

Drago OCEPEK

univ.dipl.inž.geol., GZL-Geoinženiring d.o.o.

Geza VOGRINČIČ

doc.dr.univ.dipl.gradb.inž., Univerza v Ljubljani, FMF, Oddelek za metamatiko in mehaniko

**GEOTEHNIČNE RAZISKAVE, PROJEKTIRANJE IN
IZVEDBA NATEZNIH UVRTANIH KOLOV
VEČNAMENSKE OBALE V BAZENU III - LUKA KOPER**

POVZETEK:

V prispevku podajamo rezultate geotehničnih preiskav, ki smo jih izvedli pred projektiranjem uvrtnih nateznih kolov obalne konstrukcije.

**GEOTECHNICAL INVESTIGATIONS DESIGNING AND EXECUTION
OF DRILLED TENSION PILES FOR MULTIPURPOSE MARINE
STRUCTURES IN BASIN III - LUKA KOPER**

SUMMARY:

This paper presents the results of the geotechnical investigations which were applied for designing drilled tension piles of marin structures.

UVOD

Luka Koper je pri GZL-Geoinženiring naročila podrobne terenske sondažne in laboratorijske preiskave za ugotovitev pogojev vpetja pilotov večnamenske obale v bazenu III.

Projektant VGI- Ljubljana nam je posredoval potrebne podatke: natezne in tlačne obremenitve ter predvidene dimenzije pilotov.

Na podlagi zbranih rezultatov geotehničnih preiskav, ki jih podajamo v nadaljevanju prispevka, je bil narejen izračun vpetja uvrtnih kolov v hribino. Po izdelavi projekta obale je kmalu sledila izvedba (Primorje s podizvajalcem GRADIS in Geoprojekt).

TERENSKE SONDAŽNE RAZISKAVE

Za določitev pogojev vpetja pilotov je bila dodatno izvedena sondažna geomehanska vrtina P-8, globine 43,0 m. Od tega je bilo 7,5 m vrtano v hribino rotacijsko z vodo in dvojnostenim jedrnikom. S takim načinom vrtanja so se ohranili kompaktni kosi jedra, ki smo jih detajlno inženirsko geološko-geotehnično popisali in hkrati odvzeli vzorce za laboratorijske preiskave. Izvedli smo meritve razpok (naklon, hrapavost površin), dolžine kosov jedra (RQD) ocenili stopnje preperelosti (1) in ločili posamezne litološke člene v hribini, ki jih podajamo v preglednici 1.

Preglednica 1. Popis hribinskega dela vrtine

Globina (m)	Litološka zgradba	Stopnja preperelosti	Stanje razpok	RQD (%)
33,8-34,4	modrikastosiv lapor	močno preperel	gladke rahlo valovite	O - kosi do 8 cm
34,4-35,4	siv lapor s polami peščenjaka	delno preperel	rahlo hrapave rahlo valovite	O - kosi do 8 cm
35,4-36,5	rjavkastosiv peščenjak	delno preperel	rahlo hrapave stopničaste	O - kosi 2-3 cm
36,5-37,65	siv lapor	delno preperel	rahlo hrapave do gladke, rahlo valovite	O - kosi do 7 cm
37,65-38,0	svetlosiv kalkarenit	kompakten	rahlo hrapave do hrapave, kalcitne polnitve	42
38,0-38,6	svetlosiv lapor	kompakten	rahlo hrapave rahlo valovite	36
38,6-41,4	siv do svetlosiv kalkarenit	kompakten	hrapave kalcitne polnitve	O - kosi do 8 cm
41,4-43,0	siv lapor s polami peščenjaka	kompakten	rahlo hrapave rahlo valovite	O - kosi do 5 cm

V preglednici 2 podajamo odstotni delež posameznih litoloških členov:

Preglednica 2. Odstotni delež litoloških členov

Debelina sloja (m)	Litološka zgradba	Delež (%)
4,35	lapor s polami peščenjaka	50,6
1,10	peščenjak	12,8
3,15	kalkarenit	36,6

LABORATORIJSKE PREISKAVE

V laboratoriju za mehaniko tal IGGG smo preiskali dva vzorca preperele in dva vzorca kompaktne hribine.

V prepereli hribini smo izmerili naslednje fizikalne parametre:

naravno vlago $w = 17.3\%$, mejo židkosti $w_L = 71.7\%$ in mejo plastičnosti $w_p = 20.2\%$, naravno $\gamma = 21.1 \text{ kN/m}^3$ in suho prostorninsko težo $\gamma_d = 18.0 \text{ kN/m}^3$, strižne karakteristike $c = 0$, $\varphi = 33.5^\circ$.

V kompaktni hribini pa smo izmerili naslednje fizikalne parametre:

naravno vlago $w = 18.5\%$, naravno $\gamma = 20.7 \text{ kN/m}^3$ in suho prostorninsko težo $\gamma_d = 17.7 \text{ kN/m}^3$.

Enoosno tlačno trdnost smo določili v enoosnem aparatu, in sicer na enem vzorcu preperelega laporja s polami peščenjaka in dvema vzorcema kompaktnega kalkarenita.

Preperel lapor s polami peščenjaka (povprečna globina 35,9 m) ima enoosno tlačno trdnost $q_u = 0,562 \text{ MPa}$.

Kompakten kalkarenit (iz povprečne globine 37,8 m) ima enoosno tlačno trdnost $q_u = 59,468 \text{ MPa}$ in naravno prostorninsko težo $\gamma = 26,36 \text{ kN/m}^3$. Vzorec iz kompaktnega kalkarenita (iz povprečne globine 38,0 m) pa ima enoosno tlačno trdnost $q_u = 44,062 \text{ MPa}$ in naravno prostorninsko težo $\gamma = 26,43 \text{ kN/m}^3$.

Strižna trdnost τ

Strižno preiskavo smo izvedli v Casagrandejevem direktnem strižnem aparatu. Z obremenjevanjem pri štirih različnih normalnih tlačnih napetostih, smo določili kohezijsko trdnost c in strižni kot φ . Preiskavo smo izvedli na enem delno porušenem, preplavljenem in konsolidiranem vzorcu preperelega laporja iz povprečne globine 34,7 m, ki je bil klasificiran kot pusta glina CI poltrdne konsistence. Strižna premica $\tau = c + \sigma \tan \varphi$, potekajoča skozi točke pri normalnih napetostih $\sigma = 125 \text{ kPa}$ in $\sigma = 250 \text{ kPa}$ določa $\varphi = 33,5^\circ$ in $c = 0 \text{ kPa}$.

MODIFICIRAN HOEKOV & BROWNOV PORUŠITVENI KRITERIJ

Porušitveni kriterij (Hoek et all. 1992) smo uporabili za določitev strižnih karakteristik preperelega laporja s polami peščenjaka in kompaktnega kalkarenita. Ta uporablja za vhodne parametre enoosno tlačno trdnost intaktnih kosov hribine, sestavo, strukturo (velikost blokov) in stopnjo preperelosti ter največjo glavno napetost pri porušitvi. Sestava, struktura (velikost blokov) in stopnja preperelosti (2) so bile določene pri detajlnem inženirsko-geološko-geotehničnem popisu hribinskega dela jedra vrtine P-8. Enoosna tlačna trdnost pa je bila določena trem intaktnim kosom hribine. S pomočjo računalniškega programa pripravljenega na GZL smo na podlagi dobljenih parametrov izvrednotili naslednje rezultate:

- zmerno preperel lapor s polami peščenjaka (globina 35,9 m):
 $c = 44 - 56 \text{ kPa}$ $\varphi = 10^\circ - 12^\circ$
- kompakten kalkarenit (globina 37,80-38,0 m):
 $c = 39 \text{ kPa}$ $\varphi = 75^\circ$
- krivuljo maksimalne in minimalne efektivne napetosti ob porušitvi in krivuljo strižne trdnosti prikazujemo na sliki 1

IZRAČUN VPETJA PILOTOV V HRIBINO

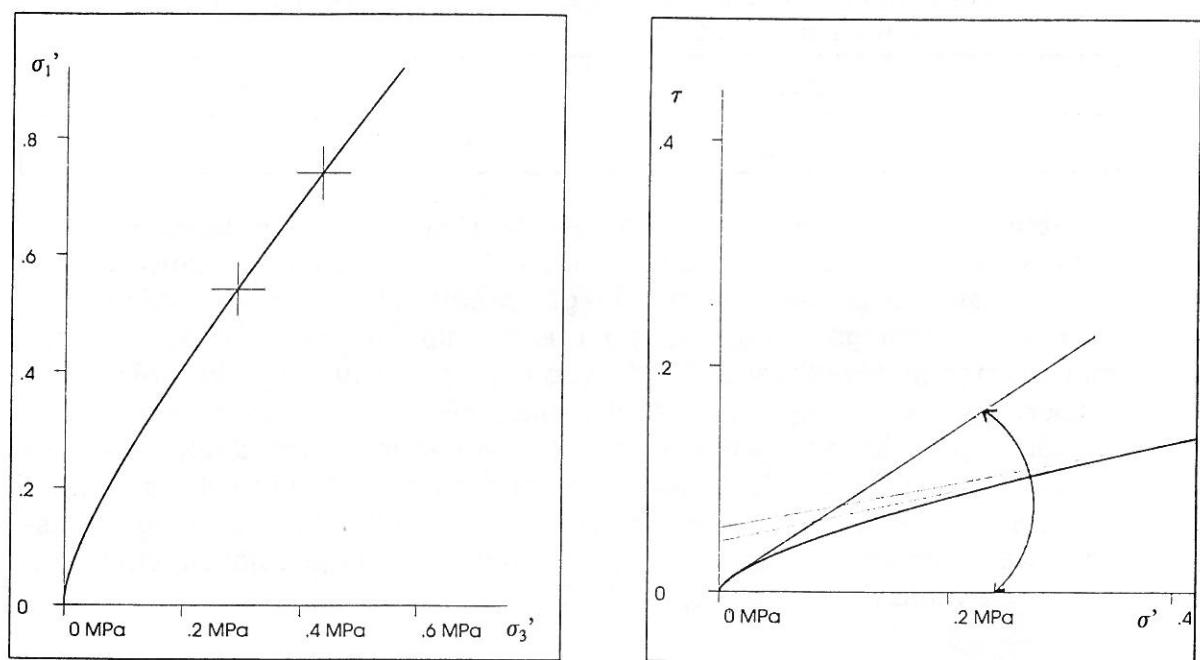
Izračun potrebnega vpetja pilotov v hribino (globino sidranja za prevzem natezne sile) smo izvrednotili po enačbi za izračun veznih delov sider v hribini (4). Projektant nam je posredoval predvidene dimenzije kolov ($\phi 750 \text{ mm}$) in natezno silo ($P_{nat.} = 1000 \text{ kN}$)

$$l_v = \frac{P_{max}}{\tau \cdot 2\pi r_o}$$

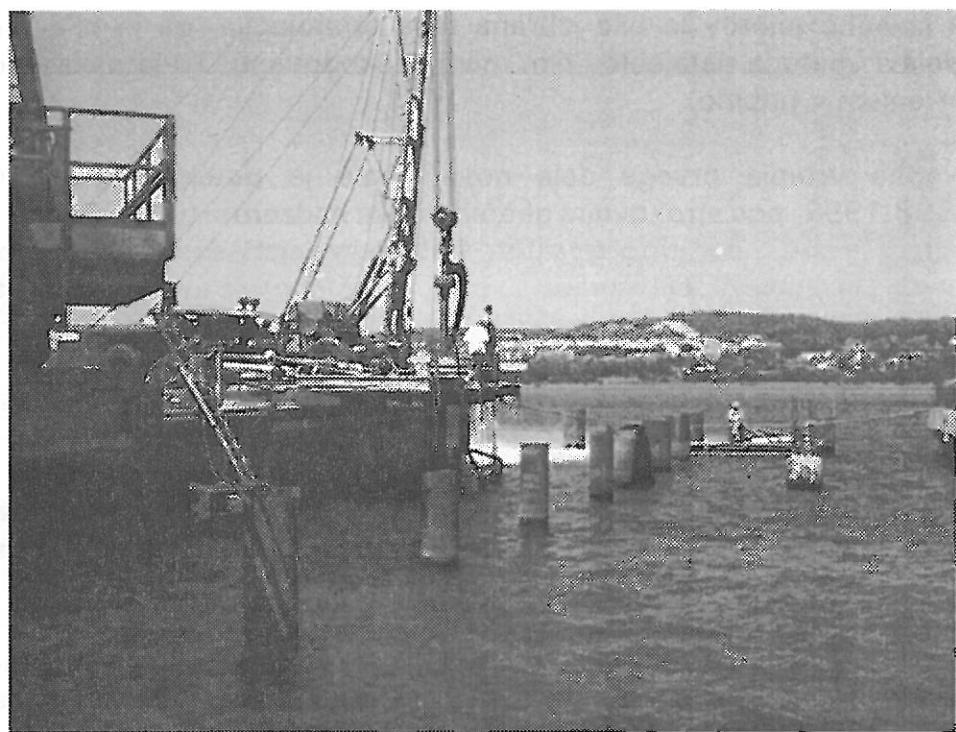
$$\tau = \sigma'_z \cdot F\varphi \cdot \operatorname{tg} \varphi_m$$

$$P_{max} = 2,0 \cdot P_{nat}$$

σ'_z	- efektivna normalna navpična napetost v sredini vpetega dela kola
φ_m	- mobilizirani strižni kot
P_{max}	- maksimalna natezna sila
P_{nat}	- projektirana natezna sila
l_v	- dolžina vpetja kola
r_o	- polmer vrtine
F_φ	= 1,5 varnostni količnik na strižni kot φ
F	= 2 - varnost na projektirano natezno silo



Slika 1: Krivulji modificiranega Hoek-ovega & Brown-ovega porušitvenega kriterija



Slika 2: Vrtanje nateznega kola s pontona

Potrebna globina vpetja kolov (m) v hribini za $\phi = 750$ mm	P_{nat} (kN)
7,40	1000
5,20	500

Pri izračunu je bil upoštevan mobilizirani strižni kot hribine, v kateri prevladuje lapor s polami peščenjaka ($\approx 63\%$). Upoštevali smo rezultat direktne strižne preiskave porušenega, preplavljenega in konsolidiranega vzorca preperelega laporja iz povprečne globine 34,7 m ter rezultat modificiranega Hoekovega & Brownovega porušitvenega kriterija delno preperelega laporja s polami peščenjaka, ki nam da v območju $c = 0$ tangento na bilinearno krivuljo pod enakim kotom, kot direktna strižna preiskava: $\varphi = 33,5^\circ$. Ta podatek lahko privzamemo kot mobilizirani strižni kot hribine, saj le-ta vsebuje cca 37 % kalkarenita, ki ima mnogo boljše fizikalne karakteristike ($\varphi = 75^\circ$), oz. smatramo, da je dejanski strižni kot ob upoštevanju $F_\varphi = 1,5$, $\varphi_{dej} = 44,7^\circ$.

Efektivna normalna navpična napetost (σ_z') je bila izračunana za globino v sredini vpetja kola ob upoštevanju efektivnih prostorninskih tež $\gamma = 7 \text{ kN/m}^3$ za vrhnje malonosilne zemljinje in $\gamma = 11 \text{ kN/m}^3$ za hribine, v katere vpenjamo kol.

IZVEDBA

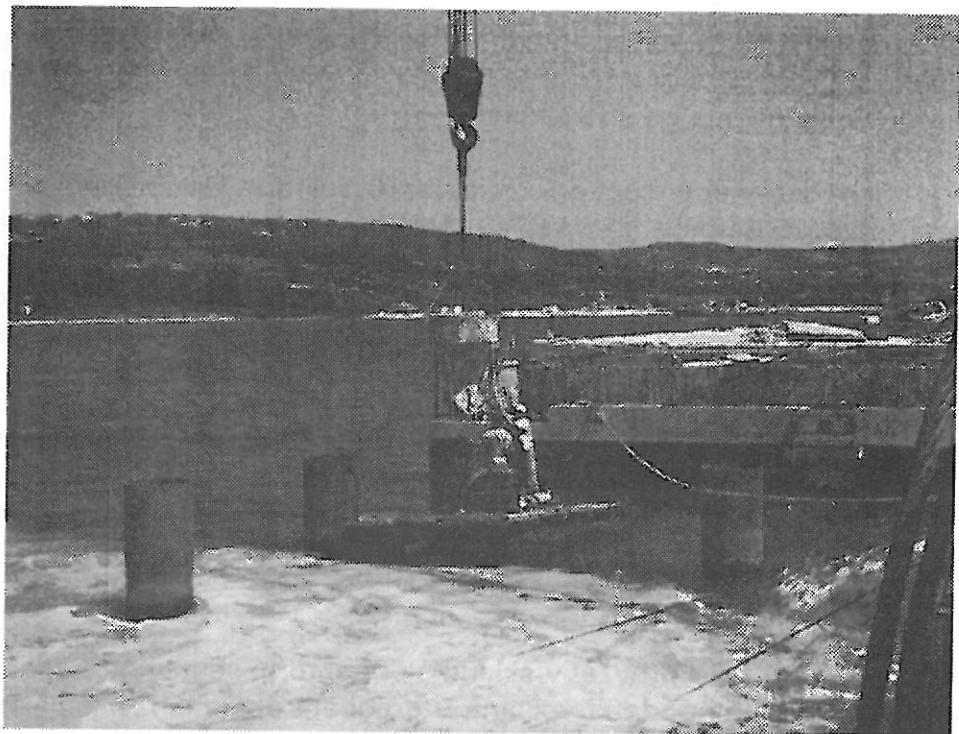
Za izvedbo pilotov je bila izbrana taka tehnologija, da je bila hribina pri izdelavi vpetega dela kolov čim manj poškodovana. To je najlaže doseči z uvrtanjem v hribino.

Izvedba vrtanja prvega dela nove obale je potekala med 16.04 in 27.08.1998, pod strokovnim geotehničnim nadzorom (GZL - Geoinženiring). Nadzor je sproti spremljal kvaliteto hribine in dajal navodila o končni globini vpetja. Dejanske globine vpetja so bile prilagojene ugotovljeni kvaliteti hribine pri geotehničnem nadzoru.

Izvedba vrtanja drugega dela nove obale v bazenu III. pa je potekala med 24.10.1998 in 26.01.1999.

Na sliki 2 prikazujemo vrtanje nateznega kola s pontona, na sliki 3 betoniranje uvrtanega kola, na sliki 4 pa že končan 1. del nove obale.

Za vsak uvrtni kol ($\phi 750$ mm) je najprej zabita cev ($\phi 812$ mm - zunanji premer, $\phi 780$ mm - notranji premer) do preperele hribinske podlage. Temu sledi vrtanje najprej v zgornjih glinastih zemljinah z organskimi primesmi (CH-Cl do OH), na prehodu v preperelo hribino pa v zaglinjenih gruščih (GC). Hribina je heterogena, v zgornjem delu bolj preperela, v spodnjem pa kompaktna, saj se v njej menjavajo laporji, peščeni laporji, peščenjaki in kalkareniti (apneni peščenjaki). Laporji so sivi do temnosivi in modrikasto



Slika 3: Betoniranje nateznega kola



Slika 4: Končan 1. del nove obale v bazenu III - Luke Koper

sivi. Temnosivi do modrikasto sivi so zelo trdi. Peščeni laporji do peščeni meljevci so svetlosivi in krhki. Peščenjaki so rjavkasto sivi in trdi, najtrši pri napredovanju vrtanja pa so kalkareniti.

V zgornjem bolj preperelem delu hribine (0,5-1,5 m izpod dna cevi) so vse zgoraj podane hribine mehkejše zato je vrtanje potekalo hitreje, od kompaktnih pa se ločijo tudi po barvi. Tako so prepereli laporji bolj zelenkasti, prepereli peščenjaki pa bolj rjavkasti. Ponekod so bili pri večjih pri vrtanju izletelih delcih peščenjaka v razpokah opazni izločki železovih hidroksidov, manganovih oksidov, pri kalkarenitih pa kalcitne žile.

Da bi ugotovili dejansko kvaliteto vpetja uvrtanega kola, je bila 1 vrtina pregledana z video kamero.

Skupaj je bilo izdelanih na obeh obalah 26 uvrtanih kolov, ki so prevzemali tudi natezne obremenitve.

Vsak uvrtan kol je bil prevzet v skladu s projektom, sestava vpetega dela pa z vsemi potrebnimi podatki vpisana v gradbeni dnevnik izvajalca Primorje, d.d.

LITERATURA

- (1) Attewell, P.B. (1993) The Role of Engineering Geology in the Design of Surface and Undeground Structures, Comprehensive Rock Engineering Vol. 1, 111-154.
- (2) Bandis, C.S. (1993) Engineering Properties and Characterization of Rock Discontinuities. Comprehensive Rock Engineering Vol. 1, 155-183.
- (3) Hoek, E., Wood, D., Shah, S. (1992). A modified Hoek & Brown Failure Criterion for Jointed Rock masses. ISRM symposium, 208-214.
- (4) SIA V 191, SIA 118 (1995).