

Temeljenje ACI-jeve marine u Slanom

PRIPREMILI:
Ines Pean, Josip Prcela

U akvatoriju Slanog izgrađena je nova ACI-jeva marina, s obzirom na to da je lokacija specifična za izvedbu obalne konstrukcije i kopnenih objekata, bilo je neophodno izvesti poboljšanje temeljnoga tla, duboko temeljenje objekata izvedbom CFA pilota i zaštitu građevinskih jama

Uvod

U Slanom izgrađena je luka nautičkoga turizma kapaciteta do 200 plovila i maksimalne duljine do 20 m. Područje marine čini akvatorij s obalnim pojasom i kopneni dio s pratećim objektima. Ukupna površina obuhvata iznosi 66.808 m², od čega je 10.652 m² površina kopnenoga dijela marine. Na obalnome pojasu marine izvedena su dva tipa obalnih konstrukcija:

- obalni zid na sjevernome dijelu marine u dužini od 38 m
- zaštitni kamenomet na istočnome i južnome dijelu marine u dužini od 248 m.

Karakteristike temeljnoga tla ocijenjene su kao nedovoljno kvalitetne za izvedbu projektiranih tipova obalne konstrukcije zbog znatnoga i dugotrajnoga slijeganja

te globalne nestabilnosti objekata pa je globalna stabilnost i nosivost temeljnoga tla povećana izvedbom šljunčanih stupnjaka te nasipa za predopterećenje radi ubrzavanja konsolidacije temeljnoga tla. U projektu su objekti neophodni za funkcioniranje marine na kopnenome dijelu označeni kao objekti 4, 5, 6, 7, 8 i 9, od kojih je izvođački najzahtjevniji objekt 7, odnosno vanjski bazen s ukopanom strojarnicom.

S obzirom na utvrđene slabe karakteristike temeljnoga tla, temeljenje kopnenih objekata izvedeno je izvedbom CFA pilota (*Continuous Flight Auger piles*) promjera 40 cm.

Izvedbom dubokoga temeljenja na CFA pilotima opterećenje se od kopnenih objekata prenosi do GS2, koji je okarakteriziran kao dobro nosiv.

Strojarnica bazena jest podzemni objekt na dubini do minus 6 m.

Za zaštitu građevinske jame strojarnice bazena korištene su čelične talpe pobjijane do minus 9,5 m.

U marini smještene su i dvije crpne stanice: crpna stanica Osojnik za fekalne vode i crpna stanica Marina za oborinske vode. Za zaštitu građevinskih jama crpnih stanica korišteni su kopneni armiranobetonski kesoni/bunari.

U radu su obrađeni razlozi odabira pojedinih tehnologija, metodologije izvođenja, problematika izvođenja i iskustva stečena tijekom nadzora radova.

Uvjeti lokacije

Karakteristike tla

Na temelju Izvještaja o provedenim geotehničkim istražnim radovima na lokaciji marine definirane su dvije geotehničke sredine [1].

GEOTEHNIČKA SREDINA 1 (GS1)

Unutar GS1 nalazi se nasip od kršja, pijesci, prahovi, gline, koja je nisko do visoko plastična, rahla do zbijena.

Nasip se sastoji od krupnoga šljunka te pijeska s prašinastim vezivom, u moru počinju rahli do žitki pijesci s prahom i glinama (naneseni valovima), a produblivanjem je sve više praha i zbijenije gline ispod kojih se na nekim lokacijama nalaze zbijeni pijesci i kršje kao ostatak gravitacijskoga gibanja po laporu dok je razina mora bila niža.

Rasponi dobivenih laboratorijskih parametara za GS1

Nasip i marinski sedimenti

$c = 5,3 - 25,6 \text{ kPa}$, $f = 24,4 - 30,6^\circ$

$\gamma = 16,4 - 17,9 \text{ kN/m}^3$.

GEOTEHNIČKA SREDINA 2 (GS2)

GS2 tvore lapori s proslojcima pješčenja-ka različitih stupnjeva trošnosti od smeđe boje trošnoga lapora do plavo-sive boje



3D prikaz marine u Slanom

nerastrošnoga lapora (silt). Lapor je dio fliškoga facijesa u kojemu se izmjenjuju prosljoci pješčenjaka s debljim slojevima lapora. U dodiru s vodom lapori prelaze u glinovite prahove te gube povoljna geomehanička svojstva. Ta sredina počinje od jako trošnih lapora (koji se ponašaju kao prašinate gline) do slabo trošnih lapora (čvrstih, slabo gnječivih, gotovo nestišljivih).

Rasponi dobivenih laboratorijskih parametara za GS2

Lapori

$$\sigma = 72,0 - 359,0 \text{ kPa}$$

$$\gamma = 20,7 - 21,9 \text{ kN/m}^3$$

GS1 rasprostire se do dubine od minus 6 m. Na dubinama od minus 6 m do minus 12 m nalazi se GS2 dobrih geomehaničkih karakteristika.

Seizmološke karakteristike lokacije

Prema staroj seizmološkoj karti iz 1987., marina se nalazi u području maksimalnoga intenziteta potresa od 10° MSK-64 i vjerojatnosti pojave od 63 % za povratni period od 500 godina. O seizmološkoj nestabilnosti područja na kojemu je izgrađena marina svjedoči i činjenica da je 5. rujna 1996. u Slanom zabilježen potres jačine 8 stupnjeva Mercallijeve ljestvice. Nova karta potresnoga područja omogu-

ćava očitavanje iznosa horizontalnih vršnih ubrzanja tla A (a_{gR}) za povratni period od $T_p = 95$ i 475 godina. Prema tome, za lokaciju marine horizontalna vršna ubrzanja tla A (a_{gR}) iznose:

- za povratno razdoblje od $T_p = 95$ godina $a_{gR} = 0,179 \text{ g}$
- za povratno razdoblje od $T_p = 475$ godina $a_{gR} = 0,335 \text{ g}$.

Izvedba obalne konstrukcije

Na obalnome pojasu marine izvedena su dva tipa obalnih konstrukcija:

- obalni zid na sjevernome dijelu marine u dužini od 38 m
- zaštitni kamenomet na istočnome i južnome dijelu marine u dužini od 248 m s izvedbom AB utvrđica.

S obzirom na to da je tlo na lokaciji GS1 ocijenjeno nekvalitetnim, s očekivanim znatnim i dugotrajnim slijeganjem, GS1 poboljšano je do razine GS2 sa svojstvima meke stijene, uz posmičnu čvrstoću i stišljivost dostatnu za izvedbu odabranih tipova obalne konstrukcije.

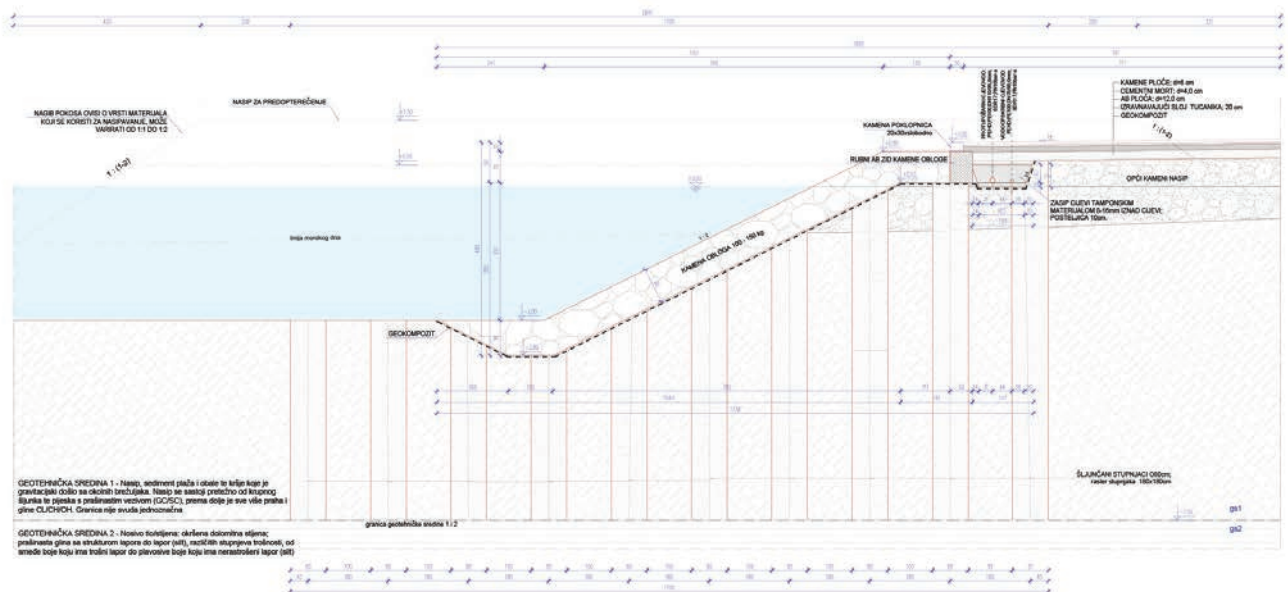
Temeljno tlo poboljšano je izvedbom šljunčanih stupnjaka promjera 80 cm. Ukupno su izgrađena 1872 šljunčana stupnjaka pojedinačnih dužina od 2 m do 12 m, odnosno 16.000 m stupnjaka. Stupnjaci su bušeni kroz izvedeni nasip s

kote +0,5 m. n. m. Nakon izvedbe stupnjaka, radi ubrzanja konsolidacije temeljnoga tla, izvedeno je predopterećenje kamenim nasipom do kote +1,5 m. n. m.

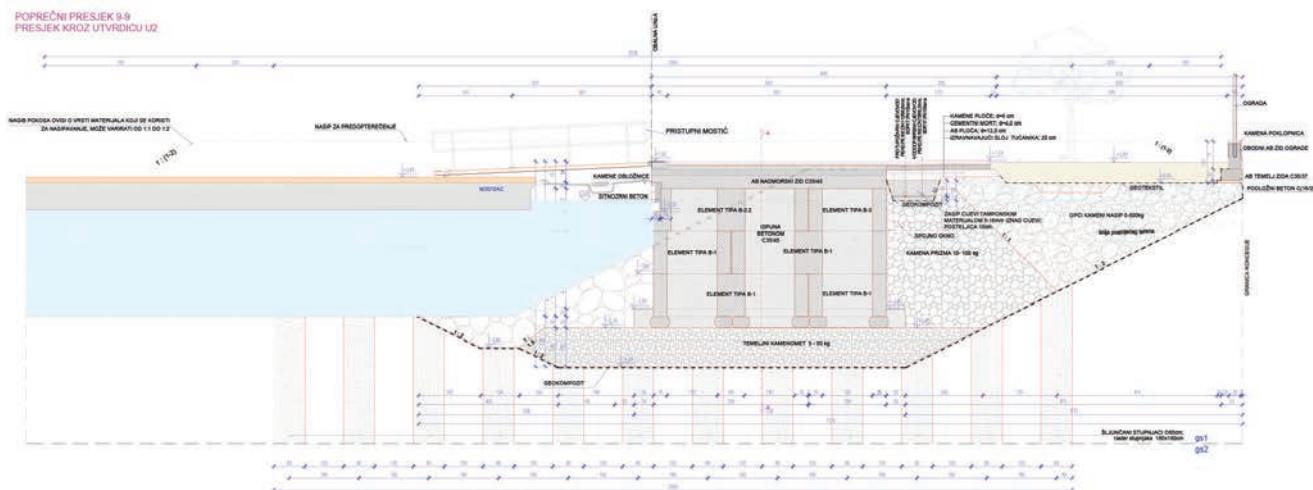


Izvedba šljunčanih stupnjaka

Slijeganje nasipa praćeno je geodetskim opažanjem sedmodnevne učestalosti. Uklanjanju nasipa, koji je korišten kao predopterećenje, pristupilo se nakon, unutar očekivane dinamike i veličina, smirivanja slijeganja tla poboljšanoga šljunčanim stupnjacima. Prilikom izvođenja obalne konstrukcije materijal iz privremenoga nasipa tonuo



Karakteristični poprečni presjek obalne konstrukcije izvedbom kamenometa



Karakteristični poprečni presjek obalne konstrukcije na poziciji utvrđica

je u muljevito morsko dno. Izvođač geodetskim snimkama nije mogao dokazati stvarne količine dopremljenoga i ugrađenoga materijala na gradilištu jer je dio materijala nakon nasipavanja i zbog prometovanja teške mehanizacije penetrirao u morsko dno.

Prema projektu bila je predviđena ugradnja "općeg nasipa" bez osobitih zahtjeva [3]. U svojim analizama izvođač je na temelju otpremnica s podatkom o masi dopremljenoga općeg nasipa i općeg podatka o zapremini od 1,6 t/m³ utvrdio povećanje ugrađenih količina s 27%. Opći nasip ugrađivan je tijekom nekoliko mjeseci pa se utvrđivanju i dokazivanju stvarnih količina dopremljenoga i ugrađenoga materijala pristupilo na sljedeći način:

- na mjesečnoj se razni radio obračun iscrtavanjem prethodno geodetski kontroliranih i potvrđenih obračunskih profila kako bi izvođač mogao situirati nesporno dokazanu količinu
- na mjesečnoj razni, na temelju kontroliranih otpremnica vodila se evidencija dopremljenoga i ugrađenoga materijala na gradilištu
- geodetski je snimljen i izračunan volumen kipa kamiona koji su dovozili materijal
- kako bi se utvrdila točna zapreminska težina općega nasipa na određenome broju nasumično odabranih kamiona, obavljeno je vaganje punoga i praznoga kamiona na deponiji materijala. Time je dobivena prosječna količina materijala koja je dopremljena po turi

na gradilište. Na taj je način uprosječena oscilacija u granulometriji dopremljenoga materijala kao i utjecaj količine goriva u rezervoaru

- na temelju dobivenih podatka o prosječnoj zapreminskoj težini općega nasipa i masi dopremljenoga materijala dobiven je ukupni volumen koji je prihvaćen i odobren.

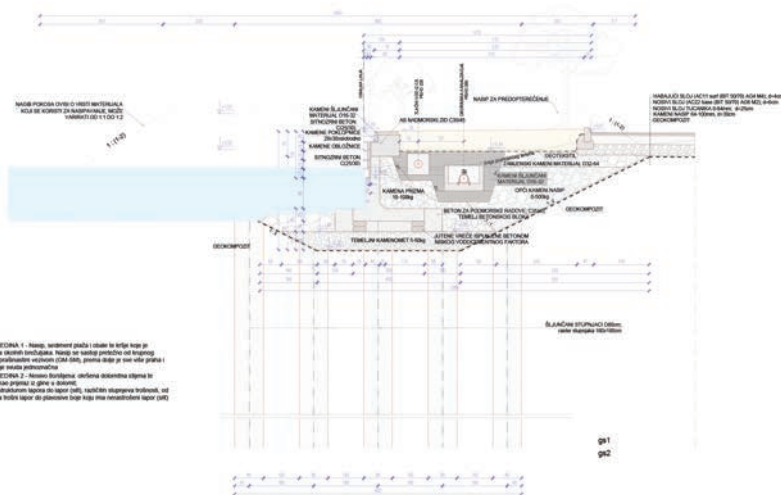
Konačni rezultati provedene analize i obračuna pokazali su to da je ugrađeno 22% više od geodetskim profilima obračunane količine materijala, odnosno da je ta količina materijala penetrirala u podtlo.

Preduvjeti toga da provedena metodologija rezultira točnim rezultatom jesu da je:

- prihvaćena i potvrđena nulta batimetrija
- u dovozu korišten isti tip kamiona
- tijekom dovoza u kamione utovarena ista količina materijala.

Druga metodologija koja se može primjenjivati jest ugradnja mjernih letvi koje služe kao reperi za količinu materijala koja je penetrirala u podtlo. Ako se količine dokazuju geodetski, preko repera, neophodno je da se oni ugrade na samome početku radova, da se usuglase obračunski profili te da se reperi zaštite od oštećivanja. Ta metodologija nije razmatrana jer je:

- izvođač postavio zahtjev nakon što je određena količina nasipa već bila



Karakteristični presjek obalnoga zida

ugrađena, što je otežavalo ugradnju repera kroz formirani nasip

- repera bilo teško zaštititi zbog kretanja mehanizacije po nasipu
- većina nasipa izvedena u moru, dok je dio nasipavan uz pokose obala, zbog čega bi bilo teško odrediti nultu poziciju repera.

Izvedba kopnenih objekata

Na obalnome dijelu marine izgrađeno je više manjih odvojenih objekata, projektno definiranih kao objekti 4, 5, 6, 7, 8 i 9, među kojima je, kako je ranije navedeno, najzahtjevniji objekt 7, odnosno vanjski bazen s ukopanom strojarnicom. Građevinska bruto površina navedenih objekata iznosi ukupno 660 m².

Kopneni objekti izgrađeni su na nasipnome platou koji je nastao nakon Domovinskog rata i na dodatnoj površini dobivenoj nasipavanjem i uređivanjem obalne linije. Površina zahvata bila je ograničena morem, postojećim vodotokom, koji je trebalo sačuvati, te lokalnom prometnicom.

Na lokaciji zatečeno je temeljno tlo slabih karakteristika, nepovoljno za klasično "plitko" temeljenje, a postavljen je zahtjev da udovolji visokim potresnim uvjetima lokacije. Zbog navedenih ograničenja temeljenje kopnenih objekata izvedeno je dubokim temeljenjem CFA pilotima.

S obzirom na uvjete lokacije te na činjenicu da su neki objekti morali biti ukopani u neposrednoj blizini mora i susjednih, prethodno izvedenih objekata, bilo je neophodno izvesti specifične radove na zaštiti građevinskih jama.

Temeljenje kopnenih objekata

Za temeljenje kopnenih objekata odabrana je metoda dubokoga temeljenja izvedbom CFA pilota promjera 40 cm kojima se u središte ugrađuje čelična cijev promjera 152,4 mm i debljina stjenke $t = 5$ mm (čelik oznake Fe 360). Piloti su ankerima, šipkama rebraste armature B500B, spregnuti s temeljima objekata u rasteru, koji je definiran opterećenjem pojedinih objekata. Za temeljenje kopnenih objekata izvedeno je 207 pilota du-



Pogled na kopnene objekte u marini

žina između 4 i 12 m. Piloti su izvedeni od dna temeljnih ploča do GS2. Razlozi odabira te metode jesu:

- tlo na lokaciji na kojoj se izvode piloti čine pretežno pijesci, prahovi i gline, rahle do zbijene
- razina mora je -1,0 m n.m., što je agresivna okolina za konstruktivne elemente objekata

- prisustvo podzemnih tokova
- dinamika građenja
- postizanje potrebne kvalitete i sigurnosti u zonama dubokoga temeljenja.

Za razliku od obalne konstrukcije gdje su se izvodili šljunčani stupnjaci i gdje se nekoliko mjeseci čekala konsolidacija, zahvaljujući odabranome načinu te-



Raspored CFA pilota ispod kopnenih objekata

meljenja, nije se čekalo na konsolidaciju postojećega tla i izbjegnuta je pojava naknadnoga, diferenciranog tonjenja građevina zbog nejednolikog slijevanja tla.

Geotehnički proračun CFA pilota

Piloti su analizirani kao piloti koji su upeti u temelje objekta i zglobno oslonjeni na laporovitu stijenu.

Proračun nosivosti pilota izveden je prema HRN EN 1997-1:2012/NA, dodatku L. Prema točki 2.1.11. citirane norme, za analizu odabran je Proračunski Pristup 2 (PP2 ⇒ A1 + M1 + R2) i seizmička proračunska situacija.

Proračunske vrijednosti materijala za analize graničnoga stanja nosivosti izvođe se iz karakterističnih vrijednosti uz primjenu parcijalnih koeficijenata prema tablici 1.

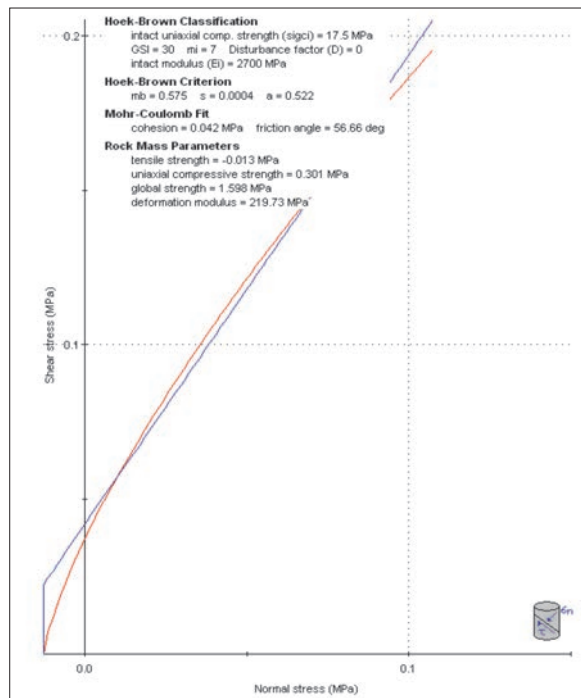
Prema HRN EN 1998-5:2011, pilote treba dimenzionirati na horizontalno kinematičko djelovanje okolnoga tla prilikom potresnog djelovanja, i to ako su ispunjeni uvjeti iz točke 5.4.2. (6): "Momenti savijanja koji nastaju zbog kinematičkog međudjelovanja moraju se računati samo ako istodobno postoje ovi uvjeti:

- profil temeljnog tla je tipa D, S1 ili S2 i sadrži slojeve vrlo različite krutosti;
- područje je srednje ili velike seizmičnosti, tj. umnožak $ag \times S$ veći je od 0,10 g, a konstrukcija koju temelji nose je razreda važnosti III ili IV."

S obzirom na to da su objekti u marini važnosti II. (standardne građevine), proračun za horizontalno kinematičko djelovanje okolnoga tla nije bio potreban.

Što se tiče likvefakcijskoga potencijala GS1, utvrđeno je da se u sastavu tla nalazi više od 65 – 70 % gline i praha, pa je pojava likvefakcije moguća samo u ograničenim lećama, što nema velikog utjecaja na temeljenje objekata.

Prema dodatku L.2 (HRN EN 1997-1:2012/NA), proračun otpornosti osnovice pilota u stijenskoj masi određuje se na temelju jednoosne tlačne čvrstoće površinske stijenske mase i kompaktnijih slojeva stijenske mase do kojih će se doći uklanjanjem površinskih slojeva prilikom bušenja. Parametri tla za geotehnički proračun određeni su programom RocLab (Rocscience, Kanada), a proračun je prikazan na slici gore i u tablici 2. Istim su programom odabrane i karakteristične vrijednosti parametara posmične čvrstoće prema Mohr-Coulombovu kriteriju. Prilikom bušenja CFA pilota postoji mo-



Proračun jednoosne tlačne čvrstoće stijenske mase za GS2

gućnost uklanjanja svih lošijih slojeva i betoniranja u kompaktnijim slojevima lapora. Planirano bušenje u lapore iznosi 30 – 50 cm. Prema opisu stijenske mase, lapori spadaju u meke stijene, čija se jednoosna tlačna čvrstoća kreće od 5 MPa do 25 MPa. Prema rezultatima mjerenja, donja granica jednoosne tlačne čvrstoće lapora sa sadržajem od 55 % do 60 % CaCO₃ iznosi od 8 MPa do 15 MPa.

Tablica 1. Parcijalni koeficijenti za PP2

Parametar	Koeficijent	PP2
Parcijalni koeficijenti opterećenja g_r		
Stalno nepovoljno djelovanje	g_G	1,35
Promjenjivo nepovoljno djelovanje	g_Q	1,5
Stalno povoljno djelovanje	g_G	1,0
Promjenjivo povoljno djelovanje	g_Q	0,0
Izvanredno (udesno) djelovanje	g_A	1,0
Parcijalni koeficijenti materijala g_m		
$\tan \phi'$	$g_{\tan \phi'}$	1,0
Efektivna kohezija c'	g_c	1,0
Jedinična težina tla g	g_g	1,0
Parcijalni koeficijenti za otpornost pilota g_R		
Osnovica	$g_b = 1,5$	1,2
Plašt	$g_s = 1,5$	1,2

Tablica 2. Parametri proračuna CFA pilota

Hoek Brown Classification	Hoek Brown Criterion	Failure Envelope Range
sigci → 17.5MPa GSI → 30 mi → 7 D → 0 Ei → 2700	mb → 0.575 0.0004 0.522	Application → Custom sig3max → 0.08MPa
Mohr-Coulomb Fit c → 0.042 MPa φ → 56.66 degrees		
Rock Mass Parameters sigt → 0.013 MPa sigc → 0.301 MPa sigcm → 1.598 MPa Erm → 219.73 MPa		

Za potrebe proračuna programom Roc-Lab usvojena je jednoosna tlačna čvrstoća stijenske mase $q_u = 300$ kPa.

Za proračun odabrane su sljedeće karakteristične vrijednosti flišne naslage (GS2), uz pretpostavku da je početak naslage rastrošen:

$$c_k = 30 \text{ kPa}$$

$$\varphi'_k = 40^\circ$$

$$\gamma_k = 21 \text{ kN/m}^3 \quad (\gamma'_k = 11 \text{ kN/m}^3)$$

U nastavku je prikazan konkretni proračun CFA pilota za površinom najveći objekt (broj 6 – restoran), koji je izveden na 46 pilota duljine 8,7 m.

Statički proračun CFA pilota

Proračun pojedinačnoga pilota za uzdužno opterećenje

Uobičajena proračunska kombinacija

$$N_{sd} = 172,72 \text{ kN}$$

$$V_{sd} = 2,7 \text{ kN}$$

$$M_{sd} = 4,80 \text{ kNm}$$

Projektna tlačna otpornost pilota (HRN EN 1997-1:2012/NA) $R_d = R_{b,d} + R_{s,d} - W$
 $R_d = R_{b,k}/(\gamma_b \gamma_R) + R_{s,k}/(\gamma_s \gamma_R) - W$

Karakteristična tlačna otpornost baze pilota $R_{b,k}$:
 $R_{b,k} = q_b \times A_b$

Karakteristična tlačna otpornost pilota po plaštu $R_{s,k}$:
 $R_{s,k} = \pi \times d \times L \times q_s$

Analitički izraz za otpornost pilota u stijenskoj masi (HRN EN 1997-1:2008/NA – dodatak L) jest
 $q_b = 2q_u \tan^2(45^\circ + \varphi'/2)$

gdje je:

q_u – jednoosna tlačna čvrstoća stijenske mase, prema preporukama iz literature koje su eksperimentalno provjerene i šire prihvaćene

q_s – određuje se prema tablici 3.

U slučaju da pilot stopom ulazi u krutu i čvrstu podlogu, njegova će se nosivost u najvećoj mjeri ostvariti otpornošću na stopi.

Karakteristična tlačna otpornost baze pilota $R_{b,k} = q_b \times A_b = 2q_u \tan^2(45^\circ + \varphi'/2) \times A$

gdje je:

$q_u = 300$ kPa (proračun jednoosne tlačne čvrstoće stijenske mase za GS2)

$$\varphi' = 40,00^\circ$$

$$q_b = 2759,35 \text{ kPa}$$

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \text{ (površina baze pilota)}$$

$$A = 0,1257 \text{ m}^2$$

$$R_{b,k} = 346,75 \text{ kN.}$$

Karakteristična tlačna otpornost pilota po plaštu $R_{s,k} = \pi \times d \times L \times q_s = \pi \times d \times L \times 0,2 \times q_u^{0,5}$

gdje je:

$$q_u = 300 \text{ kPa}$$

$$L_i = 0,30 \text{ m}$$

$$q_s = 3,46 \text{ kPa}$$

$$R_{b,s} = 1,31 \text{ kN.}$$

Projektno opterećenje pilota iznosi $Q_{sd} = 172,72$ kN.

Težina pilota iznosi $W = 8 \times 15 \times 0,1257 + 0,7 \times 25 \times 0,1257 = 17,28$ kN

Parcijalni koeficijenti:

$\gamma_b = 1,5$ (parcijalni koeficijent za otpornost baze pilota)

$\gamma_s = 1,5$ (parcijalni koeficijent za otpornost pilota po plaštu)

$\gamma_R = 1,2$ (parcijalni koeficijenti za otpornost pilota s kontinuiranim svrdlom).

Proračunska tlačna otpornost pilota iznosi $R_d = 176,08$ kN.

$R_d > Q_{sd}$ – Proračunska nosivost pilota veća je od proračunskoga opterećenja. Daljnji proračun horizontalno opterećenoga pilota proveden je programom GEO 5.

Seizmička proračunska kombinacija

$$N_{sd} = 121,23 \text{ kN}$$

$$V_{sd} = 5,31 \text{ kN}$$

$$M_{sd} = 15,94 \text{ kNm}$$

Projektna tlačna otpornost pilota (HRN EN 1997-1:2012/NA) $R_d = R_{b,d} + R_{s,d} - W$

$$R_d = R_{b,k}/(\gamma_b \gamma_R) + R_{s,k}/(\gamma_s \gamma_R) - W$$

$$R_{b,d} = 346,75 \text{ kN}$$

$$R_{s,d} = 1,31 \text{ kN}$$

$$W = 17,28 \text{ kN}$$

Projektno opterećenje pilota:

$$Q_{sd} = 121,23 \text{ kN.}$$

Parcijalni koeficijenti:

$\gamma_b = 1,5$ (parcijalni koeficijent za otpornost baze pilota)

$\gamma_s = 1,5$ (parcijalni koeficijent za otpornost pilota po plaštu)

$\gamma_R = 1,0$ (parcijalni koeficijenti za otpornost pilota s kontinuiranim svrdlom).

Proračunska tlačna otpornost pilota:

$$R_d = 213,9 \text{ kN.}$$

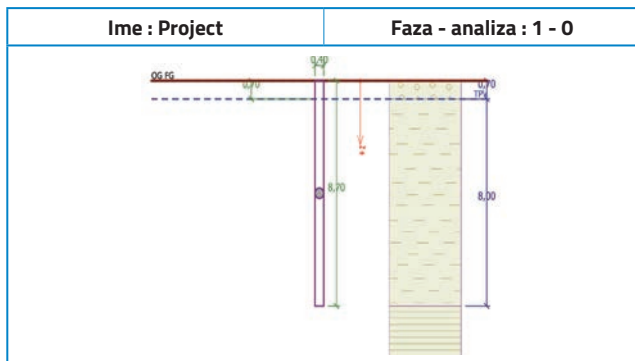
$R_d > Q_{sd}$ Proračunska nosivost pilota veća je od proračunskoga opterećenja.

Tablica 3. Vrijednost q_s

q_s [MPa]	Značajka stijenske mase (ovisno o RQD indeksu kvalitetne stijenske mase, eng. Rock quality designation)
$0,1q_u^{0,5}$	Izrazito meka stijena ($RQD \leq 25\%$)
$0,2q_u^{0,5}$	Meka stijena ($RQD < 25\%$)
$0,45q_u^{0,5}$	Srednje čvrsta stijena ($RQD = 25\% - 75\%$)
$0,7q_u^{0,5}$	Jako čvrsta stijena ($RQD > 75\%$)

Proračun pilota na horizontalno opterećenje

Proračun horizontalno opterećenoga pilota proveden je u programu GEO 5.



Materijali i standardi

Betonske konstrukcije: EN 1992-1-1 (EC2)
 Koeficijenti EN 1992-1-1: standard
 Čelične konstrukcije: EN 1993-1-1 (EC3)
 Parcijalni faktor na nosivost poprečnoga presjeka čelika: $\gamma_{M0} = 1,00$

Pilot

Analiza za drenirane uvjete: NAVFAC DM 7.2
 Krivulja slijeganja zbog opterećenja: linearan (Poulos)
 Horizontalna nosivost: elastično temeljno tlo (p-y metoda)
 Metodologije verifikacije: u skladu s EN 1997
 Projektni pristup: 2 – redukcija djelovanja i otpornosti

Parcijalni faktori djelovanja (A)		
Stalna proračunska situacija		
	Nepovoljan	Povoljan
Trajno djelovanje	$\gamma_G = 1,35 [-]$	$\gamma_G = 1,00 [-]$

Parcijalni faktori za otpornost (R)	
Stalna proračunska situacija	
Parcijalni faktor na osovini otpora	$\gamma_s = 1,20 [-]$
Parcijalni faktor na bazi otpora	$\gamma_b = 1,20 [-]$
Parcijalni faktor na otpornost u napetosti	$\gamma_{st} = 1,20 [-]$

Parcijalni faktori djelovanja (A)		
Seizmička proračunska situacija		
	Nepovoljan	Povoljan
Trajno djelovanje	$\gamma_G = 1,00 [-]$	$\gamma_G = 1,00 [-]$

Parcijalni faktori za otpornost (R)	
Seizmička proračunska situacija	
Parcijalni faktor na osovini otpora	$\gamma_s = 1,00 [-]$
Parcijalni faktor na bazi otpora	$\gamma_b = 1,00 [-]$
Parcijalni faktor na otpornost u napetosti	$\gamma_{st} = 1,00 [-]$

Parametri tla

Nasip od kamenih materijala

Jedinica težine: $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
 Poissonov koeficijent: $\nu = 0,20$
 Edometarski modul: $E_{\text{oed}} = 50,00 \text{ MPa}$
 Saturirana jedinica težine: $\gamma_{\text{sat}} = 20,00 \text{ kN/m}^3$
 Koeficijent: $k = 50,00 \text{ MN/m}^3$
 Kut disperzije: $\beta = 10,00^\circ$
 Trenje pilota: $\delta = 20,00^\circ$
 Koeficijent bočnoga napona: $K = 0,70$

Prahoviti pijesci, muljevi i gline

Jedinica težine: $\gamma = 17,50 \text{ kN/m}^3$
 Poissonov koeficijent: $\nu = 0,35$
 Edometarski modul: $E_{\text{oed}} = 1,00 \text{ MPa}$
 Saturirana jedinica težine: $\gamma_{\text{sat}} = 17,50 \text{ kN/m}^3$
 Koeficijent: $k = 1,00 \text{ MN/m}^3$
 Kut disperzije: $\beta = 6,00^\circ$
 Trenje pilota: $\delta = 15,00^\circ$
 Koeficijent bočnoga napona: $K = 0,75$

Lapori

Jedinica težine: $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Poissonov koeficijent: $\nu = 0,22$
 Edometarski modul: $E_{\text{oed}} = 80,00 \text{ MPa}$
 Saturirana jedinica težine: $\gamma_{\text{sat}} = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Koeficijent: $k = 150,00 \text{ MN/m}^3$
 Kut disperzije: $\beta = 10,00^\circ$
 Trenje pilota: $\delta = 20,00^\circ$
 Koeficijent bočnoga napona: $K = 0,70$

Geometrija

Profil pilota: kružni
 Dimenzije:
 - promjer: $d = 0,40 \text{ m}$
 - dužina: $l = 8,70 \text{ m}$

Izračunane karakteristike presjeka

- područje: $A = 1,26E-01 \text{ m}^2$
 - moment inercije: $I = 1,26E-03 \text{ m}^4$

Lokacija

- visina od prizemlja: $h = 0,00 \text{ m}$
 - dubina do površine terena: $h_z = 0,00 \text{ m}$
 Modul podzemne reakcije pretpostavlja se kao linearan.

Materijal konstrukcije

- jedinica težine: $\gamma = 24,50 \text{ kN/m}^3$
 Analize betonske konstrukcije provedene su u skladu sa standardom EN 1992-1-1 (EC2).

Beton: C 35/45

- karakteristična tlačna čvrstoća (valjak): $f_{ck} = 35,00 \text{ MPa}$
 - vlačna čvrstoća: $f_{ctm} = 3,20 \text{ MPa}$
 - moduli elastičnosti: $E_{cm} = 34000,00 \text{ MPa}$
 - modul smicanja: $G = 14167,00 \text{ MPa}$

Uzdužna armatura: S 235

- karakteristična granica popuštanja: $f_{yk} = 360,00 \text{ MPa}$

Opterećenje

Br.	Opterećenje		Ime	Tip	N [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	H_x [kN]	H_y [kN]
	novo	promjena							
1	Da		Load No. 1	Dizajn	172,72	0,00	4,80	2,70	0,00

Kontrola br. 1 (faza konstrukcije 1)

Maksimalne unutarnje sile i deformacije:

- pomak glave pilota: $- 4,6 \text{ mm}$
 - max. pomak pilota: $4,6 \text{ mm}$
 - max. poprečna sila: $2,70 \text{ kN}$
 - max. moment: $4,80 \text{ kNm}$

Provjera presjeka na savijanje i kompresiju:

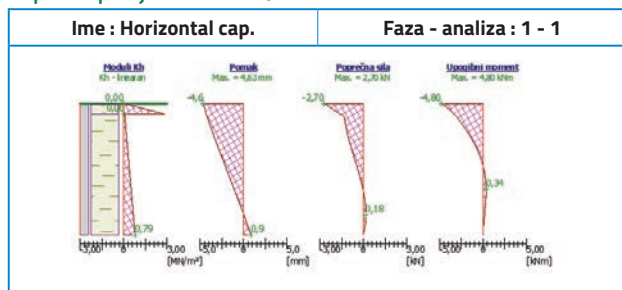
- opterećenje: $N_{Ed} = -172,72 \text{ kN}$ (kompresija); $M_{Ed} = 4,80 \text{ kNm}$
 - nosivost: $N_{Rd} = -3265,63 \text{ kN}$; $M_{Rd} = 90,75 \text{ kNm}$

Dizajnirana armatura pilota ZADOVALJAVAJUĆA

Kontrola poprečnoga presjeka na posmik:

- konačna sila smicanja: $V_{Rd} = 107,97 \text{ kN} > 2,70 \text{ kN} = V_{Ed}$

Poprečni presjek ZADOVOLJAVA.



Opterećenje

Br.	Opterećenje		Ime	Tip	N [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	H _x [kN]	H _y [kN]
	novo	promjena							
1	Ne	Ne	Load No. 1	Dizajn	172,72	0,00	4,80	2,70	0,00
2	Da		Load No. 2	Dizajn	121,23	15,94	15,94	5,31	5,31

Postavke faze konstrukcije

Proračunska situacija: seizmično

Metodologije verifikacije: bez smanjenja parametara tla

Kontrola br. 1 (faza konstrukcije 2.)

Ulazni podaci za izračun horizontalalne nosivosti pilota

- Analiza je provedena automatskim izborom najnepovoljnijega slučaja opterećenja.
- Horizontalna nosivost provjerena je u smjeru maksimalnoga utjecaja opterećenja.

Maksimalne unutarnje sile i deformacije:

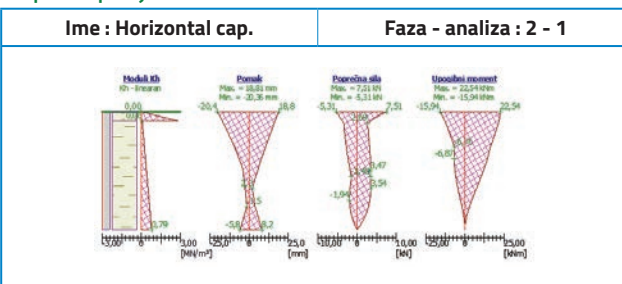
- Max. pomak pilota: 20,4 mm
- Max. poprečna sila: 7,51 kN
- Maksimalan moment: 22,54 kNm

Dizajnirana armatura pilota ZADOVOLJAVAJUĆA

Kontrola poprečnog presjeka na posmik:

Konačna sila smicanja: $V_{Rd} = 100,25 \text{ kN} > 7,51 \text{ kN} = V_{Ed}$

Poprečni presjek ZADOVOLJAVA.



Otpornost pilota promatranoga kao spregnutoga s temeljom pločom

Projektiranje spregnutih čelično-betonskih konstrukcija prema HRN EN 1994-1-1: 2012, Eurokod 4

Karakteristike čeličnoga profila

- Modul elastičnosti čelika: $E_s = 210 \text{ GPa}$
- Granica popuštanja čelika: $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$
- Površina poprečnoga presjeka: $A = 23,15 \text{ cm}^2$
- Moment tromosti cijevi: $D = 152,4 \text{ mm}; I = 629,54 \text{ cm}^4$
- Moment otpora: $W = 90 \text{ cm}^3; W_{pl} = 109,00 \text{ cm}^3$
- Radius inercije: $i = 5,21 \text{ cm}$
- Promjer cijevi: $D = 15,24 \text{ cm}$
- Debljina stijenke: $t = 0,5 \text{ cm}$
- Poprečni presjek klase I.

Karakteristike pilota

Modul elastičnosti betona $E_b = 33,5 \text{ GPa}$

$I_p = D^4 \times \pi / 64 = 0,001257 \text{ m}^4$

$I_c = D^4 \times \pi / 64 - I_s = 0,001250 \text{ m}^4$

$EI = E_c I_c + E_s I_s = 43,20848 \text{ MNm}^2$

$N_{cr} = \pi^2 EI / L_e^2$

$k = L_e / r = 87$ potreban je proračun na deformiranome sustavu

$r = (I/A)^{0,5} = 0,1 \text{ m}$

$A = D^2 \times \pi / 4 = 0,125664 \text{ m}^2$

Proračunska vrijednost proračunske krutosti:

$EI_{c,eff} = k_o (k_{c,II} E_{cm} I_c + E_a I_a) = 20,03873115 \text{ MNm}^2$

$k_o = 0,9$

$k_{c,II} = 0,5$

Učinci drugoga reda u sklopu duljine elementa:

$k = \beta / 1 N_{sd} / N_{cr,eff}$

$\beta = 1$

$N_{cr,eff} = \pi^2 EI_{c,eff} / L_e^2$

Grupa pilota	Visina pilota [m]	Komb.	Opterećenje		M _{sd}	
			N _{sd} [kN]	M _{sd} [kNm]	k	M _{sd,rac} [kNm]
O6	8,7	Uobičajena	167,2	4,8	1,068	5,13
		Potresna	121,2	15,9	1,049	16,72

Doprinos zaštitnoga sloja betona neće se uzeti u obzir zbog slabijega prijanjanja betona uz glatku čeličnu cijev prilikom savijanja. Minimalna debljina zaštitnoga sloja CFA pilota iznosi 10 cm. Zato se pilot promatra kao čelični stup ispunjen betonom.

$N_{pl,Rd} = 1 \cdot f_{cd} \cdot A_{acc} + f_{yd} + A_a = 848,86 \text{ [kN]}$

Otpornost pilota na savijanje za potpuno obloženi ispunjeni čelični stup:

$M_{pl,Rd} = A_{acc} \cdot f_{cd} / \gamma_b \cdot z_n + W_{pl} \cdot f_y / \gamma_{mo} = 6736,95 \text{ [kNm]}$

Momenti savijanja na pilotima znatno su manji od otpornih momenata koje može primiti čelični stup ispunjen betonom.

Posmična otpornost čeličnoga profila (u obzir uzet samo čelični profil – pojednostavljeno):

$V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_y / 3^{1/2} \cdot 1 / \gamma_{Mo} = 285,54 \text{ [kN]}$

$Med / M_{pl}, N_{pl,Rd} < 0,9$

Element naprezan savijanjem i tlačnom silom zadovoljava tražene uvjete.

Izvedba CFA pilota

CFA piloti dobro su tehničko rješenje pri temeljenju do 25 m dubine zbog povoljne cijene, kvalitete, brzine izvedbe i dodatne komparativne prednosti kod izvođenja radova u blizini mora jer ne treba provoditi zacjvljenje ili koristiti isplake za održavanje stabilnosti stijenke bušotine. Stabilnost bušotine i sigurnost od urušavanja održava beskonačna spirala kojom se izvodi bušenje. Faze izvođenja radova jesu:

- priprema bušenja
- bušenje do postizanja projektirane dubine
- podizanje odnosno vađenje spirale uz istodobno ispunjavanje bušotine betonom
- ugradnja čelične cijevi
- ugradnja armaturnoga koša.

Kako bi se u prvome koraku osigurala stabilnost bušotine, kod izvođenja CFA pilota ključna je faza ugradnja betona kada se spirala uz minimalnu rotaciju ili bez rotacije podiže kontroliranom brzinom, a bušotina se istodobno ispunjavasi-tnoznim betonom žitke konzistencije. Prije ugradnje betona nije dopušteno izvlačiti spirale više od 15 cm jer bi došlo do relaksacije tla i smanjenja nosivosti pilota na vrhu, a istodobno bi postojala

opasnost od urušavanja bušotine te miješanja tla i betona. Spirala se izvlači konstantnom brzinom koja se određuje ovisno o kapacitetu pumpe za beton.

Pritisak ugradnje betona na dnu spirale treba biti najmanje jednak efektivnome vertikalnom naprezanju u tlu.

Projektom dopušteno odstupanje od vertikalnosti iznosi 4 % pa se tijekom bušenja pilota i ugradnje čelične cijevi kontinuirano kontrolirala vertikalnost spirale i cijevi.

Po završetku betoniranja čelična je cijev vibracijom ugrađena u svježi beton. Prilikom ugradnje čelične su cijevi često zapinjale o stijenu bušotine. Na pojedinim pozicijama cijevi bi zapele o odlomljeni kamen/stijenu u bušotini, što je prouzročilo ugradnju čelične cijevi na manju dubinu. Na takvim je pozicijama uz obveznu provjeru i odobrenje projektanta da realizirana skraćena cijev zadovoljava statički model.

Kako bi se olakšala ugradnja, cijevi su zaštićene od Sunčeva zagrijavanja te su neposredno prije ugradnje dodatno hladjene vodom.

Kod izvedbe svih pilota, pa tako i CFA pilota, očekivana je povećana potrošnja betona u odnosu na idealni projektirani profil zbog gubitaka prilikom ugradnje koji su posljedica sastava temeljnoga tla. Projektirani promjer iznosio je 40 cm. Na temelju

protokola o izvedbi i evidencije utrošena- ga betona utvrđeno je da su u prosjeku izgrađeni piloti promjera od 51 cm. Izvođač je prije radova dostavio metodologiju s planom kontrole kvalitete u kojemu je predvidio povećanje potrošnje betona [4]. U toj je dokumentaciji, među ostalim, navedeno to da je na temelju iskustvenih pokazatelja utrošena količina betona u odnosu na idealnu geometriju pilota veća od 20 % do 30 %, dok u ekstremnim slučajevima može ići do 50 %.

Iskustva prilikom bušenja i potrošnje betona te prethodno definirani ukalkulirani povećani utrošci betona bili su osnovni pokazatelj pri obradi zahtjeva za priznavanje povećanih količina ugrađenoga betona.

Zaštita građevinskih jama pri gradnji objekata

Građevinska jama strojarne bazena

Objekt 7, podzemna strojarica bazena, smještena je u nastavku objekta 6 i bazena. Strojarica bazena sastoji se od stubišta, filterskoga postrojenja s pumpama, kompenzacijskoga bazena i okana. Tlocrtna površina strojarice je 49,2 m² i smještena je na minus 5,7 m n.m.

Građevinska jama strojarne bazena dimenzija 12,65 x 9 m zaštićena je uz pomoć čeličnih talpi. Zaštita građevinske



Bušenje CFA pilota



Izvedeni CFA piloti na poziciji temeljnih ploča



Izvedena zaštita građevinske jame na poziciji strojarnice bazena



Iskop unutar zaštite građevinske jame



Stanje CFA pilota tijekom kopanja unutar građevinske jame

jame uz pomoć čeličnih talpi odabrana je iz sljedećih razloga:

- na poziciji strojarnice temeljno tlo čine nasip od kršja, pijesci, prahovi i gline, odnosno tla pogodna za pobijanje talpi
- razina podzemne vode nalazi se na -1 m n.m.
- dubina iskopa unutar jame je na -6 m n.m.
- strojarnica bazena smješšana je uz postojeći potok koji prema projektnome rješenju omeđuje AB zidić temeljen na CFA pilotu.

Sve navedeno upozoravalo je na skućeni prostor unutar kojeg je trebalo izvesti zaštitu jame i objekta.

Proračunom su određene čelične talpe tipa VL 604 duljine 10,5 m koje su pobija-

ne s kote +0,5 m do kote -9,5 m. Strojarnica bazena temeljena je na CFA pilotima koji su izvedeni prije izvedbe talpi. Strojarnica bazena izvodila se u više faza:

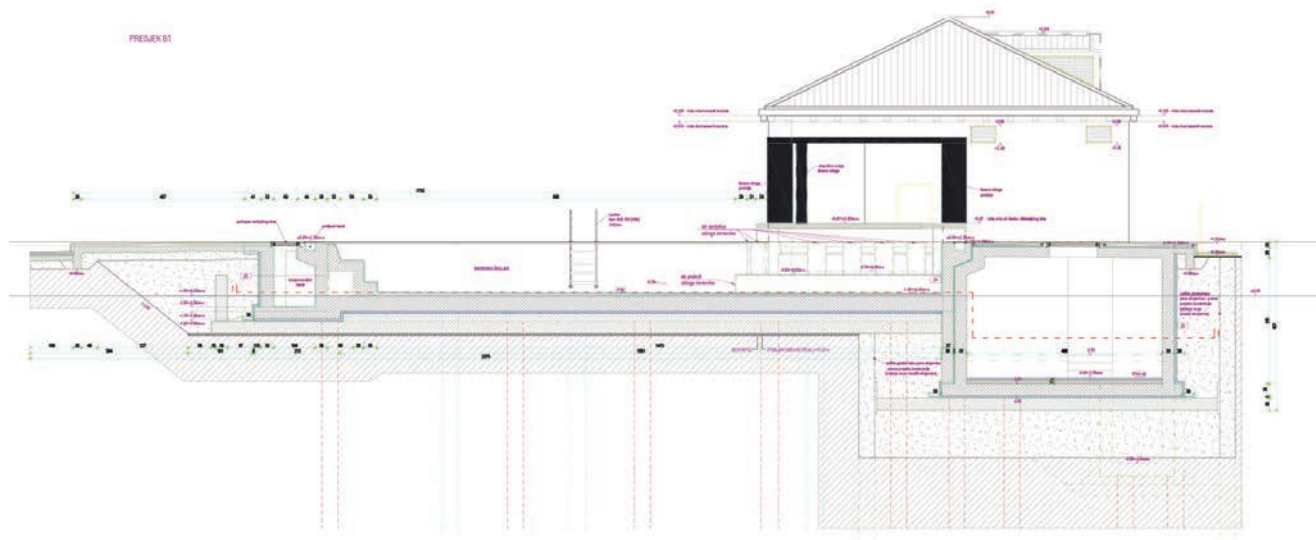
- izvedba talpi
- iskop građevinske jame
- sanacija CFA pilota
- postavljanje geokompozita na kontaktu sa zatečenim tлом
- izrada zamjenskoga sloja tla od kamenoga materijala
- izrada i postavljanje predgotovljenih armiranobetonskih okana
- izrada izravnavajućega sloja od podložnoga betona
- izrada AB konstrukcije strojarnice bazena
- zasipanje prostora između talpi i izvedenih zidova strojarnice
- vađenje talpi.



Stanje nakon sanacije CFA pilota i nakon postavljanja dubljega AB predgotovljenoga šahta

Građevinska jama bazena

Na strojarnicu bazena nastavlja se vanjski bazen. Izgradnja bazena pristupilo se nakon što je izgrađena strojarnica bazena. Strojarnica bazena i bazen spojeni su



Presjek vanjskoga bazena i strojarnice bazena



Izvedena zaštita bazena



Izvedena konstrukcija vanjskoga bazena

instalacijskim kanalom koji je spojen s kompenzacijskim bazenom u strojarnici. U vanjskome zidu strojarnice, na mjestu spoja ostavljen je otvor po čijemu su obodu postavljene vodene brtve, čime je osiguran vodonepropustan spoj. Bazen je površine 129,8 m² i dubine 1,30 m, a čini ga armiranobetonska konstrukcija koja se sastoji od temeljne ploče i zidova oslonjenih na CFA pilote. S obzirom na to da je bazen u neposrednoj blizini mora, da su kote temeljenja -0,65 m n.m. i da je riječ o velikoj površini, radove u suhome nije bilo moguće izvesti bez dodatnih zahvata.

Zaštita građevinske jame vanjskoga bazena, kojom su smanjeni dotoci mora i osigurani uvjeti za izvedbu AB školjke bazena,

izvedena je betonskom pločom debljine 30 cm i obodnim vertikalnim AB zidovima debljine 30 cm. Bazen se izvodio u sedam faza:

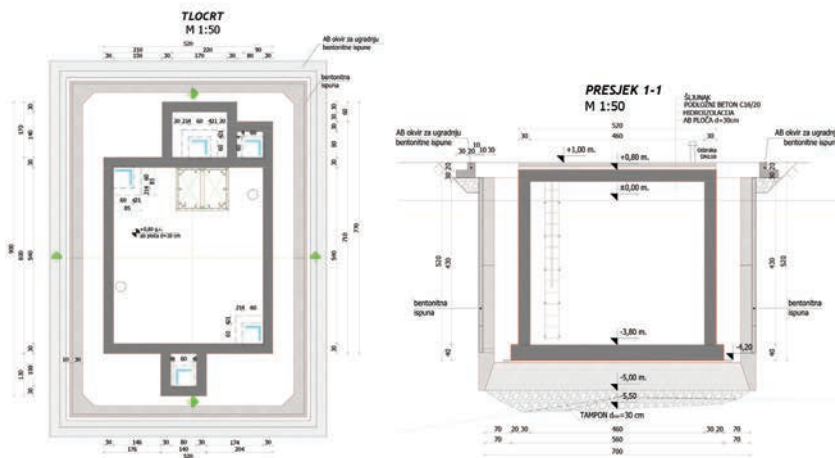
- iskop na projektiranu kotu
- postavljanje geokompozita i izvedba tucanika
- izvedba betonske ploče od kote -0,95 m n.m. do kote -0,65 m n.m.
- kontraktorsko betoniranje zaštitne ploče iz dvaju dijelova uz ugradnju brtvi na prekidima betoniranja (prilikom betoniranja u ploči su ostavljena dva otvora dimenzija 60 x 60 x 50 cm preko kojih se razina vode održava na kotama nižima od gornje razine ploče)
- izgradnja zaštitnih obodnih zidova
- nakon što je jama zaštićena, pristupilo se izvedbi AB konstrukcije bazena

- zatrpavanje prostora između AB konstrukcije bazena i zaštitnih zidova.

Građevinska jama crpne stanice Osojnik

Crpna stanica Osojnik smještena je na sjeveroistočnome dijelu kopnenoga dijela marine. Sa sjeverne strane omeđena je cestom, a s istočne strane potokom. Crpna je stanica ukopana AB konstrukcija koja se sastoji od crpnoga bazena, zausunske komore i spojnih okana. Zbog osobitosti ograničenja lokacije kao zaštita građevinske jame crpne stanice (CS) korišten je keson/bunar. Taj tip zaštite odabran je zato što se:

- kopa kroz mekše slojeve tla, nasip je od kršja, pijesak, prahove i glinu, a



Tlocrt i poprečni presjek crpne stanice i zaštitne građevine crpne stanice

to je pogodno tlo za iskop bagerom i grajferom

- razina podzemne vode nalazi -1,0 m n.m. ispod površine terena
- na lokaciji postoje podzemni tokovi
- u blizini nalazi lokalna prometnica koja je trebala biti u funkciji tijekom izrade crpne stanice
- u blizini nalaze stjenovita padina (od ruba kolnika prometnice) i postoji mogućnost odrona krupnijega kamena tijekom geološke prošlosti koji bi mogli ometati izvedbu zaštite građevinske jame.

Sam keson/bunar izveden je kao armiranobetonski, otvoreni pravokutni sanduk, čiji su zidovi debljine 25 cm

(kraće stranice) i 30 cm (dulje stranice), tlocrtnih dimenzija 10,3 x 7,3 m i visine 5,6 m. Keson/bunar izgrađen je u tri faze:

- izgradnja kesona/bunara do visine od 3,29 m s potapanjem
- izgradnja kesona/bunara do visine od 3,89 m s potapanjem
- izgradnja masivne podne ploče i osiguranje uvjeta za izvedbu crpne stanice.

I. faza

Gotovo s čitave površine platoa na kojemu je pozicionirana crpna stanica skinuti su humus i postojeća vegetacija.

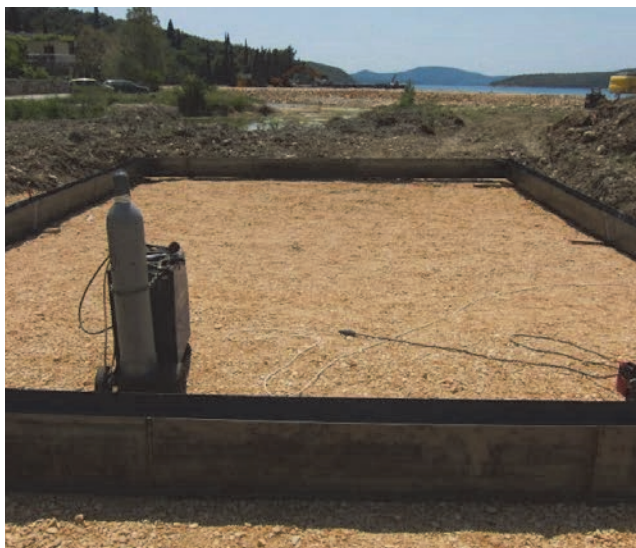
Na mjestu crpne stanice iskopan je široki iskop od $d = 80$ cm, koji je zatim nasut tamponom u debljini od 40 cm kao podloga za izgradnju armirano-betonske zaštitne građevine. Početni dio zaštitne građevine izgrađen je sa zakošenim stijenkama koje su obložene čeličnim limom debljine 3 mm koje imaju funkciju noža za lakše prodiranje.

Prva faza podrazumijevala je izvedbu AB konstrukcije kesona/bunara do visine od 3,29 m. Nakon što je beton postigao 75-postonu čvrstoću izrađen je sigurnosni nasip tamponom oko kesona/bunara do kote +1,50 m. Sigurnosni nasip izgrađen je zbog izbjegavanja krivljenja prilikom kopanja te kako bi se omogućio pristup stroja građevinskoj jami. Oko stijenki zaštitne građevine s vanjske strane izgrađen je obodni zid poprečnoga presjeka "L", visine 50 cm i na udaljenosti 20 cm od zidova zaštitne građevine.

U prostor između tla i zida tijekom iskopa ugrađivala se bentonitna glina kako bi se smanjilo trenje između tla i stijenke kesona/bunara.

II. faza

Nakon što je I. dio kesona/bunara ukopan, na njega je nadograđen II. dio visine 2,31 m (do visinske kote od 3,89 m n.m.). Kopanje je izvedeno kao i kod prve faze, uz spuštanje kesona/bunara nakon što je očvrstnuo beton konstrukcije.



Izvedba čeličnoga noža



Izvedba AB zidova drugoga takta



Iskop za potapanje II. faze



Keson/bunar potopljeni na projektiranu kotu

III. faza

Nakon što je keson/bunar spušten na planiranu kotu, unutar građevinske jame pristupilo se iskopu temeljnoga tla u dubini od 30 do -60 cm zbog zamjene kamenim materijalom. Preko sloja kamenoga materijala betonirana je masivna ploča debljine 0,74 m sistemom kontraktora.

Gornje površine ploče zaravnali su roniaci. Prilikom zaravnavanja gornje površine izvedeno je upušteno okno u ploči dimenzija 60 x 60 x 50 cm iz kojeg se crpila voda prilikom izrade crpne stanice.

Nakon što je razina vode spuštena na razinu ispod gornjega ruba betonske ploče, izvedeno je konačno zaravnanje betonske ploče i s te je kote započela izgradnja crpne stanice.

Prostor između crpne stanice i armiranobetonske zaštitne građevine zasut je kamenom sitneži nakon što je crpna stanica završena i nakon što su završena ispitivanja.

Ista tehnologija i princip korišteni su za osiguranje građevinske jame za ugradnju predgotovljene crpne stanice za oborinske vode Marina.

Zaključak

U članku je dan pregled tehničkih rješenja kojima su postignuti uvjeti za izgradnju obalne konstrukcije i kopnenih objekata marine u Slanom. Specifičnosti lokacije koju su definirali temeljno tlo slabih karakteristika i vremensko-financijska komponenta utjecale su na odabir tehničkih rješenja, od poboljšanja karakteristika temeljnoga tla preko temeljenja do zaštite građevinskih jama.

Šljunčani piloti učinkovita su metoda kojom se poboljšavaju karakteristike temeljnoga tla. Njihova je mana dulji period čekanja dok se ne ostvari konsolidacija tla iz nedreniranih u drenirane uvjete.

Zamjena temeljnoga tla kao opcija nije razmatrana zbog opsega radova i činjenice da je najveći dio radova izveden u moru. Iako u primjeni imaju velike prednosti poput kvalitete, brzine izvedbe i cijene, CFA piloti se u Hrvatskoj relativno rijetko koriste kod zahtjeva za temeljenjem do dubine od 25 m u okruženju mora. Treba napomenuti da ne zahtijevaju zacjeljenje zbog osiguranja stabilnosti bušotine.

Zaštita građevinske jame strojarne talpama primijenjena je zbog dubine na kojoj se objekt izvodio i činjenice da je

tlo omogućavalo pobijanje talpi te iskop unutar izvedene zaštite.

Talpe kao rješenje za štite građevinskih jama za crpne stanice nije razmatrano jer su lokacije crpnih stanica ograničavale pristup mehanizaciji za pobijanje talpi te jer se u blizini nalazi stjenovita padina koja je ostavljala mogućnost pojave kamenih žila kroz koje se ne bi mogle probiti.

Od ukupnog obuhvata zahvata od 66.808 m² na kopneni dio otpada 10.652 m², od čega 660 m² čini površina kopnenih objekata, čija je izgradnja zahtijevala primjenu različitih tehnologija uz specifična opravdanja.

Izvori:

- [1] Izvještaja o provedenim geotehničkim istražnim radovima na lokaciji marine Slano, (Apsida Inženjering d.o.o., Dubrovnik br. G14/14 i Izvještaja o ispitivanju (INSTITUT IGH d.d., Zavod za materijale i konstrukcije, Geotehnički laboratorij, Zagreb) br. 2130-066/13
- [2] <http://seizkarta.gfz.hr/karta.php>
- [3] Josip Prcela, dipl. ing. građ., STRABAG Hidroinženjering d.o.o. Split, Projekt konstrukcije objekata na kopnu br.666/2018 iz studenog 2015.
- [4] Vlado Hudoletnjak, dipl. ing. građ., GK Grupa d.o.o. Varaždin, Tehnološki elaborat izvedbe CFA pilota br. VH-54/15 travanj 2015.