

Duboko temeljenje na mlazno injektiranim stupnjacima

Sakić, Paula

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

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:123:622671>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-13**



Repository / Repozitorij:

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



UNIVERSITY OF SPLIT



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

ZAVRŠNI RAD

Paula Sakić

Split, 2018.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

**Duboko temeljenje na mlazno injektiranim
stupnjacima**

Završni rad

Split, 2018.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**
KANDIDAT: **SAKIĆ PAULA**
BROJ INDEKSA: 1666
KATEDRA: **Katedra za geotehniku**
PREDMET: **Mehanika tla i temeljenje**

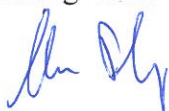
ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Duboko temeljenje na mlazno injektiranim stupnjacima

Opis zadatka: U mjestu Dominče na otoku Korčuli predviđena je gradnja novog obalnog zida. Za zadani presjek tla definiran geotehničkim istražnim radovima potrebno je dimenzionirati mlazno injektirane stupnjakea za potrebe dubokog temeljenja obalnog zida za sve kombinacije mogućih opterećenja.

U Splitu, 19.04.2018. godine

Voditelj Završnog rada:



prof.dr.sc. Predrag Mišćević

Sažetak:

Za potrebe temeljenja obalnog zida u mjestu Dominče na otoku Korčuli dimenzionirani su mlazno injektirani stupnjaci, sukladno geotehničkim istražnim radovima i Eurokodu 7.

Ključne riječi:

Mlazno injektirani stupnjaci

Deep foundation on jet-grouting piles

Abstract:

For the purpose of coastal wall foundation in Dominče, on the island Korčula, it is designed soilcrete piles, according to geotechnical tests and Eurocode 7.

Keywords:

Jet-grouting piles

Sadržaj

1. Tehnički opis	2
1.1. Uvod	2
1.2. Istražni radovi	2
1.3. Općenito o mlaznom injektiranju	3
2. Analiza opterećenja	5
2.1. Vlastita težina zida	5
2.2. Aktivni tlak tla	7
2.3. Sila od veza broda	9
2.4. Hidrodinamičko opterećenje od vala	11
3. Proračun naprezanja na temeljnoj plohi	14
4. Dimenzioniranje mlazno injektiranih stupnjaka	16
4.1. Odabir tehnologije	16
4.2. Sadržaj cementa i vode u injekcijskoj smjesi	18
4.3. Analiza sastava injekcijske smjese	18
5. Analiza nosivosti mlazno injektiranih stupnjaka	20
6. Zaključak	22
7. Literatura	23
8. Prilozi	24

1. Tehnički opis

1.1.Uvod

Mlazno injektirani stupnjaci se izvode za potrebe temeljenja novog obalnog zida. Lokacija planiranog zida je u mjestu Dominče na otoku Korčuli. Ukupna visina zida je 5.85 (m), temeljna ploha zida nalazi se na koti -4.75 (m n. m.), dok najviša kota iznosi +1.25 (m n.m.). Planira se gradnja zida betonskim blokovima visine $h=120$ (cm), a posljednji blok ima visinu $h=105$ (cm). Iza zida planira se zasip nevezanim materijalom sa zadanim parametrima tla. Dimenzioniranje stupnjaka izrađeno je prema Eurokodu 7 i to samo za osnovnu kombinaciju opterećenja. Potresna kombinacija je u ovom slučaju isključena. Stupnjaci, promjera 80 (cm), dimenzionirani su na postizanje tlačne čvrstoće od 7 N/mm^2 , te je prema tome određen i sadržaj injekcijske smjese, odnosno količina cementa i vode. U skladu s time odabrana je tehnologija izvođenja i raspored stupnjaka u tlocrtu, obzirom na opterećenje i konstruktivna pravila struke.

1.2.Istražni radovi

Za potrebe odabira rješenja temeljenja provedeni su geotehnički istražni radovi, kako bi se ustanovile osnovne geotehničke značajke predmetne lokacije. Obavljena je geološka prospekcija terena, sondiranje tla-stijene, klasifikacija i determinacija nabušene jezgre tla-stijene, kao i mikroskopska obrada svih uzoraka. Izrađivanjem geotehničkog elaborata određeni su vrsta i starost tla za geomehaničku klasifikaciju i kategorizaciju. U okviru navedenog izvedene su tri sondažne bušotine, na kopnenom dijelu lokacije, do dubina od 8.20 do 11.40 (m). Točna pozicija sondažnih bušotina ucrtana je i označena na geodetskoj podlozi u mjerilu 1:500, prilog br.2.

Iz prikaza sondažnih profila bušotina (prilog br.4) vidljivo je da prvi sloj tvori mješavina sitnijih frakcija vapnenca i drugih raznorodnih materijala. Od 3.0 do 6.0 (m) poredani su slojevi različiti po sastavu, promjeru zrna i starosti. Na dubini od 4.50 do 6.50 (m) nailazi okršeni vapnenac koji povećanjem dubine postaje rudistni vapnenac.

Neujednačenost sastava, kako po vrsti tla i po granulometrijskoj krivulji objašnjava činjenica da se ovo područje u prošlosti nasipalo u svrhu uređenja pristana trajekta. Iz rezultata sondažnih bušotina pretpostavlja se da je moguće da se autohtono morsko dno nalazi na apsolutnim kotama između -4.60 (m) odnosno -2.60 (m). Slojevi nasipa iznad autohtonog morskog dna ne mogu se smatrati potpuno konsolidirani niti ujednačeni, stoga geotehnički elaborat predlaže kraće predopterećenje postojećeg nasipa u slučaju pojedinih

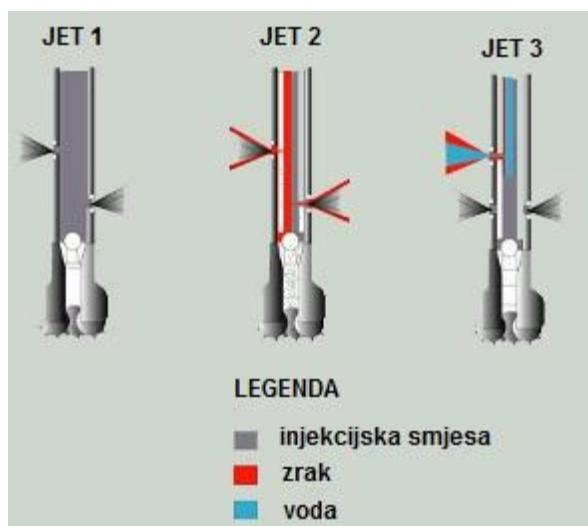
građevinskih zahvata, ili pak rješenja kao što su duboka temeljenja u slučaju zahvata s većim koncentriranim opterećenjima.

1.3. Općenito o mlaznom injektiranju

Injektiranje je metoda stabilizacije terena koja se izvodi ubrizgavanjem stabilizacijskih sredstava u tlo pod pritiskom, kroz bušotine, pomoću prikladnih strojeva. Injektiranjem se može postići smanjenje vodopropusnosti, povećanje čvrstoće i smanjenje deformabilnosti temeljnog tla, pretvaranje diskontinuiranih građevina-izgrađenih od betonskih elemenata u masivne homogene građevine, te podzidavanje temelja i pridržanje iskopa.

„Jet-grout“ ili mlazno injektiranje je naziv za svaki postupak kod kojeg se koristi ekstremno visok tlak, pretežno od 300 do 700 bara, te se pod tlakom fluid utiskuje u tlo velikom brzinom čime se posve razbija struktura tla, a čestice tla se miješaju (in-situ) s vezivnim sredstvom stvarajući pritom homogeniziranu masu poboljšanih svojstava.

Postoje četiri načina izvedbe mlazno injektiranih tijela: jednofluidni, dvofluidni, trofluidni i supermlazno injektiranje. Svi sustavi sadrže dvije osnovne radnje: izvedba bušotine određene dubine i provedba mlaznog injektiranja. Rotiranjem pribora za 360° nastaju valjci, dok mijenjanjem kuta rotacije nastaju ostali oblici.



Slika 1. Tri načina izvedbe mlazno injektiranih stupnjaka

Izvedbom pomoću jednog fluida vodoravni injekcijski mlaz brzinom od 200 m/s siječe tlo i stvara mješavinu veziva i tla. Jednofluidni sustav je najrašireniji i najjednostavniji, a posebno je učinkovit u nekoherentnim materijalima.

Za tehniku izvedbe pomoću dva fluida koriste se dva kanala. Jedan za dovod injekcijske smjese a jedan za zrak. Kroz sredinu izlazi injekcijska smjesa, a oko nje zrak koji pojačava

učinak razbijanja tla. Za razliku od jednog fluida, ova tehnologija je pogodnija u koherentnim tlima.

Torfluidni sustav kroz bušaću šipku tlači injekcijsku smjesu, zrak i vodu. Mlaz zraka i vode razbija tlo, dok mlaz injekcijske smjese, koji se nalazi ispod, izbija manjom brzinom.

Ovaj način učinkovit je u koherentnim tlima.

Supermlazno injektiranje izvodi se velikom brzinom kroz dvije nasuprotne, vrlo precizne mlaznice, kojima se tlači injekcijska smjesa obavijena zrakom. Prethodno bušenje vrši se mlazom vode, a ova tehnika koristi se za stabilizaciju velikih masa.

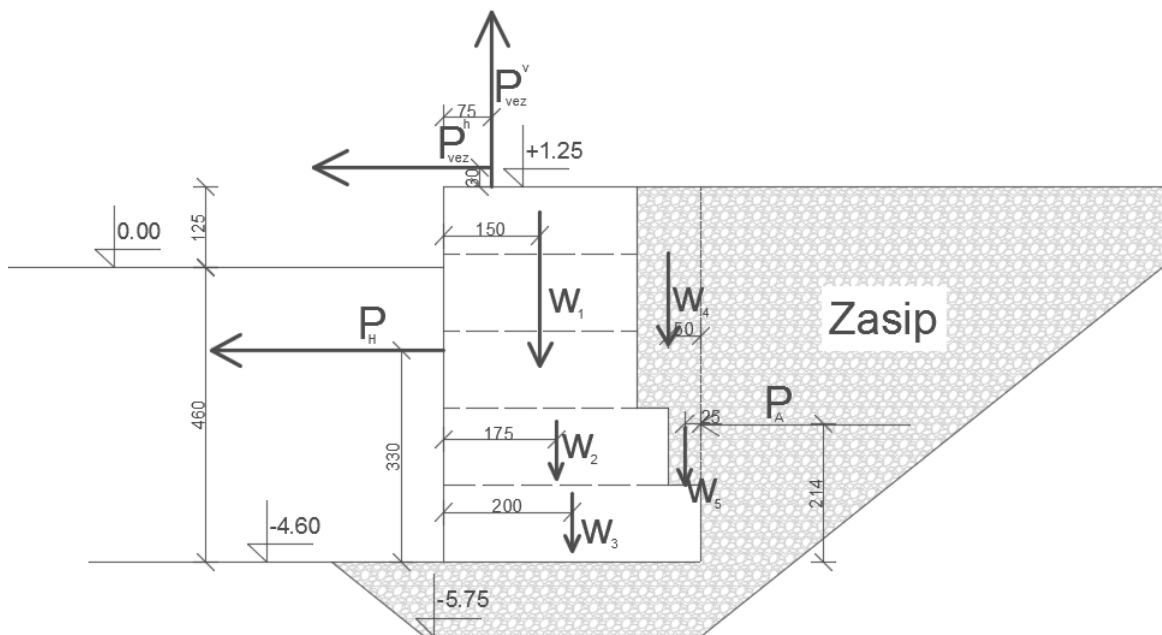
U pijesku i šljunku postižu se veće čvrstoće nego u glini i prahu, a što je injektirana smjesa starija to joj je i čvrstoća veća, s tim da je porast sporiji nego kod betona.

Prednosti mlaznog injektiranja su što se postupak izvodi relativno brzo i jeftino, strojevi su mali i pokretni te se lako raspreni gradilište. Postupak injektiranja ne izaziva vibracije, a injekcijske smjese nisu štetne za okoliš.

2. Analiza opterećenja na obalni zid

U analizu opterećenja i daljnji proračun uključuje se vlastita težina zida i aktivni tlak tla kao stalna nepovoljna djelovanja, te vez broda i udar vala kao promjenjiva nepovoljna djelovanja.

Analiza je izvršena sa proračunskim pristupom 3, prema nacionalnom dodatku HRN EN 1997-1.



Slika br.2;Prikaz djelovanja opterećenja na zid

2.1. Vlastita težina zida

Ulazni parametri za izračun vlastite težine obalnog zida, izgrađenog od betonskih blokova su: jedinična težina betona i uronjena težina betona.

$\gamma=24 \text{ kN/m}^3$

$\gamma' = 14 \text{ kN/m}^3$

Dio zasipa unutar virtualne ravnine zida se također uključuje u vlastitu težinu zida. Zadani su parametri jedinične i uronjene težine materijala iz zasipa.

$$\gamma_{\text{zasip}} = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma'_{\text{zasip}} = 10 \text{ kN/m}^3$$

$$W_1 = 1.25 \cdot 24.0 \cdot 3.0 + 2.2 \cdot 14.0 \cdot 3.0 = 182.24 \text{ kN/m'}$$

$$W_2 = 1.20 \cdot 14.0 \cdot 3.5 = 58.8 \text{ kN/m'}$$

$$W_3 = 1.20 \cdot 14.0 \cdot 4.0 = 67.2 \text{ kN/m'}$$

Dio zasipa koji se uključuje u težinu zida :

$$W_4 = 1.25 \cdot 20.0 \cdot 1.0 + 2.20 \cdot 10.0 \cdot 1.0 = 47.0 \text{ kN/m'}$$

$$W_5 = 1.20 \cdot 10.0 \cdot 0.5 = 6.0 \text{ kN/m}$$

$$\Sigma W = 361.4 \text{ kN/m'}$$

2.2. Aktivni tlak tla

Karakteristične vrijednosti zasipa:

$$\phi_k=35^\circ \quad c_k=0 \text{ kN/m}^2 \quad \gamma=20 \text{ kN/m}^3 \quad \gamma'=\gamma_{\text{sat}}-\gamma_w=10 \text{ kN/m}^3$$

Pretpostavljena je vertikalna virtualna ploha djelovanja aktivnog tlaka, te je korišten kut $\delta=0$ (nagib aktivnog tlaka)

Parcijalni faktori za proračunski pristup 3 (A1^d ili A2^e) + M2 + R3

Tangens efektivnog kuta trenja: $\gamma_\phi=1.25$

Efektivna kohezija: $\gamma_c=1.25$

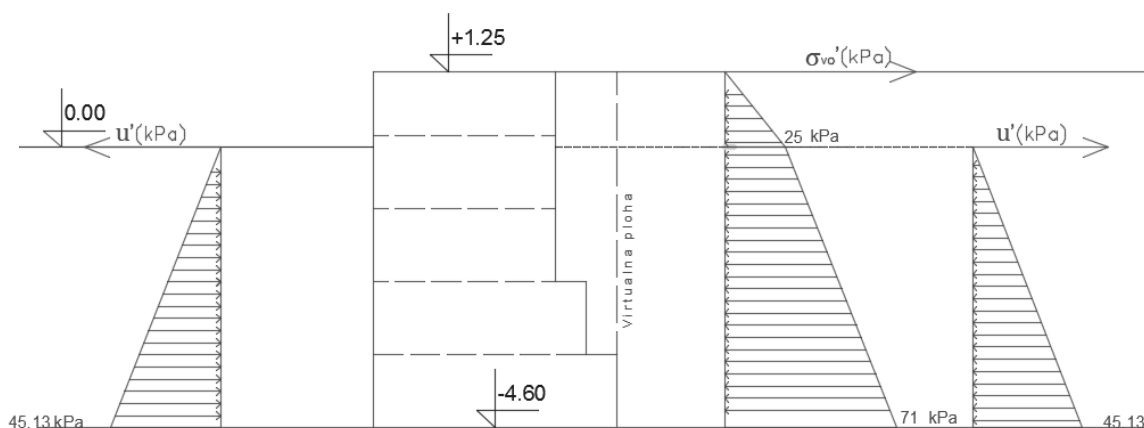
$$c_k=0 \quad c_d=\frac{c_k}{\gamma_c}=\frac{0}{1.25}=0 \text{ kN/m}^2$$

$$\phi_k=35^\circ \quad \phi_d=\tan^{-1}\left(\frac{\tan \phi_k}{\gamma_\phi}\right)=\tan^{-1}\left(\frac{\tan 35^\circ}{1.25}\right)=29.26^\circ$$

Horizontalni tlak na zid posljedica je opterećenja čvrstog skeleta tla (efektivno naprezanje) i hidrostatskog tlaka vode u porama (porni tlak). Proračun je prikazan u tablici.

Tablica br.1.; Izračun vertikalnog geostatičkog naprezanja

z(m)	$\Delta z(\text{m})$	$\sigma'_{vo}=\gamma \cdot \Delta z$	$u=\gamma_w \cdot \Delta z$	$\sigma=\sigma'+u$
+0.00	1.25	$\sigma'_{vo}=20 \cdot 1.25=25.0 \text{ kPa}$	0	$\sigma=25.0 \text{ kPa}$
-4.60	4.60	$\sigma'_{vo}=25.0+10 \cdot 4.6=71.0 \text{ kPa}$	$u=9.81 \cdot 4.6=45.13 \text{ kPa}$	$\sigma=116.13 \text{ kPa}$



Slika br.3; Prikaz vertikalnog geostatičkog naprezanja i pornog tlaka

Koeficijent aktivnog tlaka tla prema teoriji Coulomb-a:

$$K_A = \frac{\sin^2(\alpha + \varphi)}{\sin^2 \alpha \cdot \sin(\alpha - \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \cdot \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

$$\alpha = 90^\circ \quad \beta = 0^\circ \quad \delta = 0^\circ$$

$$K_A = \frac{\sin^2(90 + 29.26)}{\sin^2 90 \cdot \sin(90 - 0) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(29.26 + 0) \cdot \sin(29.26 - 0)}{\sin(90 - 0) \cdot \sin(90 + 0)}} \right]^2}$$

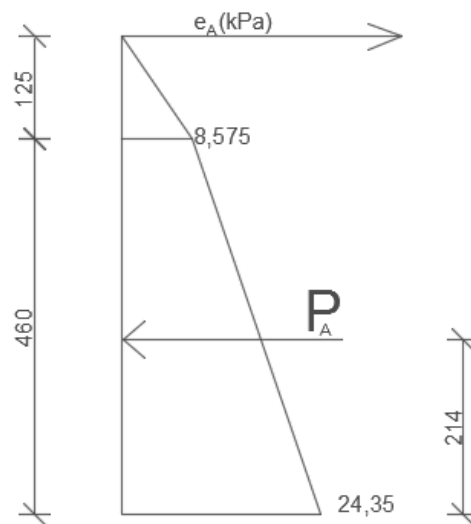
$$K_A = 0.343$$

$$e_A = \sigma'_z \cdot K_A - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_A}$$

$$e_A = 71 \cdot 0.343 = 24.35 \text{ kPa}$$

$$P_A = 1.25 \cdot 8.575 \cdot \frac{1}{2} + 4.6 \cdot (24.35 - 8.575) \cdot \frac{1}{2} + 4.6 \cdot 8.575$$

$$P_A = 81.10 \text{ kN/m'}$$



Slika br.4; Rezultanta aktivnog tlaka tla

2.3. Sila od veza broda

Analiza sila od veza broda:

a) Odabir mjerodavnog broda za dimenzioniranje

Za analizu konstrukcije treba usvojiti brod onih karakteristika koji se po projektnom zadatku namjerava vezati za operativnu obalu. Kao mjerodavni brod usvaja se plovilo karakterističnih dimenzija:

$L=54,50$ m –dužina broda

$B=15,20$ m –širina broda

$T= 2,10$ m -gaz broda

$H=9,60$ m -visina siluete broda

b) Brzina vjetra koji djeluje na brod

Za izračun ukupne sile vjetra koja djeluje na brod, potrebno je poznavati podatke o vjetrovima za predmetnu lokaciju te njihove prognoze za različite povratne periode. Za lokaciju obalnog zida mjerodavni su podaci sa najbliže meteorološke postaje Dubrovnik(1997-2006).

Max. očekivana brzina vjetra koja djeluje na brod u iznosu $V_{(1-3s)}^{50god}$ i to iz bilo kojeg smjera.

$z_T=3,90$ m

$V_{(1-3s)}^{50god}=45,40$ m/s -brzina udara vjetra trajanja 1-3 s na visini od 10 m

$V_{(1-3s)}(z_T)= V_{(1-3s)}(10)*\ln(z_T/0,06)/\ln(10/0,06)=37,0$ m/s

$V_{(1-3s)}(z_T)$ -brzina udara vjetra trajanja 1-3 s na težišnoj visini nadvođa broda z_T

c) Ukupna sila udara vjetra koja djeluje na brod

Ukupnu silu udara vjetra računat ćemo prema izrazima:

$$W_T=1/2*C_{DT}(\Psi)*\rho_{zraka}*A_b*v_{1-3s}^2(z_T) \quad (N)$$

$$W_L=1/2*C_{DL}(\Psi)*\rho_{zraka}*A_k*v_{1-3s}^2(z_T) \quad (N)$$

Gdje su:

$A_b=355,00$ m² -bočna površina broda izložena vjetru

$A_k=118,00$ m² -krmena površina broda izložena vjetru

$\Psi=90(180)^\circ$ -kut između smjera vjetra i osi broda

$C_{DT}=1,00$ -poprečni(bočni) koeficijent otpora broda u struji zraka

$C_{DL}=0,95$ -uzdužni (krmeni) koeficijent otpora broda u struji zraka

$\rho_{zraka}=1,225$ kg/m³ -gustoća mase zraka

$v_{1-3s}(z_T)=37,04$ m/s –brzina udara vjetra trajanja 1-3 s na težišnoj visini nadvođa broda

$z_T(m)$

$$W_T=298.381,1 \text{ N}$$

$$W_T=298,4 \text{ kN}$$

$$W_L=94.221,2 \text{ N}$$

$$W_L=94,2 \text{ kN}$$

Proračun se radi za vjetar koji djeluje iz smjera okomito na pravac obale jer je u tom slučaju silueta broda najveća.

d) Račun sila na poler (pramirni i kremni vez)

Sila generirana vjetrom koja je definirana računskim putem kao mjerodavna ukupna sila na bok broda iznosi W_T . Račun za provjeru priveznih mjesta napraviti će se pod pretpostavkom da je brod vezan na dva privezna mjesta, na dva polera, tako da će se prethodno definirana sila prenositi na dva mjesta na obalnoj konstrukciji.

$$N_B=W_T/2=149,19 \text{ kN}$$

Kutevi koji u prostoru određuju položaj priveznog elementa označeni su sa α i β , a njihove vrijednosti iznose:

$$\alpha=30^\circ \quad \beta=30^\circ$$

slijedi da je sila u prostoru koja djeluje na jedno privezno mjesto:

$$Q_B=N_B/(\cos\beta*\sin\alpha)=344,54 \text{ kN}$$

Komponente sile priveza za pretpostavljenu maksimalnu silu priveza iznosile bi:

$$N_B=Q_B*\cos\beta*\sin\alpha=149,19 \text{ kN}$$

$$H_B=Q_B*\cos\beta=298,38 \text{ kN}$$

$$T_B=H_B*\cos\alpha=258,41 \text{ kN}$$

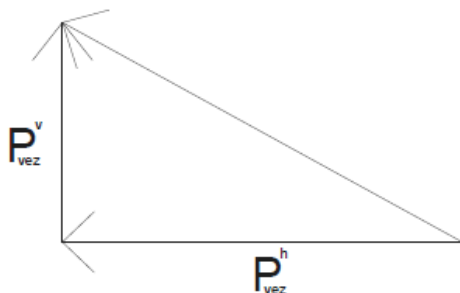
$$V_B=Q_B*\sin\beta=172,27 \text{ kN}$$

$L=8,00\text{m}$ –sekcija nadmorskog dijela konstrukcije

$$n_p=N_B/L=18,65 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{odabrano: } P_{vez}^H=18,70 \text{ kN}$$

$$v_p=V_B/L=21,53 \text{ kN/m}' \rightarrow \text{odabrano: } P_{vez}^V=21,60 \text{ kN}$$

Komentar: Definirana sila od veza broda djeluje na razmaku od 1.5 (m). Kako bi riješenje bilo na strani sigurnosti uzeto je kao da djeluje na razmaku od 1.0 (m).



Slika br.5; Prikaz sile veza

2.4. Hidrodinamičko opterećenje od vala

Analiza hidrodinamičkog opterećenja na vertikalni zid

Povratni period: $PP_{(god)} = 100$ god

Geometrijski podaci:

-vrh obalne konstrukcije: 1.25 m n.m.	$d_1 = 1.25$ m
-promatrana razina mora(SWL): 0.00 m n.m.	
-kota temeljenja obalnog zida: -4.60 m n.m.	$h_s = 4.60$ m
-kota morskog dna na mjestu obalnog zida: -5.75 m n.m.	$d = 5.75$ m
-visina temeljnog nasipa na mjestu obalnog zida:	$d_2 = 1.15$ m
-širina temelja obalne konstrukcije:	$B = 4.50$ m

Dubokovodni parametri vala ispred predmetne lokacije:

$H_0 = 1.70$ m -valna visina (H_0^{PP}) na udaljenosti $3 \cdot L_0$

$T_0 = 4.67$ s -valni period

$L_0 = 34.05$ m -valna dužina

Parametri vala na lokaciji gata/valne pregrade

$d/L_0 = 0.17$

$L = 28.89$ m -valna dužina za prelazno područje

$K = K_s \cdot K_r \cdot K_d = 1.03$ -koeficijent deformacije vala (shoaling, refrakcija, difrakcija)

$H' = K \cdot H_0 = 1.75$ m -deformirana valna visina dobivena CGWAVE-OM

Provjera loma valova ispred konstrukcije: $d_s > 2.0 \cdot H'$ nelomljeni val

$d > 2.5 \cdot H'$ nelomljeni val

Projektna visina vala:

$$K_{\text{ref}}=1.00 \quad \text{-koeficijent refleksije}$$

$$H_{\text{sup}}=H' \cdot (1+K_{\text{ref}})=3.50 \text{ m}$$

$$H_{\text{proj}}=1.27 \cdot H_{\text{sup}}/2=2.22 \text{ m}$$

Proračun:

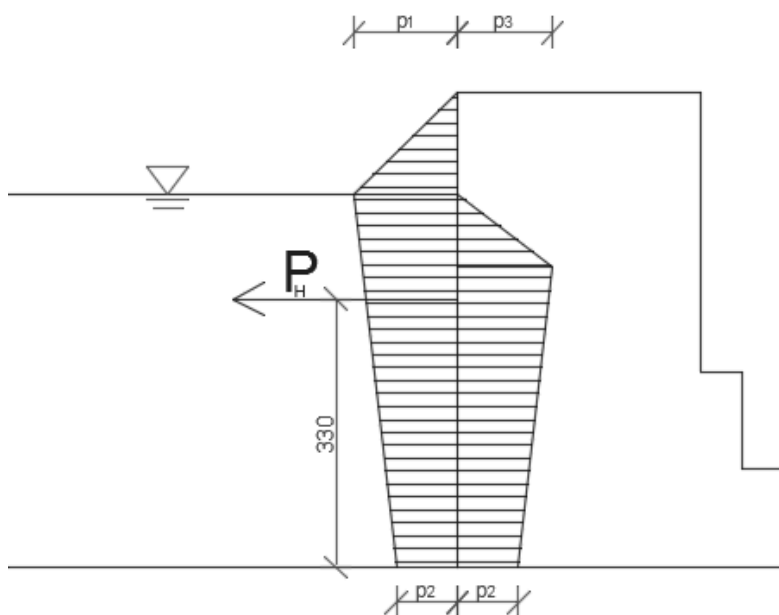
$$\delta_0=0.39 \text{ m} \quad \text{-izdizanje srednjice vala ispred obalne konstrukcije}$$

$$H_{\text{proj}}+\delta_0=2.62 \text{ m} \quad \text{-vrh dosega reflektiranog vala}$$

$$H_{\text{proj}}-\delta_0=1.38 \text{ m} \quad \text{-dol dosega reflektiranog vala}$$

$$H_{\text{proj}}+\delta_0+\text{SWL}=2.62 \text{ m n.m.} \quad \text{-vrh dosega vala u odnosu na geodetsku nulu}$$

-provjera preljevanja: $d_1 < H_{\text{proj}}+\delta_0$ -postoji preljevanje



Slika br.6; Prikaz opterećenja od vala na obalni zid

$$p_1 = (p_2 + \rho_w \cdot g \cdot h_s) \cdot \frac{H + \delta_0}{h_s + H + \delta_0}$$

$$p_2 = \frac{\rho_w \cdot g \cdot H}{\cosh(2 \cdot \pi \cdot \frac{h_s}{L})}$$

$$p_3 = \rho_w \cdot g \cdot (H - \delta_0)$$

$$\delta_0 = \frac{\pi H^2}{L} \cdot \coth \frac{2\pi \cdot h_s}{L}$$

$p_0=11.92 \text{ kN/m}^2$ -tlak na vrhu obale ili na vrhu dosega vala

$p_1=22.02 \text{ kN/m}^2$ -tlak vala na SWL

$p_2=14.49 \text{ kN/m}^2$ -tlak vala na dnu obalnog zida

$p_3=18.41 \text{ kN/m}^2$ -negativni tlak vala

$N_1=16.85 \text{ kNm'}$ -sila na dio obalne konstrukcije ispod SWL

$y_1=3.38 \text{ m}$ -krak sile N_1 u odnosu na kotu temeljenja obalnog zida

$N_2=45.55 \text{ kN/m'}$ -sila na dio obalne konstrukcije ispod SWL

$y_2=3.27 \text{ m}$ -krak sile N_2 u odnosu na kotu temeljenja obalnog zida

$F=62.40 \text{ kN/m'}$ -negativna sila tlaka vala na obalnu konstrukciju

$A=90.00^\circ$ -kuta najsaka vala u odnosu na obalu

$F_H=62.40 \text{ kN/m'}$ -poprečna sila tlaka vala na obalnu konstrukciju

$L=1.00 \text{ m}$ -promatrana dužina konstrukcije

$F_{HU}=62.40 \text{ kN}$ -ukupna poprečna sila tlaka vala na obalnu konstrukciju

→odabrano → $P_H=62.40 \text{ kN}$

$y_F=3.30 \text{ m}$ -krak poprečne sile tlaka od vala na obalnu konstrukciju

3. Proračun naprezanja na temeljnoj plohi

Proračun naprezanja na temeljnoj plohi radi se s parcijalnim koeficijentima za proračunski pristup 3.

Tablica br.2;PP3:parcijalni faktori za granična stanja STR i GEO

Parcijalni faktori djelovanja (γ_E) i učinka djelovanja (γ_E)			
djelovanja	simbol	A1	A2
Trajna nepovoljna	$\gamma_{G;sup}$	1.35	1.0
povoljna	$\gamma_{G;inf}$	1.0	1.0
Promjenjiva nepovoljna	γ_Q	1.5	1.3
povoljna	γ_Q	0	0

U proračun se ulazi sa pretpostavkom da je statistički mala vjerojatnost da će se sva promijenjiva djelovanja dogoditi u istom trenutku. Eurokod 7 predlaže upotrebu kombinacijskih faktora(ψ) koji imaju vrijednost jednaku ili manju od 1. U dugotrajnim i prolaznim promijenjivim djelovanjima vrijednost kombinacijskog faktora iznosi $\psi=1.0$ za „vodeće“ promijenjivo djelovanje i $\psi \leq 1.0$ za „prateća“ promijenjiva djelovanja. Za predmetni obalni zid računat će se hidrodinamičko djelovanje,odnosn udar vala kao vodeće promijenjivo djelovanje i sila od veza broda kao prateće promijenjivo djelovanje.

Kombinacijski faktori:

Sila vala $\rightarrow \psi=1.0$

Sila od veza broda $\rightarrow \psi_0=0.6$

Ukupna sila okomita na temeljnu plohu:

$$V_d = \gamma_{G;sup} \cdot \sum W - \gamma_Q \cdot P_V^v \cdot \psi_0$$

$$V_d = 1.35 \cdot 361.4 - 1.5 \cdot 21.60 \cdot 0.6 = 468.45 \text{ kN/m'}$$

Ukupna horizontalna sila:

$$H_d = \gamma_{G;sup} \cdot P_A + \gamma_Q \cdot P_H \cdot \psi + \gamma_Q \cdot P_V^h \cdot \psi_0$$

$$H_d = 1.0 \cdot 81.10 + 1.5 \cdot 62.4 \cdot 1.0 + 1.5 \cdot 18.7 \cdot 0.6 = 191.53 \text{ kN/m'}$$

Proračunski moment oko točke S:

$$M_d = \gamma_{G;sup} \cdot [(W_3 \cdot 0) + (W_2 \cdot 0.25) + (W_1 \cdot 0.5)] - \gamma_{G;sup} \cdot [(W_4 \cdot 1.5) + (W_5 \cdot 1.75)]$$

$$+ \gamma_{G;sup} \cdot P_A \cdot 2.14 + \gamma_Q \cdot P_H \cdot \psi \cdot 3.3 - \gamma_Q \cdot P_V^v \cdot \psi_0 \cdot 1.25 + \gamma_Q \cdot P_V^h \cdot \psi_0$$

$$\cdot 6.15$$

$$\begin{aligned}
 M_d &= 1.35 \cdot [(67.2 \cdot 0) + (58.8 \cdot 0.25) + (182.4 \cdot 0.5)] - 1.35 \\
 &\quad \cdot [(47.0 \cdot 1.5) + (6.0 \cdot 1.75)] + 1.0 \cdot 81.10 \cdot 2.14 + 1.5 \cdot 62.4 \cdot 1.0 \cdot 3.3 \\
 &\quad - 1.5 \cdot 21.6 \cdot 0.6 \cdot 1.25 + 1.5 \cdot 18.7 \cdot 0.6 \cdot 6.15 \\
 M_d &= 595.20 \text{ kNm/m'}
 \end{aligned}$$

Ekscentritet sile V_d :

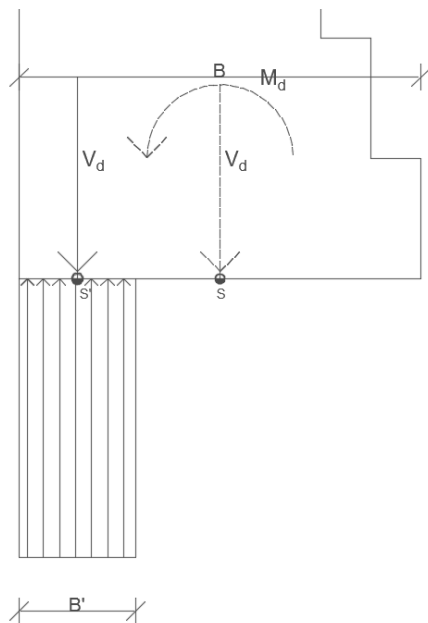
$$e_B = \frac{M_d}{V_d} = \frac{595.25}{468.45} = 1.27 > \frac{B}{6}$$

Pri ekscentričnom opterećenju ploha temelja se mora reducirati tako da rezultantna sila djeluje u sredini.

$$\rightarrow B' = B - 2 \cdot e_B = 4.0 - 2 \cdot 1.27 = 1.46 \text{ m}$$

Reducirana površina:

$$A' = B' \cdot l = 1.46 \text{ m}^2$$



Slika br.7; Reducirana površina temelja

Naprezanje:

$$\sigma_1 = \frac{468.45}{1 \cdot 1.46} = 320.86 \text{ kN/m}^2$$

Slijedi da je proračunska sila opterećenja:

$$F = \sigma_1 \cdot A' = 320.86 \cdot 1.46 = 468.45 \text{ kN/m'}$$

4. Dimenzioniranje mlazno injektiranih stupnjaka

4.1. Odabir tehnologije

Tablica br.3; Odnos vrste tla i mogućih promjera injekcijskih tijela (Čorko, 1997.)

Vrsta tla	Promjer (cm)
Šljunak	80-120
S malo pijeska	Do 100
S puno pijeska	80-90
Pijesak	55-80
Vrlo zbijen	55-60
Srednje zbijen	70-75
Glina	45-100
Žitka	Do 100
meka	Do 75
kruta	55-60
Polučvrsta do čvrsta	45-50
Organsko tlo i nasip	Vrlo promijenljivo (do 100)

Prema geotehničkom elaboratu tlo se svrstava u šljunak s mnogo pijeska, te je odabran promjer stupnjaka 80 cm. S obzirom na vrstu tla (nevezano) i na potreban promjer kao tehnologiju izvođenja odabran je stroj sa jednim fluidom (injektirana smjesa).

Parametri:

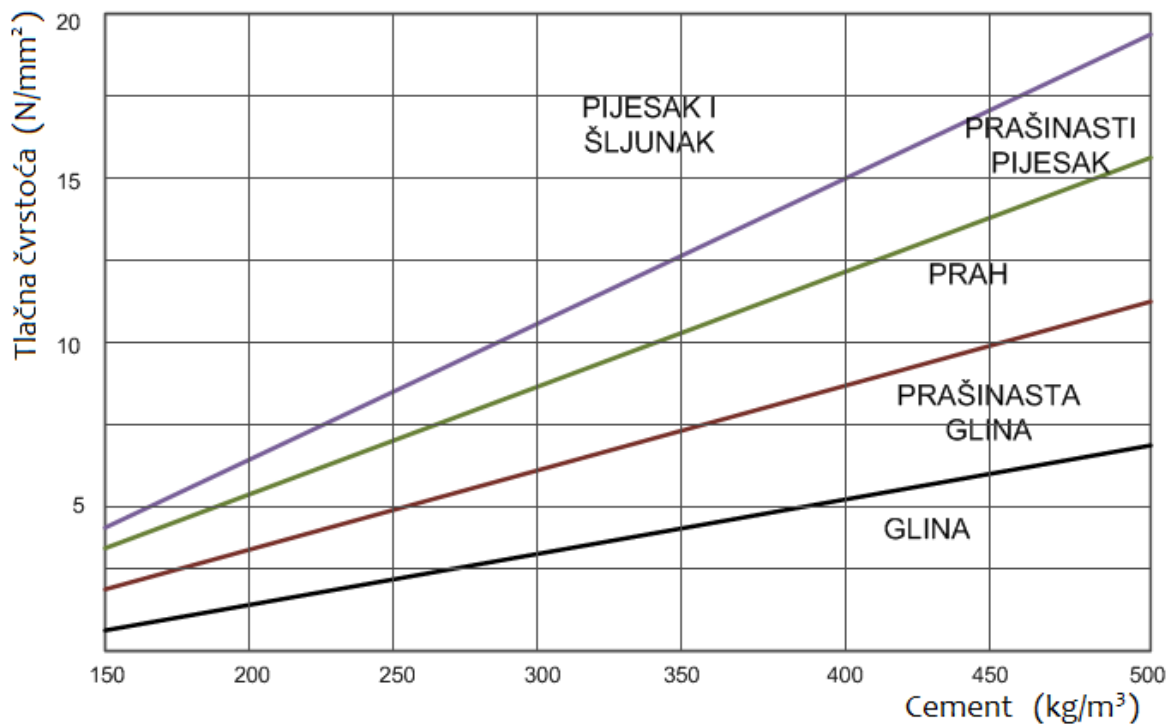
Tlak injektiranja: 400 bara

Broj mlaznica: 2

Promjer mlaznica: 2 mm

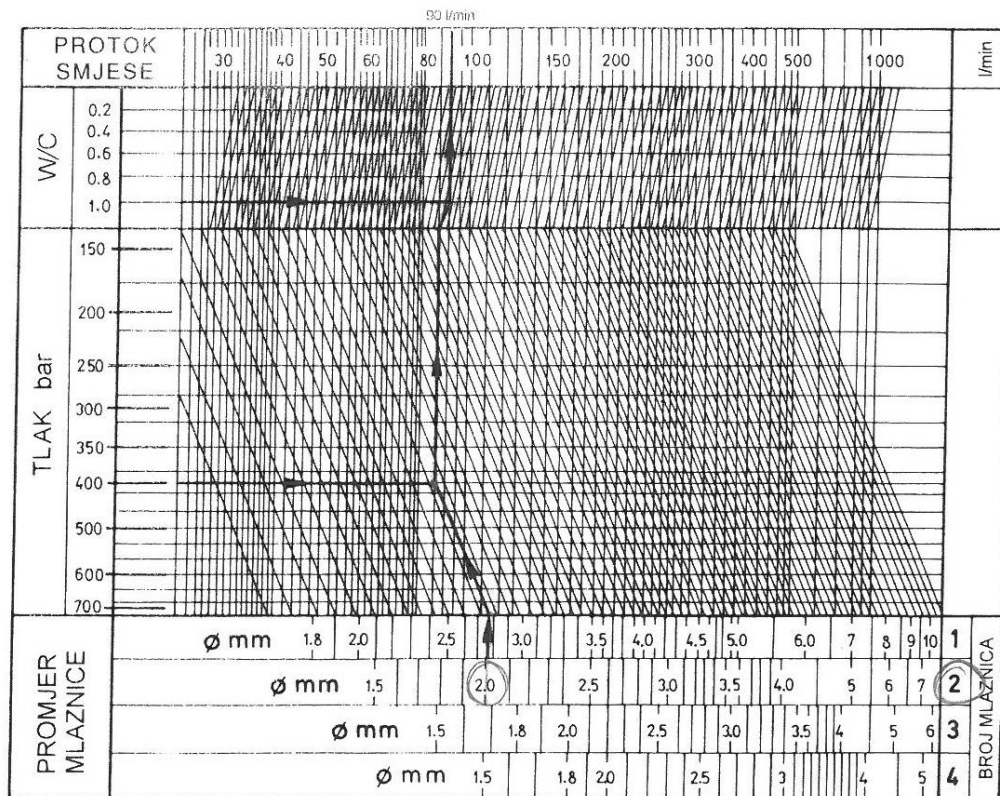
Vodocementni faktor: $W/C=1.0$

→CASAGRANDE DIJAGRAM→za tlačnu čvrstoću od 7 N/mm^2 potrebno je oko 270 kg/m^3 cementa.



Slika br.8; Odnos čvrstoće i količine cementa ugrađenog u odgovarajući volumen tla (Casagrande)

→CASAGRANDE NOMOGRAM→ za 2 mlaznice promjera $\phi=2\text{mm}$ i tlak od 400 bara(min) i za $W/C=1.0$, protok smjese je $Q=90\text{ l/s}$.



Slika br.9; Nomogram za određivanje protoka injekcijske smjese (Casagrande)

4.2.Sadržaj cementa i vode u injekcijskoj smjesi

$$W/C=1.0$$

$$\text{Gustoća injekcijske smjese: } \rho_{is} = \frac{2}{3.0 + \frac{W}{C} + 1.0} + 1 = 1.5 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Količina vode: } W = \frac{3000 \cdot W/C}{3 \cdot \frac{W}{C} + 1} = \frac{3000 \cdot 1}{3 \cdot 1 + 1} = 750 \text{ kg}$$

$$\text{Količina cementa: } C = 1500 \cdot (\rho_{is} - 1.0) = 1500 \cdot (1.5 - 1.0) = 750 \text{ kg}$$

4.3.Analiza sastava injekcijske smjese

Kod mlaznog injektiranja najčešće se koriste injekcijske smjese na bazi cementa i vode s dodacima-najčešće bentonit. Udjel bentonita je cca 3%.

Ako je $W/C=1$, a postotak bentonita 3% proizlazi:

Bentonit 30 kg

Cement 1000 kg

Voda 1000 kg

Količina injekcijske smjese (pretpostavka da cement i bentonit imaju istu gustoću ($\rho=3\text{t/m}^3$):

$$\text{Masa veznog sredstva: } m=1000+30=1030 \text{ kg}$$

$$\text{Volumen veznog sredstva: } V_1=1.03/3=0.343 \text{ m}^3 \rightarrow 340 \text{ l}$$

$$\text{Ukupni volumen injekcijske smjese (vezivo + voda): } V_2=1000+340=1340 \text{ l}$$

Proizlazi da volumen injekcijske smjese odgovara približno volumenu vode $V_w \cdot 1.3$

Promjer valjka: 0.8 m

Volumen dužnog tijela valjka:

$$V' = \frac{0.8^2 \cdot \pi}{4} \cdot 1.0 = 0.503 \text{ m}^3/\text{m}'$$

Treba ugraditi 270 kg/m^3 cementa:

$$C''=270 \cdot 0.503=135.81 \text{ kg/m}'$$

→gubitak od 20%

$$C'=1.20 \cdot 135.81=163 \text{ kg/m}'$$

$$\text{Potrebni volumen injekcijske smjese za m': } V_{is}=163 \cdot 1.3=212 \text{ l/m}'$$

$$\text{Ova količina se može ugraditi u vremenu: } t = \frac{V_{is}}{Q} = \frac{212}{90} = 2.35 \text{ min} \rightarrow 141 \text{ s}$$

Podizanje pribora u inkrementima od 7 cm: $N=100/7=14.3$

Injektiranje na nekom horizontu od 10 s: $t'=14.3 \cdot 10=143 \text{ s} \approx 141 \text{ s}$

Prema tome uz ovakvu kombinaciju parametara izvedbe mogli bismo ugraditi traženu količinu injekcijske smjese u zadani volumen.

5. Analiza nosivosti mlazno injektiranih stupnjaka

Jednoosna tlačna čvrstoća stupnjaka: $\sigma_s = 7 \text{ N/mm}^2 = 7000 \text{ kN/m}^2$

$$R_{s,k} = \sigma_s \cdot A_s = 7000 \cdot \frac{0.8^2 \cdot \pi}{4} = 3518.58 \text{ kN}$$

$$R_{s,d} = \frac{R_{s,k}}{\gamma_{bet}} = \frac{3518.58}{1.5} = 2345.72 \text{ kN}$$

Proračunsko naprezanje na temelnoj plohi iznosi: $\sigma_1 = 320.86 \text{ kN/m}^2$

Koje djeluje na reduciranoj površini: $A' = 1 \cdot 1.46 = 1.46 \text{ m}^2$

Slijedi da proračunska sila koja djeluje na temelj iznosi: $F_d = \sigma_1 \cdot A' = 468.45 \text{ kN/m'}$

$$F_d < R_{sd}$$

$$468.45 \text{ kN} < 2345.72 \text{ kN}$$

Obzirom da je određeno da će razmak stupnjaka iznositi 2 m, od osi do osi, slijedi da jedan stupnjak nosi dva jedinična opterećenja po m'.

Potrebno je provjeriti je li nosivost stupnjaka dovoljna da se može postaviti ovakav razmak.

$$2 \cdot F_d < R_{sd}$$

$$2 \cdot 468.45 < 2345.72$$

$$936.9 \text{ kN} < 2345.72 \text{ kN}$$

PRORAČUNSKA NOSIVOST NA BAZI STUPNJAKA:

Piloti i duboki temelji prenose opterećenje od građevine u tlo dodirnom plohom temelj-tlo i trenjem po plaštu. Piloti, duboki temelji, i promatrani stupnjaci koji se oslanjaju na čvrstu stijenu nose isključivo na dodirnu plohu temelj-tlo, odnosno na vrh jer bez pomaka trenje nije moguće ostvariti. Dimenzionirani stupnjaci oslanjaju se na čvrstu vapnenačku stijenu stoga je provedena analiza nosivosti samo na bazi stupnjaka.

Stijena: lagano raspucani vapnenac

Zadano $q_u = 50 \text{ MPa} \rightarrow 50\,000 \text{ kPa}$ $\phi = 35^\circ$

$$q_{fb} = 2 \cdot q_u \cdot \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

$$q_{fb} = 2 \cdot 50000 \cdot \tan^2(45 + \frac{35}{2})$$

$$q_{fb} = 369\,017.23 \text{ kPa} \quad (369 \text{ MPa})$$

$$q_{b,d} = \frac{q_{fb}}{15} = \frac{369017.23}{15} = 24601.15 \text{ kPa} \quad (24 \text{ MPa})$$

$$R_{b,d} = q_{b,d} \cdot A_b = 24601.15 \cdot \frac{0.8^2 \cdot \pi}{4} = 12365.9 \text{ kN}$$

Težina stupnjaka:

$$G = \frac{R^2 \cdot \pi}{4} \cdot h \cdot \gamma'_{bet} = \frac{0.8^2 \cdot \pi}{4} \cdot 6.25 \cdot 14 = 43.98 \text{ kN}$$

$$E_d \leq R_d$$

$$2 \cdot F_d + G \leq R_d$$

$$936.9 + 43.48 < 12365.9$$

$$980.38 \text{ kN} < 12365.9 \text{ kN}$$

Zadovoljava!

6. Zaključak

Prethodnim proračunom je pokazano da je granična nosivost jednog stupnjaka 2345.72 kN, što je pet puta veća sila od proračunske sile koja djeluje na temelj po jediničnom metru zida. Iskustvena saznanja predlažu da osni razmak mlazno injektiranih stupnjaka ne bi trebao biti veći od 2.5 m. Stoga je u ovom slučaju odabran osni razmak od 2.0 m po dužini obalnog zida dok je poprečni razmak stupnjaka odabran nastojeći zadovoljiti konstruktivne zahtjeve građevine. Prvi red stupnjaka u svojoj osi nalazi se na tlocrtnoj liniji zida do mora, ovaj položaj je izabran kako bi se smanjila mogućnost prevrtanja zida oko kritične točke koja se nalazi upravo na tom mjestu. Sljedeći red stupnjaka udaljen je osno 1.50 m od prvog reda. Prethodno izračunata širina B' iznosi 1.46 (m), te označava površinu na kojoj djeluje većinsko opterećenje. Dva prva reda tako nose unutar reducirane površine, a treći red stupnjaka postavljen je konstruktivno i osno položen u tlocrtnoj liniji zida do obale.

7. Literatura

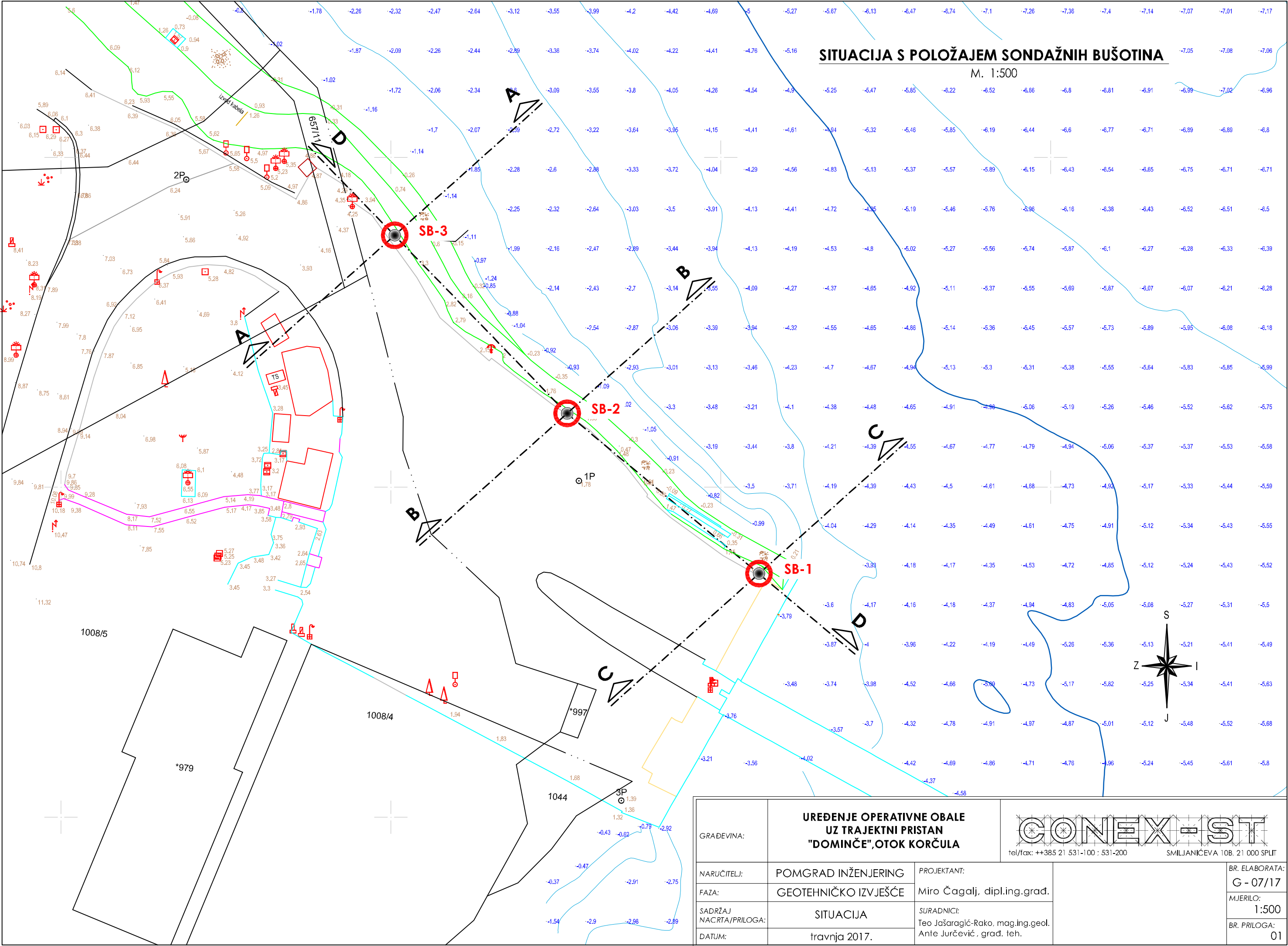
- Conex-st d.o.o.; Geotehničko izvješće; Split, travanj 2017.
- Pomgrad inženjering d.o.o.; Uređenje operativne obale uz trajektni pristan „Dominče“-otok Korčula
- Čorko D., Kovačić D., Lovrenčić D., Marić B.; Mlazno injektiranje; Conex d.o.o., 1997.
- Roje-Bonacci T.; Duboko temeljenje i poboljšanje temeljnog tla; Split: Građevinsko-arhitektonski fakultet, 2010.
- Roje-Bonacci T.; Mehanika tla; Split: Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, 2017.

8. Prilozi

- 8.1. Zadani poprečni presjek obalnog zida
- 8.2. Situacija s položajem sondažnih bušotina
- 8.3. Grafički prikaz profila sondažne bušotine 1
- 8.4. Grafički prikaz profila sondažne bušotine 2
- 8.5. Grafički prikaz profila sondažne bušotine 3
- 8.6. Grafički prikaz ukupnih bušotina
- 8.7. Tlocrt rasporeda stupnjaka

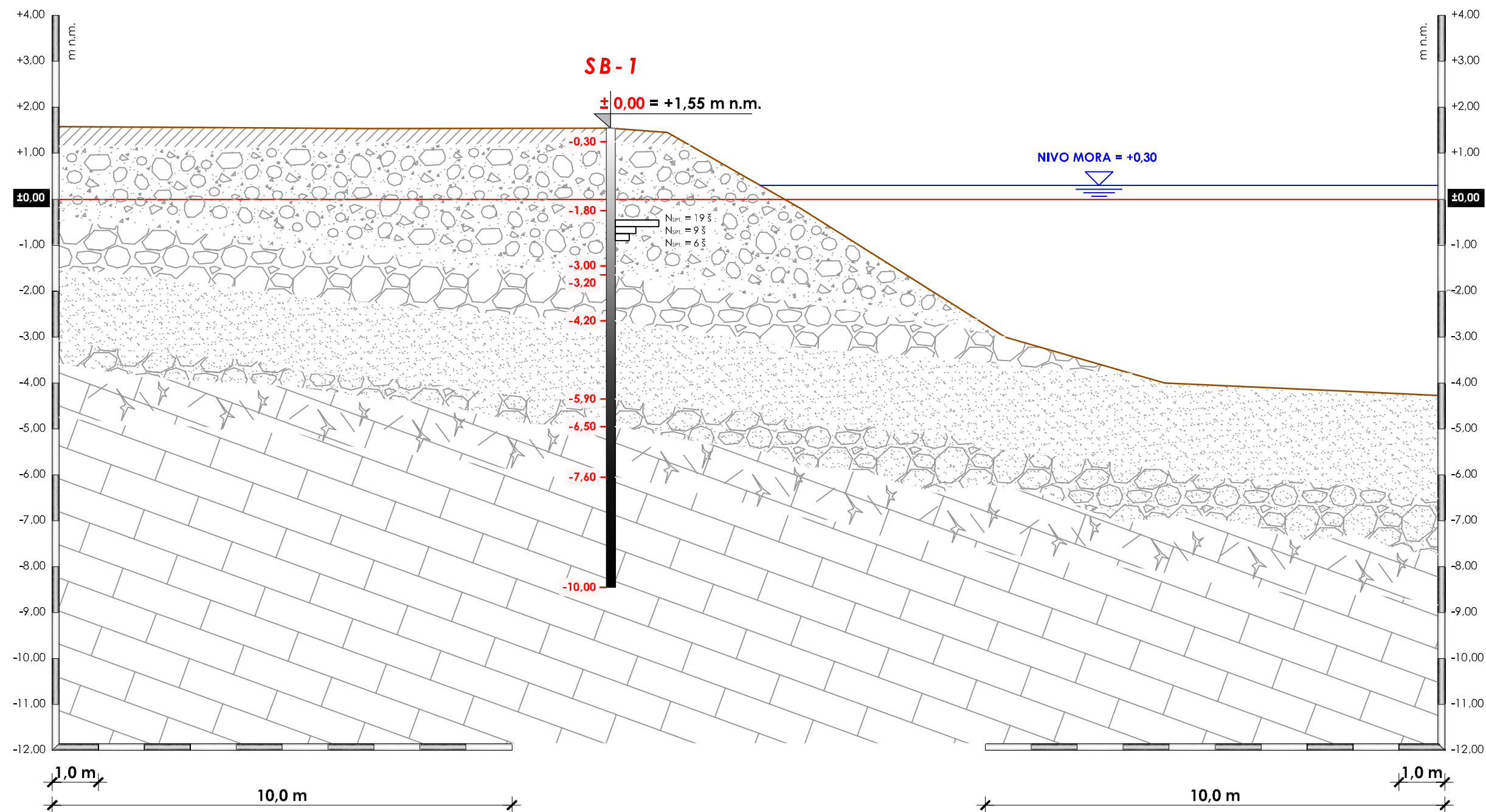
SITUACIJA S POLOŽAJEM SONDAŽNIH BUŠOTINA

M. 1:500



GRAĐEVINA:		UREĐENJE OPERATIVNE OBALE UZ TRAJEKTNI PRISTAN "DOMINČE", OTOK KORČULA		CONEX-IST tel/fax: ++385 21 531-100 : 531-200 SMILJANIČEVA 10B, 21 000 SPLIT	
NARUČITELJ:	POMGRAD INŽENJERING	PROJEKTANT:	BR. ELABORATA: G - 07/17 MJERILO: 1:500 BR. PRILOGA: 01		
FAZA:	GEOTEHNIČKO IZVJEŠĆE	Miro Čagalj, dipl.ing.građ.			
SADRŽAJ NACRTA/PRILOGA:	SITUACIJA	SURADNICI: Teo Jašaragić-Rako, mag.ing.geol. Ante Jurčević, građ. teh.			
DATUM:	travnja 2017.				

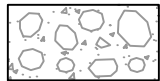
PROFIL C - C
M. 1:100



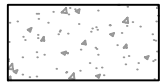
LEGENDA:



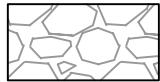
ASFALT S TAMPONSKIM SLOJEM.



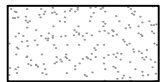
NASIP SITNIJIH FRAKCIJA VAPNENCA,
DOMINANTNOG Ø1-6 cm.



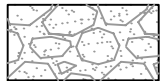
ISTALOŽENI DIO MANJIH FRAGMENTA NASIPA
(PJESKOVITO - PRAŠINASTI) VEZANI GLINOM.



NASIP, UGLAVNOM FRAGMENTATA VAPNENCA
IZ ISKOPA, Ø > Ø BUŠENJA (KAMENOMET).



JEDNOZRNATI PIJESAK ISTALOŽEN OD RANIJE
FORMIRANE OBALE, NEKADAŠNJE MORSKO DNO.



PIJESAK S VEĆIM I MANJIM FRAGMENTIMA
VAPNENCA.



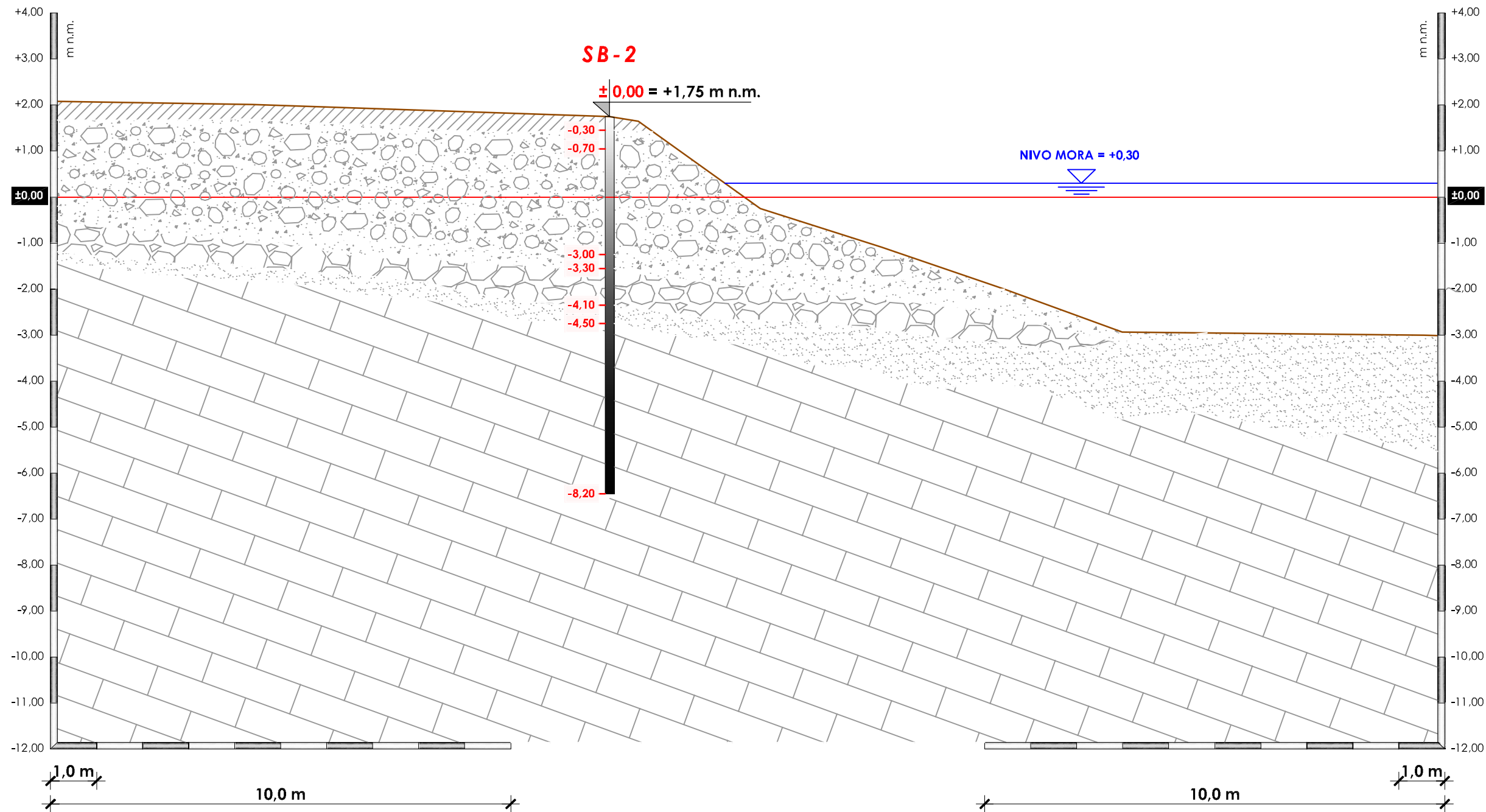
JAKO OKRŠENI GORNJI HORIZONT VAPNENACA.



VAPNENAC, JAČE OKRŠEN. STIJENKE PUK. SUSTAVA
PRESVUČENE CRVENO SMEĐOM SUPSTANCOM.

GRAĐEVINA:	UREĐENJE OPERATIVNE OBALE UZ TRAJEKтни PRISTAN "DOMINČE", OTOK KORČULA		CONEX-ST tel/fax: ++385 21 531-100 ; 531-200 SMILJANIĆEVA 10B, 21 000 SPLIT	
NARUČITELJ:	POMGRAD INŽENJERING	PROJEKTANT:	Miro Čagalj, dipl.ing.građ.	BR. ELABORATA: G - 07/17
FAZA:	GEOTEHNIČKO IZVJEŠĆE			MJERILO: 1:100
SADRŽAJ NACRTA/PRILOGA:	PROFIL C - C	SURADNICI: Teo Jašaragić-Rako, mag.ing.geol. Ante Jurčević, građ. teh.		BR. PRILOGA: 04
DATUM:	travnja 2017.			

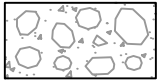
PROFIL B - B
M. 1:100



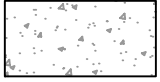
LEGENDA:



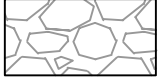
ASFALT S TAMPONSKIM SLOJEM.



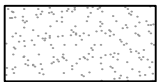
NASIP SITNIJIH FRAKCIJA VAPNENCA,
DOMINANTNOG Ø1-6 cm.



ISTALOŽENI DIO MANJIH FRAGMENTA NASIPA
(PJESKOVITO - PRAŠINASTI) VEZANI GLINOM.



NASIP, UGLAVNOM FRAGMENTA VAPNENCA
IZ ISKOPA, Ø > Ø BUŠENJA (KAMENOMET).



JEDNOZRNATI PIJESAK ISTALOŽEN OD RANIJE
FORMIRANE OBALE, NEKADAŠNJE MORSKO DNO.



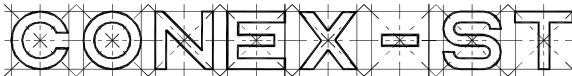
PIJESAK S VEĆIM I MANJIM FRAGMENTIMA
VAPNENCA.



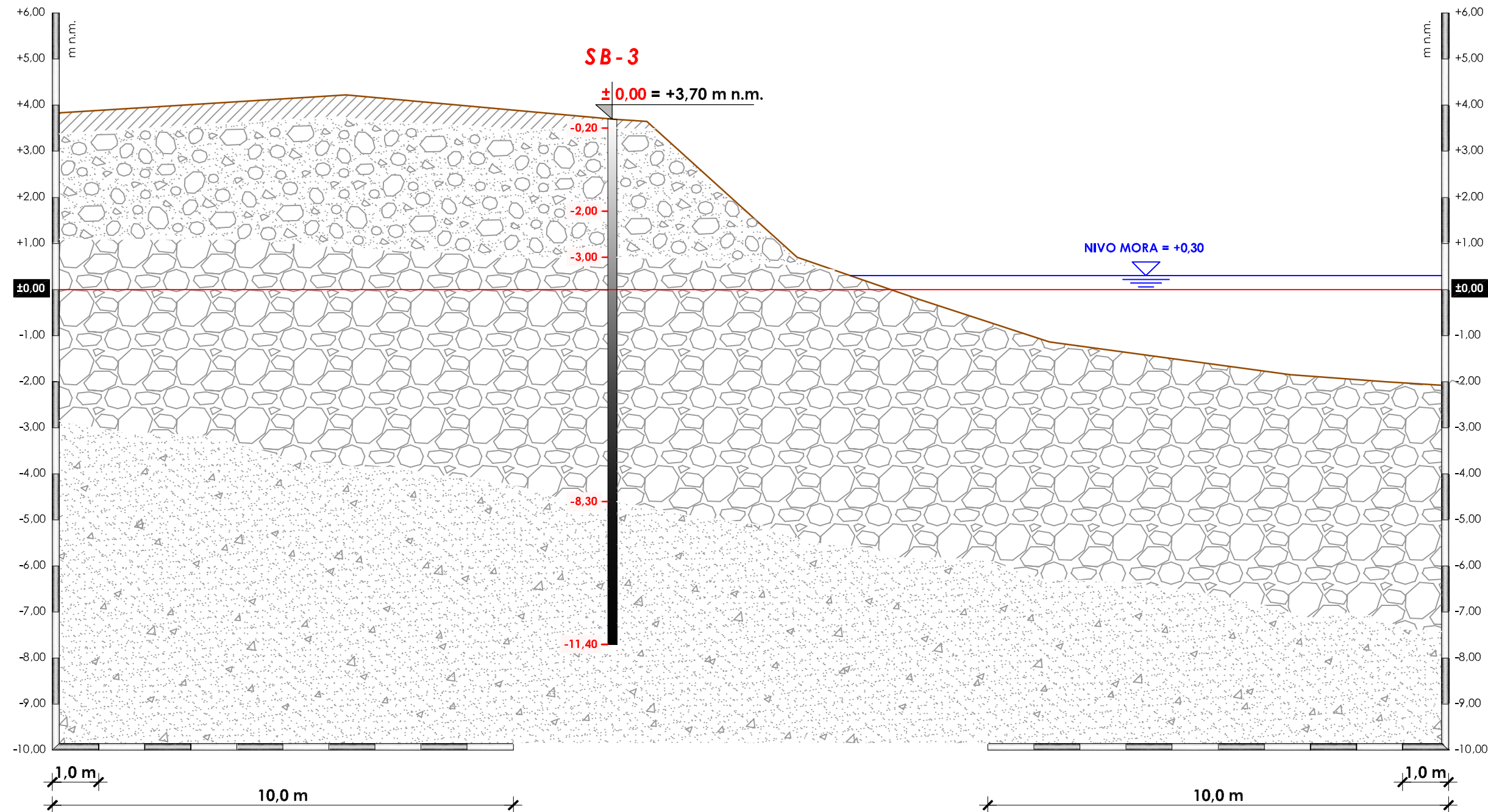
JAKO OKRŠENI GORNJI HORIZONT VAPNENACA.



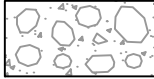
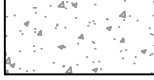
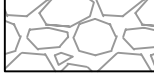
VAPNENAC, JAČE OKRŠEN. STIJENKE PUK. SUSTAVA
PRESVUČENE CRVENO SMEĐOM SUPSTANCOM.

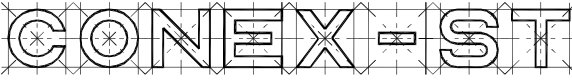
GRAĐEVINA:	UREĐENJE OPERATIVNE OBALE UZ TRAJEKTNII PRISTAN "DOMINČE", OTOK KORČULA		 tel/fax: ++385 21 531-100 ; 531-200 SMILJANIČEVA 10B, 21 000 SPLIT	
NARUČITELJ:	POMGRAD INŽENJERING	PROJEKTANT:	BR. ELABORATA: G - 07/17 MJERILO: 1:100 BR. PRILOGA: 03	
FAZA:	GEOTEHNIČKO IZVJEŠĆE	Miro Čagalj, dipl.ing.građ.		
SADRŽAJ NACRTA/PRILOGA:	PROFIL B - B	SURADNICI: Teo Jašaragić-Rako, mag.ing.geol. Ante Jurčević, građ. teh.		
DATUM:	travnja 2017.			

PROFIL A - A
M. 1:100



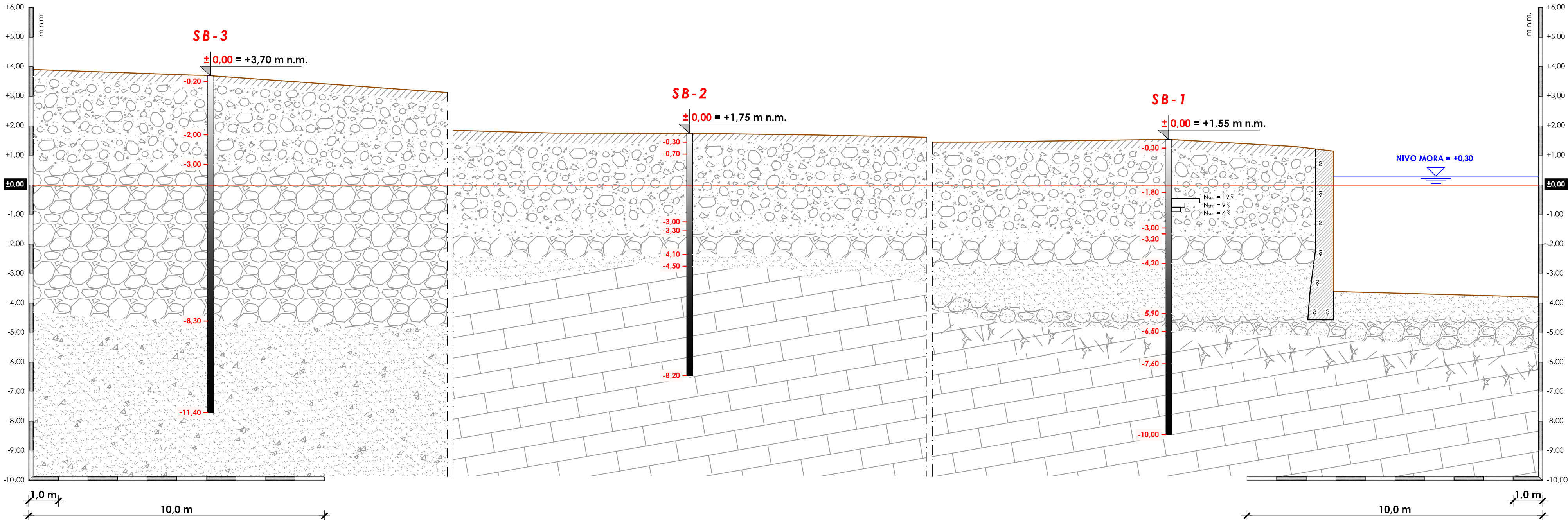
LEGENDA:

	ASFALT S TAMPONSKIM SLOJEM.		JEDNOZRNATI PIJESAK ISTALOŽEN OD RANIJE FORMIRANE OBALE, NEKADAŠNJE MORSKO DNO.
	NASIP SITNIJIH FRAKCIJA VAPNENCA, DOMINANTNOG Ø1-6 cm.		PIJESAK S VEĆIM I MANJIM FRAGMENTIMA VAPNENCA.
	ISTALOŽENI DIO MANJIH FRAGMENTA NASIPA (PJESKOVITO - PRAŠINASTI) VEZANI GLINOM.		JAKO OKRŠENI GORNJI HORIZONT VAPNENACA.
	NASIP, UGLAVNOM FRAGMENTATA VAPNENCA IZ ISKOPA, Ø > Ø BUŠENJA (KAMENOMET).		VAPNENAC, JAČE OKRŠEN. STIJENKE PUK. SUSTAVA PRESVUČENE CRVENO SMEĐOM SUPSTANCOM.

GRAĐEVINA:	UREĐENJE OPERATIVNE OBALE UZ TRAJEKтни PRISTAN "DOMINČE", OTOK KORČULA		 tel/fax: ++385 21 531-100 ; 531-200 SMILJANIĆEVA 10B, 21 000 SPLIT	BR. ELABORATA:
NARUČITELJ:	POMGRAD INŽENJERING	PROJEKTANT:		G - 07/17
FAZA:	GEOTEHNIČKO IZVJEŠĆE	Miro Čagalj, dipl.ing.građ.		MJERILO:
SADRŽAJ NACRTA/PRILOGA:	PROFIL A - A	SURADNICI:		1:100
DATUM:	travnja 2017.	Teo Jašaragić-Rako, mag.ing.geol. Ante Jurčević, građ. teh.		BR. PRILOGA:
				02

PROFIL D - D

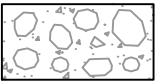
M. 1:100



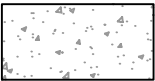
LEGENDA:



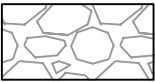
ASFALT S TAMPONSKIM SLOJEM.



NASIP SITNIJIH FRAKCIJA VAPNENCA, DOMINANTNOG Ø1-6 cm.



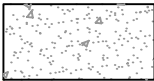
ISTALOŽENI DIO MANJIH FRAGMENTATA NASIPA (PJESKOVITO - PRAŠINASTI) VEZANI GLINOM.



NASIP, UGLAVNOM FRAGMENTATA VAPNENCA IZ ISKOPA, Ø > Ø BUŠENJA (KAMENOMET).



JEDNOZRNATI PIJESAK ISTALOŽEN OD RANIJE FORMIRANE OBALE, NEKADAŠNJE MORSKO DNO.



PIJESAK S VEĆIM I MANJIM FRAGMENTIMA VAPNENCA.

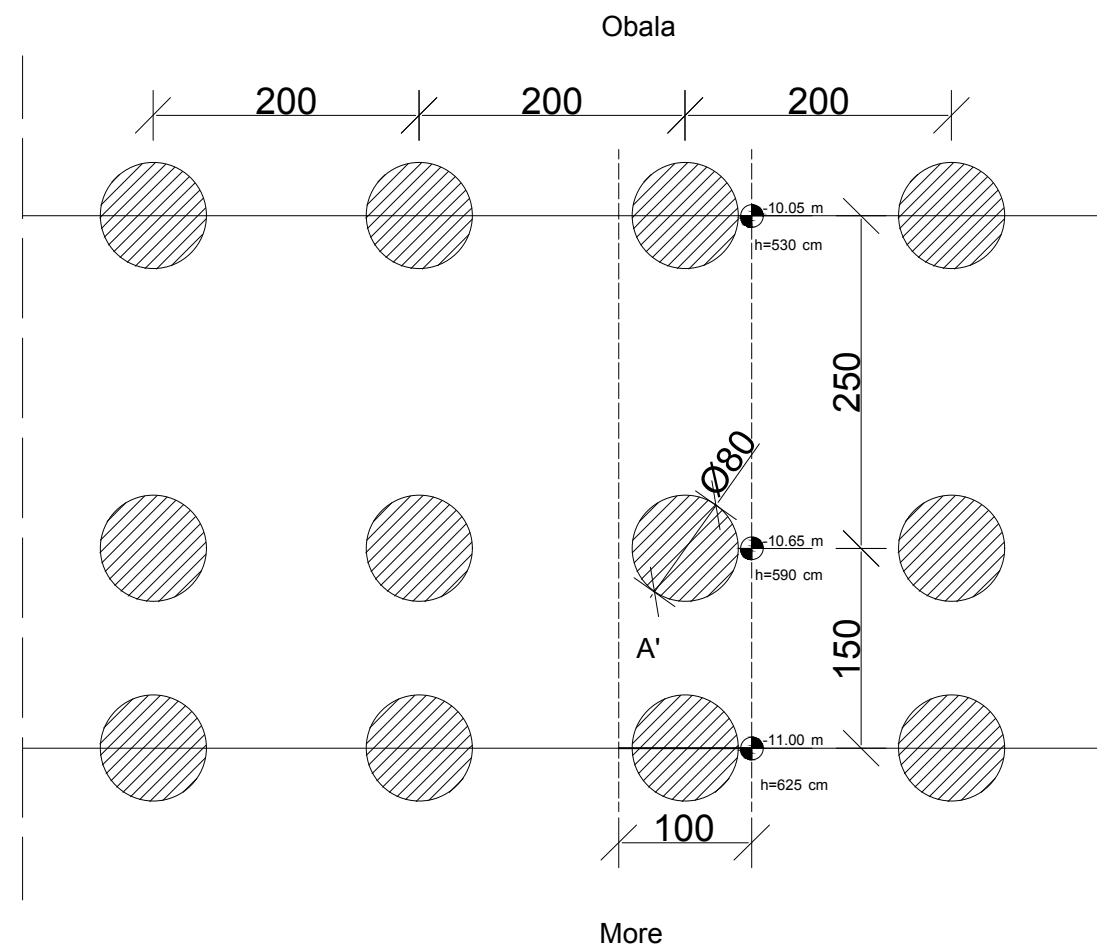


JAKO OKRŠENI GORNJI HORIZONT KREDNIH VAPNENACA.



VAPNENAC, JAČE OKRŠEN. STIJENKE PUKOTINSKOG SUSTAVA PRESVUČENE CRVENO SMEĐOM SUPSTANCOM.

GRAĐEVINA:	UREĐENJE OPERATIVNE OBALE UZ TRAJEKTNi PRISTAN "DOMINČE", OTOK KORČULA		 tel/fax: ++385 21 531-100 ; 531-200 SMILJANIČEVA 10B, 21 000 SPLIT	BR. ELABORATA:
NARUČITELI:	POMGRAD INŽENJERING	PROJEKTANT:		G - 07/17
FAZA:	GEOTEHNIČKO IZVJEŠĆE	Miro Čagalj, dipl.ing.građ.	MJERILO:	1:100
SADRŽAJ NACRTA/PRILOGA:	PROFIL D - D	SURADNICI: Teo Jašaragić-Rako, mag.ing.geol. Ante Jurčević, građ. teh.		BR. PRILOGA:
DATUM:	travnja 2017.			05



Predmet: Završni rad

Naslov: Duboko temeljenje na
mlazno injektiranim stupnjacima

Prilog br. 7

Raspored stupnjaka u tlocrtu



FAKULTET ARHITEKTURE I GRAĐEVINARSTVA
UNIVERZITET U ZAGREBU

Izradila: Paula Sakić

Izradila: Paula Sakić