za nekoherentna pjeskovita tla. Izvodi se u bušotini. Mjeri otpor prodiranju standardnog noža u vidu broja potrebnih udaraca (N)/0.3 m. Potrebno je izmjereni broj udaraca N korigirati prema referentnom koeficijentu energije od 60% prema sljedećem izrazu zbog različitog gubitka energije prilikom izvođenja testa:

$$N_{60} = \frac{ERr}{60} \cdot \lambda \cdot C_N \cdot N$$

ERr – koeficijent energije korištene opreme

λ – korekcijski faktor zbog gubitka energije radi dužine potisne šipke u pijesku

C_N – korekcijski faktor zbog efektivnog tlaka nadsloja na mjestu ispitivanja

Tablice za određivanje korekcijskih faktora dane su u literaturi. Pomoću tih tablica određeno je:

ERr = 60 (za automatski čekić s otpuštanjem u čitavom ciklusu)

λ = 0,75 (dužina potisne šipke ispod nakovnja 3-4 m)

λ = 0,85 (dužina potisne šipke ispod nakovnja 4-6 m)

λ = 0,95 (dužina potisne šipke ispod nakovnja 6-10 m)

λ = 1 (dužina potisne šipke ispod nakovnja >10 m)

$$C_N = \frac{2}{1 + \sigma'_{v0}}$$

σ'_{v0}– vertikalno efektivno naprezanje na dubini izvođenja pokusa (u (kPa) x 10^{-2})

U geotehničkom izvještaju navedeni su rezultati SPT ispitivanja (prilog 8.2.). Ti rezultati korigirani su na N_{60} kako je prethodno navedeno.

• Za B - 1 izračunato je:

Tablica 1: Korigirane vrijednosti N_{60} rezultata SPT-a.

Sloj	N (mjereni)	$\sigma_{v0}'(kPa)$	Z(m)	λ	C_N	N60
ML- prah glinovit	4	31,5	-1,80	0,75	1,52	6
CH- glina prašinasta	7	77,7	-8,40	0,95	1,13	8
CH- glina prašinasta	8	96,7	-10,8	0,95	1,02	8
GW- šljunak	50(odskače)	-	-	-	-	-

Napomena: sloj ML nije nosiv na poziciji bušotine B-1, također nema mjerodavnog izmjerenog N za šljunak pa je odabrana vrijednost N_{60}= 40 koja je adekvatna za zbijen do vrlo zbijen šljunak.

• Za B - 2 izračunato je:

Tablica 2: Korigirane vrijednosti N_{60} rezultata SPT-a.

Sloj	N (mjereni)	$\sigma_{v0}'(kPa)$	Z(m)	λ	C_N	N60
ML- prah glinovit	9	41,00	-3,20	0,75	1,42	9
GW- šljunak	10	49,00	-4,00	0,75	1,34	10
CH- glina prašinasta	8	93,80	-9,60	0,95	1,03	8
GW- šljunak	Nema podataka	-	-	-	-	40

Napomena: Nema mjerodavnog izmjerenog N za šljunak pa je odabrana vrijednost N60= 40 koja je adekvatna za zbijen do vrlo zbijen šljunak.

• Za B - 3 izračunato je:

Tablica 3: Korigirane vrijednosti N_{60} rezultata SPT-a.

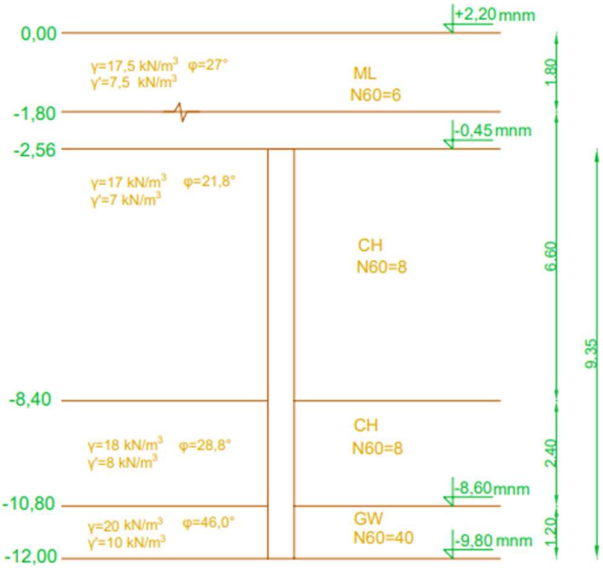
Sloj	N (mjereni)	$\sigma_{v0}'(kPa)$	Z(m)	λ	C_N	N60
ML- prah glinovit	>10	22,75	-1,30	0,85	1,63	9 (odabrano)
CH- glina prašinasta	-	-	-	-	-	7
GW- šljunak	50 (odskače)	-	-	-	-	31
CH- glina prašinasta	6	107,95	-10,80	0,95	0,96	5
CH/GW- glina s učešćem šljunka	Nema podataka	-	-	-	-	40

Napomena: sloj ML nije nosiv na poziciji bušotine B-3, također nema mjerodavnog izmjerenog N za šljunak pa je odabrana vrijednost N60= 40 koja je adekvatna za zbijen do vrlo zbijen šljunak.

2. Slojevi tla

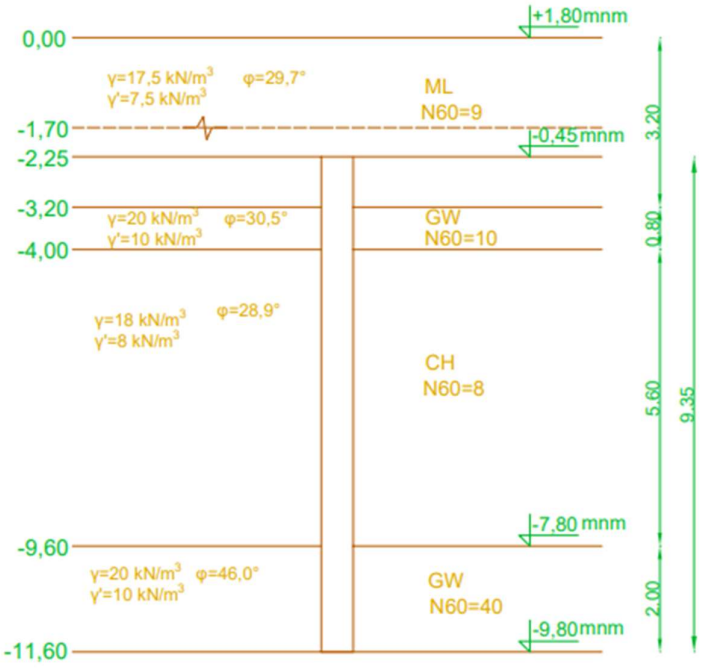
Na području bazena na temelju dobivenih rezultata iz terenskih istražnih radova za svaku od bušotina radit će se poseban model tla zbog toga što je jako izražena heterogenost sastava tla, odnosno debljina različitih slojeva tla kao i njihova dubina pojavljivanja na bušotinama različita. To za posljedicu ima različite deformacijske značajke terena.
U modelima, koji dalje služe za proračun geostatičkih naprezanja i parametara tla koji o tome ovise, nisu izostavljeni slojevi tla iznad kote iskopa na poziciji bazena kao kompenzacija za opterećenje od konstrukcije (bazen + voda) te zbog toga ispravnog određivanja parametara tla na određenim dubinama na temelju rezultata geotehničkih istražnih radova.

2.1. Slojevi tla: Bušotina 1 (B – 1)



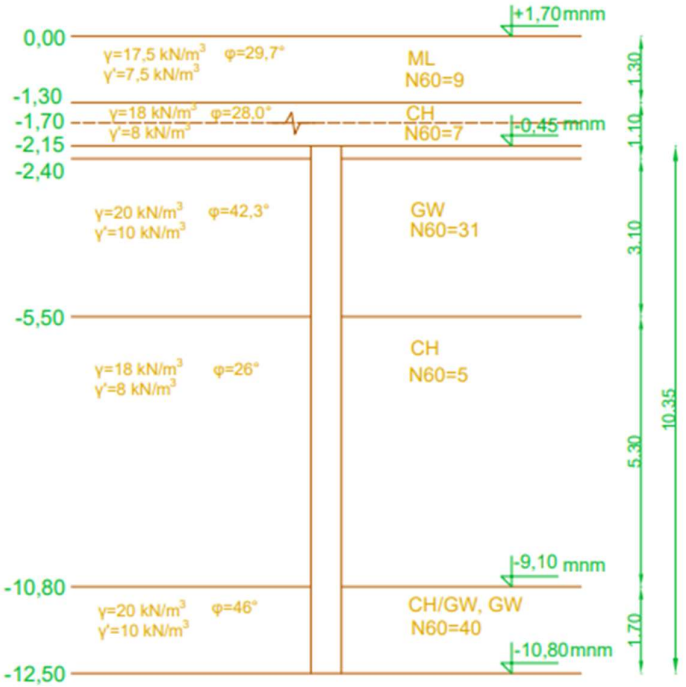
Slika 1: Prikaz stupnjaka i slojeva tla na bušotini 1

2.2. Slojevi tla: Bušotina 2 (B – 2)



Slika 2: Prikaz stupnjaka i slojeva tla na bušotini 2

2.3. Slojevi tla: Bušotina 3 (B – 3)



Slika 3: Prikaz stupnjaka i slojeva tla na bušotini 3

3. Analiza parametara

Pojedini parametri tla uzeti su iz laboratorijskih ispitivanja, a ostali su dobiveni pomoću sljedećih izraza:

- Kut unutarnjeg trenja : $\varphi = 15° + \sqrt{24 \cdot (N)_{60}}$ -za krupnozrna tla (Teixeira)
- Nedrenirana posmična čvrstoća : $c_u = f_1 \cdot (N)_{60} \cdot p_a$ - za sitnozrna tla (tablica 4), gdje je p_a=100 kPa
- Nedrenirana posmična čvrstoća : $c_u = 4{,}5 \cdot (N)_{60}$ -sitnozrna tla; (prema Stroud (1988) – preuzeto iz Schnaid F. (2008))
- Nedrenirana posmična čvrstoća : $c_u = 10{,}5 \cdot (N)_{60}$ - sitnozrna tla; (prema Decourt (1989) – preuzeto iz Schnaid F. (2008))

Indeks plastičnosti određen je ispitivanjem granica plastičnosti u laboratoriju.

Prosječan indeks plastičnosti iznosi:

Ip=43,45%

Na temelju njega određena je nedrenirana posmična čvrstoća.

Tablica 4: Vrijednosti faktora f_1 u ovisnosti o indeksu plastičnosti IP (Stroud)

Ip	f_1
10	0.080
20	0.075
>30	0.045

3.1. Parametri tla za bušotinu 1

Tablica 5: Parametri tla za svaki pojedini sloj na bušotini 1

Sloj br.	$\gamma[kN/m^3]$	$\gamma'[kN/m^3]$	φ[°]	$c[kN/m^2]$	$c_u[kN/m^2]$	
1	17,5	7,5	27,0	-	27	ML
2	17	7	21,8	1,3	30	CH
3	18	8	28,8	-	40	CH
4	20	10	46,0	-	-	GW

3.2. Parametri tla za bušotinu 2

Tablica 6: Parametri tla za svaki pojedini sloj na bušotini 2

Sloj br.	$\gamma[kN/m^3]$	$\gamma'[kN/m^3]$	φ[º]	$c[kN/m^2]$	$c_u[kN/m^2]$	
1	17,5	7,5	29,7	-	40,5	ML
2	20	10	30,5	-	-	GW
3	18	8	28,9	-	36	CH
4	20	10	46,0	-	-	GW

3.3. Parametri tla za bušotinu 3

Tablica 7: Parametri tla za svaki pojedini sloj na bušotini 3

Sloj br.	$\gamma[kN/m^3]$	$\gamma'[kN/m^3]$	φ[º]	$c[kN/m^2]$	$c_u[kN/m^2]$	
1	17,5	7,5	29,7	-	40	ML
2	18	8	28,0	-	32	CH
3	20	10	42,3	-	-	GW
4	18	8	26,0	-	30	CH
5	20	10	46,0	-	-	CH/GW

3.4. Karakteristične vrijednosti parametara (Orr i Farrell)

Tablica 8: Korekcijske vrijednosti prema preporukama Orr i Farrell (1999)

Parametar tla	Simbol	korekcija
Tangens efektivnog kuta trenja	$tg\varphi'$	0,95
Nedrenirana čvrstoća	c_u	0,85

Bušotina 1:

ML:

- $\varphi_1 = arctg(tg(27) \cdot 0{,}95) = 25{,}83°$
- $c_{u1} = 27 \cdot 0{,}85 = 22{,}95\ kN/m^2$

CH:

- $\varphi_1 = arctg(tg(21{,}8) \cdot 0{,}95) = 20{,}81°$
- $c_{u1} = 30 \cdot 0{,}85 = 25{,}5\ kN/m^2$

CH:

- $\varphi_1 = arctg(tg(28{,}8) \cdot 0{,}95) = 27{,}58°$
- $c_{u1} = 40 \cdot 0{,}85 = 34\ kN/m^2$

GW:

- $\varphi_2 = arctg(tg(46) \cdot 0{,}95) = 44{,}5°$

Bušotina 2:

ML:

- $\varphi_2 = arctg(tg(29{,}7) \cdot 0{,}95) = 28{,}45°$
- $c_{u2} = 40{,}5 \cdot 0{,}85 = 34{,}42\ kN/m^2$

GW:

- $\varphi_2 = arctg(tg(30{,}5) \cdot 0{,}95) = 29{,}23°$

CH:

- $\varphi_2 = arctg(tg(28{,}9) \cdot 0{,}95) = 27{,}67°$
- $c_{u2} = 36 \cdot 0{,}85 = 30{,}6\ kN/m^2$

GW:

- $\varphi_2 = arctg(tg(46) \cdot 0{,}95) = 44{,}5°$

Bušotina 3:

ML:

- $\varphi_3 = arctg(tg(29{,}7) \cdot 0{,}95) = 28{,}45°$
- $c_{u3} = 40 \cdot 0{,}85 = 34\ kN/m^2$

CH:

- $\varphi_3 = arctg(tg(28{,}0) \cdot 0{,}95) = 26{,}8°$
- $c_{u3} = 32 \cdot 0{,}85 = 27{,}2\ kN/m^2$

GW:

- $\varphi_3 = arctg(tg(42{,}3) \cdot 0{,}95) = 40{,}8°$

CH:

- $\varphi_3 = arctg(tg(26{,}0) \cdot 0{,}95) = 24{,}9°$
- $c_{u3} = 30 \cdot 0{,}85 = 25{,}5\ kN/m^2$

CH/GW:

- $\varphi_3 = arctg(tg(46{,}0) \cdot 0{,}95) = 44{,}5°$

4. Vertikalno efektivno naprezanje (σ'_{ov})

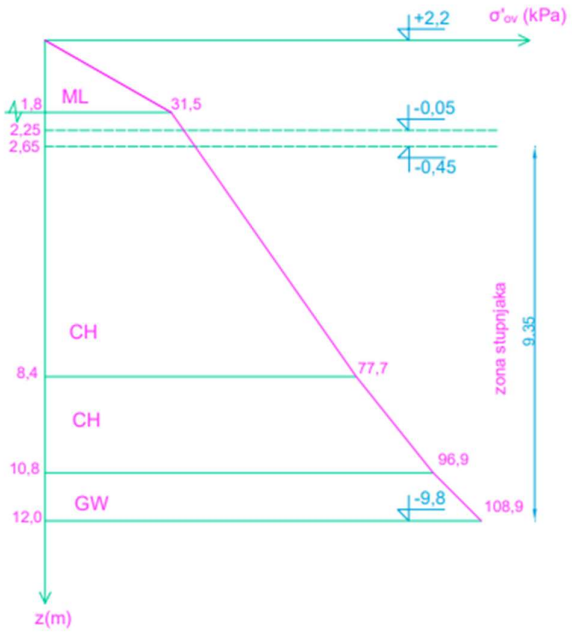
4.1. Vertikalno efektivno naprezanje na poziciji B – 1

$\sigma'_{1-1,v0} = 1{,}8 \cdot 17{,}5 = 31{,}5$ kPa

$\sigma'_{1-2,v0} = 1{,}8 \cdot 17{,}5 + 6{,}6 \cdot 7 = 77{,}7$ kPa

$\sigma'_{1-3,v0} = 1{,}8 \cdot 17{,}5 + 6{,}6 \cdot 7 + 2{,}4 \cdot 8 = 96{,}90$ kPa

$\sigma'_{1-4,v0} = 1{,}8 \cdot 17{,}5 + 6{,}6 \cdot 7 + 2{,}4 \cdot 8 + 1{,}2 \cdot 10 = 108{,}90$ kPa



Slika 4: Prikaz pripadajućeg dijagrama vertikalnog efektivnog naprezanja za B – 1

4.2. Vertikalno efektivno naprezanje na poziciji B – 2

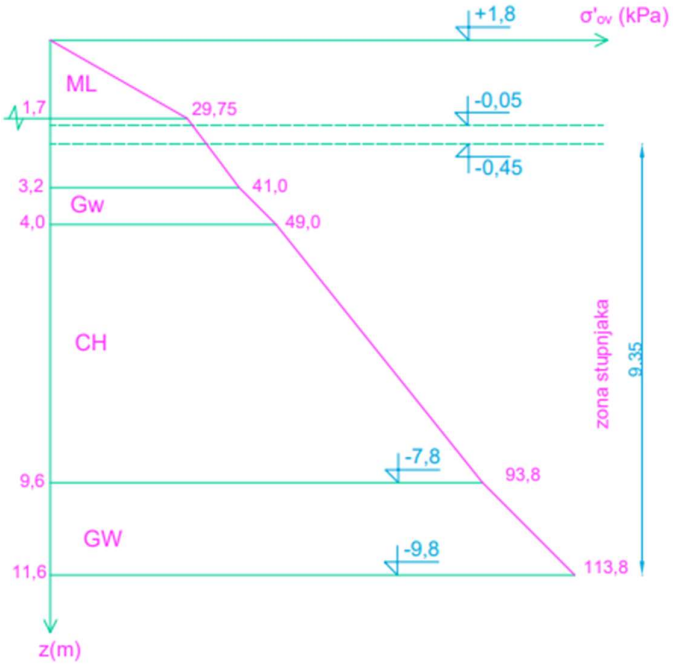
$$\sigma'_{2-1,v0} = 1{,}7 \cdot 17{,}5 = 29{,}75 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_{2-2,v0} = 1{,}7 \cdot 17{,}5 + 1{,}5 \cdot 7{,}5 = 41{,}00 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_{2-3,v0} = 1{,}7 \cdot 17{,}5 + 1{,}5 \cdot 7{,}5 + 0{,}8 \cdot 10 = 49{,}00 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_{2-4,v0} = 1{,}7 \cdot 17{,}5 + 1{,}5 \cdot 7{,}5 + 0{,}8 \cdot 10 + 5{,}6 \cdot 8 = 93{,}80 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_{2-5,v0} = 1{,}7 \cdot 17{,}5 + 1{,}5 \cdot 7{,}5 + 0{,}8 \cdot 10 + 5{,}6 \cdot 8 + 2 \cdot 10 = 113{,}80 \text{ kPa}$$



Slika 5: Prikaz pripadajućeg dijagrama vertikalnog efektivnog naprezanja za B – 2

4.3. Vertikalno efektivno naprezanje na poziciji B – 3

$$\sigma'_{3-1,v0} = 1{,}3 \cdot 17{,}5 = 22{,}75 \text{ kPa}$$

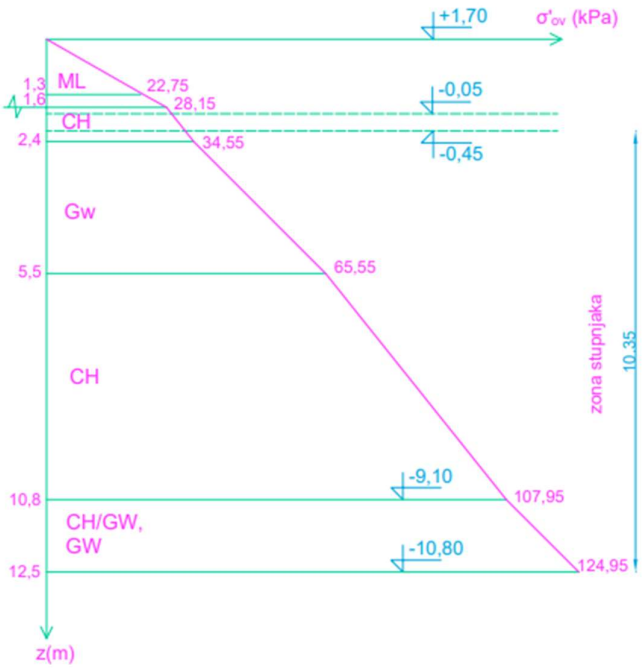
$$\sigma'_{3-2,v0} = 1{,}3 \cdot 17{,}5 + 0{,}3 \cdot 18 = 28{,}15 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_{3-3,v0} = 1{,}3 \cdot 17{,}5 + 0{,}3 \cdot 18 + 0{,}8 \cdot 8 = 34{,}55 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_{3-4,v0} = 1{,}3 \cdot 17{,}5 + 0{,}3 \cdot 18 + 0{,}8 \cdot 8 + 3{,}1 \cdot 10 = 65{,}55 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_{3-5,v0} = 1{,}3 \cdot 17{,}5 + 0{,}3 \cdot 18 + 0{,}8 \cdot 8 + 3{,}1 \cdot 10 + 5{,}3 \cdot 8 = 107{,}95 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_{3-6,v0} = 1{,}3 \cdot 17{,}5 + 0{,}3 \cdot 18 + 0{,}8 \cdot 8 + 3{,}1 \cdot 10 + 5{,}3 \cdot 8 + 1{,}7 \cdot 10 = 124{,}95 \text{ kPa}$$



Slika 6: Prikaz pripadajućeg dijagrama vertikalnog efektivnog naprezanja za B – 3

5. Proračunska nosivost

Stupnjak (proračun prema HRN EN 1997 – 1:2012/NA:2016), proračunski pristup 2 (PP2): A1 + M1 + R2

- Parcijalni faktori za granična stanja GEO
- Parcijalni faktori djelovanja
    - trajna nepovoljna djelovanja (A1): $\gamma_{G;sup}$= 1,35
    - promjenjiva nepovoljna djelovanja (A1): γ_Q= 1,5
    - trajna povoljna djelovanja (A1): $\gamma_{G;inf}$= 1,00

- Parcijalni faktori svojstva materijala
    - tangens kuta unutarnjeg trenja (M1):$\gamma_{\varphi'}$= 1,00
    - efektivna kohezija (M1): $\gamma_{c'} = 1{,}00$
    - nedrenirana posmična čvrstoća (M1): $\gamma_{cu} = 1{,}00$

- Parcijalni faktori otpora
    - bušeni pilot, otpornost osnovica (R2):$\gamma_b = 1{,}20$
    - bušeni pilot, otpornost plašt (tlačni pilot) (R2): $\gamma_s = 1{,}20$
    - bušeni pilot, otpornost plašt (vlačni pilot) (R2): $\gamma_{s,t} = 1{,}20$

Proračun se vrši za slučaj promjera stupnjaka:

- d1= 0,6 m

te duljinu stupnjaka L= 9,35 m za B – 1 i B – 2, te L= 10,35 m za B – 3 (u obzir ne uzimamo vrh stupnjaka slabije kvalitete)

5.1. Proračunska nosivost na bazi stupnjaka

Jedinična otpornost na dubini osnovice stupnjaka u krupnozrnatom tlu:

$q_b = \alpha_T \cdot B_K \cdot \sigma'_{v0} + \sigma'_{v0}$ (proračun je vršen prema HRN EN 1997- 1:2012)

Tablica 9: Vrijednost koeficijenta vitkosti α_T u ovisnosti o omjeru L/d i o veličini kuta unutarnjeg trenja tla na dubini osnovice pilota

L/d	φ'				
	26°	30°	34°	37°	40°
5	0,75	0,77	0,81	0,83	0,85
10	0,62	0,67	0,73	0,76	0,79
15	0,55	0,61	0,68	0,73	0,77
20	0,49	0,57	0,65	0,71	0,75
25	0,44	0,53	0,63	0,70	0,74
L duljina pilota d promjer pilota					

PRORAČUNSKI PARAMETRI NA BUŠOTINI 1 :

$$c_{ud} = \frac{c_{uk}}{\gamma_c} = 0\ kN/m^2$$

$$\varphi_d = arctg\left(\frac{tg\varphi}{\gamma_\varphi}\right) = arctg\left(\frac{tg44{,}5°}{1}\right) = 44{,}5°$$

Proračunska nosivost na bazi stupnjaka:

Efektivna otpornost na dubini osnovice stupnjaka u krupnozrnom tlu:

$$q_b = \alpha_T \cdot B_K \cdot \sigma'_{v0} + \sigma'_{v0}$$

$\alpha_T \rightarrow$ koeficijent vitkosti (Tablica 9); (HRN EN 1997-1:2012)

- $\alpha_T \rightarrow \quad \frac{L}{d} = \frac{9{,}35}{0{,}6} = 15{,}58\,,\ \varphi' = 44{,}5°\Big\} \ \alpha_T = 0{,}77$

- $B_K = 0{,}74 \cdot e^{6{,}58 \cdot tg\varphi'} = 475{,}8$
- $\sigma'_{v0} = 1{,}8 \cdot 17{,}5 + 6{,}6 \cdot 7 + 2{,}4 \cdot 8 + 1{,}2 \cdot 10 = 108{,}90$ kPa

$\rightarrow q_b = 0{,}77 \cdot 475.8 \cdot 108{,}9 + 108{,}9 = 40006{,}16\ kPa$

$R_b = q_b \cdot A_b$

- $A_b = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$

$\rightarrow\ R_b = 40006{,}16 \cdot \frac{0{,}6^2 \cdot \pi}{4} = 11311{,}47\ kN$

$$R_{b,d} = \frac{R_{b,k}}{1{,}5 \cdot \gamma_b} = \frac{11311{,}5}{1{,}5 \cdot 1{,}2} = 6284{,}17\ kN$$

Gdje je:

- 1,5 – koeficijent modela s kojim je potrebno pomnožiti vrijednosti parcijalnih faktora γ_b i γ_s (HRN EN 1997-1:2012). Vrijednosti koeficijenta modela je: 1,5 za sve pilote, PP2
- γ_b – parcijalni koeficijent za otpornost bušenih pilota prema Tablici 10. (HRN EN 1997-1:2012)

Tablica 10: Parcijalni koeficijenti za otpornost bušenih pilota

Otpornost	Simbol	Skupina			
		R1	R2	R3	R4
Osnovica	γ_b	–[a]	1,2	1,0	–[a]
Plašt (tlačni piloti)	γ_s	–[a]	1,2	1,0	–[a]
Ukupna/kombinirana (tlačni piloti)	γ_t	–[a]	1,2	1,0	–[a]
Plašt (vlačni piloti)	$\gamma_{s;t}$	–[a]	1,2	1,0	–[a]
[a] R1 i R4 nisu primjenjivi u Republici Hrvatskoj jer se primjenjuju proračunski pristupi 2 i 3.					

PRORAČUNSKI PARAMETRI NA BUŠOTINI 2 :

$$c_{ud} = \frac{c_{uk}}{\gamma_c} = 0\ kN/m^2$$

$$\varphi_d = arctg\left(\frac{tg\varphi}{\gamma_\varphi}\right) = arctg\left(\frac{tg44{,}5°}{1}\right) = 44{,}5°$$

Proračunska nosivost na bazi stupnjaka:

Efektivna otpornost na dubini osnovice stupnjaka u krupnozrnom tlu:

$$q_b = \alpha_T \cdot B_K \cdot \sigma'_{v0} + \sigma'_{v0}$$

$\alpha_T \rightarrow$ koeficijent vitkosti (Tablica 9); (HRN EN 1997-1:2012)

- $\alpha_T \rightarrow \quad \frac{L}{d} = \frac{9{,}35}{0{,}6} = 15{,}58\ ,\ \varphi' = 44{,}5°\Big\} \ \alpha_T = 0{,}77$
- $B_K = 0{,}74 \cdot e^{6{,}58 \cdot tg\varphi'} = 475{,}8$
- $\sigma'_{v0} = \ 1{,}7 \cdot 17{,}5 \ + \ 1{,}5 \cdot 7{,}5 \ + \ 0{,}8 \cdot 10 \ + \ 5{,}6 \cdot 8 \ + \ 2 \cdot 10 = 113{,}80$ kPa

$$\rightarrow q_b = 0{,}77 \cdot 475{,}8 \cdot 113{,}8 + 113{,}8 = 41806{,}25\ kPa$$

$$R_b = q_b \cdot A_b$$

- $A_b = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$

$$\rightarrow\ R_b = 41806{,}25 \cdot \frac{0{,}6^2 \cdot \pi}{4} = 11820{,}44\ kN$$

$$R_{b,d} = \frac{R_{b,k}}{1{,}5 \cdot \gamma_b} = \frac{11820{,}44}{1{,}5 \cdot 1{,}2} = 6566{,}91\ kN$$

Gdje je:

- 1,5 – koeficijent modela s kojim je potrebno pomnožiti vrijednosti parcijalnih faktora γ_b i γ_s (HRN EN 1997-1:2012). Vrijednosti koeficijenta modela je: 1,5 za sve pilote, PP2
- γ_b – parcijalni koeficijent za otpornost bušenih pilota prema Tablici 10. (HRN EN 1997-1:2012)

PRORAČUNSKI PARAMETRI NA BUŠOTINI 3 :

$$c_{ud} = \frac{c_{uk}}{\gamma_c} = 0\ kN/m^2$$

$$\varphi_d = arctg\left(\frac{tg\varphi}{\gamma_\varphi}\right) = arctg\left(\frac{tg44{,}5°}{1}\right) = 44{,}5°$$

Proračunska nosivost na bazi stupnjaka:

Efektivna otpornost na dubini osnovice stupnjaka u krupnozrnom tlu:

$$q_b = \alpha_T \cdot B_K \cdot \sigma'_{v0} + \sigma'_{v0}$$

$\alpha_T \rightarrow$ koeficijent vitkosti (Tablica 9); (HRN EN 1997-1:2012)

- $\alpha_T \rightarrow \quad \frac{L}{d} = \frac{10{,}35}{0{,}6} = 17{,}25\ ,\ \varphi' = 44{,}5°\Big\} \ \alpha_T = 0{,}76$
- $B_K = 0{,}74 \cdot e^{6{,}58 \cdot tg\varphi'} = 475{,}8$
- $\sigma'_{v0} = 1{,}3 \cdot 17{,}5 + 0{,}3 \cdot 18 + 0{,}8 \cdot 8 + 3{,}1 \cdot 10 + 5{,}3 \cdot 8 + 1{,}7 \cdot 10 = 124{,}95$ kPa

$$\rightarrow q_b = 0{,}76 \cdot 475{,}8 \cdot 124{,}95 + 124{,}95 = 45307{,}87\ kPa$$

$$R_b = q_b \cdot A_b$$

- $A_b = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$

$$\rightarrow\ R_b = 45307{,}87 \cdot \frac{0{,}6^2 \cdot \pi}{4} = 12810{,}5\ kN$$

$$R_{b,d} = \frac{R_{b,k}}{1{,}5 \cdot \gamma_b} = \frac{12810{,}5}{1{,}5 \cdot 1{,}2} = 7116{,}94\ kN$$

Gdje je:

- 1,5 – koeficijent modela s kojim je potrebno pomnožiti vrijednosti parcijalnih faktora γ_b i γ_s (HRN EN 1997-1:2012). Vrijednosti koeficijenta modela je: 1,5 za sve pilote, PP2
- γ_b – parcijalni koeficijent za otpornost bušenih pilota prema Tablici 10. (HRN EN 1997-1:2012)

5.2. Proračunska nosivost trenjem po plaštu

→ nedrenirani uvjeti u sitnozrnom tlu na bušotini 1

SLOJ ML (0,00-1,80 m)

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

$\frac{c_{ud}}{p_a} = \frac{22,95}{100} = 0,23$

$\alpha = 0,55\ za\ \ \frac{c_{ud}}{p_a} \leq 1,5$

$q_{1,s} = 0,55 \cdot 22,95 = 12,62\ kPa$

SLOJ CH (1,80-8,40 m)

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

$\frac{c_{ud}}{p_a} = \frac{25,5}{100} = 0,255$

$\alpha = 0,55\ za\ \ \frac{c_{ud}}{p_a} \leq 1,5$

$q_{1,s} = 0,55 \cdot 25,5 = 14,03\ kPa$

SLOJ CH (8,40-10,80)

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

$\frac{c_{ud}}{p_a} = \frac{34}{100} = 0,34$

$\alpha = 0,55\ za\ \ \frac{c_{ud}}{p_a} \leq 1,5$

$q_{1,s} = 0,55 \cdot 34 = 18,7\ kPa$

→ drenirani uvjeti u krupnozrnom tlu

SLOJ GW (10,80-12,00 m)

$q_s = \beta \cdot \sigma_y{}'$

$$\left.\begin{array}{ll}\beta = \bar{\beta} & za\ 0{,}25 \le \bar{\beta} \le 1{,}8 \\ \beta = 0{,}25 & za\ \bar{\beta} \le 0{,}25 \\ \beta = 1{,}8 & za\ \bar{\beta} > 1{,}8\end{array}\right\}\ \bar{\beta} = 2 - 0{,}15(y(m))^{0{,}75}$$

$\bar{\beta} = 2 - 0{,}15(11{,}4)^{0{,}75}$=1,07

$0{,}25 \le \bar{\beta} \le 1{,}8$

$0{,}25 \le 1{,}07 \le 1{,}8 \quad \rightarrow \beta = \bar{\beta}$

$\sigma_y' = 1{,}8 \cdot 17{,}5 + \ 6{,}6 \cdot 7 + 2{,}4 \cdot 8 + 0{,}6 \cdot 10 = 102{,}9\ kPa$

$q_s = 1{,}07 \cdot 102{,}9 = 110{,}10\ kPa$

$\rightarrow \quad R_{s;k} = O \cdot \sum_i (q_s \cdot L_i)$

$R_{s;k} = 0{,}6 \cdot \pi \cdot (14{,}03 \cdot 5{,}75 + 18{,}7 \cdot 2{,}4 + 110{,}10 \cdot 1{,}2) = 485{,}70\ kN$

$R_{s;d} = \dfrac{R_{s;k}}{1{,}5 \cdot \gamma_s} = \dfrac{485{,}70}{1{,}5 \cdot 1{,}2} = 269{,}83\ kN$

Gdje je:

- 1,5 – koeficijent modela s kojim je potrebno pomnožiti vrijednosti parcijalnih faktora γ_b i γ_s (HRN EN 1997-1:2012). Vrijednosti koeficijenta modela je: 1,5 za sve pilote, PP2
- γ_b – parcijalni koeficijent za otpornost bušenih pilota prema Tablici 10. (HRN EN 1997-1:2012)

→ nedrenirani uvjeti u sitnozrnom tlu na bušotini 2

<u>SLOJ ML (0,00-3,20)</u>

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

$\dfrac{c_{ud}}{p_a} = \dfrac{34{,}4}{100} = 0{,}34$

$\alpha = 0{,}55\ za\ \ \dfrac{c_{ud}}{p_a} \le 1{,}5$

$q_{1,s} = 0{,}55 \cdot 34{,}4 = 18{,}92\ kPa$

SLOJ CH (4,00-9,60 m)

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

$\frac{c_{ud}}{p_a} = \frac{30,6}{100} = 0,31$

$\alpha = 0,55\ za\ \ \frac{c_{ud}}{p_a} \leq 1,5$

$q_{1,s} = 0,55 \cdot 30,6 = 16,83\ kPa$

→ drenirani uvjeti u krupnozrnom tlu

SLOJ GW (3,20-4,00)

$q_s = \beta \cdot \sigma_y{}'$

$$\left.\begin{array}{ll} \beta = \bar{\beta} & za\ 0,25 \leq \bar{\beta} \leq 1,8 \\ \beta = 0,25 & za\ \bar{\beta} \leq 0,25 \\ \beta = 1,8 & za\ \bar{\beta} > 1,8 \end{array}\right\}\ \bar{\beta} = 2 - 0,15(y(m))^{0,75}$$

$\bar{\beta} = 2 - 0,15(3,6)^{0,75} = 1,61$

$0,25 \leq \bar{\beta} \leq 1,8$

$0,25 \leq 1,61 \leq 1,8 \quad \rightarrow \beta = \bar{\beta}$

$\sigma_y' = 1,7 \cdot 17,5 + 1,5 \cdot 7,5 + 0,4 \cdot 10 = 45,0\ kPa$

$q_s = 1,61 \cdot 45,0 = 72,45\ kPa$

SLOJ GW (9,60-11,6)

$q_s = \beta \cdot \sigma_y{}'$

$$\left.\begin{array}{ll} \beta = \bar{\beta} & za\ 0,25 \leq \bar{\beta} \leq 1,8 \\ \beta = 0,25 & za\ \bar{\beta} \leq 0,25 \\ \beta = 1,8 & za\ \bar{\beta} > 1,8 \end{array}\right\}\ \bar{\beta} = 2 - 0,15(y(m))^{0,75}$$

$\bar{\beta} = 2 - 0{,}15(10{,}6)^{0{,}75}$=1,12

$0{,}25 \leq \bar{\beta} \leq 1{,}8$

$0{,}25 \leq 1{,}12 \leq 1{,}8 \quad \rightarrow \beta = \bar{\beta}$

$\sigma'_y = 1{,}7 \cdot 17{,}5 + 1{,}5 \cdot 7{,}5 + 0{,}8 \cdot 10 + 5{,}6 \cdot 8 + 1 \cdot 10 = \ 103{,}8$ kPa

$$q_s = 1{,}12 \cdot 103{,}8 = 116{,}26\ kPa$$

$$\rightarrow \quad R_{s;k} = O \cdot \sum_i (q_s \cdot L_i)$$

$$R_{s;k} = 0{,}6 \cdot \pi \cdot (18{,}92 \cdot 0{,}95 + 16{,}83 \cdot 5{,}6 + 72{,}45 \cdot 0{,}8 + 116{,}26 \cdot 2) = 759{,}08\ kN$$

$$R_{s;d} = \frac{R_{s;k}}{1{,}5 \cdot \gamma_s} = \frac{759{,}08}{1{,}5 \cdot 1{,}2} = 421{,}71\ kN$$

Gdje je:

- 1,5 – koeficijent modela s kojim je potrebno pomnožiti vrijednosti parcijalnih faktora γ_b i γ_s (HRN EN 1997-1:2012). Vrijednosti koeficijenta modela je: 1,5 za sve pilote, PP2
- γ_b – parcijalni koeficijent za otpornost bušenih pilota prema Tablici 10. (HRN EN 1997-1:2012)

→ nedrenirani uvjeti u sitnozrnom tlu na bušotini 3

<u>SLOJ ML (0,00-1,30)</u>

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

$\frac{c_{ud}}{p_a} = \frac{34}{100} = 0{,}34$

$\alpha = 0{,}55\ za\ \ \frac{c_{ud}}{p_a} \leq 1{,}5$

$q_{1,s} = 0{,}55 \cdot 34 = 18{,}70\ kPa$

<u>SLOJ CH (1,30-2,40)</u>

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

$\frac{c_{ud}}{p_a} = \frac{27{,}2}{100} = 0{,}27$

$\alpha = 0{,}55\ za\ \ \frac{c_{ud}}{p_a} \leq 1{,}5$

$q_{1,s} = 0{,}55 \cdot 27{,}2 = 14{,}96\ kPa$

SLOJ CH (5,50-10,80)

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

$\frac{c_{ud}}{p_a} = \frac{25,5}{100} = 0,26$

$\alpha = 0,55\ za\ \ \frac{c_{ud}}{p_a} \leq 1,5$

$q_{1,s} = 0,55 \cdot 25,5 = 14,03\ kPa$

→ drenirani uvjeti u krupnozrnom tlu

SLOJ GW (2,40-5,50 m)

$q_s = \beta \cdot \sigma_y{}'$

$$\left.\begin{array}{ll} \beta = \bar{\beta} & za\ 0,25 \leq \bar{\beta} \leq 1,8 \\ \beta = 0,25 & za\ \bar{\beta} \leq 0,25 \\ \beta = 1,8 & za\ \bar{\beta} > 1,8 \end{array}\right\}\ \bar{\beta} = 2 - 0,15(y(m))^{0,75}$$

$\bar{\beta} = 2 - 0,15(3,95)^{0,75} = 1,58$

$0,25 \leq \bar{\beta} \leq 1,8$

$0,25 \leq 1,58 \leq 1,8 \quad \rightarrow \beta = \bar{\beta}$

$\sigma_y' = 1,3 \cdot 17,5 + 0,3 \cdot 18 + 0,8 \cdot 8 + 1,55 \cdot 10 = 50,05\ kPa$

$q_s = 1,58 \cdot 50,05 = 79,08\ kPa$

SLOJ CH/GW, GW (10,80-12,50)

$q_s = \beta \cdot \sigma_y{}'$

$$\left.\begin{array}{ll} \beta = \bar{\beta} & za\ 0,25 \leq \bar{\beta} \leq 1,8 \\ \beta = 0,25 & za\ \bar{\beta} \leq 0,25 \\ \beta = 1,8 & za\ \bar{\beta} > 1,8 \end{array}\right\}\ \bar{\beta} = 2 - 0,15(y(m))^{0,75}$$

$\bar{\beta} = 2 - 0{,}15(11{,}65)^{0{,}75}$=1,05

$0{,}25 \leq \bar{\beta} \leq 1{,}8$

$0{,}25 \leq 1{,}05 \leq 1{,}8 \quad \rightarrow \beta = \bar{\beta}$

$$\sigma_y' = 1{,}3 \cdot 17{,}5 + 0{,}3 \cdot 18 + 0{,}8 \cdot 8 + 3{,}1 \cdot 10 + 5{,}3 \cdot 8 + 0{,}85 \cdot 10 = 116{,}45 \text{ kPa}$$

$$q_s = 1{,}05 \cdot 116{,}45 = 122{,}27\ kPa$$

$$\rightarrow \quad R_{s;k} = O \cdot \sum_i (q_s \cdot L_i)$$

$$R_{s;k} = 0{,}6 \cdot \pi \cdot (14{,}96 \cdot 0{,}25 + 79{,}08 \cdot 3{,}1 + 14{,}03 \cdot 5{,}3 + 122{,}27 \cdot 1{,}7) = 1001{,}11\ kN$$

$$R_{s;d} = \frac{R_{s;k}}{1{,}5 \cdot \gamma_s} = \frac{1001{,}11}{1{,}5 \cdot 1{,}2} = 556{,}17 kN$$

Gdje je:

- 1,5 – koeficijent modela s kojim je potrebno pomnožiti vrijednosti parcijalnih faktora γ_b i γ_s (HRN EN 1997-1:2012). Vrijednosti koeficijenta modela je: 1,5 za sve pilote, PP2
- γ_b – parcijalni koeficijent za otpornost bušenih pilota prema Tablici 10. (HRN EN 1997-1:2012)

5.3. Nosivost materijala samog stupnjaka

Maksimalna nosivost (sila loma) pojedinačnog stupa određena je posmičnom čvrstoćom okolne meke gline (lom tla) ili čvrstoćom građe stupa (lom injektiranog stupa).
Sila loma tla određena je otporom trenja po plaštu i otporom baze stupa, a za slučaj pojedinačnog stupa odgovarajući izraz za silu loma je (Čorko et al., 1997):

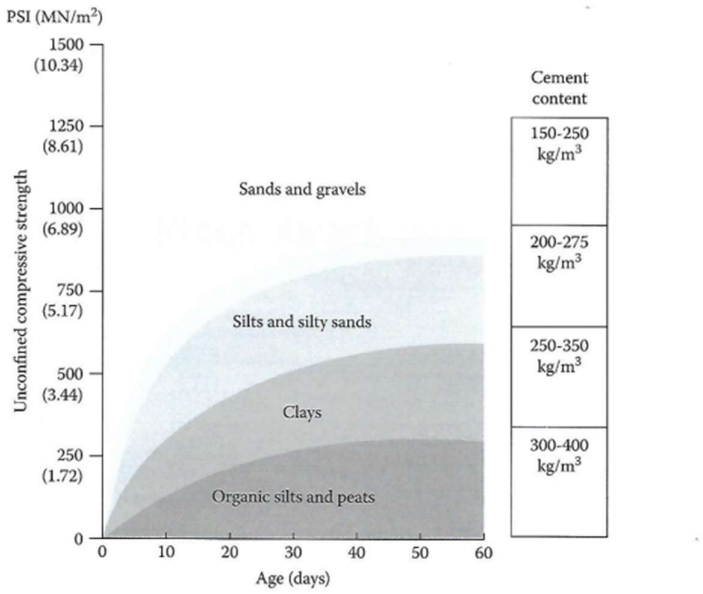
$$\rightarrow \quad Q_{max}^{st} = (\pi \cdot d \cdot H + 9 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}) \cdot c_u$$

Međutim, iz oblika ovog izraza vidi se da isti vrijedi za stupnjak koji se u potpunosti nalazi u sitnozrnom tlu što ovdje nije slučaj i vrijedi prethodno provedeni proračun nosivosti stupnjaka po kontaktu s okolnim tlom (nosivost trenjem po plaštu i na bazi stupnjaka). Stoga procjenu nosivosti materijala samog stupnjaka treba provesti kao procjenu čvrstoće građe stupnjaka koju je moguće postići u danom tlu (lom injektiranog stupa).

Prema navedenoj referenci, ovisno o vrsti tla moguće je postići sljedeće jednoosne tlačne čvrstoće injektiranog tijela:

- u šljunku do 20 MPa
- u pijesku do 15 MPa
- u prahu i glini do 8 MPa
- u organskom tlu do 3 MPa

U konkretnom slučaju slojevi CH gline su mjestimično lako gnječive i žitke konzistencije te organski onečišćeni. Stoga se za jednoosnu tlačnu čvrstoću mlazno injektiranog tijela $\sigma_{c,MI}$ usvaja se vrijednost iz prikazanog dijagrama.



Slika 7: Jednoosna tlačna čvrstoća u ovisnosti o čvrstoći materijala

- Jednoosna tlačna čvrstoća stupnjaka: $\sigma_s = 2{,}2\frac{MN}{m^2} = 2200\frac{kN}{m^2}$ $(slika\ 7.)$

$$R_{c,k} = \sigma_s \cdot A_s = 2200 \cdot \frac{0{,}6^2 \cdot \pi}{4} = 622{,}03\ kN$$

$$R_{c,d} = \frac{R_{s,k}}{\gamma_{bet}} = \frac{622{,}03}{1{,}5} = 414{,}69\ kN$$

Gdje je γ_{bet} koeficijent sigurnosti na materijal prema HRN ENV 1991-2-1 i iznosi 1,50.

5.4. Provjera nosivosti stupnjaka u vertikalnom smjeru

Prvi uvjet

- *Provjera nosivosti po kontaktu s okolnim tlom (nosivost trenjem po plaštu i na bazi stupnjaka)*

$E_d \leq R_{d1}$

$(P + W) \cdot \gamma_{G,sup} + Q \cdot \gamma_Q \leq R_{b;d} + R_{s;d}$

$E_d = 401{,}85\ kN$ sila u najopterećenijem stupnjaku dobivena statičkim proračunom konstrukcije za stalno+korisno opterećenje (već faktorizirano)

$R_{d,1} = R_{b,d} + R_{s,d}$

$E_d \leq R_{d,1}$

Drugi uvjet

- *Provjera nosivosti materijala samog stupnjaka*

$E_d \leq R_{d2}$

$E_d = 401{,}85\ kN$

$R_{d2} = R_{c,d} = 414{,}69\ kN$

Tablica 11: Prikaz provjere nosivosti u vertikalnom smjeru

Prvi uvjet $E_d \leq R_{d,1}$	Drugi uvjet $E_d \leq R_{d2}$	
$E_d = 401{,}85\ kN$ $R_{d,1} = 6554{,}0\ kN$	$E_d = 401{,}85\ kN$ $R_{d,2} = 414{,}69\ kN$	Bušotina 1
$E_d = 401{,}85\ kN$ $R_{d,1} = 6988{,}62\ kN$	$E_d = 401{,}85\ kN$ $R_{d,2} = 414{,}69\ kN$	Bušotina 2
$E_d = 401{,}85\ kN$ $R_{d,1} = 7673{,}11\ kN$	$E_d = 401{,}85\ kN$ $R_{d,2} = 414{,}69\ kN$	Bušotina 3

6. Zaključak

U ovom radu provjerena je proračunska nosivost stupnjaka u vertikalnom smjeru, za promjer stupnjaka od 60 cm i za dužine od 9,35 i 10,35 m.

Na osnovu rezultata SPT testa izmjereni broj udaraca N korigiran je prema referentnom koeficijentu od 60% zbog gubitka energije prilikom izvođenja testa.

Debljina različitih slojeva tla kao i njihova dubina pojavljivanja na bušotinama je različita, iz tog razloga radila su se tri posebna modela tla. Određena je proračunska nosivost stupnjaka u vertikalnom smjeru, kao i nosivost materijala samog stupnjaka.

Provjera proračunske nosivosti podijeljena je u 2 uvjeta, pri čemu je prvi uvjet provjera same nosivosti stupnjaka u smjeru osi, a drugi uvjet je nosivost materijala samog stupnjaka.

Tablica 12: Prikaz dobivenih rezultata

	B-1 (L=9,35m)	B-2 (L=9,35m)	B-3 (L=10,35m)
Karakteristična vrijednost granične nosivosti na bazi stupnjaka $R_{b;k}[kN]$	11311,5	11820,4	12810,5
Karakteristična vrijednost granične nosivosti trenjem po plaštu $R_{s;k}[kN]$	485,7	759,1	1001,1
Karakteristična vrijednost granične nosivost samog materijala stupnjaka $R_{c,k}[kN]$	622,0		
Proračunska nosivost na bazi stupnjaka $R_{b;d}[kN]$	6284,2	6566,9	7116,9
Proračunska nosivost trenjem po plaštu $R_{s;d}[kN]$	269,8	421,7	556,2
Proračunska nosivost samog materijala stupnjaka $R_{c,d}[kN]$	414,7		
Proračunska sila $E_d[kN]$	401,85		

Napomena - horizontalna djelovanja:

Sve horizontalne sile od potresa će se prenijeti na ukopani dio konstrukcije (strojarnice, kompenzacijski bazen i dr.). Stupnjaci su opterećeni samo na vertikalno osno opterećenje.

7. Literatura

Knjige:

[1] Damir Čorko, ″Mlazno injektiranje″

[2] Predrag Miščević ″ Nastavni materijali-Geotehničko inženjerstvo″

[3] Nataša Štambuk Cvitanović, ″Nastavni materijali-Mehanika tla i temeljenje″

[4] Klaus Kirsch, Alan Bell ″Ground Improvement″

8. Prilozi

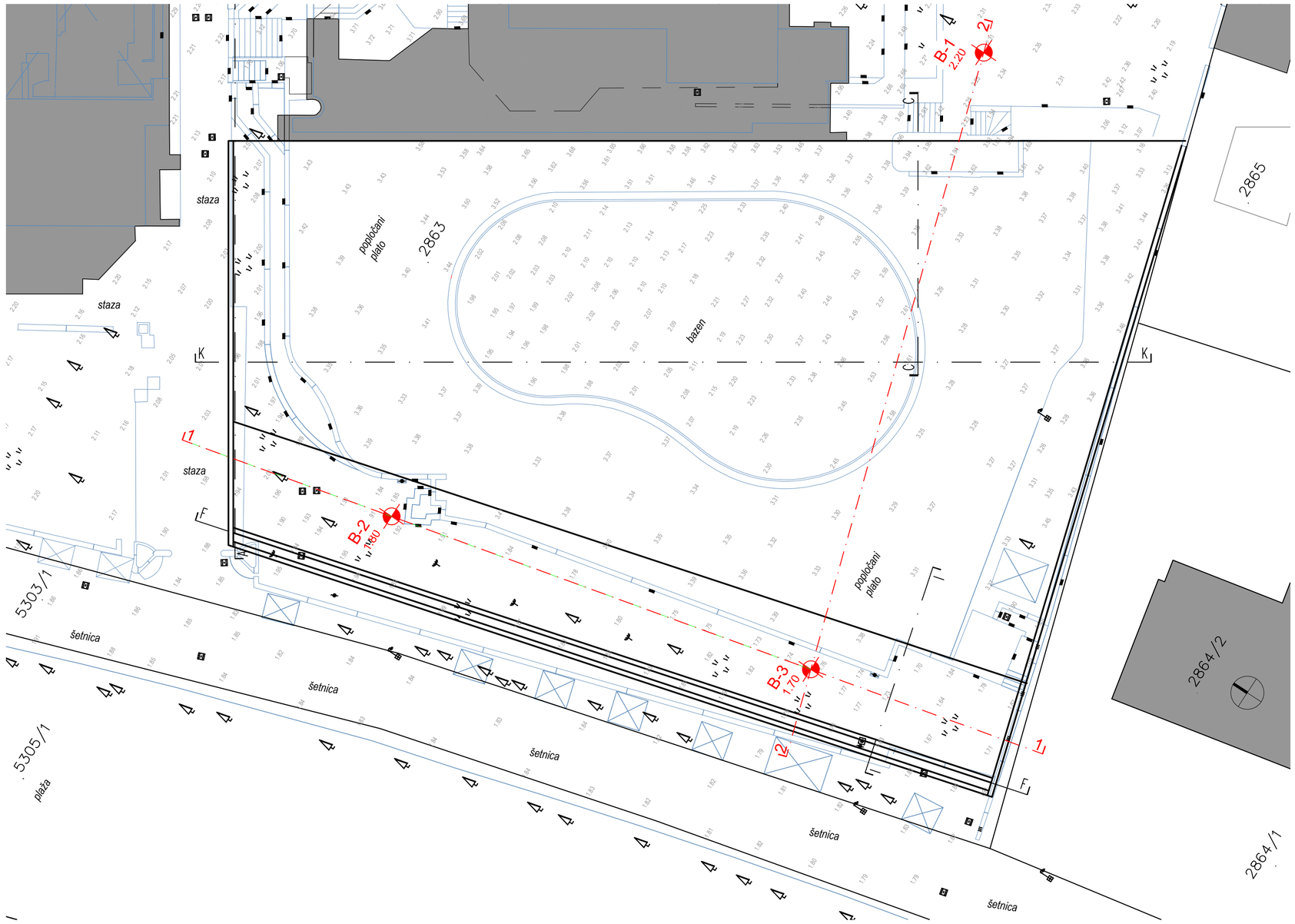
8.1. Situacija

8.2. Sondažni profili

8.3. Prognozni inženjerskogeološki profili

8.4. Tlocrt temelja s pozicijama mlazno-injektiranih stupnjaka

8.5. Poprečni presjek



SITUACIJA S POLOŽAJEM ISTRAŽNIH BUŠOTINA
POSTOJEĆE STANJE
M 1:200

NAPOMENA:
- KOTE UŠĆA BUŠOTINA SU PRERAČUNATE NA HTRS96/TM KOORDINATNI SUSTAV
- ORIGINALNE KOTE U GEOTEHNIČKOM ELABORATU 84013438-48/15 (svibanj 2015.) SU VIŠE ZA +0.3 m

IZMJENA BR.	OPIS	DATUM	POTPIS

INVESTITOR:
HOTELI MAKARSKA d.o.o.
Šetalište Dr. Franja Tuđmana 1
21300 MAKARSKA
OIB 27644797914

INSTITUT IGH, d.d.
ODJEL ZA GEOTEHNIKU
REGIONALNI CENTAR SPLIT
21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

VRSTA PROJEKTA (RAZINA I STRUKA):
GLAVNI GEOTEHNIČKI PROJEKT

ZAJEDNIČKA OZNAKA PROJEKTA:

GRAĐEVINA:
HOTEL METEOR
REKONSTRUKCIJA VANJSKOG BAZENA

MAPA:
MAPA 2 GEOTEHNIČKI PROJEKT TEMELJENJA

SADRŽAJ:
SITUACIJA S POLOŽAJEM ISTRAŽNIH BUŠOTINA
POSTOJEĆE STANJE

PROJEKTANT:
NATAŠA MOLK, dipl.ing.građ.
HRVATSKA KOMORA INŽENJERA GRAĐEVINARSTVA
Nataša Molk
dipl. ing. građ.
Ovlašteni inženjer građevinarstva
G 481

MJERILO:
1:200

DATUM:
veljača, 2018.

SURADNICI:

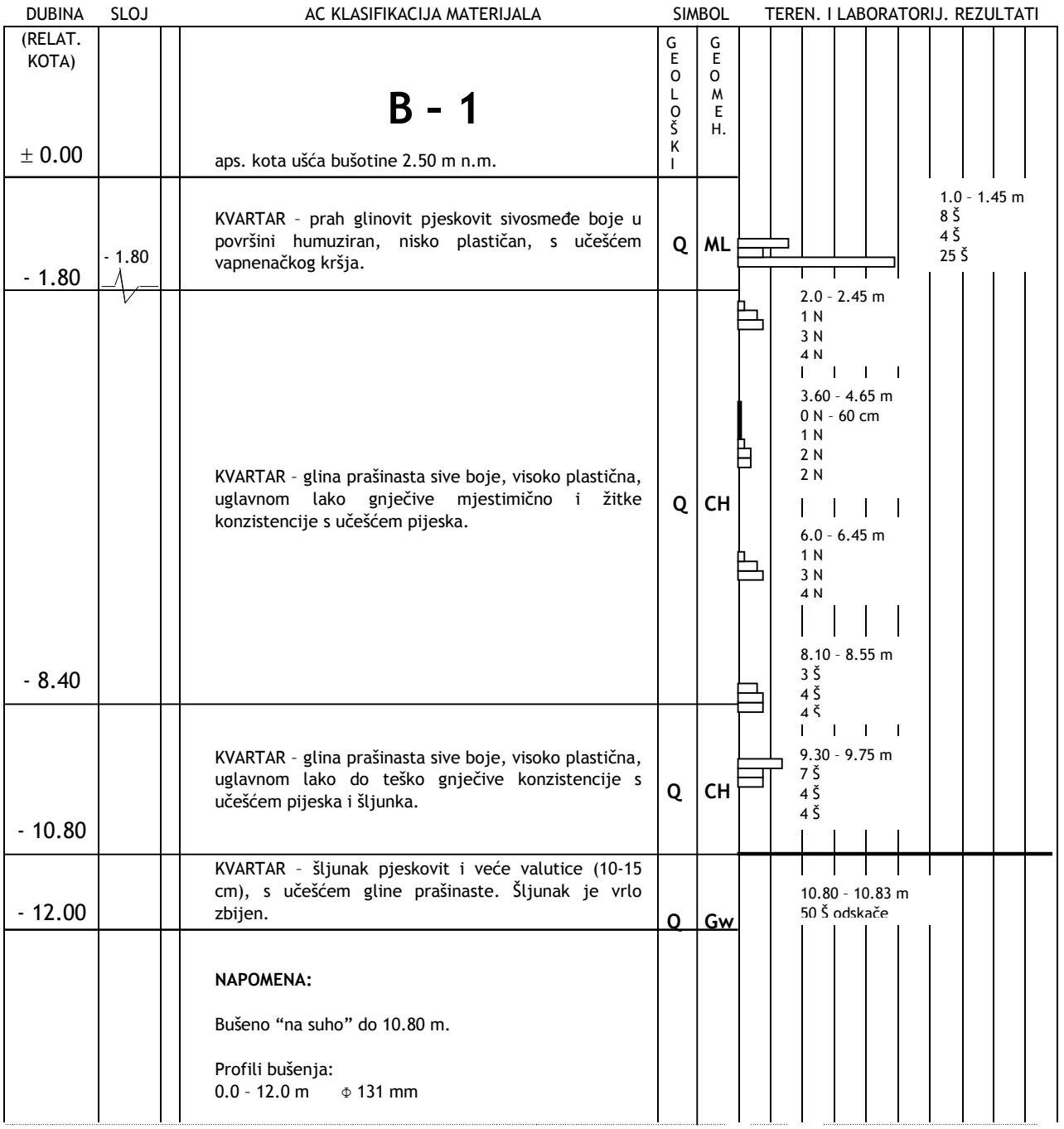
BROJ PROJEKTA:
73130-011/2019

DOKUMENT:
1

OZNAKA DOKUMENTA:
IGH - METEOR - GP - 1 - 0

RN :	84013438 – 48/15
NARUČITELJ:	HOTELI MAKARSKA d.d. – Makarska, Šetalište dr. Franje Tuđmana 1
PREDMET:	OTVORENI BAZEN HOTELA METEOR U MAKARSKOJ
DATUM :	SVIBANJ 2015. **MJERILO :** 1:100

PRESJEK ISTRAŽNE BUŠOTINE



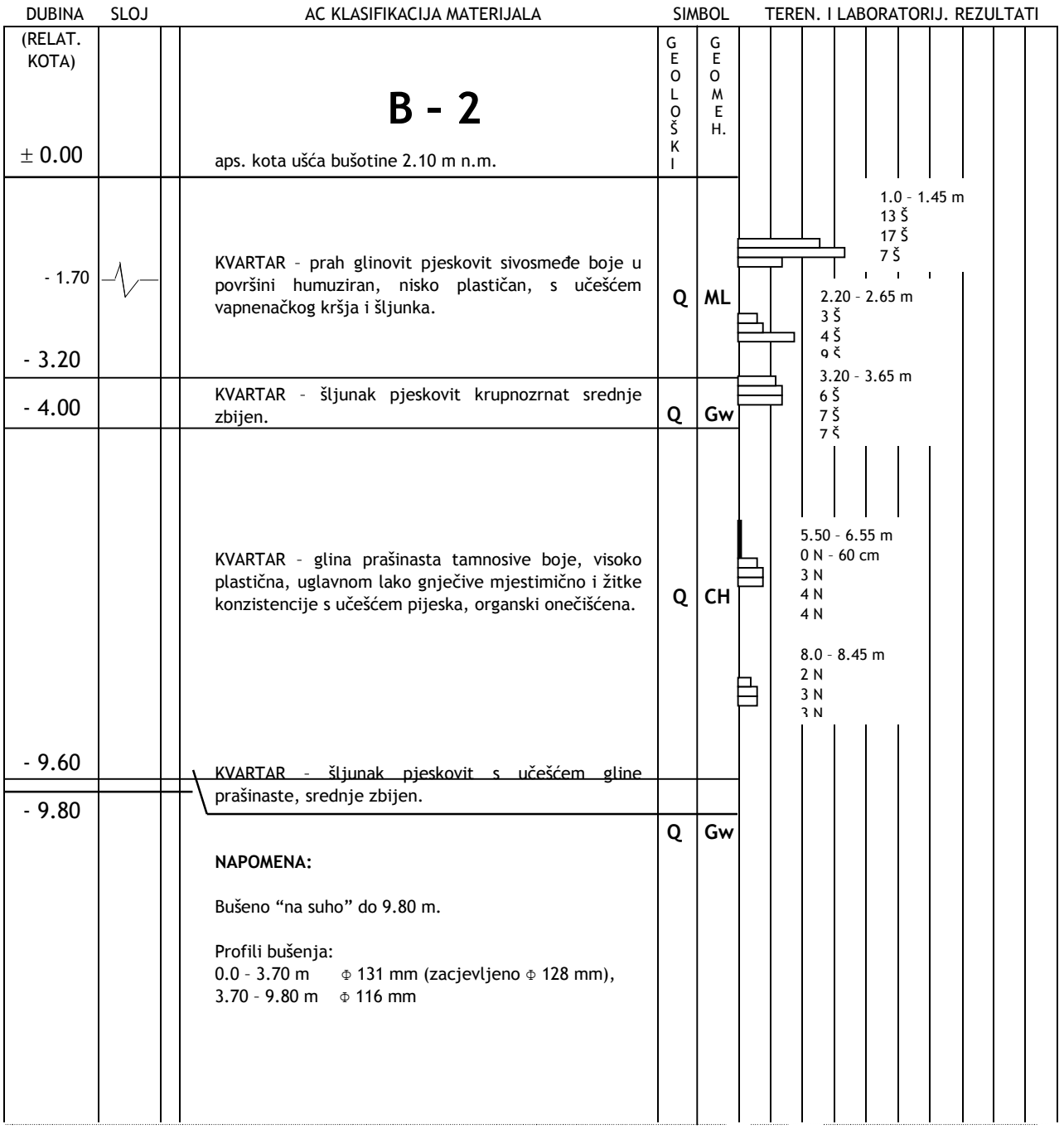
SONDIRAO:

IZRADIO:

PREGLEDAO:

RN :	84013438 – 48/15
NARUČITELJ:	HOTELI MAKARSKA d.d. – Makarska, Šetalište dr. Franje Tuđmana 1
PREDMET:	OTVORENI BAZEN HOTELA METEOR U MAKARSKOJ
DATUM :	SVIBANJ 2015. **MJERILO :** 1:100

PRESJEK ISTRAŽNE BUŠOTINE



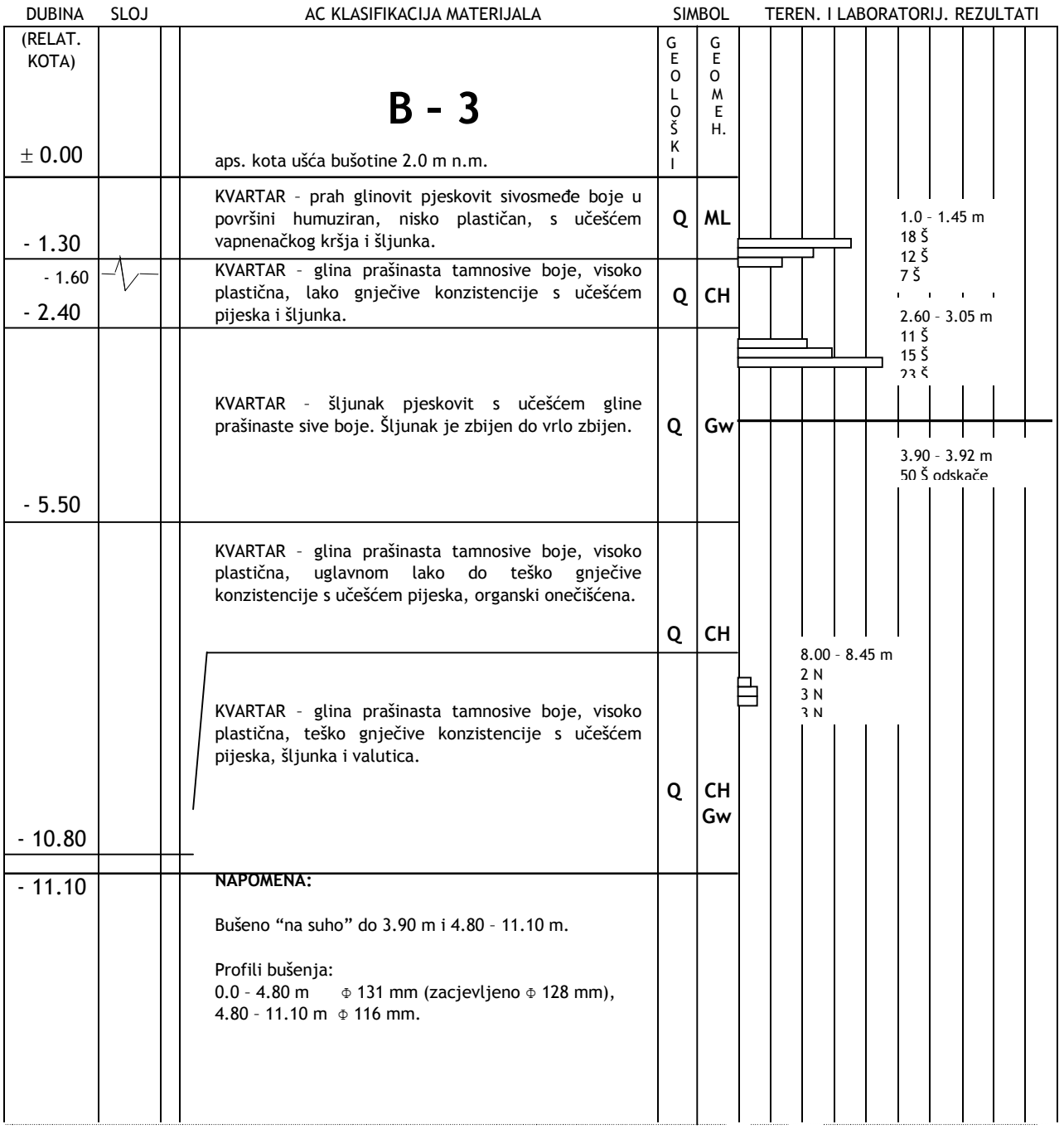
SONDIRAO:

IZRADIO:

PREGLEDAO:

RN :	84013438 – 48/15
NARUČITELJ:	HOTELI MAKARSKA d.d. – Makarska, Šetalište dr. Franje Tuđmana 1
PREDMET:	OTVORENI BAZEN HOTELA METEOR U MAKARSKOJ
DATUM :	SVIBANJ 2015. **MJERILO :** 1:100

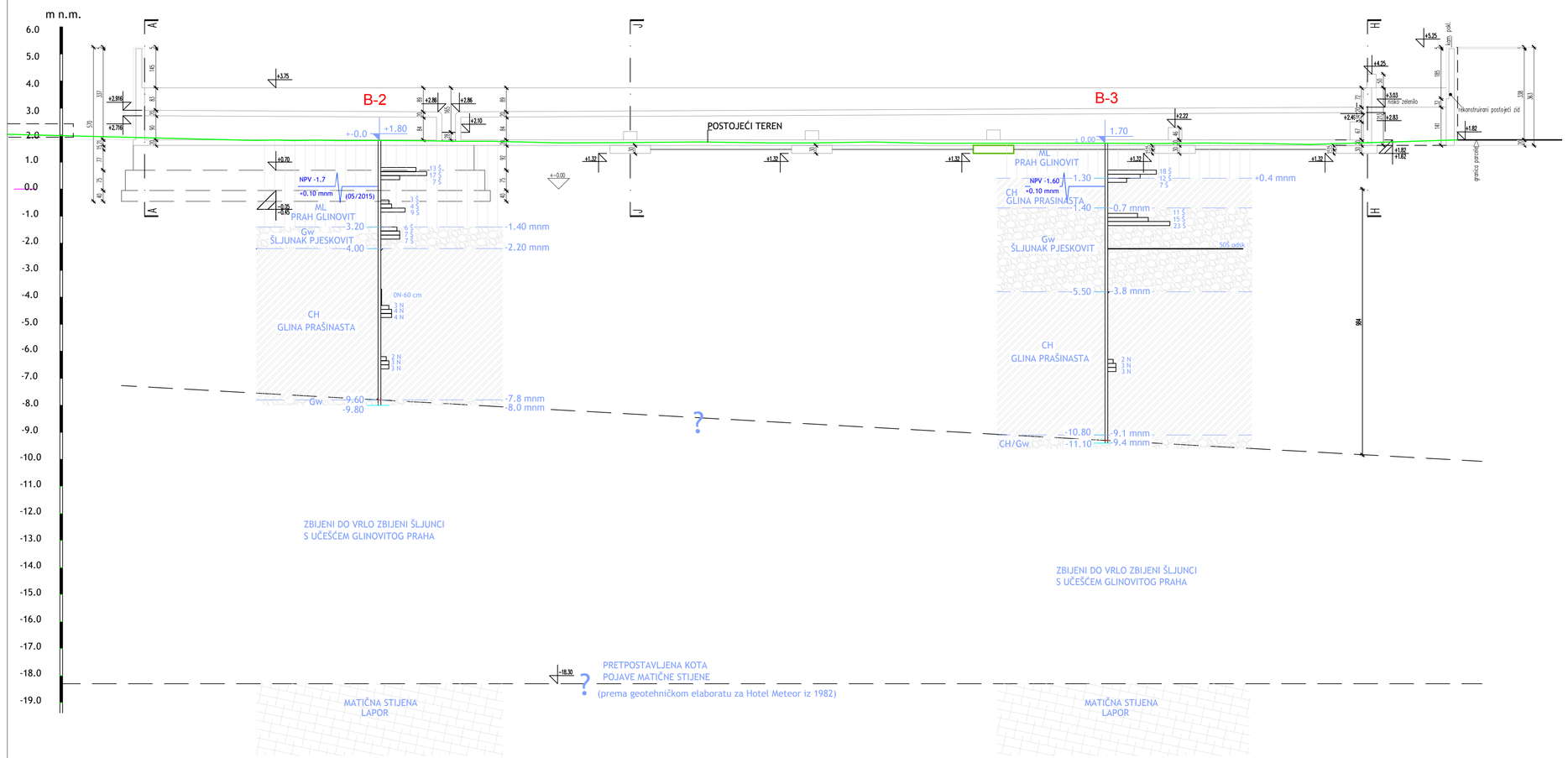
PRESJEK ISTRAŽNE BUŠOTINE



SONDIRAO:

IZRADIO:

PREGLEDAO:



PROGNOZNI INŽENJERSKOGEOLOŠKI PROFIL 1-1
M 1:100

NAPOMENE:

- KOTE UŠĆA BUŠOTINA SU PRERAČUNATE NA HTRS96/TM KOORDINATNI SUSTAV. ORIGINALNE KOTE U GEOTEHNIČKOM ELABORATU 84013438-48/15 (svibanj 2015.) SU VIŠE ZA +0.3 m
- ZBIJENI DO VRLO ZBIJENI ŠLJUNCI S UČEŠĆEM GLINOVITOG PRAHA REGISTRIRANI SU NA DUBINAMA 10.8 m (-8.6 mnm, B-1), 9.6 m (-7.8 mnm, B-2) I 11.0 m (-9.3 mnm, B-3)

RAZLIČITA DUBINA POJAVE DOBRO ZBIJENIH NASLAGA ŠLJUNKA UVJETOVANA JE PORIJEKLOM OVIH NASLAGA KOJE SU NASTALE DONOSOM DELUVIJANOG MATERIJALA DJELOVANJEM BUJIČNOG VODOTOKA. OSIM TOGA, NAVEDENE NASLAGE NALAZE SE I U DOTICAJU S MARINSKIM SEDIMENTOM S KOJIM SE MEĐUSOBNO DJELOMIČNO PROŽIMAJU USLIJED OSCILACIJA RAZINE MORE TIJEKOM GEOLOŠKE PROŠLOSTI. STOGA SE ZA POTREBE DEFINIRANJA DUŽINE MI STUPNJAKA USVAJA JEDINSTVENA KOTA POJAVE DOBRO ZBIJENIH NASLAGA ŠLJUNKA NA KOTI -9.3 m n.m.

IZMJENA BR.	OPIS	DATUM	POTPIS

INVESTITOR:
HOTELI MAKARSKA d.o.o.
Šetalište Dr. Franja Tuđmana 1
21300 MAKARSKA
OIB 27644797914

INSTITUT IGH, d.d.
ODJEL ZA GEOTEHNIKU
REGIONALNI CENTAR SPLIT
21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

VRSTA PROJEKTA (RAZINA I STRUKA):
GLAVNI GEOTEHNIČKI PROJEKT

ZAJEDNIČKA OZNAKA PROJEKTA:

GRAĐEVINA:
HOTEL METEOR
REKONSTRUKCIJA VANJSKOG BAZENA

MAPA:
MAPA 2 GEOTEHNIČKI PROJEKT TEMELJENJA

SADRŽAJ:
PROGNOZNI INŽENJERSKOGEOLOŠKI PROFIL 1-1

PROJEKTANT:
NATAŠA MOLK, dipl.ing.građ.
HRVATSKA KOMORA INŽENJERA GRAĐEVINARSTVA
Nataša Molk
dipl. ing. građ.
Ovlašteni inženjer građevinarstva
G 481

MJERILO:
1:100

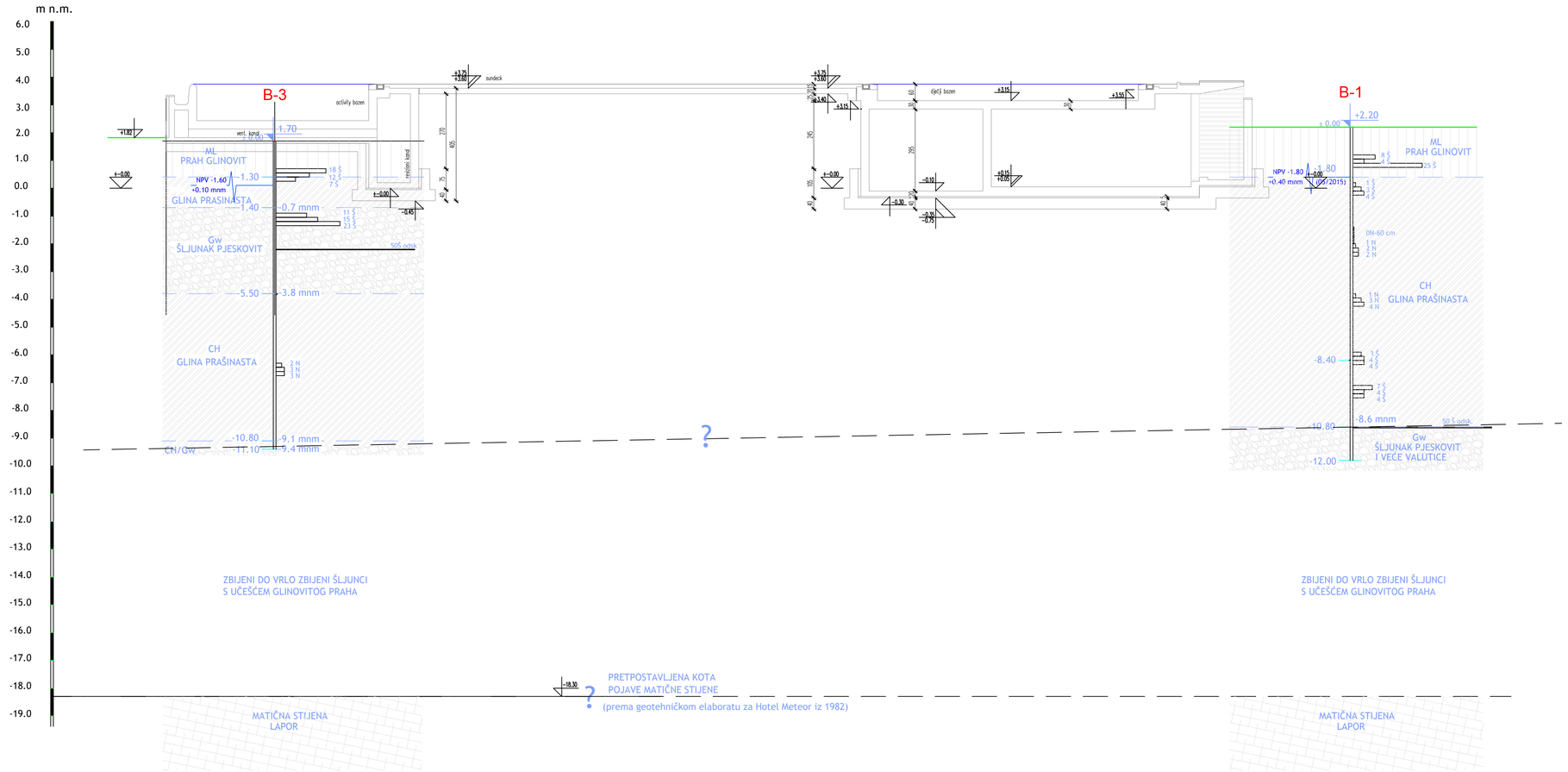
DATUM:
veljača, 2018.

SURADNICI:

BROJ PROJEKTA:
73130-011/2019

DOKUMENT:
3

OZNAKA DOKUMENTA:
IGH - METEOR - GP - 3 - 0



PROGNOZNI INŽENJERSKOGEOLOŠKI PROFIL 2-2
M 1:100

NAPOMENE:

- KOTE UŠĆA BUŠOTINA SU PRERAČUNATE NA HTRS96/TM KOORDINATNI SUSTAV. ORIGINALNE KOTE U GEOTEHNIČKOM ELABORATU 84013438-48/15 (svibanj 2015.) SU VIŠE ZA +0.3 m
- ZBIJENI DO VRLO ZBIJENI ŠLJUNCI S UČEŠĆEM GLINOVITOG PRAHA REGISTRIRANI SU NA DUBINAMA 10.8 m (-8.6 mnm, B-1), 9.6 m (-7.8 mnm, B-2) I 11.0 m (-9.3 mnm, B-3)

RAZLIČITA DUBINA POJAVE DOBRO ZBIJENIH NASLAGA ŠLJUNKA UVJETOVANA JE PORIJEKLOM OVIH NASLAGA KOJE SU NASTALE DONOSOM DELUVIJANOG MATERIJALA DJELOVANJEM BUJIČNOG VODOTOKA. OSIM TOGA, NAVEDENE NASLAGE NALAZE SE I U DOTICAJU S MARINSKIM SEDIMENTOM S KOJIM SE MEĐUSOBNO DJELOMIČNO PROŽIMAJU USLIJED OSCILACIJA RAZINE MORE TIJEKOM GEOLOŠKE PROŠLOSTI. STOGA SE ZA POTREBE DEFINIRANJA DUŽINE MI STUPNJAKA USVAJA JEDINSTVENA KOTA POJAVE DOBRO ZBIJENIH NASLAGA ŠLJUNKA NA KOTI -9.3 m n.m.

IZMJENA BR.	OPIS	DATUM	POTPIS

INVESTITOR:
HOTELI MAKARSKA d.o.o.
Šetalište Dr. Franja Tuđmana 1
21300 MAKARSKA
OIB 27644797914

IGH
INSTITUT IGH, d.d.
ODJEL ZA GEOTEHNIKU
REGIONALNI CENTAR SPLIT
21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

VRSTA PROJEKTA (RAZINA I STRUKA):
GLAVNI GEOTEHNIČKI PROJEKT

ZAJEDNIČKA OZNAKA PROJEKTA:

GRAĐEVINA:
HOTEL METEOR
REKONSTRUKCIJA VANJSKOG BAZENA

MAPA:
MAPA 2 GEOTEHNIČKI PROJEKT TEMELJENJA

SADRŽAJ:
PROGNOZNI INŽENJERSKOGEOLOŠKI PROFIL 2-2

PROJEKTANT:
NATAŠA MOLK, dipl.ing.građ.
HRVATSKA KOMORA INŽENJERA GRAĐEVINARSTVA
Nataša Molk
dipl. ing. građ.
Ovlašteni inženjer građevinarstva
G 481

MJERILO:
1:100

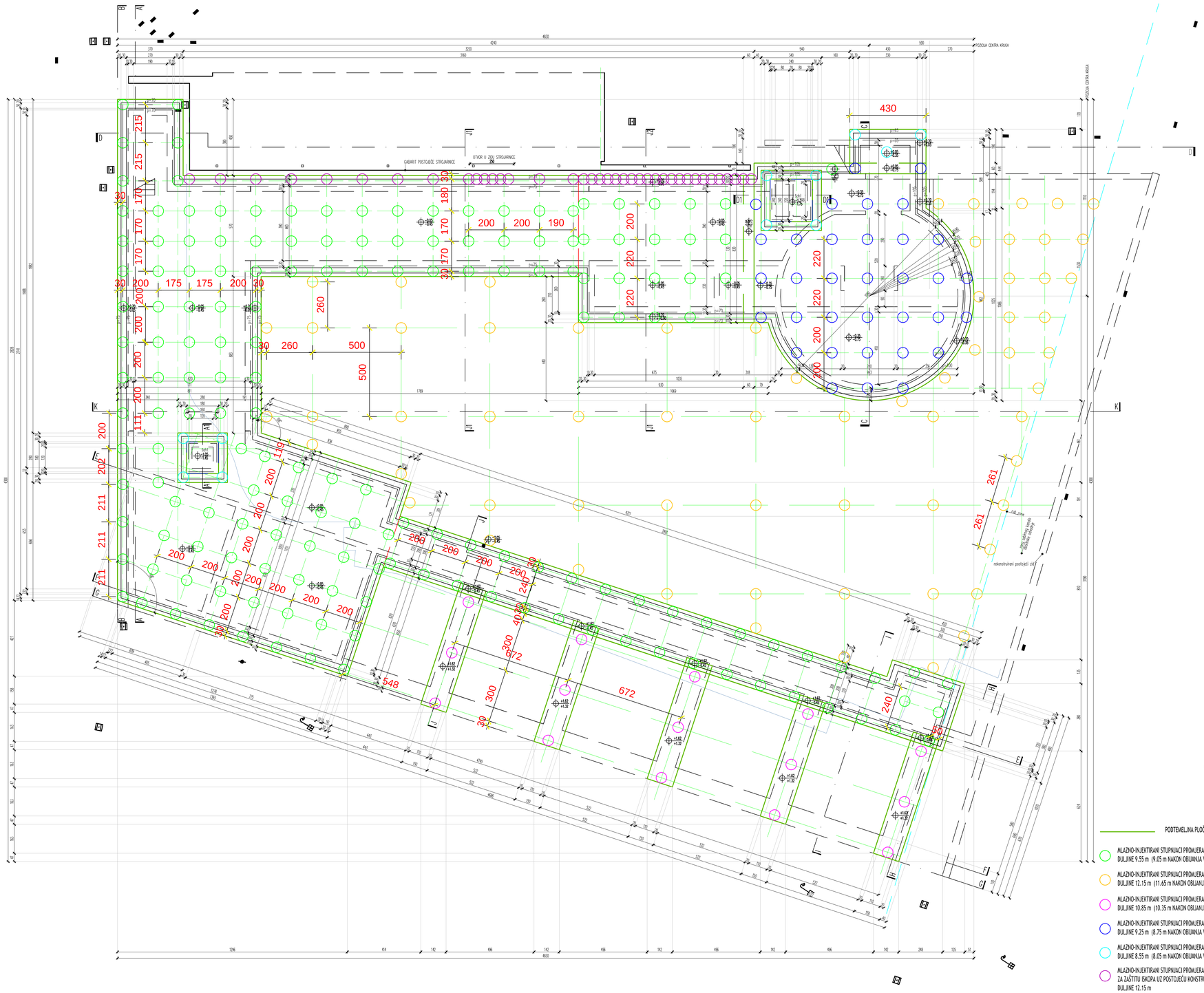
DATUM:
veljača, 2018.

SURADNICI:

BROJ PROJEKTA:
73130-011/2019

DOKUMENT:
4

OZNAKA DOKUMENTA:
IGH - METEOR - GP - 4 - 0



TLOCRT TEMELJA
S POZICIJAMA MLAZNO-INJEKTIRANIH STUPNJAKA
M 1:100

IZMJENA BR.	OPIS	DATUM	POTPIS

INVESTITOR:
HOTELI MAKARSKA d.o.o.
Getaligite Dr. Franja Tuđmana 1
21300 MAKARSKA
OIB 27644797914

INSTITUT IGH, d.d.
ODJEL ZA GEOTEHNIKU
REGIONALNI CENTAR SPLIT
21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

VRSTA PROJEKTA (RAZINA I STRUKA): GLAVNI GEOTEHNIĆKI PROJEKT
ZAJEDNIČKA OZNAKA PROJEKTA:

GRAĐEVINA:
HOTEL METEOR
REKONSTRUKCIJA VANJSKOG BAZENA

MAPA: MAPA 2 GEOTEHNIČKI PROJEKT TEMELJENJA

SADRŽAJ:
TLOCRT TEMELJA S POZICIJAMA
MLAZNO-INJEKTIRANIH STUPNJAKA

PROJEKTANT: NATAGA MOLK, dipl.ing.građ.
HRVATSKA KOMORA INŽENJERA GRAĐEVINARSTVA
Nataša Molk
dipl. ing. građ.
Ovlašteni inženjer građevinarstva
G 481

MJERILO: 1:100

DATUM: veljaj a, 2018.

SURADNICI:

BROJ PROJEKTA: 7313O-011/2019

DOKUMENT: 4

OZNAKA DOKUMENTA: IGH - METEOR - GP - 4 - 0