

INŽENJERSKOGEOLOŠKE I GEOTEHNIČKE ZNAČAJKE OBILAZNICE PLOČA

Duško BARČOT¹, Ivan GRABOVAC¹, Slobodan ŠESTANOVIĆ²

¹Institut građevinarstva Hrvatske d. d., Poslovni centar Split, Matice hrvatske 15, HR-21000 Split, Hrvatska

²Gradevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, Matice hrvatske 15, HR-21000 Split, Hrvatska

E-mail: dusko.barcot@st.igh.hr

E-mail: ivan.grabovac@st.igh.hr

E-mail: slobodan.sestanovic@gradst.hr

Ključne riječi: Vapnenci, Glinovito-prašinasto-pjeskoviti sedimenti, Prometnica, Ploče

Obilaznica Ploča bit će izvedena dijelom na vapnencima, a dijelom na glinovito-prašinasto-pjeskovitim sedimentima. S ciljem postizanja pouzdanih rezultata za sigurno temeljenje prometnice i izvedbu objekata na njoj, obavljena su terenska i laboratorijska istraživanja čiji se rezultati prikazuju u ovom radu. Razredba vapnenaca učinjena je prema GSI, a značajke glinovito-prašinasto-pjeskovitih sedimenta određene su u laboratoriju i poslužili su kao podloga računskom modelu za geostatički proračun i temeljenje.

Key-words: Limestones, Clayey-silty-sandy sediments, Road, Ploče

The Ploče by-pass road will be constructed partly in limestones and partly in clayey-silty-sandy sediments. In order to obtain reliable data for purposes of safe foundation technique for the road and respective structures, field and laboratory investigations were performed. The results are given in this paper. The limestones were classified based on Geological Strength Index (GSI) while the properties of clayey-silty-sandy sediments were determined in the laboratory. The obtained results were used as a base for geostatic calculations by a numerical model and for the design of foundations.

Uvod

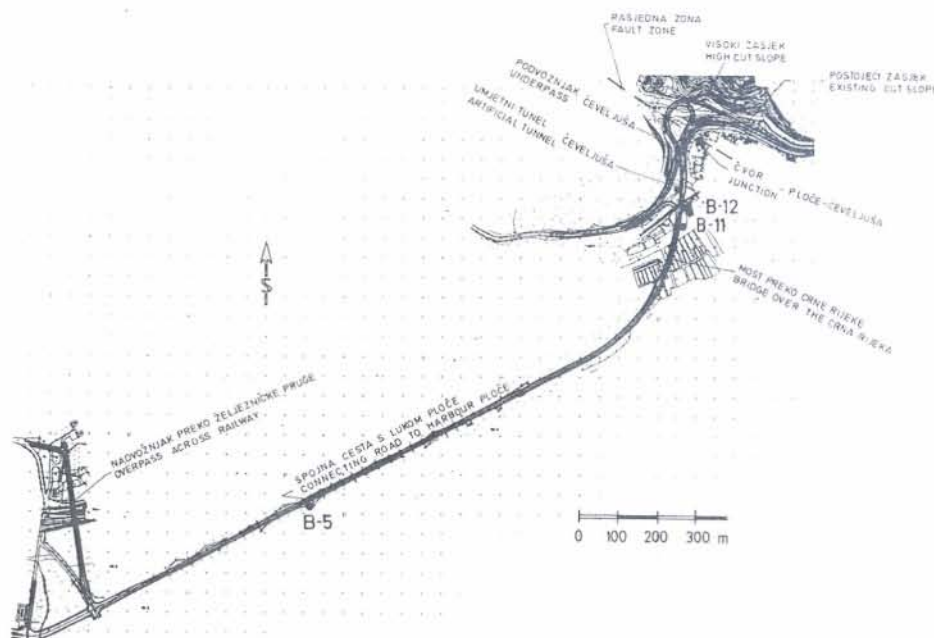
Prema idejnom rješenju za obilaznicu Ploča predviđena je rekonstrukcija dijela trase i izgradnja novog dijela sa čvorištem na predjelu Čeveljuša. Ukupna duljina spojne ceste Luka Ploče – čvor Ploče istok do mosta preko Crne rijeke iznosi oko 1920 m (sl. 1).

Svrha provedenih geotehničkih istraživanja u kvartarnim naslagama bila je dobivanje podataka o sastavu i karakteristikama tla na poziciji budućih objekata, razini podzemne vode, stišljivosti tla i sl., kako bi se mogao izraditi računski model za geostatički proračun i dati prijedlog temeljenja. Litostratigrafski odnosi preuzeti su iz OGK, List Ploče (Marinčić et al., 1971) i pripadajućeg Tumača (Magaš et al., 1972).

Inženjerskogeološko kartiranje na čvoru Čeveljuša obavljeno je u svrhu dobivanja podataka o litološkom sastavu, fizičko-mehaničkim svojstvima stjenske mase,

položaju karakterističnih diskontinuiteta, njihovoj učestalosti, veličini zijeva, vrsti ispune, obliku pukotina, njihovoj kontinuiranosti, hrpavosti stijenki, stupnju otkršenosti i razlomljenosti (Barčot i Grabovac, 1999).

Terenski istražni radovi obuhvatili su istraživačko bušenje na 17 pozicija pojedinačnih dubina bušotina od 10,00 do 40,00 m. Bušenje je izvedeno uz kontinuirano jezgrovanje. Tijekom istraživačkog bušenja izveden je u svakoj bušotini u kvartarnim naslagama standardni penetracijski pokus (SPT). Nakon završetka svake bušotine obavljena je terenska AC klasifikacija tla, odnosno inženjerskogeološka determinacija vapnenačkih naslaga. Iz bušotina su uzeti karakteristični uzorci tla i stjenske mase za laboratorijska ispitivanja. Za vrijeme terenskih istraživačkih radova registrirana je podzemna





Sl. 1. Situacija s položajem objekata


Fig. 1. Layout complete with the structures


RN :	1 - 310 123
PREDMET :	ISTOČNA SPOJNA CESTA ZA LUKU PLOČE
DATUM :	LISTOPAD, 1999. MJERILO : 1 : 100


SONDAŽNI PROFIL SUBSURFACE EXPLORATION LOG

DUBINA (RELAT KOTA)	SLOJ	AC KLASIFIKACIJA MATERIJALA	SIMBOL	TEREN. I LABORATORIJ. REZULTATI
± 0.00		B - 5		
- 1.50		Nasip sastavljen od blokova vapnenca i vapnenačkog kršja. Fill: fragments to small blocks of limestone	AF	
- 1.70		Pijesak prašinst sive boje, rahli s mjestimičnim proslojcima treseta. Gray silty sand, loose, with sublayers of peat	(SW/Pt) (Q _d)	
- 4.00		Pijesak prašinst sive boje, uglavnom rahli do srednje zbijen, mjestimično organski onečišćen. Gray silty sand, mainly loose to medium dense, traces of organic matter	(SW) (Q _d)	
- 10.00		NAPOMENA/NOTES: Drilled without water from - 1.70 to - 10.0 m. Borehole diameter: 0.00 - 1.70 m ϕ 131 mm, 1.70 - 10.0 m ϕ 101 mm.		


 NEPOREMEČENI UZORCI

 STANDARDNI PENETRACIONI TEST (SPT)

 NIVO PODZEMNE VODE

 KRILNA SONDA (τ)

UDARACA 0 10 20 30 40 50

kPa 

SONDIRAO:

IZRADIO:

PREGLEDAO:

Sl. 2. Sondažni profil bušotine B-5
Fig. 2. Borehole log B-5

voda u svim bušotinama u kvartarnim naslagama i to relativno blizu površine terena – polja.

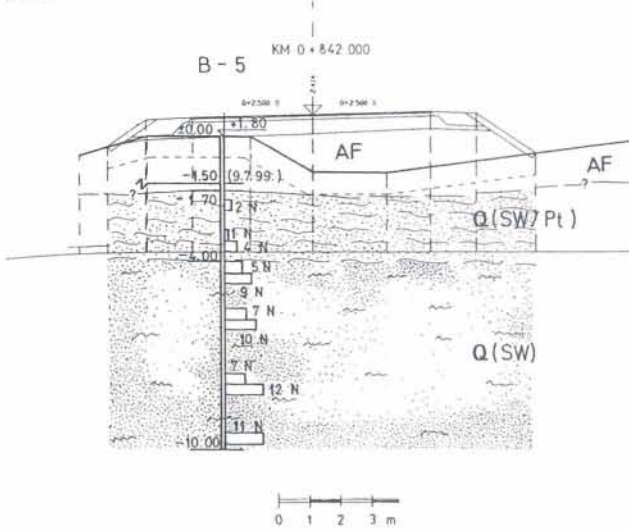
Laboratorijska ispitivanja

U geomehaničkom laboratoriju IGH – PC Split obavljeno je laboratorijsko ispitivanje uzoraka s lokacije obilaznice Ploča. Pregledom uzoraka utvrđen je ovaj program ispitivanja: granulometrijska analiza, specifična težina, težina jedinice volumena, prirodna vlažnost, Atterberg-ove granice, modul stišljivosti, direktno smicanje, jednoosna čvrstoća na tlak i vlak, sadržaj kalcijeve karbonata (CaCO_3) i sadržaj organskih tvari.

Sondažni profil bušotine B-5 prikazan je na slici 2, profil ispod nasipa projektirane trase u zoni bušotine B-5 na slici 3, a karakteristična granulometrijska krivulja materijala iz bušotine B-5 prikazana je slikom 4.

Postignuti rezultati za jediničnu težinu čvrstih čestica (γ_s) i težinu jedinice volumena u vlažnom (γ) i suhom stanju (γ_d) bili su u granicama:

$$\begin{aligned} \gamma_s &= 25,40 - 27,10 \text{ kN/m}^3 \text{ (za vapnenec)} \\ \gamma &= 16,33 - 21,95 \text{ kN/m}^3 \text{ (za glinovito-prašinsto-pjeskovite materijale)} \\ \gamma_d &= 12,16 - 19,33 \text{ kN/m}^3 \text{ (za glinovito-prašinsto-pjeskovite materijale)} \end{aligned}$$

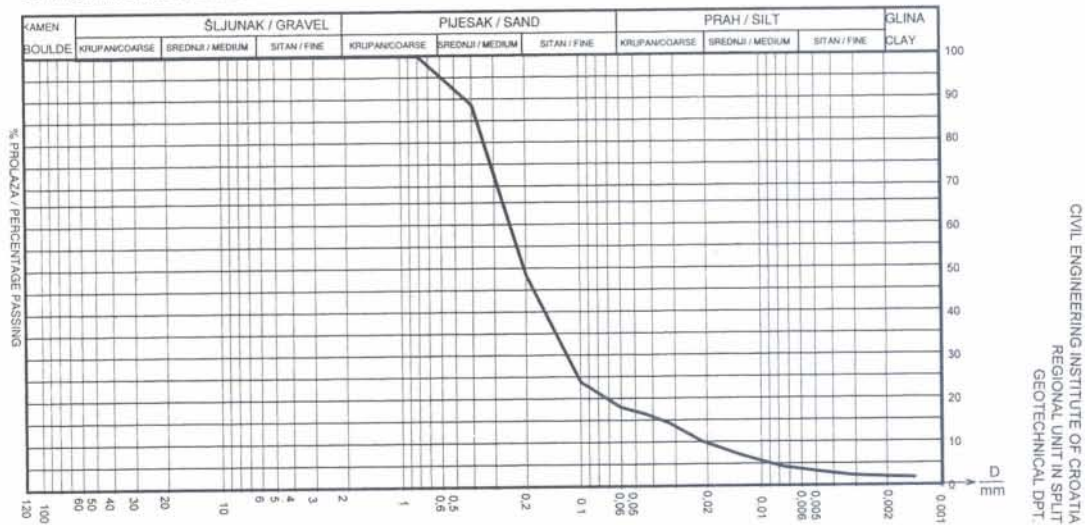


Sl. 3. Profil terena u zoni bušotine B-5
Fig. 3. Cross-section at the zone of the borehole B-5

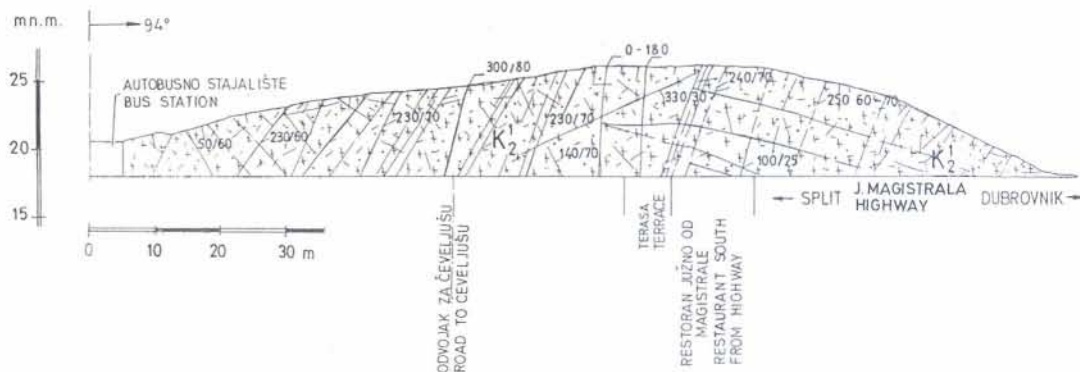
$\gamma = 26,78-27,18 \text{ kN/m}^3$ (za vapnence)
 Za neporemećene uzorke sitnozrnastog tla dobivene su ove vrijednosti Atterbergovih granica:
 $W_0 = 17,07-43,06\%$ (prirodna vlažnost)
 $W_1 = 29,77-52,98\%$ (granica tečenja)
 $W_p = 22,30-30,57\%$ (granica plastičnosti)
 $I_p = 1,86-27,65\%$ (indeks plastičnosti)
 $I_c = (-2,12)-1,58\%$ (indeks konzistencije)
 Modul stišljivosti za ispitane uzorke uz opterećenje od 200 kN/m^2 iznosio je: $M_s = 2,03-6,71 \text{ MN/m}^2$.
 Kohezija (c) i kut unutrašnjeg trenja (φ) bili su u granicama:
 $c = 0,0-28,0 \text{ kN/m}^2$
 $\varphi = 15,60^\circ-27,25^\circ$
 Jednoosna tlačna i vlačna čvrstoća vapnenaca bile su u granicama:
 $\sigma_{tl} = 27,60-53,40 \text{ MN/m}^2$
 σ_{vl} (brazilski pokus) = $1,60-4,30 \text{ MN/m}^2$
 Sadržaj CaCO_3 za ispitane uzorke vapnenaca bio je u granicama: $91,16\%-95,83\%$

R.N. / JOB No. 1-310123 BUŠOTINA / BORING No. B-5 GRADEVINA/STRUCTURE: Zaobilaznica Ploča / Ploče by-pass road
 UZORAK / SAMPLE 564 DUBINA/DEPTH: 9.7-9.8 m DATUM/DATE: srpanj/July 1999

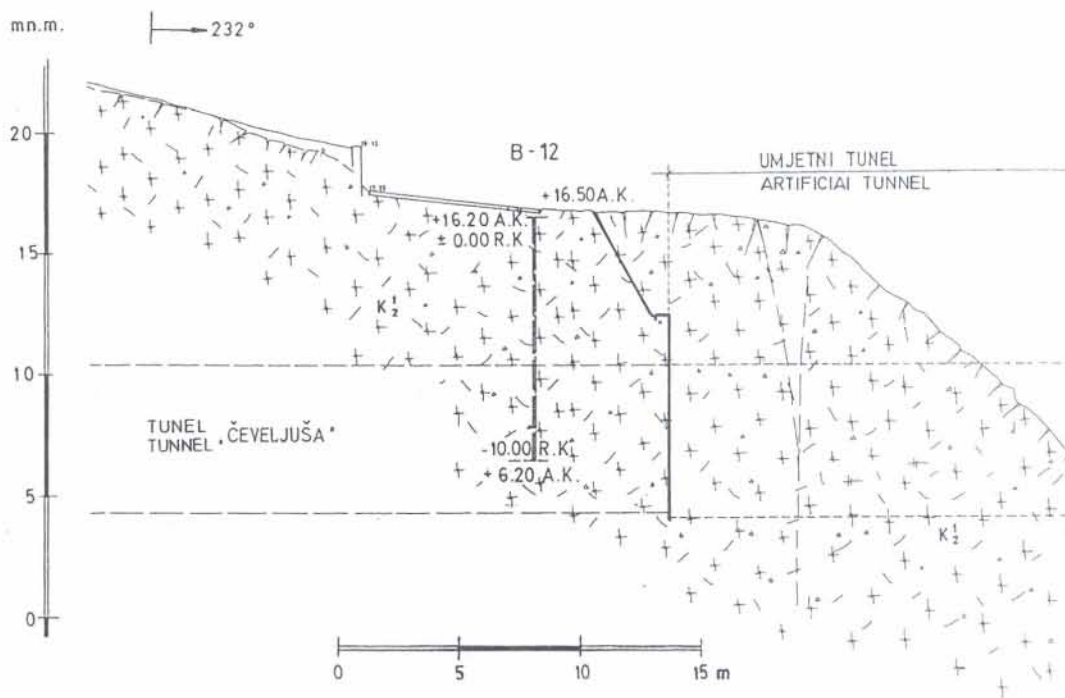
GRANULOMETRIJSKI DIJAGRAM / PARTICLE SIZE CURVE



Sl. 4. Granulometrijska krivulja materijala iz bušotine B-5
Fig. 4. Particle size analyses curve of the sample taken from the borehole B-5



Sl. 5. Pogled na dio postojećeg zasjeka Čeveljuša
Fig. 5. View of the part of natural slope Čeveljuša



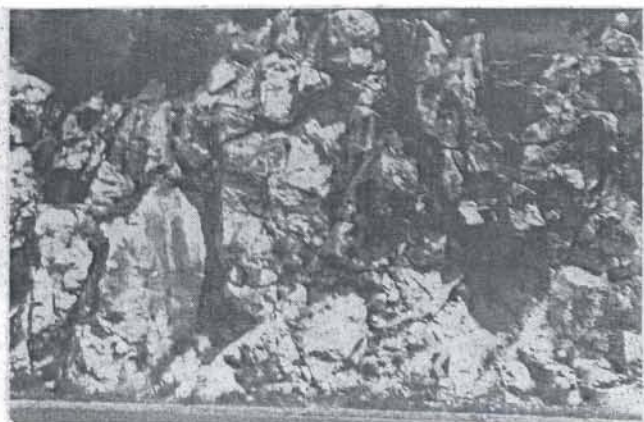
Sl. 6. Profil terena na lokaciji umjetnog tunela
Fig. 6. Cross-section at the location of Čeveljuša artificial tunnel

Sadržaj organskih tvari tla za ispitane uzorke bio je u granicama:
7,88%–43,12%

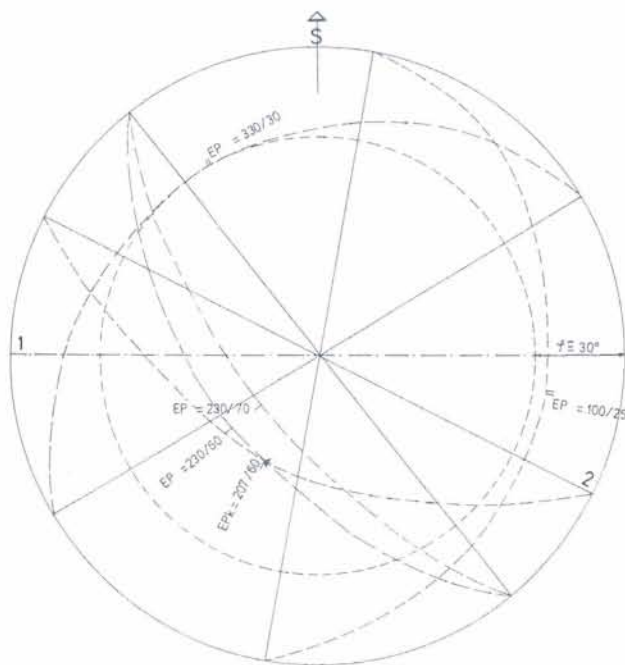
Interpretacija rezultata istraživanja

Vapnenačke stijene

U vapnencima će biti izveden dio obilaznice, i to: čvor Ploče istok – Čeveljuša (sl. 5), podvožnjak Čeveljuša i umjetni tunel Čeveljuša (sl. 6). Vapnenci su gornjokredne starosti, mjestimično s lećama breča (K_2^1). Prilikom inženjerskogeološkog kartiranja lokacija, slojevitost u ovim naslagama nije uočena. Svjetlosive su boje, čvrsti, razlomljeni i okršeni, naročito u površinskoj zoni. Pukotine su u površinskoj zoni (do dubine između 3 i 5 m), uglavnom centimetarskog zijeva. Povećanjem dubine zijev pukotina se stanjuje do milimetarskih dimenzija, a registrirane su i brojne stisnute. Kartiranje šireg područja lokacije bilo je otežano zbog velike okršenosti, razlomljenosti i prekrivenosti stjenke mase, te je stoga detaljnije kartiran postojeći zasjek sa sjeverne



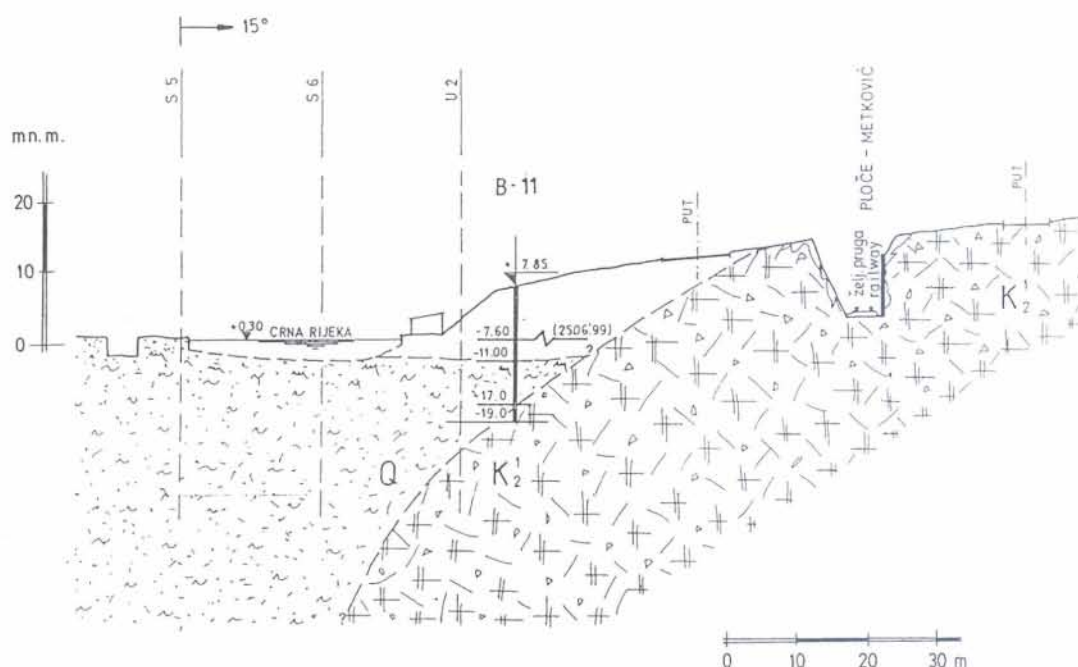
Sl. 7. Detalj stijene u postojećem zasjeku Čeveljuša
Fig. 7. Detail of the rock at the natural slope Čeveljuša



Sl. 8. Strukturni dijagram glavnih diskontinuiteta (1–Jadranska turistička cesta, 2–zasjek)

Fig. 8. Structural diagram of the main discontinuities (1–Adriatic highway, 2–cut slope)

strane Jadranske magistrale. U tom se zasjeku uočavaju karakteristični pukotinski sustavi s elementima položaja 230–250/60–70. U odnosu na os buduće trase pružaju se koso (oko 30°–40° od osi trase). Na stacionaži 0+075,00 uočeni su nepovoljno orijentirani diskontinuiteti (EP= 220/60, nagnuti prema trasi). Pukotine su na razmaku uglavnom od 1 do 3 m, rijetko manjem ili većem. U središnjem dijelu postojećeg zasjeka pukotine su učestalije i nalaze se na razmaku od 0,20 do 0,50 m,



Sl. 9. Profil terena na lokaciji mosta preko Crne rijeke

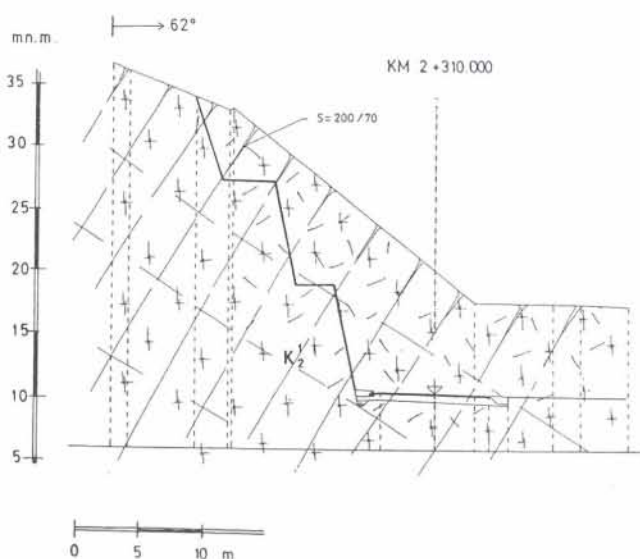
Fig. 9. Cross-section at the location of planned bridge over Crna rijeka River

okomito). Pri zapadnom dijelu zasjeka uočavaju se diskontinuiteti generalno nagnuti prema SI pod kutem od 50° – 60° , a na središnjem dijelu zasjeka uočava se izraženi diskontinuitet nagnut prema SSZ pod kutem od 30° do 40° (povoljno u odnosu na trasu).

Na dijelu buduće trase (iznad postojećeg autobusnog stajališta), uočava se na površini terena vertikalna pukotina pružanja 65–245, s jamom vidljive dubine oko 1,5 m. U blizini ove jame uočavaju se na površini terena izdvojeni labilni blokovi vapnenca veličine (promjera) između 1 i 3 m.

U središnjem dijelu lokacije (iznad postojećeg vijadukta), registrirana je veoma razlomljena zona s pojavom mjestimičnih gnijezda crvenice (sl. 7). Ova je zona slabijih fizičko-mehaničkih karakteristika od dijelova istočno i zapadno od nje. Pruža se uz tektonski predisponiranu vododerinu (rasjedna zona), generalno pravcem SZ-JI. S njezine zapadne strane (oko 60 m iznad vijadukta), uočava se izrazito nepovoljno orijentiran kontinuirani diskontinuitet. Nagnut je prema budućoj trasi pod kutem od 40° , o čemu treba voditi računa prilikom projektiranja usjeka. Na oko 15 m od vijadukta uočava se pukotinski sustav (200/70), čije je pružanje približno okomito na trasu, dakle povoljno. Na ovoj lokaciji su registrirana tri izražena pukotinska sustava istočno od vododerine. Prvi ima elemente 230–250/60–70, drugi 100/25 pri istočnom kraju zasjeka na magistrali, a treći 50/50–60 na zapadnom kraju navedenog zasjeka. Uz njih, registrirane su i vertikalne te jedna horizontalna pukotina. Sve one izdvajaju stjensku masu u blokove. Pukotinski sklop i njegov odnos prema pružanju nove trase i pružanju Jadranske magistrale prikazan je strukturnim dijagramom na slici 8.

Zbog nemogućnosti registriranja svih diskontinuiteta i njihovog položaja u vapnencima na budućem čvoru Ploče istok – Čeveljuša, podvoznjaku Čeveljuša i umjetnom tunelu Čeveljuša, potrebno je kontinuirano pratiti i detaljno inženjerskogeološki kartirati teren tijekom zasijecanja u cilju definiranja efikasne zaštite kosina.



Sl. 10. Prijedlog uređenja visokog zasjeka Čeveljuša

Fig. 10. Planned cut slopes at the location of Čeveljuša

rijetko i do 1,00 m. Prema uvidu na terenu pukotine su kontinuirane i uglavnom ravne, te hrapave do veoma hrapave, a mjestimično i valovite, centimetarskog zijeva i uglavnom bez ispune. Registrirane su i mjestimične vertikalne pukotine (koje se uočavaju po čitavoj visini zasjeka), generalnog pružanja sjever-jug, a samo mjestimično SI-JZ. Ove su pukotine hrapave i zijeva 2–3 cm, bez ispune. Između dviju vertikalnih pukotina uočava se i jedna horizontalna pukotina, približno po sredini zasjeka. Pri istočnom kraju zasjeka uočen je sustav pukotina generalno nagnut prema istoku pod kutem od 25° . Pukotine su uglavnom ravne i hrapave, te kontinuirane, a pružaju se povoljno s obzirom na os trase (približno

U hidrogeološkom smislu vapnenačke naslage su dobro vodopropusne zbog svoje pukotinske i kavernoze poroznosti. Oborinske vode se kroz njih relativno brzo procijeduju, osim u slučajevima kad su pukotine ispunjene crvenicom.

Na temelju podataka dobivenih inženjerskogeološkim kartiranjem i laboratorijskim ispitivanjem karakterističnih uzoraka vapnenačke stijene, određen je i geološki indeks čvrstoće – GSI (Hoek, 1995; Hoek et al., 1995; Braun, 1998). On iznosi 40–60 za slabije okršenu i razlomljenu stjensku masu, što ih svrstava u grupu povoljnih stjenskih masa. No, GSI za veoma razlomljenu stjensku masu u površinskom dijelu i u rasjednoj zoni bio je u granicama 20–40, čime su one svrstane u slabe stijene.

Prema Seizmološkoj karti, lokacija Čeveljuša se nalazi u zoni za koju se predviđa, za povratni period od 200 godina i 63% vjerovatnosti, maksimalni intezitet potresa 7⁶ MCS ljestvice, a za 500 godina 8⁰ (Jorgić et al., 1987).

Glinovito-prašinsto-pjeskovite naslage.

U terenu kojega izgrađuju glinovito-prašinsto-pjeskovite naslage kvartarne starosti (Q) bit će temeljen most preko Crne rijeke, spojna cesta s lukom Ploče na novom i starom nasipu te nadvožnjak preko željezničke pruge.

Lokacija budućeg mosta preko Crne rijeke predviđena je s južne strane umjetnog tunela. Dio terena je postojeći nasip ispod kojega je približno ravan močvarni teren s kotom približno 0,30–0,90 m n. m. Dio terena izgrađuju glinovito-prašinsto-pjeskovite naslage, a dio vapnenci (sl. 9). Most se pruža generalno pravcem sjever-jug, a njegova duljina od osi južnog do osi sjevernog upornjaka iznosi 159,50 m. Projektirano je 7 stupnih mjesta s međurazmakom predviđenim na 20,00 m od osi do osi.

Vapnenačka brečolika stijena registrirana je jednom bušotinom na dubini 17,00 m, a povrhnje su kvartarne naslage i nasipni materijali. Nasip je utvrđen do –11,00 m, a sastavljen je od vapnenačkog kršja i blokova vapnenca s manjim udjelom glinovito-prašinsto-pjeskovite komponente, uglavnom slabo do srednje zbijen. Ispod nasipnih materijala registrirane su kvartarne (Q) pjeskovito-prašinste naslage, uglavnom veoma rahle do rahle, te mjestimično do srednje zbijenosti. Determinacijom istraživačkih bušotina utvrđena je pojava praha glinovitog srednje plastičnog, žitke konzistencije, malo organski onečišćenog. Ispod nasipnih materijala registriran je i treset tamnosive boje vlaknaste strukture, s mjestimičnim proslojcima pijeska debljine od 0,30 do 1,20 m. Na ovoj dionici predlaže se primijeniti istu tehnologiju poboljšanja temeljnog tla kao i za dionicu spojne ceste s lukom Ploče na novom nasipu. Podzemna voda registrirana je na –7,60 m od ušća bušotine (25. 06. 99). Međutim, razina podzemne vode je na dijelu polja ispod nasipa praktično na površini terena i oscilira u ovisnosti o padalinama i morskim mijenama.

Prema Seizmološkoj karti, lokacije mosta preko Crne rijeke, spojne ceste do luke Ploče na starom i novom nasipu i nadvožnjaka preko željezničke pruge nalaze se u zoni za koju se predviđa, za povratni period od 200 godina i 63% vjerojatnosti, maksimalni intezitet potresa 7⁹ MCS ljestvice (Jorgić et al., 1987). Zbog visoke razine podzemne vode predlaže se kod analiza stabilnosti nasipa usvojiti povećanje stupnja seizmičnosti najmanje za 1⁰. Također je potrebno voditi računa o mogućoj pojavi likvefakcije tla u slučaju potresa jačih inteziteta.

Rasprava i zaključci

Istodobno s radovima na iskopu zasjeka i usjeka u vapnencima potrebno je obavljati inženjerskogeološko kartiranje stjenskog masiva. Sve nestabilne blokove treba obilježiti, ukloniti ili osigurati od mogućeg odronjavanja korištenjem štapnih sidara, a na kruni zasjeka i u bermama formirati kinete za odvod oborinskih voda. Najnižu kosinu kaskadno oblikovanih visokih zasjeka obvezatno je prekriti zaštitnim mrežama, a ostale po potrebi. Navedeno oblikovanje zasjeka prikazano je slikom 10.

U nevezanim materijalima, prije nanošenja sloja podložnog betona, odgovarajućim ispitivanjem valja ustanoviti je li potrebno obaviti dodatno zbijanje ili zamjenu materijala na razini temeljenja.

Na temelju istraživanja na užem području lokacije mosta preko Crne rijeke i nadvožnjaka preko željezničke pruge, očekuje se da će stupovi biti temeljeni na kvartarnim prašinsto-glinovito-pjeskovitim naslagama, organski onečišćenim, žitke do lako gnječive konzistencije. Razina podzemne vode je relativno visoka, tj. praktično na površini terena. Analizirajući navedene podatke, moguće su dvije varijante temeljenja: izvesti duboke temelje na pilotima ili obaviti geotehničku melioraciju tla korištenjem tehnologije mlaznog injektiranja na mjestu temeljenja stupova i upornjaka.

Ako se ispravno isprojektiraju i izgrade temelji na tlu prethodno poboljšanih geomehaničkih svojstava korištenjem tehnologije mlaznog injektiranja, ili odabere temeljenje na klasičnim bušenim ili zabijanim pilotima, nepoželjni efekti eventualne pojave likvefakcije ne bi trebali imati štetnog učinka na konstrukciju mosta i nadvožnjaka. Ovakav zaključak u skladu je s rezultatima procjene potencijala likvefakcije u zoni ušća rijeka Cetine i Neretve (Horvat et al., 1986) i preporuke da se u slučaju građenja mora konstrukciju, a eventualno i tlo, prilagoditi postojećim uvjetima.

Jednim dijelom spojna cesta s lukom Ploče bit će položena na prašinsto-glinovito-pjeskovitim naslagama. U površinskom dijelu terena očekuje se i sloj treseta. Očito je da se preko opisanog terena nasip (trasa prometnice) neće moći izgraditi bez korištenja geotekstila i geomreža. Preporučamo da se predmetna dionica do prolaska prve jesensko-zimske sezone ne asfaltira (ili barem ne sa završnim slojem asfalta). Nasip treba pustiti da prezimi pod prometnim opterećenjem, tada ga treba popraviti i završno obraditi. Za cijelo vrijeme izgradnje i pripremnog perioda eksploatacije potrebno je na prikladno ugrađenim repernim točkama pratiti slijeganja trupa ceste. Drugi dio spojne ceste s Lukom Ploče prolazit će preko postojećeg nasipa debljine od 1,20 do 1,80 m. Mjestimično je nasipni materijal (vapnenačko kršje, blokovi vapnenca i prašinsto glina) upenetriran u mulj žitke konzistencije. Prema rezultatima SPT-a nasipni materijali su uglavnom srednje zbijenosti.

Primljeno: 2000-04-26

Prilvačeno: 2000-09-21

LITERATURA

- Barčot, D. i Grabovac, I. (1999): Geološke i inženjersko-geološke karakteristike terena obilaznice Ploča. U: Izvještaj o geotehničkim istražnim radovima na području spojne ceste za luku Ploče. IGH-PC Split, RN. 1–310123–64/99, Split.
- Braun, K. (1998): Legenda za izradu osnovne inženjersko-geološke karte Republike Hrvatske mjerila 1:100.000. Institut za geološka istraživanja, 1–35, Zagreb.
- Hoek, E. (1995): Strength of Rock and Rock Masses. *News Journal ISRM, Vol. 2, No. 2*, 4–16, Lisboa.
- Hoek, E., Kaiser, P. K. and Bawden, W. F. (1995): Support of Underground Excavation in Hard Rock. Balkema, 215 p., Rotterdam/Brookfield.
- Horvat, K., Prelogović, E., Kuk, V., Vulić, Ž., Dujmić, D., Lovrenčić, D., Mlinar, Ž. i Sladović, B. (1986): Analiza seizmičke stabilnosti tla u zoni ušća rijeke Cetine i Neretve. Zbornik IV. kongresa Saveza društava za seizmičko građevinarstvo Jugoslavije, I, 73–79, Cavtat, Zagreb.
- Jorgić, M., Šupić, V., Kuk, V., Hadžijevski, D., Pekevski, V., Ribarić, V. i Vukašinović, M. (1987): Seizmološka karta SFRJ za povratne periode, M. 1:100.000, Zajednica za seizmologiju SFRJ, Beograd.
- Magaš, N., Marinčić, S. i Benček, Đ. (1972): Tumač za OGK List Ploče, K 33–35, 52. str., Institut za geološka istraživanja, Zagreb.
- Marinčić, S., Magaš, N. i Benček, Đ. (1971): OGK List Ploče, 1:100.000, K 33–35, Institut za geološka istraživanja, Zagreb.

Engineering geological and geotechnical characteristics of the Ploče by-pass road

D. Barčot, I. Grabovac and S. Šestanović

According to a conceptual design of the Ploče by-pass road, a reconstruction of its part has been anticipated together with the construction of a new section with the junction in the area of Čeveljuša. Total length of the connecting road Ploče port – junction Ploče east all the way to the bridge across Crna rijeka is about 1920 m.

Engineering-geological mapping at the Čeveljuša junction has been performed in order to obtain data on lithological composition, physical-mechanical properties of the rock mass, position of characteristic discontinuities, their frequency, aperture of joints, type of fill, shape of joints, their continuity, roughness of joint sides, karstification degree and jointing.

Field investigation works consisted of exploratory drilling of 17 boreholes, the depths of which ranged between 10.00 and 40.00 m. The core was continuously recovered from the boreholes. During boring, Standard Penetration Test (SPT) was performed in Quaternary sediments in each borehole.

Following the exploratory drilling, field AC classification of soil and engineering-geological determination of the limestone strata were performed. A number of characteristic soil and rock samples were also taken for laboratory testing.

During exploratory drilling, groundwater was registered in all boreholes in Quaternary sediments relatively close to the surface.

Samples taken at the location of the Ploče bypass-road were tested in the geomechanical laboratory of Civil Engineering Institute of Croatia – Regional Unit in Split. After inspection of samples, the following test program was determined: particle size analyses, specific gravity, unit weight, moisture content, Atterberg limits, oedometer consolidation test, direct shear test, compressive and tensile uniaxial strength, carbonate (CaCO₃) and organic matter content.

The following sections of the by-pass road will be constructed in limestones: junction Ploče east – Čeveljuša, the Čeveljuša underpass and the Čeveljuša artificial tunnel.

Limestones belong to the Upper Cretaceous with some lenses of breccias (K₂). During engineering-geological mapping of the location, stratification has not been observed in the aforementioned strata. Limestones are light gray, strong, fractured and karstified, especially in the surface zone. Joints in the surface zone (to depths between 3 and 5 m) are predominantly of »cm« aperture. With an increase in depth, the aperture decreases to »mm« dimension. Numerous closed joints were also observed. Because it was impossible to register all disconti-

nities and their positions in limestones at the planned junction Ploče east – Čeveljuša, the Čeveljuša underpass and the Čeveljuša artificial tunnel, it is necessary to continuously monitor and perform engineering-geological mapping in detail during cutting in order to define more efficient protection of slopes.

Based on the data obtained by engineering-geological mapping and laboratory testing of characteristic limestone samples, the Geological Strength Index (GSI) was determined. It ranged between 40 and 60 for slightly karstified and weathered rock mass which classified it as the rock mass of fair quality. However, highly weathered rock mass in the surface zone and fault zone has GSI between 20 and 40 and is therefore classified as the rock mass of poor quality.

Footings of the bridge over Crna rijeka, connecting road with the Ploče harbor placed on the existing and planned fill and overpass over the railroad will be constructed in clayey-silty and sandy Quaternary sediments (Q).

Based on the investigations conducted in the narrow location of the bridge across Crna rijeka and overpass over the railroad, it is expected that the columns will have foundation in Quaternary silty-clayey-sandy sediments, with the presence of organic matter and very soft to soft consistency. Groundwater level is relatively high i.e. almost on the ground surface. Based on the analyses of the aforementioned data, there are two possible solutions for foundations: deep foundations (piles) or geotechnical improvement using the jet-grouting technology in positions of column and abutment footings.

Connecting road with the Ploče harbor will be constructed partly in silty-clayey-sandy sediments. In the surface zone a layer of peat is also expected. It is obvious that in the aforementioned sediments embankment can not be constructed without the use of geotextiles and geogrids. It is recommended not to place asphalt layer before fall-winter season is over (at least not the finishing layer). Embankment shall stand the traffic load during the winter, then it shall be refurbished and finishing layer placed. During the construction and preparatory periods of exploitation it is necessary to monitor the settling of road structure using permanent marks.

Other section of the connecting road with the Ploče harbor will pass over the existing 1.20 to 1.80 m thick embankment. Embankment material (limestone fragments, limestone blocks and silty clay) has penetrated very soft mud in places. According to SPT results, fill is predominantly moderately compacted.