

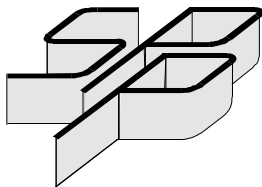
SPP d.o.o.

**Konzalting, nadzor, projektiranje i izvođenje u
rudarstvu, građevinarstvu, geotehnici i zaštiti okoliša**



GEOTEHNIČKI ELABORAT TEMELJENJA OSNOVNE ŠKOLE NA PODRUČJU NOVI BOKANJAC, ZADAR

Varaždin, lipanj 2013. god.



SPP d.o.o.

**Konzalting, nadzor, projektiranje i izvođenje u
rudarstvu, građevinarstvu, geotehnici i zaštiti okoliša**
*Trstenjakova 3, 42000 Varaždin; telefon: (042) 203 302, faks: (042) 203 306
mobitel: 098 268 248, 098 268 246; e-mail: spp@spp.hr*

Broj tehničkog dnevnika: **45-2/13**

GEOTEHNIČKI ELABORAT TEMELJENJA OSNOVNE ŠKOLE NA PODRUČJU NOVI BOKANJAC, ZADAR

Obradili:

Prof. dr. sc. Stjepan Strelec, dipl.ing.

Mr.sc. Miljenko Špiranec, dipl.ing.geot.

Kristijan Grabar, dipl.ing.geot.

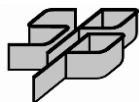
Ana Filipović, dipl.ing.geot.

Ivana Sambolec, ing.geot.

Direktor:

Prof. dr. sc. Stjepan Strelec, dipl.ing.

Varaždin, lipanj 2013. god.



SADRŽAJ

• Registracija trgovačkog društva SPP d.o.o. Varaždin (3 lista)	str.
1. UVOD	1
2. GEOLOŠKI OPIS LOKACIJE ISTRAŽNIH RADOVA.....	2
3. GEOTEHNIČKE ZNAČAJKE TEMELJNE STIJENE.....	3
3.1. PARAMETRI STIJENSKE PODLOGE	3
4. GEOFIZIČKI ISTRAŽNI RADOVI.....	8
4.1. METODA GEORADARA.....	8
4.1.1. GEORADARKO PROFILIRANJE TERENA (GPR)	8
4.1.2. INTERPRETACIJA SNIMAKA GEORADARSKIH PROFILA (radiograma).....	8
4.2. VIŠEKANALNA ANALIZA POVRŠINSKIH VALOVA (MASW)	9
4.3. SEIZMIČKA REFRAKCIJA.....	11
4.4. ELEKTRIČNA ISTRAŽIVANJA	11
4.4.1. GEOELEKTRIČNO SONDIRANJE (VES)	12
4.4.2. GEOELEKTRIČNA TOMOGRAFIJA	14
4.5. INTERPRETACIJA PROFILA ELEKTRIČNE TOMOGRAFIJE	15
5. PROJEKTNE VRIJEDNOSTI MAKSIMALNOG POTRESA (EUROCODE – 8)	16
6. ELASTIČNE KONSTANTE.....	18
7. GEOSTATIČKE ANALIZE.....	19
8. GEOSTATIČKI PRORAČUN	21
8.1. NOSIVOST TEMELJNOG TLA (temeljna stopa, B x L = 2,0 x 2,0 m, D = 0,5 m)	22
8.2. SLIJEGANJE TEMELJNOG TLA (kvadratna temeljna stopa, D = 0,6 m)	23
8.3. NOSIVOST TEMELJNOG TLA (temeljna traka, B = 0,5 m, D = 0,6 m)	24
9. ZAKLJUČAK	26

PRILOZI

broj listova:

1. SITUACIJSKI PLAN S POLOŽAJEM ISTRAŽIVANJA	1
2. GEORADARSKI RADIOGRAMI.....	3
3. KLASIFIKACIJA KARBONATNIH STIJENA (Novosel i dr.).....	1
4. HOEK-BROWN-ov KRITERIJ ČVRSTOĆE.....	1
5. OSNOVNA GEOLOŠKA KARTA ŠIREG PODRUČJA ISTRAŽIVANJA	1

SUBJEKT UPISA

MBS:

070037303

OIB:

17497489416

TVRTKA:

8 SPP društvo s ograničenom odgovornošću za geotehniku, rudarstvo, građenje, zaštitu okoliša, hidrogeološke radove i usluge

1 SPP d.o.o.

SJEDIŠTE/ADRESA:

6 Varaždin, Grad Varaždin
Trstenjakova 3

PRAVNI OBLIK:

1 društvo s ograničenom odgovornošću

PREDMET POSLOVANJA:

- | | | |
|---|---------|--|
| 1 | 73.10.2 | - Istraž. i razvoj u tehn. i tehnol. znan. |
| 1 | 74.84 | - Ostale poslovne djelatnosti, d. n. |
| 1 | * | - Arh. i građevinski inženjering i konzalting (projektiranje, nadzor, izrada investicijske i tehničke dokumentacije i tehnički nadzor, geodetsko premjeravanje terena, izrada stručnih ekspertiza i procjena, geomehaničkih elaborata, laboratorijska i terenska ispitivanja i vještačenja, revizije i drugi srodni poslovi) |
| 1 | * | - Izrada studija utjecaja na okoliš |
| 1 | * | - Informatički inženjering i konzalting |
| 1 | * | - Izvođenje investicijskih radova u inozemstvu |
| 1 | * | - Istraživanje, projektiranje i izvođenje radova u rudarstvu i građevinarstvu |
| 5 | * | - Stručni poslovi zaštite okoliša |
| 5 | * | - Kupnja i prodaja robe |
| 5 | * | - Obavljanje trgovačkog posredovanja na domaćem i inozemnom tržištu |
| 5 | * | - Građenje, projektiranje i nadzor nad gradnjom |
| 8 | * | - Vodoistražni radovi i drugi hidrogeološki radovi (hidrogeološka istraživanja, geofizička istraživanja i bušenje istražnih bušotina i zdenaca) |
| 8 | * | - Prijevoz za vlastite potrebe |
| 8 | * | - Zastupanje inozemnih tvrtki |
| 8 | * | - Usluge informacijskog društva |

OSNIVAČI/ČLANOVI DRUŠTVA:

7 Stjepan Strelec, OIB: 85915115334

SUBJEKT UPISA

OSNIVAČI/ČLANOVI DRUŠTVA:

- Varaždin, Ruđera Boškovića 20/A
- 7 - član društva
- 7 Jakov Pranjić, OIB: 90202964587
- Varaždin, Petra Petrovića Njegoša 4
- 7 - član društva

OSOBE OVLAŠTENE ZA ZASTUPANJE:

- 1 Stjepan Strelec, OIB: 85915115334
- Varaždin, Ruđera Boškovića 20
- 1 - direktor
- 1 - zastupa društvo pojedinačno i samostalno
- 1 Jakov Pranjić, OIB: 90202964587
- Varaždin, Petra Petrovića Njegoša 4
- 1 - direktor
- 1 - zastupa društvo pojedinačno i samostalno

TEMELJNI KAPITAL:

- 4 20.000,00 kuna

PRAVNI ODNOSI:

Temeljni akt:

- 1 Ugovor o usklađenju općih akata društva sa Zakonom o trgovačkim društvima od 04. 12. 1995. godine
- 2 Odlukom članova društva od 31.12.97. izmijenjen je članak 7 Društvenog Ugovora o usklađenju od 04.12.95. koji se odnosi na temeljni kapital društva te je pročišćeni tekst Društvenog Ugovora od 31.12.97. dostavljen sudu i priložen u zbirku isprava.
- 4 Odlukom članova društva od dana 20.10.1999. g. stavljen je izvan snage Društveni ugovor o usklađenju općih akata društva sa ZTD od dana 04.12.1995. g. i pročišćeni tekst Društvenog ugovora od dana 31.12.1997. g. i donesen novi Društveni ugovor dana 20.10.1999. g.
- 5 Odlukom članova društva od dana 04.04.2001. g. izmijenjen je Društveni ugovor od dana 20.10.1999. g. u dijelu koji se odnosi na sjedište društva i predmet poslovanja i donijet je izmijenjeni tekst Društvenog ugovora dana 04.04.2001. g.
- 6 Društveni ugovor od 15.10.1999. g. s zadnjim izmjenama od 04.04.2001. g., izmijenjen je Odlukom o izmjeni Društvenog ugovora od 28.08.2002. g., te su izmjenjene odredbe Društvenog ugovora koje se odnose na sjedište i upravu, pa je donesen pročišćeni tekst Društvenog ugovora od 28.08.2002. g.
- 8 Jednoglasnom odlukom skupštine, odnosno oba člana društva, od 11. srpnja 2012. g. izmijenjen je Društveni ugovor u čl. 1. do čl. 35. te su dodani članci od čl. 36. do čl. 45. i to: glede tvrtke društva, dopunjenog predmeta poslovanja, navođenja poslovnih udjela, odredaba o zastupanju,

SUBJEKT UPISA

PRAVNI ODNOSI:

Temeljni akt:

odlučivanja u skupštini te prijenosa udjela/dijela udjela, istupanja, isključenja i nasljeđivanja udjela, te je donijet potpuni Društveni ugovor od 11. srpnja 2012. g.

Promjene temeljnog kapitala:

- 3 Odlukom članova društva od 31.12.1997. povećan je temeljni kapital s revaloriziranog iznosa od 8,00 kn, što iznosi 27,27 kn za iznos od 17.872,73 kn novčanom uplatom na iznos od 17.900,00 kn. Preuzeta su 3 temeljna uloga.
- 4 Odlukom članova društva od dana 20.10.1999. g. temeljni kapital društva povećan je s iznosa od 17.900,00 kn za iznos od 2.100,00 kn na iznos od 20.000,00 kn.

OSTALI PODACI:

- 4 Ugovorom o prijenosu poslovnog udjela od dana 20.10.1999. g. dosadašnji član društva Vitomir Premur prenosi 16% svog poslovnog udjela na članove društva Jakova Pranjić i Stjepana Strelec, koji time stječu 50% poslovnog udjela u temeljnom kapitalu društva.

FINANCIJSKA IZVJEŠĆA:

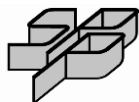
	Datum predaje	Godina	Obračunsko razdoblje
eu	25.06.2012	2011	01.01.2011 - 31.12.2011

Upise u glavnu knjigu proveli su:

RBU Tt	Datum	Naziv suda
0001 Tt-95/3504-2	25.06.1997	Trgovački sud u Varaždinu
0002 Tt-97/1921-2	13.04.1999	Trgovački sud u Varaždinu
0003 Tt-97/1921-3	26.01.2000	Trgovački sud u Varaždinu
0004 Tt-99/1095-3	26.01.2000	Trgovački sud u Varaždinu
0005 Tt-01/333-2	09.04.2001	Trgovački sud u Varaždinu
0006 Tt-02/1127-2	09.09.2002	Trgovački sud u Varaždinu
0007 Tt-10/1835-2	09.11.2010	Trgovački sud u Varaždinu
0008 Tt-12/1548-3	22.08.2012	Trgovački sud u Varaždinu
eu /	30.06.2009	elektronički upis
eu /	28.06.2010	elektronički upis
eu /	29.06.2011	elektronički upis
eu /	25.06.2012	elektronički upis

U Varaždinu, 23. kolovoza 2012.





INVESTITOR:	- GRAD ZADAR, Narodni trg 1, 23000 Zadar
NARUČITELJ:	- CAPITAL ING d.o.o., Ksaverska cesta 6, Zagreb
GRAĐEVINA:	- Osnovna škola
LOKACIJA ZAHVATA:	- Novi Bokanjac, Zadar, k.č.br. 782/1512, 782/569, 782/686, 782/1502 i 782/1575; k.o. Bokanjac
NAZIV ELABORATA:	- GEOTEHNIČKI ELABORAT TEMELJENJA OSNOVNE ŠKOLE NA PODRUČJU NOVI BOKANJAC, ZADAR
PROJEKTANT ELABORATA:	- SPP d.o.o., Varaždin, Trstenjakova 3
ODGOVORNI GEOMEHANIČAR:	- Prof. dr. sc. Stjepan Strelec, dipl. ing.
BROJ TEHNIČKOG DNEVNIKA:	- 45-2/13
VRSTA IZVIJEŠĆA:	- geotehnički elaborat
DATUM:	- lipanj 2013. god.

1. UVOD

Temeljem narudžbe naručitelja projektant elaborata obvezao se izraditi geotehnički elaborat za potrebe temeljenja Osnovne škole na području Novi Bokanjac, Zadar. Za potrebe izrade elaborata izvedena je geotehnička prospekcija lokacije, te geofizička istraživanja metodom seizmičkog profiliranja višekanalne analize površinskih valova (MASW), plitke seizmičke refrakcije (RF), geoelektrične tomografije (ERT), georadarskog snimanja lokacije (GPR), te ispitivanje jednoaksijalne čvrstoće uzoraka stijene (Schmidt-ov čekić). Istražni radovi provedeni su 14. lipnja 2013. god.

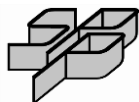
Cilj provedenih istražnih radova bio je prikupljanje podataka o općim i mehaničkim svojstvima temeljne podloge, kako bi se odredili optimalni uvjeti temeljenja, nosivost i slijeganja. Rezultati istraživanja omogućuju uvid u stanje kompaktnosti, raspucanosti i okršnosti temeljene podloge, odnosno određuju način i dubinu temeljenja, dopušteno specifično opterećenje i slijeganje temeljnog tla. Geotehnički elaborat sadrži interpretacije geofizičkih i geotehničkih istraživanja.

Na istražnoj lokaciji izveden je jedan (1) seizmički profil ispitivanja višekanalnom analizom površinskih valova (MASW-1), jedan (1) seizmički refrakcijski profil (RF-1), dva (2) profila geoelektrične tomografije (ERT-1÷2) i pet (5) georadarskih profila (GPR 1÷5), sa ciljem determiniranja geoloških naslaga, te debljine i dubine zalijeganja pojedinih slojeva. Položaj profila istraživanja prikazan je na Prilogu 1, list 1.

Uvid u stanje i svojstva stijene odredio se iz geofizičkih istraživanja, kao i terenske probe jednoaksijalne čvrstoće izdanaka stijene (Schmidt-ov čekić).

Sva ispitivanja izvedena su u skladu sa zakonom i pravilnicima i to:

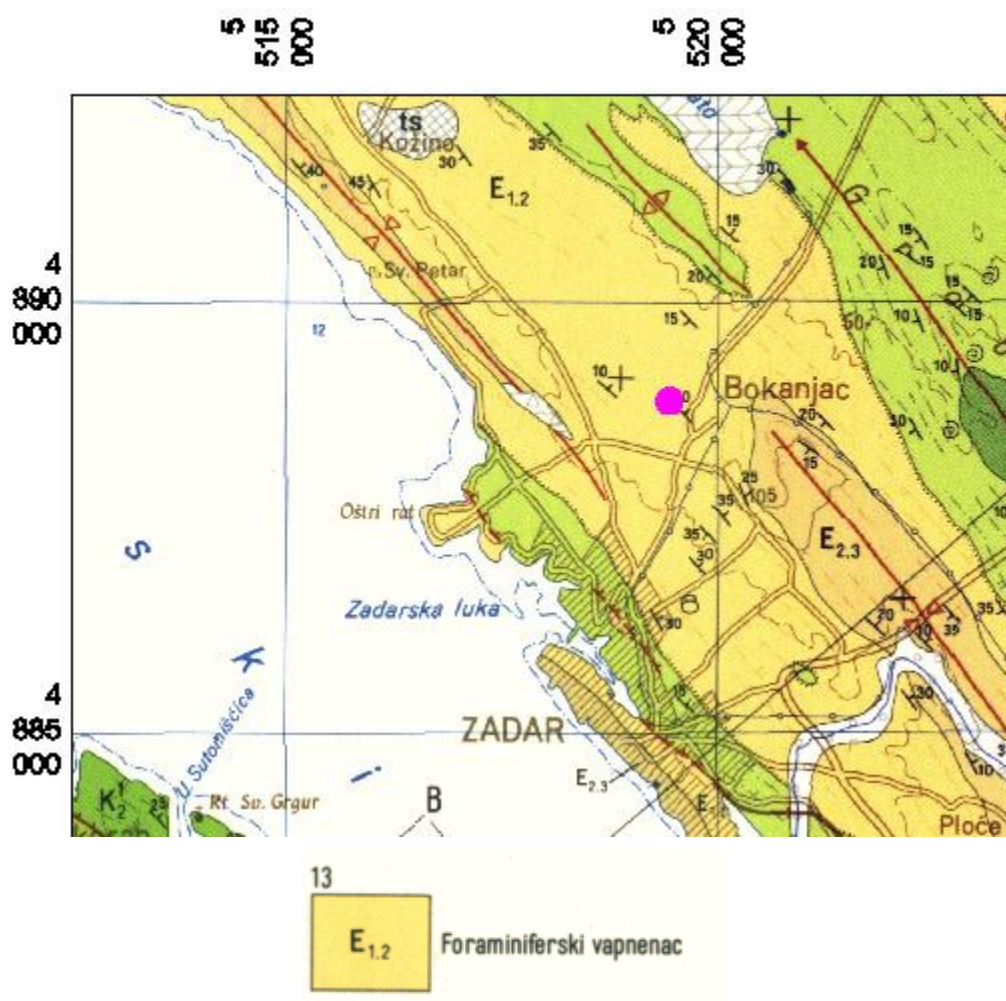
- | | |
|---|--|
| 1. Zakon o prostornom uređenju i gradnji | - NN 76/07, 38/09, 55/11, 90/11, 50/12 |
| 2. Eurokod 7: Geotehničko projektiranje - 1. dio: Opća pravila (EN 1997-1:2004) | - HRN EN 1997-1:2008 en |
| 3. Eurokod 7: Geotehničko projektiranje - 2. dio: Istraživanje i ispitivanje temeljnog tla (EN 1997-2:2007) | - HRN EN 1997-2:2008 en |



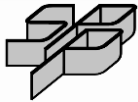
4. Eurokod 8 – Projektiranje konstrukcija otpornih na potres –
1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade HRN EN 1998-1:2008 en
(EN 1998-1:2004)
te važećim normama iz područja geomehanike i geomehaničkih ispitivanja.

2. GEOLOŠKI OPIS LOKACIJE ISTRAŽNIH RADOVA

Prema geološkoj karti, OGK Zadar, L 33-139, uže područje zahvata pripada karbonatnoj stijeni foraminiferskih vapnenaca, starosti paleogena ($E_{1,2}$).



Slika 1. Detalj sa Osnovne geološke karte OGK Zadar L33-139.



3. GEOTEHNIČKE ZNAČAJKE TEMELJNE STIJENE

Geotehničke karakteristike stijenske podloge, matične stijene, na lokaciji izgradnje definirane su litološkim sastavom i jednoaksijalnom čvrstoćom izdanaka stijene, brzinom širenje posmičnih seizmičkih valova, karakteristikama osnovnog tektonskog sklopa i fizičko mehaničkim karakteristikama stijenske mase.

LITOLOŠKI OPIS LOKACIJE:

0,00 – 0,40 m - površinski sloj raznorodnog je sastava, humusni slojevi maksimalne dubine 0,10 m; kamena drobina, nasip od mješavine glina, kamene drobine i građevnog otpada.

0,40 – 5,00 m - karbonatna stijena blokovitog foraminiferskog vapnenca, III. kategorije karbonatne stijene (Novosel i dr.). Stijena je slabo ispucana, srednje okršena, velikih blokova, sa malo pukotinske ispune.

> **6,00 m** - karbonatna stijena II. kategorije, slabo okršena, $V_s > 2000$ m/s.

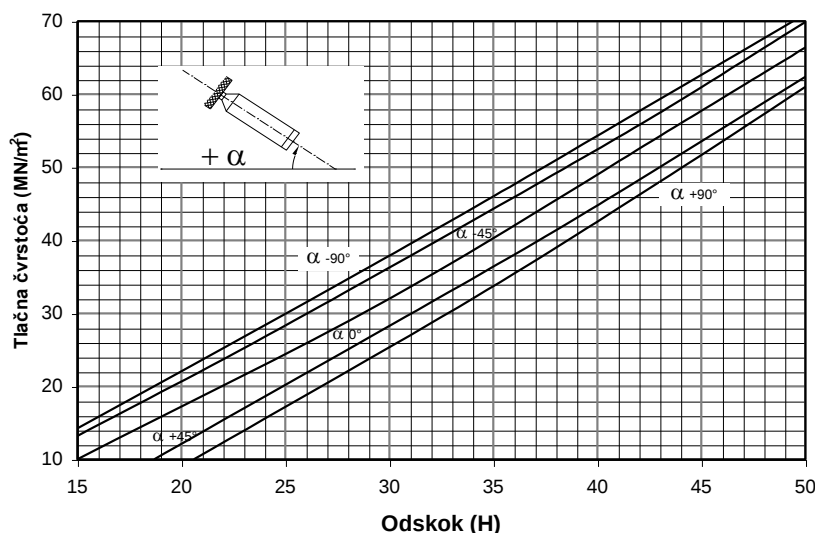
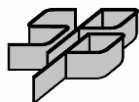
3.1. PARAMETRI STIJENSKE PODLOGE

Provedena ispitivanja fizičko-mehaničkih značajki stijenske mase u cilju su dobivanja parametara potrebnih za određivanje čvrstoće za smicanje (kohezija i kut unutrašnjeg trenja) potrebnih za račun stabilnosti. Ispitivanje tlačne čvrstoće izvedeno je na izdancima stijene na površini terena Schmidtovim čekićem, rezultati ispitivanja obrađeni su i prikazani u nastavku elaborata.

Provedena su sljedeća ispitivanja:

- ispitivanje tlačne čvrstoće izdanaka stijene na površini Schmidtovim čekićem (sklerometar).

Čekić se primjenjuje u pravcu okomitom na zidove stijene uz korištenje korelacijskih dijagrama odnosa kuta osi čekića i horizontale. Površinu treba ispitivati u vlažnom stanju, a sama površina treba biti bez malih raspadnutih čestica stoga se priborom "očisti" stijenska podloga. Preporuka (ISRM1978) je da se pokus izvodi u skupinama od po 10 ispitivanja po jediničnoj površini, s tim da se eliminira pet najmanjih rezultata, a računa se srednja vrijednost pet najvećih čitanja. Srednja vrijednost odskoka Schmidtova čekića (R) i zapreminska težina stijene koriste se za određivanje čvrstoće zidova diskontinuiteta.



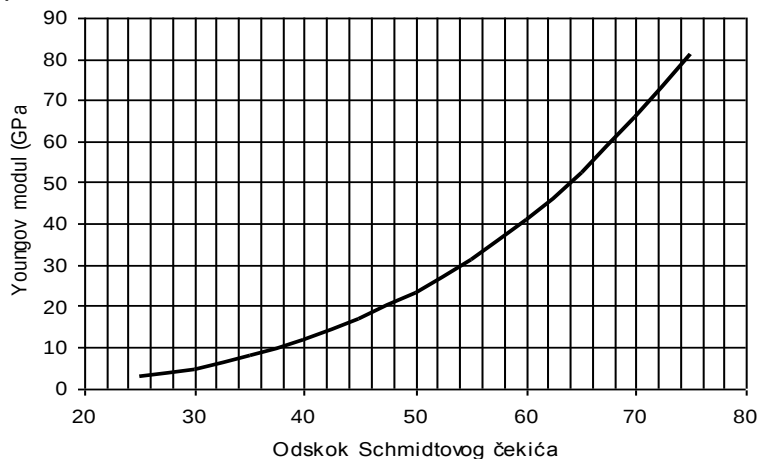
Slika 2. Korelacijski dijagram tlačne čvrstoće prema vrijednostima odskoka Schmidt-ovog čekića

Mjerenjem na terenu u skladu s metodologijom preporučenom od strane internacionalnog društva za mehaniku stijena (ISMR, 1978), određeni su ulazni podaci za klasifikaciju stijenskih masa prema odgovarajućim dijelovima "RMR" i "Q" klasifikacije do razine određivanja Geološkog indeksa čvrstoće stijenske mase (GSI prema E. Hoek-u).

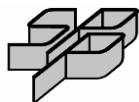
Tablica 1. Odskok Schmidtovog čekića za lokaciju Novi Bokanjac sa tlačnim čvrstoćama

uzorak broj	Lokacija	Otklon čekića [°]	Izmjerene vrijednosti odskoka [H]	Srednja vrijednost odskoka [H_{sr}]	Tlačna čvrstoća [MN/m^2]	Youngov modul [GPa]
1	uzorak sa površine terena	-90	37 40 43 38 39 45 39 48 41 40	41,0	55,94	11,0
Srednja vrijednost uzoraka:					55,94	

Na slici 3. je pouzdana korelacija prema O. Katzu (2000) za vrijednost Youngovog modula u odnosu na odskok Schmidtovog čekića. Vrijednosti odskoka i proračunate vrijednosti tlačne čvrstoće intaktnih uzoraka prikazane su u tablici 1.



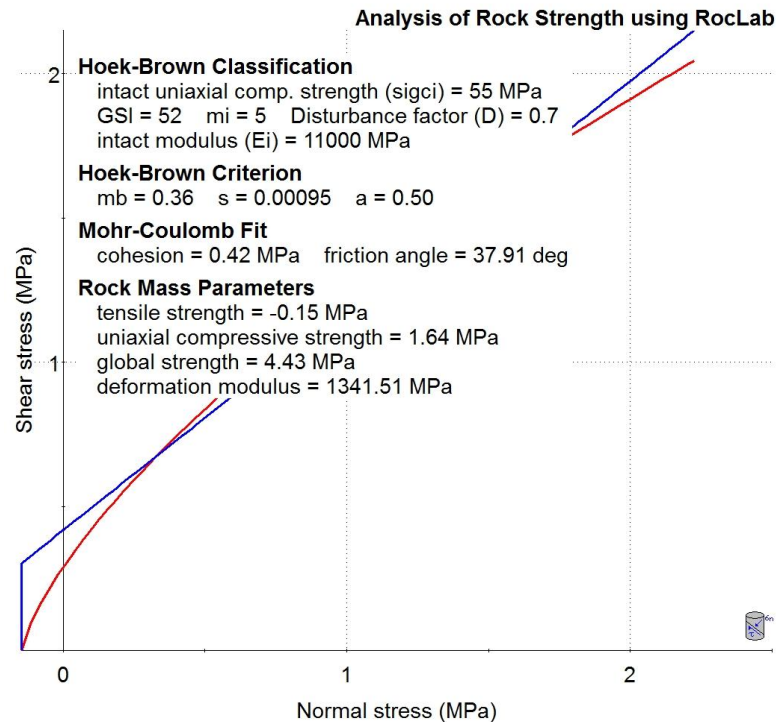
Slika 3. Korelacijski dijagram Youngovog modula prema vrijednostima odskoka Schmidtovog čekića



GEOLOŠKI INDEKS ČVRSTOĆE GSI = 52		POVRŠINSKI UVJETI				
		VRLO DOBRI	DOBRI	SLABI	LOŠI	VRLO LOŠI
STRUKTURA		SMANJENJE KAKVOĆE POVRŠINE →				
	INTAKTNA ILI MASIVNA - primjerci čitave stijene ili masiva "in situ" s nekoliko diskontinuiteta na širem razmaku	90	80	70	N/D	N/D
	BLOKOVITA - dobro vezana, neporemećena stijenska masa sastavljena od kubičnih blokova formiranih s tri ukrižena diskontinuiteta	80	70	60	50	40
	VRLO BLOKOVITA - povezana, djelomično poremećena stijenska masa s višestrukim izbrušenim površinama blokova formiranih s četiri ili više sustava pukotina	70	60	50	40	30
	BLOKOVITA DO SREDNJE POREMEĆENA - rasjedani ili raspucani skup blokova nastao presjecanjem više diskontinuiteta pod različitim kutovima, uočljivo postojanje slojeva ili škriljavosti	60	50	40	30	20
	DEZINTEGRIRANA - loše povezana gotovo rastresita stijenska masa sastavljena od mješavine uglatih i zaobljenih blokova	50	40	30	20	10
	USLOJENA - nepostojanje blokova zbog malih razmaka između škriljavih ravnina diskontinuiteta	N/D	N/D			

Slika 4. Određivanje geološkog indeksa čvrstoće (GSI) programom RockLab

Korištenjem programa RockLab dobivena je vrijednost za geološki indeks čvrstoće GSI = 52, a za karbonatnu stijenu III. i II. kategorije, slika 4. Programom RockLab također su određeni ulazni parametri prema Hoek-Brownovoj klasifikaciji na osnovu kojih je dobiven dijagram nelinearnog odnosa normalnog i posmičnog naprezanja prema Hoek-Brownovom kriteriju čvrstoće. Hoek-Brownov kriterij sloma stijenske mase široko je korišten i prihvaćen u projektima koji su vezani za mehaniku stijena diljem svijeta.



Slika 5. Analiza čvrstoće stijenskog masiva korištenjem programa RocLab

Na slici 5. dat je prikaz nelinearnog odnosa prema Hoek-Brownovom kriteriju čvrstoće. Polaganjem pravca teorijom najmanjih kvadrata na dobivenu krivulju dobivene su Mohr-Coulombove veličine, odnosno parametri čvrstoće stijenske mase. Prema dobivenim rezultatima prosječni prividni kut trenja stijenske mase iznosi $\phi = 37,0^\circ$, a prosječna prividna kohezija $c = 420 \text{ kN/m}^2$. Dobivene Mohr-Colombove veličine čvrstoće stijenske mase prikazane su također na slici 5.

Ulazni parametri za modeliranje usvojeni su iz terenskih radova. Kriterija sloma stijenske mase definiran je generaliziranim Hoek-Brown-ovim kriterijem čvrstoće:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_c \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_c} + s \right)^a \quad (1)$$

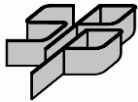
gdje su:

- σ_c – jednoosna tlačna čvrstoća homogenog uzorka stijene
- σ'_1 i σ'_3 – veće i manje efektivno glavno naprezanje
- m_b , a , s – iskustveni parametri stijenske mase definirani izrazima:

$$m_b = m_i \cdot e^{\left(\frac{GSI-100}{28-14D} \right)} ; \quad s = e^{\left(\frac{GSI-100}{9-3D} \right)} ; \quad a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{\frac{GSI}{15}} - e^{\frac{20}{3}} \right) \quad (2)$$

gdje je:

- D – faktor poremećenosti stijenske mase



- m_i – parametar ovisan o vrsti stijene
- GSI – geološki indeks čvrstoće

Usvojene su vrijednosti parametra:

- $\sigma_c = 55 \text{ MN/m}^2$ (sklerometar, Schmidt-ov čekić)
- **GSI = 52**
- **$m_i = 5$**
- **$D = 0,7$**

Analizom dobivenih podataka terenskih ispitivanja za izradu geostatičkog proračuna usvojeni su sljedeći parametri temeljne stijene koji su znatno reducirani:

- $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$, - zapreminska težina,
- $c = 40 \text{ kN/m}^2$ i - kohezija,
- $\phi = 36^\circ$ - kut unutrašnjeg trenja.

Slijeganje sloja debljine H računato je po izrazu:

$$s = \frac{\sigma_z}{M_v} \cdot H$$

gdje su: s - slijeganje sloja debljine H,

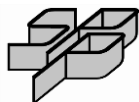
σ_z - dodatno naprezanje uslijed kontaktnog naprezanja u dubini z,

M_v - modul stišljivosti promatranog sloja.

Prema kategorizaciji stijene na lokaciji te rezultata broja udaraca Schmidt-ovim čekićem, usvojena je vrijednost jednoaksijalne tlačne čvrstoće $\sigma_c = 55 \text{ MN/m}^2$ (Tablica 1).

Analizom korelacijskih vrijednosti modula elastičnosti stijene usvojena je vrijednost modula stišljivosti za potrebe geostatičkog proračuna stijenskog masiva karbonatne podloge:

- karbonat III. kategorije **$M_v = 350 \text{ MN/m}^2$** (tablica 3, iz seizmičkih mjerenja, poglavlje 6).
- karbonat II. kategorije **$M_v = 800 \text{ MN/m}^2$** (tablica 3, iz seizmičkih mjerenja, poglavlje 6).



4. GEOFIZIČKI ISTRAŽNI RADOVI

4.1. METODA GEORADARA

4.1.1. GEORADARKO PROFILIRANJE TERENA (GPR)

Metode istraživanja stijena radarom datiraju od ranih godina prošlog stoljeća i razvijaju se sukladno s usavršavanjem radarskih metoda. Tek nedavno dolazi do veće primjene metode radara u građevinarstvu i to s pojavom uređaja oznake GPR (Ground Penetrating Radar), nakon čega je izdano više publikacija počevši od 1982 i održano više internacionalnih konferencija na temu "georadara".

Osnovni princip rada georadara je odašiljanje kratkog elektromagnetskog pulsa raznih frekvencija u tlo. Puls putujući kroz medij tla gubi dio energije dok se ostatak reflektira natrag do prijemnika. Georadar mjeri vrijeme proteklo od pobude do povratka reflektiranog pulsa, slično kao kod geofizičke metode seizmičke refleksije. Brzina širenja elektromagnetskih valova c_m u tlu iznosi:

$$c_m = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}},$$

gdje je c brzina elektromagnetskih valova u vakuumu (30 cm/ns); dielektrična permeabilnost ϵ_r ovisi o vrsti materijala i korištenim frekvencijama elektromagnetskog signala, a čije vrijednosti su u rasponu od 1 za zrak do 81 za vodu, te oko 5-10 za stijene.

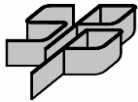
Elektromagnetski valovi prigušuju se za vrijeme širenja kroz medij tla, te razlikujemo geometrijska gušenja zbog položaja predajnika i prijemnika kao i načina širenja (sferično, cilindrično), te gušenja unutar medija tla.

Tehnika profiliranja georadarom sastoji se u cikličkom ponavljanju transmisije kratkih impulsa elektromagnetskih valova dok je antena u pokretu. Odaslani impuls koji u mediju doživljava prigušenja i refleksiju procesuirana se u prijemniku gdje se stvara kontinuirani profil električnih karakteristika materijala. Na taj je način georadarom moguće dobiti izravnu sliku struktura tla ispod površine bez potrebe definiranja modela za interpretaciju podataka.

Ograničenja metode odnose se na primjenu u ne vodljivim ili slabo vodljivim materijalima. Dubina penetracije znatno je smanjena u elektro vodljivim materijalima glina, a u tom smislu voda se smatra kao dobar vodič. Metodom je moguće identificirati globalne kao i lokane anomalije. Metoda je etablirana kao geofizička metoda, a primjenjuje se u građevinarstvu, geologiji, geotehnici, arheologiji kao i za utvrđivanje dubina stijena i podzemne vode, lokalizacije naslaga pijeska i šljunka, lokalizaciju blokova i arheoloških nalazišta, točkastih kao i linijskih podzemnih objekata.

4.1.2. INTERPRETACIJA SNIMAKA GEORADARSKIH PROFILA (radiograma)

Na mikrolokaciji, u lipnju 2013. god. provedeno je profiliranje georadarom primjenom 500 MHz oklopljene antene i uređaja ZOND12e proizvođača Radar System, Inc. Latvija. Snimke profila prikazane su u Prilogu 2. zajedno s ucrtanim osima za interpretaciju. Veličina dielektrične permeabilnosti $\epsilon_r = 6$ odabrana je za geološku sredinu koja prevladava na lokaciji, vapnenci.



Kao dubina profiliranja usvojena je dubina 15 m dublje koje razlučivost snimke nije zadovoljavajuća.

Pregledom georadarskih snimaka vidljivo je kako istražnu lokaciju u površinskom dijelu čini okršena zona, debljine 1,0 m, a predstavljena je nasipnim materijalom, te karbonatnim kršjem sa većim udjelom gline. Dublje površinskog sloja slijedi prijelazna zona prema srednje okršenoj stijenskoj masi (III. kat.). Radiogrami ne pokazuju značajnije diskontinuitete koji bi mogli utjecati na temeljenja objekata.

4.2. VIŠEKANALNA ANALIZA POVRŠINSKIH VALOVA (MASW)

Razvoj seizmičkih metoda posljednjih desetljeća, osobito višekanalne analize površinskih valova (MASW - Multi-Channel Analysis of Surface Waves) omogućava određivanje brzine posmičnih valova podpovršinskih materijala.

U ovome istraživanju, pri utvrđivanju dinamičkih svojstava tla (v_s , $v_{s,30}$), korištena je MASW metoda. Seizmički valovi se u beskonačnom, homogenom i izotropnom mediju šire kao P i S prostorni valovi. S približavanjem granici polu-beskonačnog prostora ti se valovi transformiraju u površinske valove. Kada se za generiranje seizmičkih valova na površini koriste vertikalni izvori poput čekića ili pada utega (*drop-weight*), nastaju površinski Rayleighevi (R) valovi koji u najvećoj mjeri preuzimaju seizmičku energiju izvora (R valovi: 67%; S valovi: 26%; P valovi: 7%).

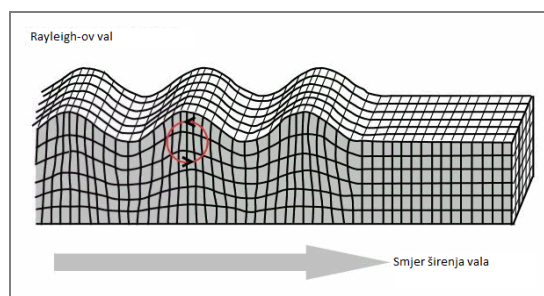
Složeni oblik Rayleighevih valova sastoji se od longitudinalnog i transverznog gibanja s međusobnim pomakom u fazi. Materijalna čestica prelazi eliptičku putanju kojoj je velika poluos vertikalna kada je val blizu površine. R valovi često se nazivaju i valjanje tla (*ground roll*, slika 6.).

Najvažnije svojstvo R valova je frekventna disperzija. Valovi niže frekvencije, pa prema tome veće valne duljine, šire se dublje u medij nego valovi visoke frekvencije, odnosno male valne duljine, pri čemu se brzina širenja vala pri pojedinoj frekvenciji naziva fazna brzina, a krivulja koja prikazuje faznu brzinu u ovisnosti o frekvenciji naziva se krivulja fazne brzine ili disperzijska krivulja. Prostorni P i S valovi nemaju disperzivno svojstvo.

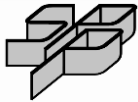
Pojava više faznih brzina na određenoj frekvenciji naziva se višemodalna disperzija. U ovom slučaju najsporiji mod naziva se osnovni (M_0), a sljedeći s većom brzinom prvi viši mod (M_1) itd. Fazna brzina širenja Rayleigh-ovih valova (v_r) prvenstveno ovisi o brzini posmičnih valova (v_s). Izraz koji pokazuje odnos između brzine posmičnih valova (v_s) i brzine Rayleigh-ovih valova (v_r) je sljedeći:

$$v_s = P v_r,$$

gdje je P konstanta ovisna o Poisson-ovom koeficijentu (ν) (primjerice $P = 1.09$ za $\nu = 0.25$).



Slika 6. Širenje Rayleigh-ovog vala

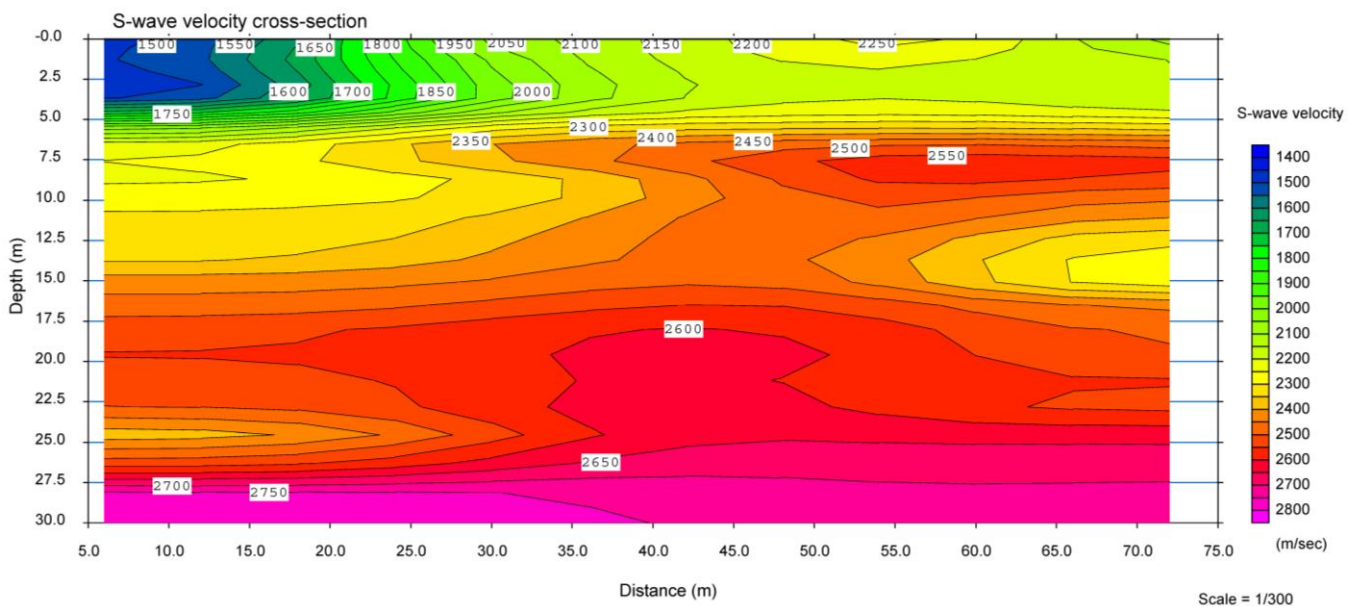


MASW dispozitiv sastojao se od 24 vertikalna geofona frekvencije 4.5 Hz, postavljena na međusobnom razmaku od 3,0 m. Pri interpretaciji MASW mjerenja koristi se fundamentalni ili osnovni mod M_0 .

Interpretacija mjerene krivulje disperzije na lokaciji dispozitiva MASW-1 Novi Bokanjac, provedena je računalnom aplikacijom SeisIMAGER 4.0.1.6., OYO Corporation 2004-2009.

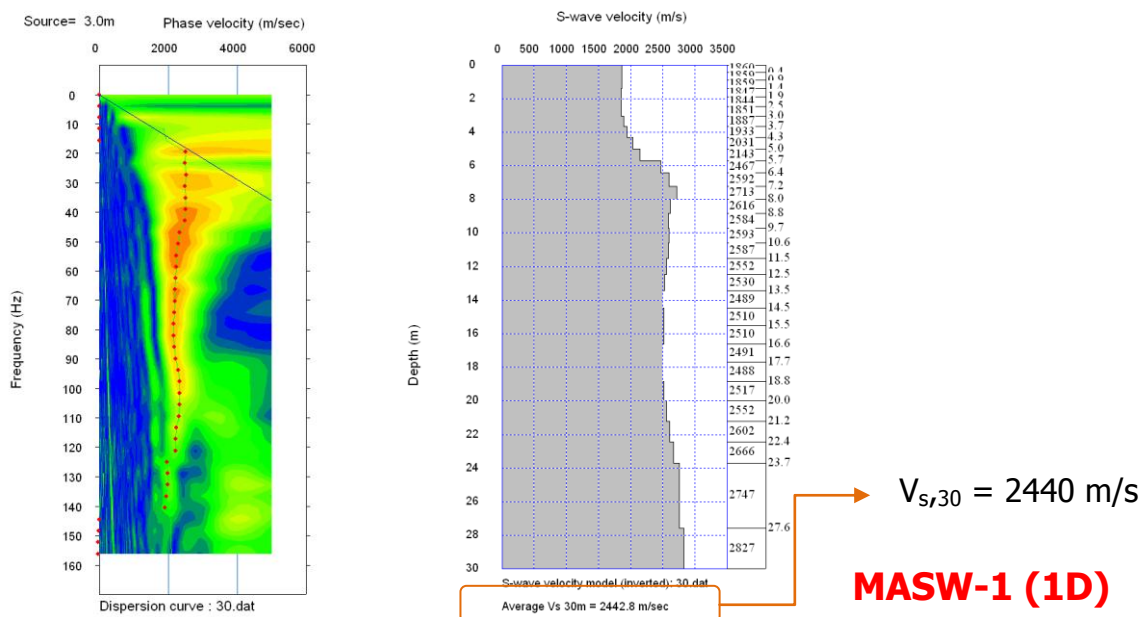
Na slici 7 i 8 prikazan je rezultat interpretacije MASW-1, odnosno brzina posmičnih valova V_s po dubini profila.

MASW-1 (2D), Osnovna škola Novi Bokanjac

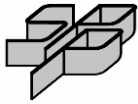


Slika 7. Profil brzine posmičnih seizmičkih valova (V_s) izmjeren na MASW-1 Novi Bokanjac

MASW 1 / PROFIL 2D iniciranje=offset 3.0 m



Slika 8. Profil brzine posmičnih seizmičkih valova pod dubini izmjeren na MASW-1 Novi Bokanjac.



Iz interpretacije rezultata snimaka MASW-1 Novi Bokanjac, na slikama 7 i 8, vidljivo je da su seizmičke brzine posmičnih valova V_s u površinskom dijelu do maksimalne dubine cca. 5,0 m, a koji odgovara vrlo srednje okršenoj stijeni $V_s = 1400 - 2000$ m/s.

Dublje navedenog intervala, matičnoj stijeni raste brzina posmičnih valova na vrijednosti $V_s > 2000$ m/s.

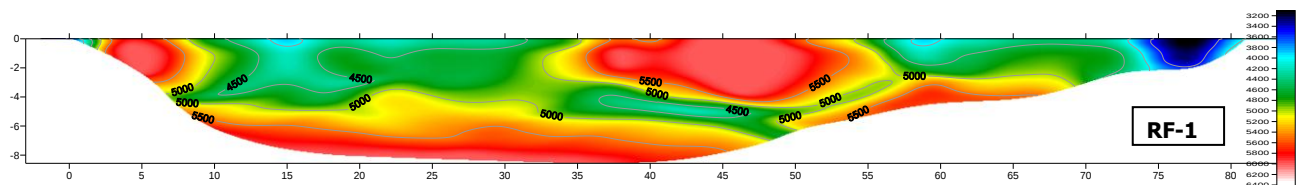
4.3. SEIZMIČKA REFRAKCIJA

Ovom metodom mjerimo vremena prvih nailazaka koji se očitavaju sa snimljenih seizmograma. Prvi se nailasci odnose na uzdužne P ili poprečne S valove što već ovisi o načinu generiranja seizmičkog poremećaja. "Pikiranje" i korespondencija vremena odgovarajućim refraktorima najosjetljiviji je dio prilikom interpretacije. Princip CAD (*computer aided tomography*) daje korektne slike kad god se uvažavaju relevantni podaci geotehničkog profila, a time se ujedno umanjuje moguća više-smislenosti zbog inverzije brzina po dubini.

Plitka seizmička refrakcija, odnosno refrakcijska tomografija provedena je s P valovima. Seizmički dispozitiv se sastojao od 24 vertikalna geofona frekvencije 4.5 Hz za snimanje P valova. Geofonski razmak iznosio je 3,0 m. Podaci mjerenja su interpretirani DELTA-t-V metodom iz paketa Rayfract 2.63 (Intelligent Resources Inc.).

Ograničenje refrakcijske metode je porast brzine seizmičkih valova s dubinom. Tako nije moguće interpretirati sloj niže brzine ispod sloja više brzine nego je konačni rezultat prikaz na kojemu brzine seizmičkih valova rastu sa dubinom.

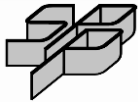
Na slici 9. prikazan je rezultat tomografske interpretacije seizmičkog profila RF-1, Novi Bokanjac.



Slika 9. 2D profil brzine kompresijskih seizmičkih valova izmjeren na RF-1, Novi Bokanjac

4.4. ELEKTRIČNA ISTRAŽIVANJA

Otpornost je vrlo važno svojstvo tla, odnosno stijene, a ovisi o sadržaju vode te o količini i vrsti u njoj otopljenih minerala. Zbog različitog stupnja poroznosti stijene i saturiranosti vodom, taj se otpor može mijenjati u širokim granicama. Svi mjerni iznosi prividnog otpora bit će jednaki stvarnom otporu samo ako je geološka sredina po cijeloj ispitanoj dubini homogena. Geološke sredine su najčešće heterogene pa prividni otpor, unutar zahvaćene dubine, ima neku prosječnu vrijednost, koja ovisi o otporima i raspodjeli materijala po dubini te o razmacima elektroda. Na slici 10 prikazana je terenska oprema za mjerenje geoelektričnih svojstava tla.

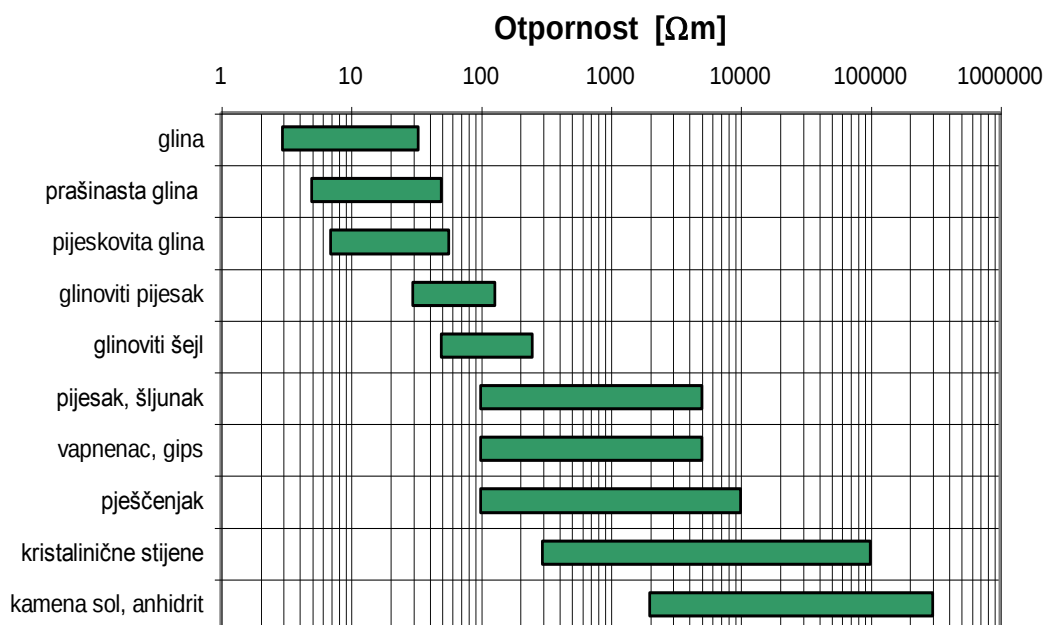
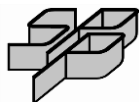


Slika 10. Terenska oprema za geoelektrična ispitivanja

4.4.1. GEOELEKTRIČNO SONDIRANJE (VES)

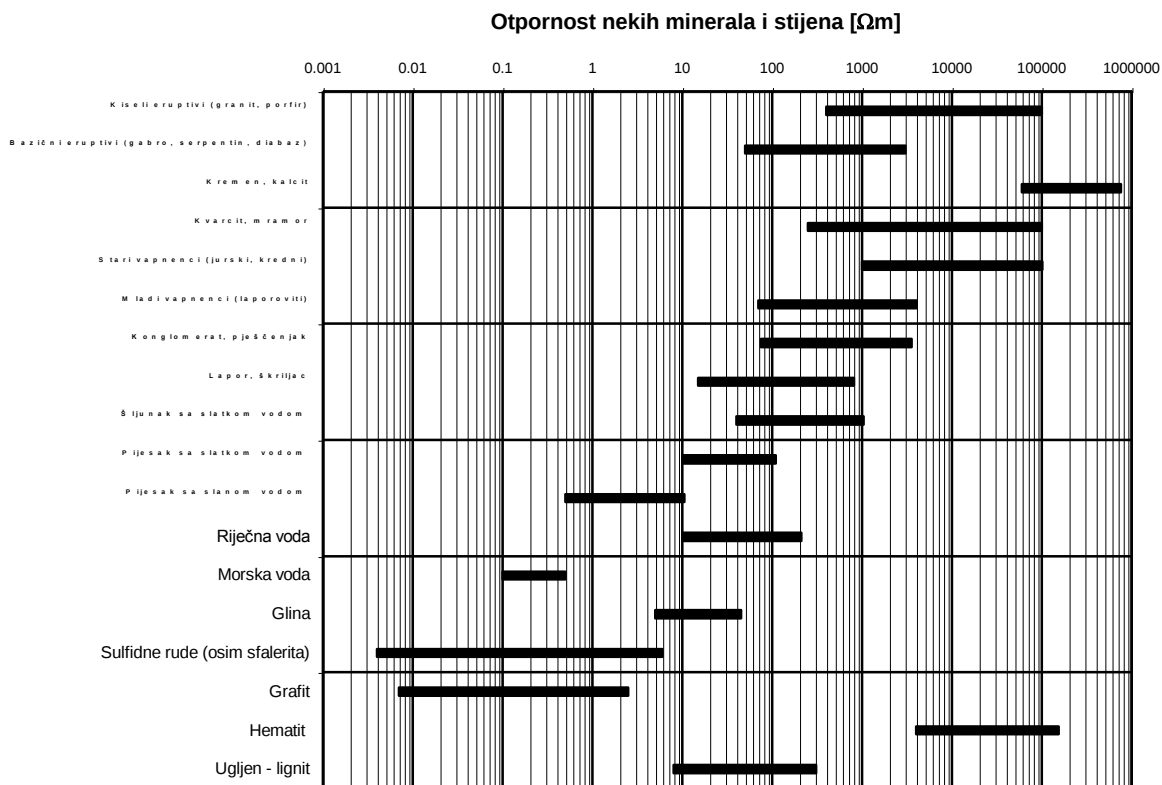
Geoelektrične metode su brojnije i raznovrsnije od drugih geofizičkih metoda, a najčešće se primjenjuje galvanska metoda prividnog otpora, koja se zasniva na razlici između električnih otpornosti slojeva, odnosno masa u zahvaćenom dijelu geoloških formacija. Niz uzastopnih mjerenja prividnih otpornosti s rastućim razmakom između strujnih i potencijalnih elektroda, čime se dobivaju mjerni podaci za sve veće dubine, predstavlja geoelektrično sondiranje. Struja određene jakosti se preko metalnih strujnih elektroda pušta u tlo, te se iz nastale razlike potencijala na mjernim naponskim elektrodama određuje prividna otpornost tla. U praksi, ova se metoda najčešće koristi za određivanje promjena otpornosti s dubinom.

Kod ovih mjerenja razmak elektroda različit je za svako mjerenje, dok centar elektrodnog polja, u kojem se mjere razlike potencijala, ostaje stalan te se prikazuju razlike potencijala u odnosu prema onom izmjerenom u centru elektrodnog polja. Dubina sondiranja ovisi o međusobnoj udaljenosti strujnih i naponskih elektroda. Što je veći međusobni razmak elektroda, veća je dubina ispitivanja.

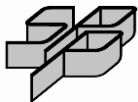


Slika 11. Prikaz otpornosti nekih materijala (G. Dohr)

Pri interpretaciji rezultata mjerenja uvažene su postojeće spoznaje o sastavu i građi terena. Zbog usporedbe treba navesti i podatke o specifičnom električnom otporu nekih geoelektričnih sredina iz literature. Na slici 11 prikazana je specifična otpornost ρ nekih geoloških sredina G. Dohr. *Applied Geophysics*, str. 187, a na slici 12 je specifična otpornost ρ nekih materijala preuzeta iz časopisa *Geofizika* (S. Kovačević. *Osnove metode geoelektričnog sondiranja*, 1962).



Slika 12. Prikaz otpornosti nekih materijala (Kovačević, 1962)



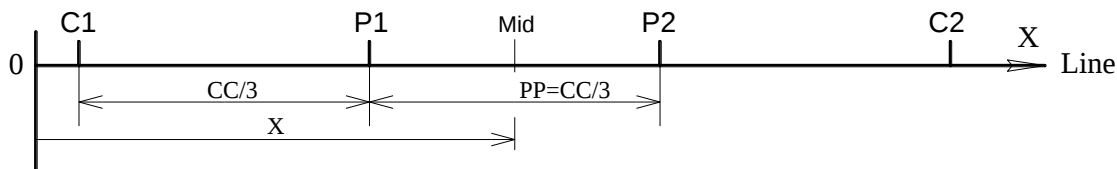
Podaci dobiveni geoelektričnim ispitivanjima veoma su pouzdani ako se verificiraju strukturnim bušenjima, te ako rezultate mjerenja interpretira iskusan geoelektričar. Geoelektrično sondiranje ima značajne prednosti pred drugim geofizičkim metodama ispitivanja geoloških formacija, jer je jednostavno, brzo, točno i nije skupo. U osnovi ovog ispitivanja mjeri se provodljivost naslaga, odnosno otpori tla prolazu električne struje.

Otpornost naslaga mijenja se u dosta širokim granicama, a na njenu veličinu posebno utječe niz činitelja poput otpora minerala stijene i otopina u njenim porama i pukotinama, poroznost, vlažnost i struktura stijene odnosno sloja.

4.4.2 GEOELEKTRIČNA TOMOGRAFIJA

U Wennerovom mjernom rasporedu za profiliranje koriste se dvije strujne elektrode (C1 i C2) i dvije potencijalne elektrode (P1 i P2) smještene u liniji i centrirane na nekoj lokaciji (Slika 13).

Elektrode se postavljaju u ravnoj liniji profila, na način da se zabode svih 24 elektroda, a preklopnik geoelektričnog uređaja za mjerenje automatizirano prebacuje raspored strujnih i potencijalnih elektroda. Mjeri se jakost struje između strujnih elektroda pa se iz razlike potencijala između potencijalnih elektroda, pomoću konstante geometrijskih odnosa elektroda (za Wenner PRF – $K=2\pi CC/3$), određuje prividna otpornost. Interpretacijom se određuju debljine i specifični električni otpor pojedinih geoelektričnih sredina.



Slika 13. Wenner-ov raspored.

gdje je:

X : udaljenost u profilu do polovišta P1P2 (Mid)

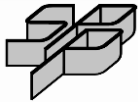
CC/3 : trećina udaljenosti strujnih elektroda (CC/3)

Polovište potencijalnih elektroda P1 i P2 nalazi se na udaljenosti X od početka geoelektričnog profila. Pri mjerenju udaljenost P1-P2 iznosi trećinu udaljenosti C1C2 ($PP=CC/3$).

Prednosti geoelektričnog profiliranja:

- ❑ nije potrebno razmicanje elektroda sukladno položaju u profilu,
- ❑ mjerni raspored se u profilu pozicionira automatizirano.

Interpretirani rezultati prikazuju se kao grafički prikaz profila otpornosti sa dubinom. Profil se može prikazati u boji ili u crno-bijelome prikazu, gdje različite šrafure prema legendi prikazuju zone različitih otpornosti. Trapezasti oblik grafičkog prikaza, gdje se sa udaljenošću od središta profila

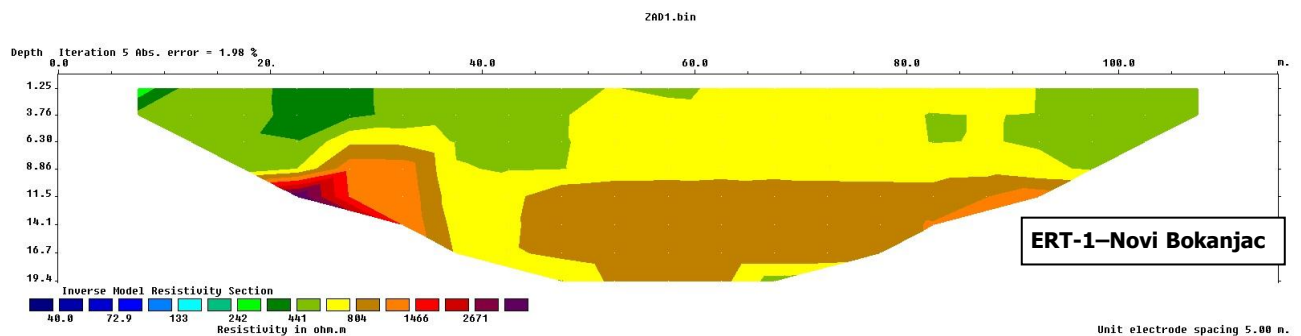


smanjuje dubina interpretacije, razlog je u postepenom smanjivanju prikupljenih podataka kako se razmak strujnih i potencijalnih elektroda povećava. Ako su potrebni ovi podaci kompletan profil se može preseliti duž linije istraživanja, te se grafički prikazi nastavljaju jedan na drugi.

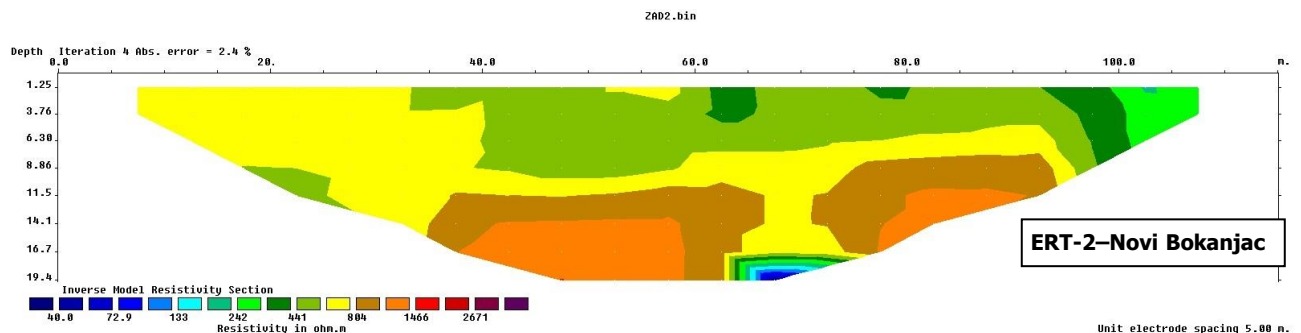
Geoelektrična tomografija sve se više koristi kao metoda za istraživanje zona sa složenom geologijom gdje se metode geoelektričnog sondiranja i druge geofizičke metode ne mogu koristiti.

4.5. INTERPRETACIJA PROFILA ELEKTRIČNE TOMOGRAFIJE

Na temelju iskustvenih podataka autora ovog izvješća, a za slične geoelektrične sredine, te uz priložene podatke iz literature o specifičnom električnom otporu nekih materijala, interpretirane su geološke sredine u geoelektričnim profilima ERT-1 i ERT-2 (slika 14 i 15).



Slika 14. Rezultat geoelektrične tomografije u profilu ERT-1 (Novi Bokanjac)



Slika 15. Rezultat geoelektrične tomografije u profilu ERT-2 (Novi Bokanjac)

500 - 800 Ω m - SREDNJE OKRŠENA STIJENSKA MASA, III kategorija stijenske mase

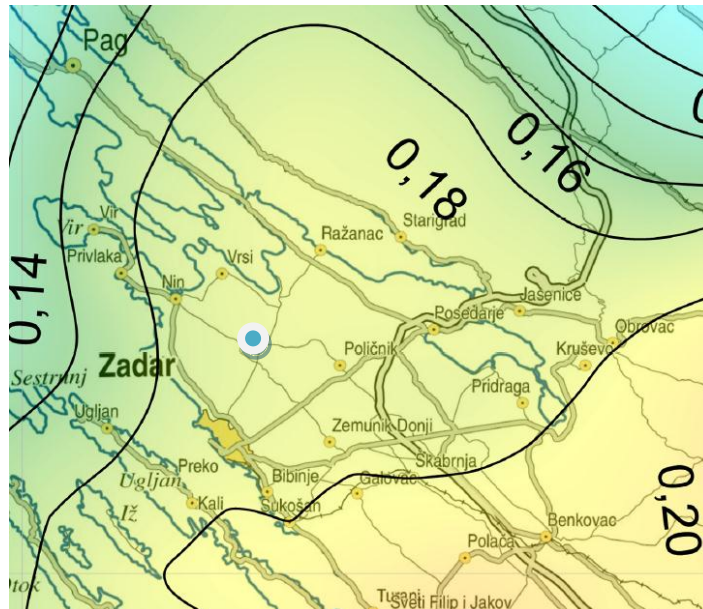
Stijena na temeljnoj dubini odgovara srednje okršenoj stijenskoj masi. Pukotine su srednje veličine, djelomično ispunjene glinom.

800 - 1000 Ω m - SLABO OKRŠENA STIJENSKA MASA, II kategorija stijenske mase

Dublje formacije stijene slabo su okršene s otpornostima > 1000 Ω m.

5. PROJEKTNE VRIJEDNOSTI MAKSIMALNOG POTRESA (EUROCODE – 8)

Prema karti potresnih područja Republike Hrvatske, koja je sastavni dio Nacionalnog dodatka za niz normi HRN EN 1998-1:2011/NA:2011, Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija - 1.dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade, određeno je vršno ubrzanje za tip tla A, a za istražni prostor iznosi: **$a_{gR} = 0,18g$** (povratni period 475 godina).



Slika 16. Karta potresnih područja.

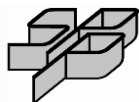
Utjecaj svojstava temeljnog tla na seizmička djelovanja generalno se uzima u obzir svrstavajući tlo u pet razreda A, B, C, D i E, a koji se razlikuju prema karakterističnim stratigrafskim profilima i parametrima prikazanim u tablici 2.

Sukladno rezultatu MASW-1 snimanja, odnosno izmjerenih brzina sekundarnih (posmičnih) valova V_s , određen je parametar $V_{s,30}$, definiran kao: (*vidi sliku 8.*)

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}} = 910 \text{ m/s}$$

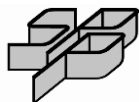
gdje h_i i V_i predstavljaju debljinu i brzinu posmičnih valova i-tog sloja od ukupnog broja N definiranih litoloških slojeva do dubine 30 m. Brzina posmičnih valova uzima se mjerena pri malim deformacijama.

Iz mjerenih vrijednosti na terenu, te upotrebom izraza za $V_{s,30}$, određeno je da tlo na istražnoj lokaciji odgovara **"A" kategoriji tla prema seizmičnosti, $V_{s,30} > 800 \text{ (m/s)}$.**



Tablica 2. Kategorizacija tla prema seizmičnosti (Eurocode 8, HRN EN 1998-1:2008 en)

Kat. tla	Opis profila tla	Parametri		
		$V_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (udaraca/30 cm)	C_u (kPa)
A	Stijena ili njoj slične geološke formacije, uključujući najviše 5 m slabijeg materijala na površini	>800	-	-
B	Slojevi vrlo zbijenog pijeska, šljunka ili vrlo čvrste gline, debljine najmanje nekoliko desetina metara, karakterizirani stupnjevitim povećanjem mehaničkih svojstava sa dubinom	360 - 800	>50	>250
C	Slojevi zbijenog ili srednje zbijenog pijeska, šljunka ili čvrste gline, debljine od nekoliko desetina do više stotina metara	180 - 360	15 – 50	70 - 250
D	Rastresiti do srednje zbijeni nevezani sedimenti (sa ili bez mekanih kohezivnih slojeva) ili predominantno mekano do čvrsto kohezivno tlo	<180	<15	<70
E	Tlo se na površini sastoji od aluvijalnih nanosa sa vrijednosti $v_{s,30}$ prema tipu C ili D i debljinom između 5 i 20 m, ispod kojeg je krući materijal sa $v_{s,30}$ >800 m/s			



6. ELASTIČNE KONSTANTE

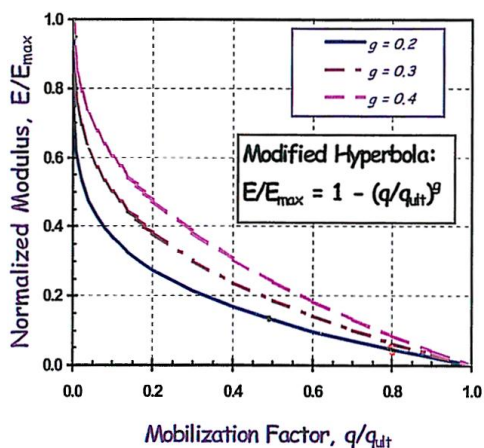
Početni (inicijalni) posmični modul vezan je za brzinu širenja posmičnih valova (V_s) i zapreminsku gustoću tla, prema slijedećem izrazu:

Posmični modul elastičnosti (iz seizmičkih ispitivanja): $G_{0(dyn)} = \rho \cdot V_s^2$

Ekvivalentni statički modul elastičnosti za geostatičke potrebe određuje se iz slijedećeg izraza:

$$E_s = \left(\frac{E}{E_0} \right) 2 \cdot \rho \cdot V_s^2 (1 + \nu) = \left(\frac{E}{E_0} \right) \cdot 2 (1 + \nu) \cdot G_{0(dyn)}$$

Za određivanje odnosa E/E_0 , koristi se dijagram na slici 17. Izraz q/q_{ult} može se izraziti i kao $1 / F_s$, gdje je F_s faktor sigurnosti. Parametar "g" sa slike 17 ovisi o vrsti materijala. Za materijal karbonatne stijene V. kategorije je $g = 0,2$.

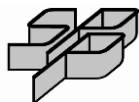


$$\text{Modul stišljivosti: } M_v = \frac{E_s (1 - \nu)}{(1 + \nu) (1 - 2\nu)}$$

Slika 17. Krivulje degradacije modula elastičnosti za potrebe geostatičkih proračuna

Tablica 3. **Elastične konstante**

OS Novi Bokanjac	REZULTAT ZA MATERIJALE U PROFILU MASW	V_s (m/s)	ν (-)	ρ (g/cm ³)	$G_{0(dyn)}$ (MN/m ²)	E / E_0	E_s (MN/m ²)	M_v (MN/m ²)
	1	2	3	4	5	6	7	8
	srednje okršena stijena (III. kat.)	1320	0.10	1.80	3136	0.08	552.0	565
	slabo okršena stijena (II. kat.)	2100	0.10	2.00	8820	0.08	1552.3	1588



7. GEOSTATIČKE ANALIZE

7.1. ANALIZA NOSIVOSTI

Nosivost tla sukladno Aneksu D, Eurokoda 7 (EC7, HRN EN 1997-1:2008 en) izvodi se iz teorije plastičnosti i eksperimentalnih rezultata. Mehanička čvrstoća tla predstavljena je u dreniranim uvjetima sa c' i φ' .

Proračun nosivosti plitkog temelja za drenirane uvjete provodi se prema izrazu:

$$q_u = R/A' = c' N_c b_c s_c i_c + q' N_q b_q s_q i_q + 0,5 \gamma' B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

$A' = B' L'$ - korisna površina temelja, tj. dio ukupne površine osnovice temelja koji je resultantnom silom centrički opterećen,

R - dopušteni otpor tla

γ - težina tla ispod razine temeljnog dna,

γ' - računski zapreminska težina tla,

q - najmanje efektivno opterećenje u razini temeljnog dna pokraj temelja,

φ' - računski kut posmične čvrstoće tla,

c' - računski kohezija tla,

N_γ i N_c - faktori nosivosti,

b_c, b_q, b_γ - faktori nagiba temeljne plohe,

s_c, s_q, s_γ - faktor oblika temelja,

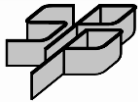
i_c, i_q, i_γ - faktori nagiba rezultante.

Dopuštene su slijedeće grupe parcijalnih faktora: Projektni pristup 1, kombinacija 1 - DA1,1, koeficijenti (A1+M1+R1); DA1,2 (A2+M2+R1); DA2 (A1+M1+R2); DA3 (A1 ili A2+M2+R3).

Parcijalni faktori sigurnosti prema Eurokodu 7 dani su tablici 4:

Tablica 4. Parcijalni faktori sigurnosti prema Eurokodu 7 (EC7, HRN EN 1997-1:2008 en)

Parametar		Simbol	EQU	GEO/STR - Grupe parcijalnih faktora						
				A1	A2	M1	M2	R1	R2	R3
Stalno djelovanje (G)	Nepovoljno	$\gamma_{G, dst}$	1,1	1,35	1,0					
	Povoljno	$\gamma_{G, stb}$	0,9	1,0	1,0					
Pokretno djelovanje (Q)	Nepovoljno	$\gamma_{Q, dst}$	1,5	1,5	1,3					
	Povoljno	-	-	-	-					
Akcidentno djelovanje (A)	Nepovoljno	$\gamma_{A, dst}$	1,0	1,0	1,0					
	Povoljno	-	-	-	-					
Koeficijent posmičnog otpora ($\tan \varphi'$)		$\gamma_{\varphi'}$	1,25			1,0	1,25			
Efektivna kohezija (c')		$\gamma_{c'}$	1,25			1,0	1,25			
Nedrenirana posmična čvrstoća (c_u)		γ_{cu}	1,4			1,0	1,4			
Jednoosna tlačna čvrstoća (q_u)		γ_{qu}	1,4			1,0	1,4			
Zapreminska težina (γ)		γ_γ	1,0			1,0	1,0			
Otpor nosivosti (R_v)		γ_{Rv}						1,0	1,4	1,0
Posmični otpor (R_h)		γ_{Rh}						1,0	1,1	1,0
Otpor tla (R_n)		γ_{Re}						1,0	1,4	1,0



7.2. ANALIZA SLIJEGANJA

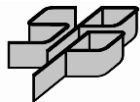
Uzrok slijeganju je dodatno kontaktno naprezanje na površini poluprostora uslijed opterećenja građevinom. Proračun se zasniva na idealiziranom modelu tla kao elastičnom, homogenom i izotropnom poluprostoru. Račun slijeganja za koherentno tlo izvodi se u skladu s Hookovim zakonom, a za nekoherentno tlo na osnovu otpora prodiranja šiljka pri izvođenju statičkog ili dinamičkog penetracijskog pokusa.

7.3. MODUL REAKCIJE TLA

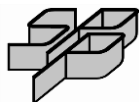
Kao referentan pokazatelj deformacijskog ponašanja tla može se smatrati modul reakcije tla k_s . Modul reakcije tla je funkcija oblika i veličine kontaktne plohe, rasporeda i intenziteta opterećenja te sastava i svojstva tla. Kod proračunskog modela kod kojeg je tlo zamijenjeno sustavom opruga (Winklerov prostor), k_s je koeficijent proporcionalnosti između dodatnog kontaktnog naprezanja Q ($Q = P - q$) i pomaka w točke na površini Winklerovog prostora:

$$k_s = \frac{Q}{w} \quad (\text{MN/m}^3)$$

Vrijednosti Q i w uzete su iz proračuna slijeganja karakteristične točke "K".



8. GEOSTATIČKI PRORAČUN

**8.1. NOSIVOST TEMELJNOG TLA (temeljna stopa, BxL = 2,0 x 2,0 m, D = 0,6 m)****A. Podaci o tlu:**

- kut unutrašnjeg trenja	φ =	36.0 °
- unutrašnja kohezija	c =	40.0 kN/m ²
- obujamska težina tla iznad temelja	γ =	21.0 kN/m ³
- obujamska težina tla ispod temelja	γ' =	21.0 kN/m ³
- razina podzemne vode u proračunu	RPV =	6.0 m

B. Podaci o temelju:

- oblik temelja -	KVADRATNA TEMELJNA STOPA	
- dubina temeljenja	D =	0.60 m
- dubina širokog iskopa	D_i =	0.00 m
- visina temelja	t =	0.50 m
- širina temelja	B =	2.00 m
- dužina temelja	L =	2.00 m
- obujamska težina betona	γ_{beton} =	24.0 kN/m ³
- kut nagiba baze temelja	α =	0 °

C. Otpor tla:

$$q_u = R_k / A' = c' N_c b_c s_c i_c + q' N_q b_q s_q i_q + 0.5 \gamma' B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma \quad (\text{kN/m}^2)$$

- težina tla iznad temelja	W_{tlo} =	8.4 kN
- ukupna vlastita težina temelja	W =	56.4 kN
- geološko naprezanje na temeljnoj dubini	q =	12.6 kPa

D. Projektna djelovanja:

Vertikalna sila - GLAVNO:	P_k	=	1100.0 kN	$P_d = P_k * \gamma_G$	=	1485.0 kN	e_B	=	0.00 m									
Vertikalna sila - POKRETNO:	Q_k	=	220.0 kN	$Q_d = Q_k * \gamma_Q$	=	330.0 kN	e_L	=	0.00 m									
Vlastita težina:				$W_d = W * \gamma_G$	=	76.1 kN												
Ukupna vertikalna djelovanja:				$V_d = P_d + Q_d + W_d$	=	1891.1 kN												
Horizontalna sila - GLAVNO::	H_k	=	300.0 kN	$H_d = H * \gamma_G$	=	405.0 kN	U SMJERU L		0 °									
<table><tr><td>$B' =$</td><td>2.00</td><td>m</td><td>$L' =$</td><td>2.00</td><td>m</td><td>$A' =$</td><td>4.00</td><td>m²</td></tr></table>										$B' =$	2.00	m	$L' =$	2.00	m	$A' =$	4.00	m ²
$B' =$	2.00	m	$L' =$	2.00	m	$A' =$	4.00	m ²										

Kontrola ekscentriciteta: $e_{dB} \leq B / 6$ - u redu $e_{dL} \leq L / 6$ - u redu

E1. Projektni pristup, kombinacija DA 3 (A1+M2+R3)

- koeficijent posmičnog otpora, $\gamma_{\varphi'}$	1.50	- stalna djelovanja, γ_G	1.35
- efektivna kohezija, γ_c	1.50	- pokretna djelovanja, γ_Q	1.50
- koeficijent otpora tla, γ_{Rv}	1.00		
- zapreminska težina, γ_γ	1.00		

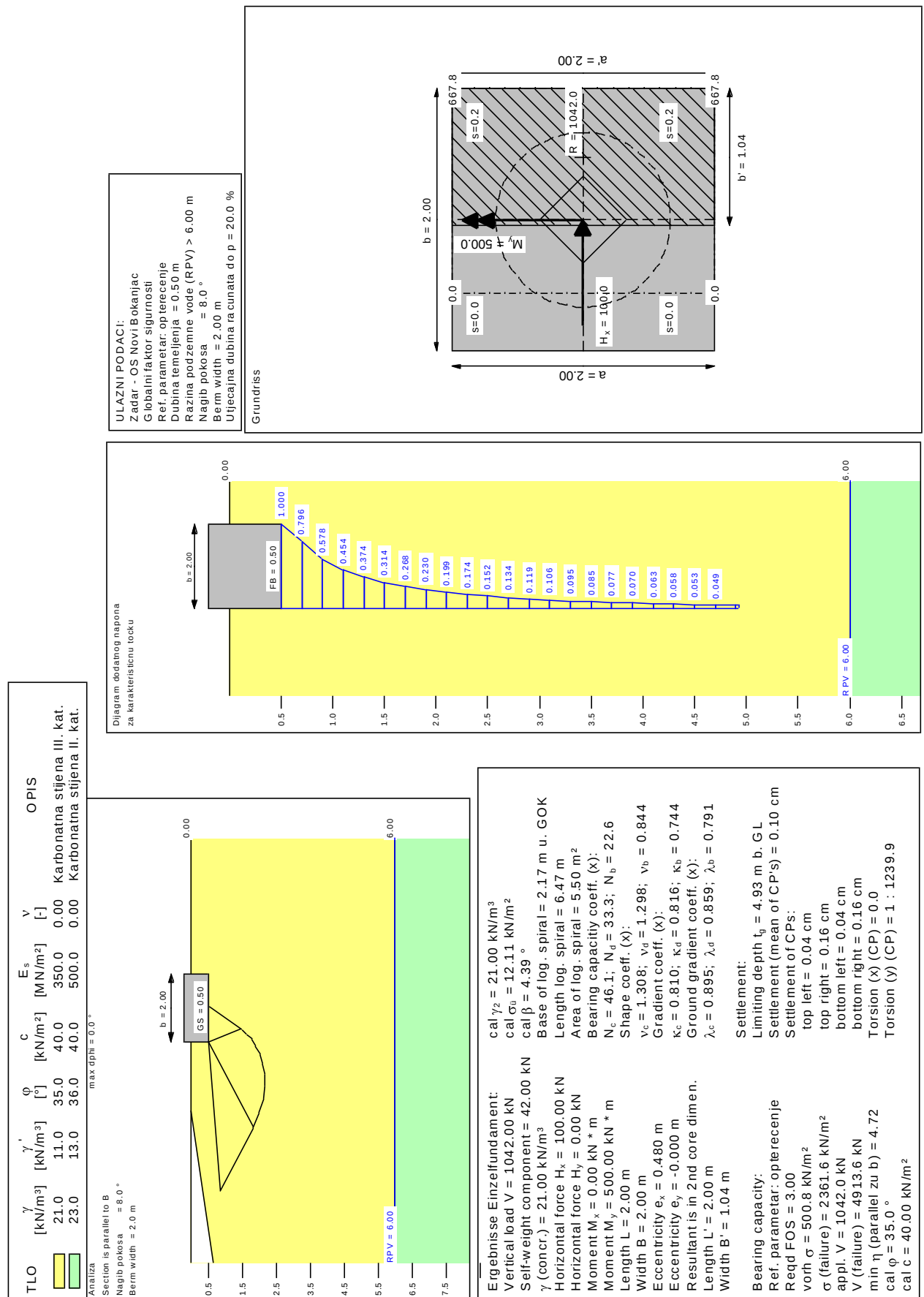
Računski parametri tla:	- efektivna kohezija	$c' =$ 26.7 kPa
	- efektivni kut posmične čvrstoće	$\varphi' =$ 25.8 °

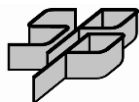
Faktori nosivosti:	Faktori oblika:	Faktori nagiba baze temelja:	Inklinacija V sile zbog H:
$N_c =$ 22.01	$s_c =$ 1.48	$b_c =$ 1.00	$i_c =$ 0.70
$N_q =$ 11.66	$s_q =$ 1.44	$b_q =$ 1.00	$i_q =$ 0.73
$N_\gamma =$ 10.33	$s_\gamma =$ 0.70	$b_\gamma =$ 1.00	$i_\gamma =$ 0.59
			$m =$ 1.500

Dozvoljeno opterećenje tla:	$q_u =$ 849.76 kPa
Dozvoljena nosivost proračunatog temelja:	$R_k =$ 3399.05 kN
Dozvoljeni otpor tla proračunatog temelja	$R_d = R_k / \gamma_{Rv} =$ 3399.05 kN
Faktor predimenzioniranja:	$\Gamma =$ 1.80

UVJET $V_d < R_d$ JE ZADOVOLJEN JER VRIJEDI **1.89** < **3.40 MN**

8.2. SLIJEGANJE TEMELJNOG TLA (kvadratna temeljna stopa, $D = 0,6 \text{ m}$)



**8.3. NOSIVOST TEMELJNOG TLA (temeljna traka, B = 0,5 m, D = 0,6 m)****A. Podaci o tlu:**

- kut unutrašnjeg trenja	$\varphi =$	36.0 °
- unutrašnja kohezija	$c =$	40.0 kN/m ²
- obujamska težina tla iznad temelja	$\gamma =$	21.0 kN/m ³
- obujamska težina tla ispod temelja	$\gamma' =$	21.0 kN/m ³
- razina podzemne vode u proračunu	RPV =	6.0 m

B. Podaci o temelju:

- oblik temelja -	TEMELJNA TRAKA	
- dubina temeljenja	D =	0.60 m
- dubina širokog iskopa	D _i =	0.00 m
- visina temelja	t =	0.60 m
- širina temelja	B =	0.50 m
- dužina temelja	L =	10.00 m
- obujamska težina betona	$\gamma_{\text{beton}} =$	24.0 kN/m ³
- kut nagiba baze temelja	$\alpha =$	0 °

C. Otpor tla:

$$q_u = R_k / A' = c' N_c b_c s_c i_c + q' N_q b_q s_q i_q + 0,5 \gamma' B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma \quad (\text{kN/m}^2)$$

- težina tla iznad temelja	$W_{\text{tlo}} =$	0.0 kN
- ukupna vlastita težina temelja	W =	72.0 kN
- geološko naprezanje na temeljnoj dubini	q =	12.6 kPa

D. Projektna djelovanja:

Vertikalna sila - GLAVNO:	$P_k =$	1250.0 kN	$P_d = P_k * \gamma_G =$	1687.5 kN	$e_B =$	0.00 m
Vertikalna sila - POKRETNO:	$Q_k =$	250.0 kN	$Q_d = Q_k * \gamma_Q =$	375.0 kN	$e_L =$	0.00 m
Vlastita težina:			$W_d = W * \gamma_G =$	97.2 kN		
Ukupna vertikalna djelovanja:			$V_d = P_d + Q_d + W_d =$	2159.7 kN		
Horizontalna sila - GLAVNO:	$H_k =$	100.0 kN	$H_d = H * \gamma_G =$	135.0 kN	U SMJERU L	0 °

B' =	0.50	m	L' =	10.00	m	A' =	5.00	m ²
------	------	---	------	-------	---	------	------	----------------

Kontrola ekscentriciteta: $e_{dB} \leq B / 6$ - u redu $e_{dL} \leq L / 6$ - u redu

E1. Projektni pristup, kombinacija DA 3 (A1+M2+R3)

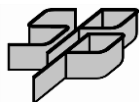
- koeficijent posmičnog otpora, γ_φ	1.50	- stalna djelovanja, γ_G	1.35
- efektivna kohezija, γ_c	1.50	- pokretna djelovanja, γ_Q	1.50
- koeficijent otpora tla, γ_{Rv}	1.00		
- zapreminska težina, γ_γ	1.00		

Računski parametri tla:	- efektivna kohezija	$c' =$	26.7 kPa
	- efektivni kut posmične čvrstoće	$\varphi' =$	25.8 °

Faktori nosivosti:	Faktori oblika:	Faktori nagiba baze temelja:	Inklinacija V sile zbog H:
$N_c =$ 22.01	$s_c =$ 1.02	$b_c =$ 1.00	$i_c =$ 0.94
$N_q =$ 11.66	$s_q =$ 1.02	$b_q =$ 1.00	$i_q =$ 0.94
$N_\gamma =$ 10.33	$s_\gamma =$ 0.99	$b_\gamma =$ 1.00	$i_\gamma =$ 0.89
			m = 1.048

Dozvoljeno opterećenje tla:	$q_u =$	751.57 kPa
Dozvoljena nosivost proračunatog temelja:	$R_k =$	3757.87 kN
Dozvoljeni otpor tla proračunatog temelja $R_d = R_k / \gamma_{Rv} =$		3757.87 kN
Faktor predimenzioniranja:	$\Gamma =$	1.74

UVJET $V_d < R_d$ JE ZADOVOLJEN JER VRIJEDI **2.16** < **3.76 MN**

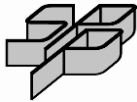


9. ZAKLJUČAK

Osnovom izvedenih terenskih istražnih radova za potrebe temeljenja Osnovne škole na području Novi Bokanjac - Zadar, te provedenih geostatičkih analiza, može se zaključiti kako je temeljno tlo geomehanički pogodno za izgradnju građevine uz uvažavanje navoda iz ovog elaborata kao i sljedećeg:

- Istražni radovi na predmetnoj lokaciji obuhvaćaju geofizička ispitivanja, odnosno seizmičku metodu višekanalne analize površinskih valova (MASW), plitku seizmičku refrakciju (RF), geoelektričnu tomografiju (ERT) i georadarsko profiliranje (GPR).
- Lokacija konfiguracijom predstavlja približno ravan teren obrastao gustom makijom. Na površini terena vidljivi su izdanci osnovne stijene blokovitog foraminiferskog vapnenca, te nasipni materijali kamene drobine i zemljanih materijala. Blokovi vapnenca velikih su dimenzija, a pukotine sadrže vrlo malo ispune. Temeljna stijena klasificiran je u III. kategoriju karbonatne stijene. Brzine seizmičkih posmičnih valova na temeljnoj dubini odgovaraju $V_s = 1300 - 1600$ m/s, što odgovara srednje okršenoj stijenskoj masi III kategorije. Sukladno nalazu geoelektrične tomografije stijena je ujednačenih mehaničkih karakteristika duž profila sa srednjom vrijednošću električne otpornosti $800 \Omega\text{m}$.
- Položaj geofizičkih istraživanja prikazan je na situacijskom planu u Prilogu 1.

ZNAČAJKE LOKACIJE			
Generalni nagib i pad terena:	Teren približno ravan		
Izdanci osnovne stijene:	Vidljivi na površini terena		
Zahvati na terenu:	dijelom nasipavan teren, površinski građevni otpad (šuta), suhozid, betonski bunker, betonirana ulazna stubišta u podzemne prolaze.		
Izvori, vodotoci (vododerine)	Nema		
Nestabilnosti terena (klizanja, puzanja)	Nema		
Utvrđena krška prolamanja:	Nema, <i>temeljno tlo III. kategorije karbonatne stijene</i>		
GEOTEHNIČKE KARAKTERISTIKE: Stijena na temeljnoj dubini je srednje okršena, III. kategorije karbonatne stijene, veličina blokova je velika sa malom učestalošću pukotina	Geološki indeks čvrstoće	Brzina posmični seizmičkih valova V_s	Jednoosna tlačna čvrstoća (intaktni uzorak)
	GSI = 52	$V_s = 1300 - 1600$ m/s	$\sigma_c = 55 \text{ MN/m}^2$
Modul stišljivosti M_v (zona temeljenja)	Kut unutrašnjeg trenja	kohezija	
350 - 800 MN/m ²	$\varphi = 36^\circ$	$c = 40 \text{ kN/m}^2$	
Dopušteno naprezanje kvadratnog temelja $B \times L = 2,0 \times 2,0$ m, na temeljnoj dubini $D=0,5$ m (plitko temeljenje)		$(\text{EC7, DA3}) q_u = 800 \text{ kN/m}^2$	
slijeganje odabranog računskog temelja opterećenog sa vertikalnim silom $V = 1000$ kN, momentom $M_y=500$ kNm		$s = 0,16$ cm $s_{\text{dif}} = 0,20$ cm (<i>usvojiti $k_s=80\,000 \text{ kN/m}^3$</i>)	



NAPOMENA UZ ZATEČENE OBJEKTE NA PARCELI:

Sukladno vidljivim ostacima vojnih objekata i podzemnih ulaza, na lokaciji se nalaze i podzemni prolazi koji povezuju ulaze sa objektima. Na profilu geofizičkih istraživanja nisu vidljivi podzemni objekti, ali se njihov položaj na ostalim dijelovima parcele ne može isključiti. Podzemni prolaz manjeg presjeka koji spaja bunker sa ulazom ne predstavlja problem s geotehničkog aspekta temeljenja, za utvrđenu kvalitetu stijene. Na istražnom prostoru ili u bližoj okolini postoje indicije da se nalaze podzemne galerije značajnijih dimenzija, a koje je prethodno temeljenju građevine potrebno detaljno utvrditi, te ucrtati njihov položaj u odnosu na novu građevinu.

LITOLOŠKI OPIS LOKACIJE:

0,00 – 0,40 m - površinski sloj raznorodnog je sastava, humusni slojevi maksimalne dubine 0,10 m; kamena drobina, nasip od mješavine glina, kamene drobine i građevnog otpada.

0,40 – 5,00 m - karbonatna stijena blokovitog foraminiferskog vapnenca, III. kategorije karbonatne stijene (Novosel i dr.). Stijena je srednje okršena, velikih blokova, sa malo pukotinske ispune.

> **6,00 m** - karbonatna stijena II. kategorije, slabo okršena, $V_s > 2000$ m/s.

SEIZMIČNOST LOKACIJE

Iz mjerenih vrijednosti na terenu, te upotrebom izraza za $V_{s,30}$, određeno je da tlo na lokaciji osnovne škole odgovara "A" kategoriji tla prema seizmičnosti, $V_{s,30} > 800$ (m/s), Eurocode 8, HRN EN 1998-1:2008 en. Vidi poglavlje 5.

KATEGORIZACIJA ISKOPA

Za potrebe kategorizacije iskopa temeljnog tla u gore navedenim materijalima, a prema normama propisanim u "Opći tehnički uvjeti za radove na cestama" – knjiga II (IGH – Zagreb, 2001.), može se dati slijedeća kategorizacija:

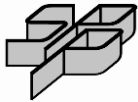
- čvrsti kameni materijal, **"A" kategorija** - strojno se može kopati tek nakon razaranja i rastresanja mehaničkim čekićem ili eksplozivom.

Prema normi JUS U.E1.010 (**GN 200**): čvrsta kamenita tla, **"VI" kategorije**.

GEOSTATIČKI PRORAČUN

Temeljem geotehničkih istražnih radova usvojen je litološki model tla, za koji je proveden proračun nosivosti i slijeganja u poglavlju 8 elaborata. Proračun je proveden za primjer odabrane temeljne stope i temeljne trake (okvirni geostatički proračun). Točan proračun provest će se za statički određena djelovanja na temelje građevine.

Sukladno EC7, za plitko temeljenje i utvrđeno temeljno tlo, kontrolirana je nosivost i otpor temeljnog tla: temeljna stopa ($D = 0,6$ m, **EC7, DA3**) $q_u = 840 \text{ kN/m}^2$ i temeljna traka ($D = 0,6$ m, **EC7, DA3**) $q_u = 750 \text{ kN/m}^2$. Temeljno tlo sposobno je preuzeti dodatna naprezanja od građevine uz izračunata slijeganja $s < 0,5$ cm. Za modul reakcija tla usvaja se $k_s = 80000 \text{ kN/m}^3$.



Za statički određena naprezanja na temeljnu konstrukciju, kontrola iskazanog dopuštenog kontaktnog naprezanja na temeljno tlo provodi se za faktorizirana djelovanja sukladno projektnom pristupu 3 (EC7, DA3), za primjenjivu grupu parametara A1 (*konstrukcijska djelovanja*) $\gamma_G = 1,35$; $\gamma_Q = 1,50$.

Prije početka betoniranja iskope za temelje buduće građevine treba pregledati geomehaničar i utvrditi da li materijal odgovara pretpostavljenim uvjetima. Često je u toj fazi potrebna sanacija temeljene stijene, odnosno lokalna zamjena materijala mršavim betonom ili dobro graduiranim drobljencem (šljunkom) kojeg treba zbiti na minimalnu vrijednost od 40 MN/m².

Rezultati istraživanja te sinteza i interpolacija rezultata istraživanja ne mogu se koristiti kao podloga za drugu građevinu na istoj lokaciji, niti za istovjetne građevine na drugoj lokaciji.

Odgovorni geomehaničar:

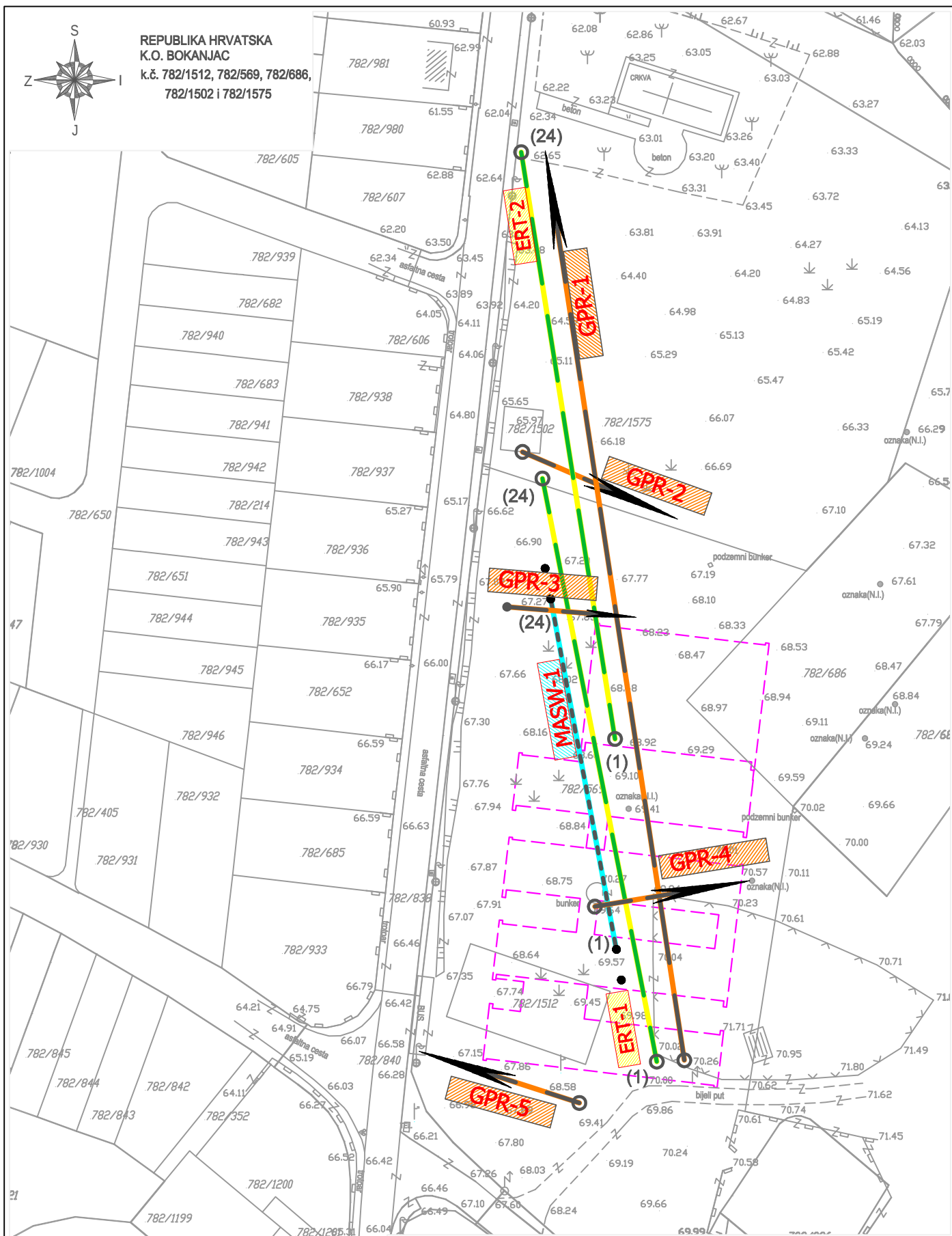
Prof. dr. sc. Stjepan Strelec, dipl.ing.

PRILOZI

PRILOG br. 1

SITUACIJSKI PLAN S POLOŽAJEM ISTRAŽIVANJA

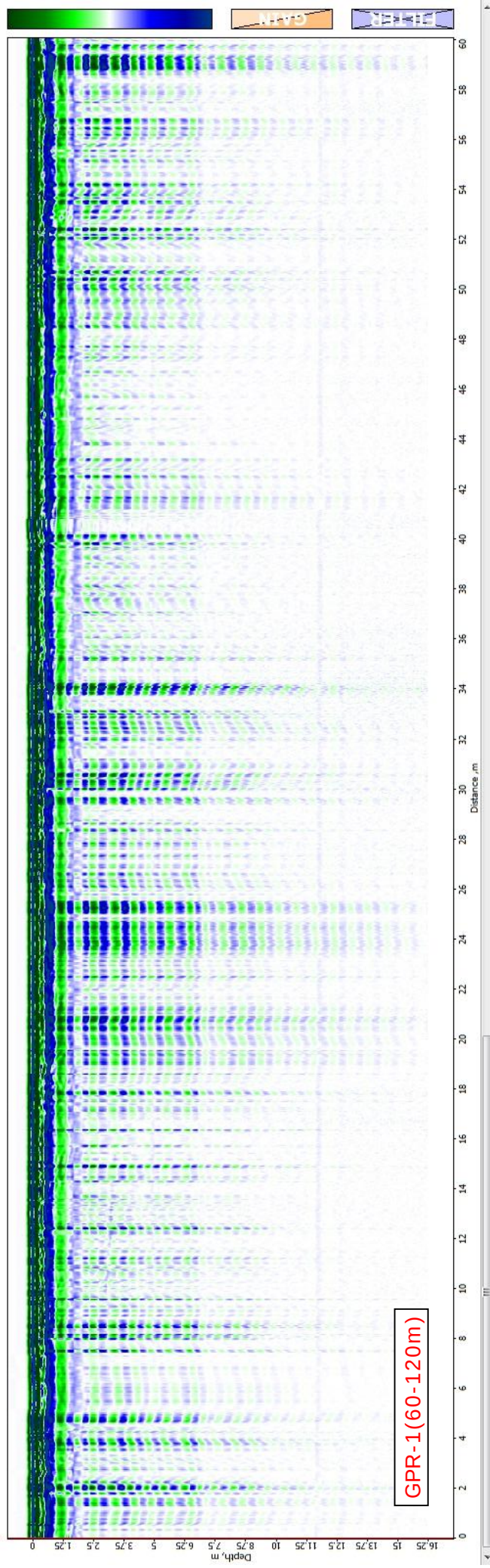
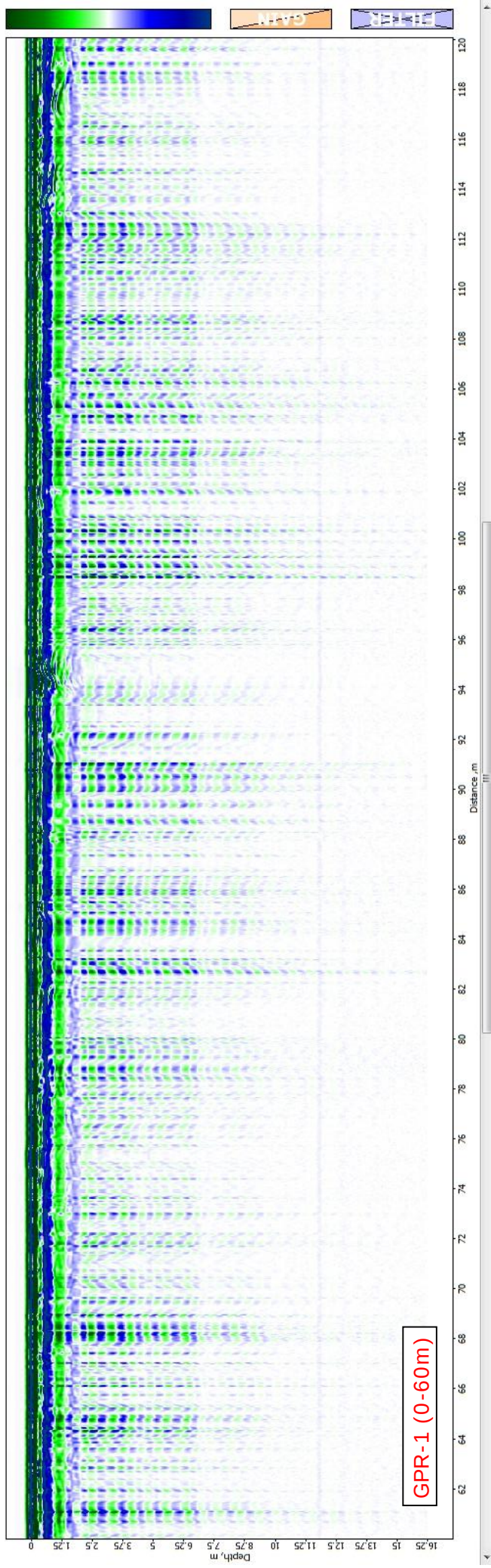
REPUBLIKA HRVATSKA
K.O. BOKANJAC
k.č. 782/1512, 782/569, 782/686,
782/1502 i 782/1575

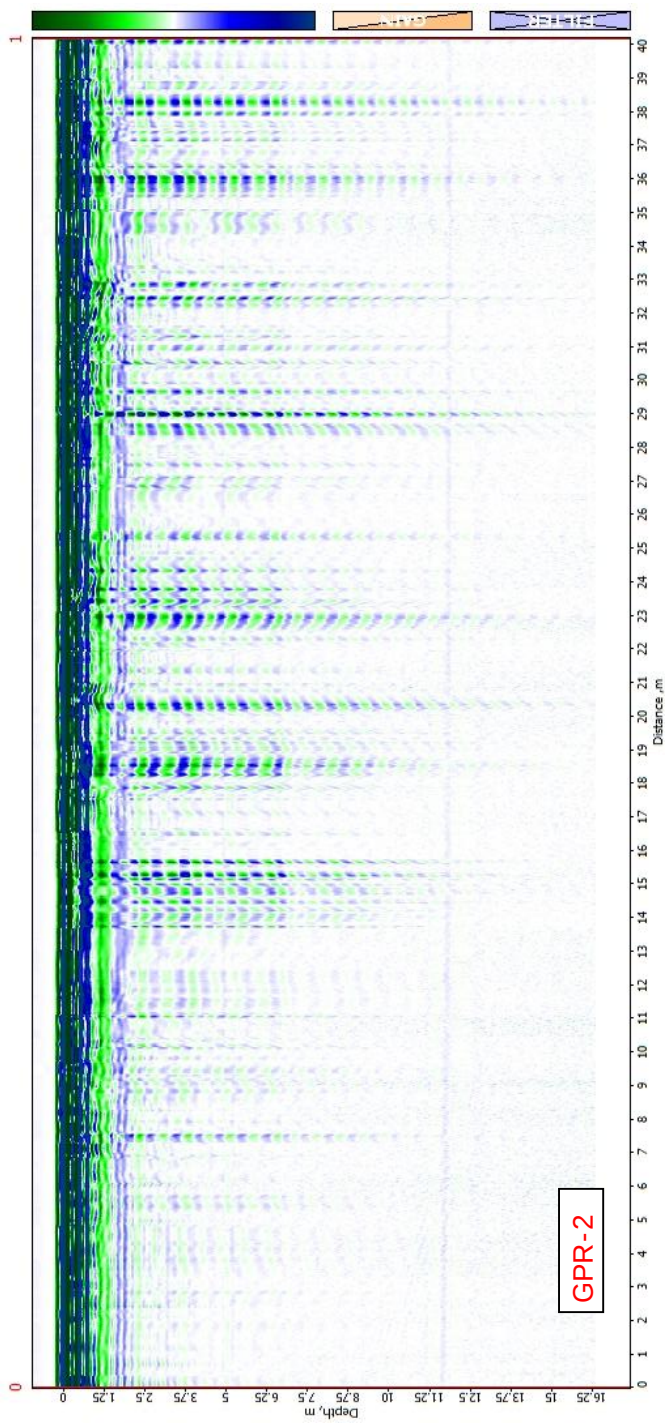
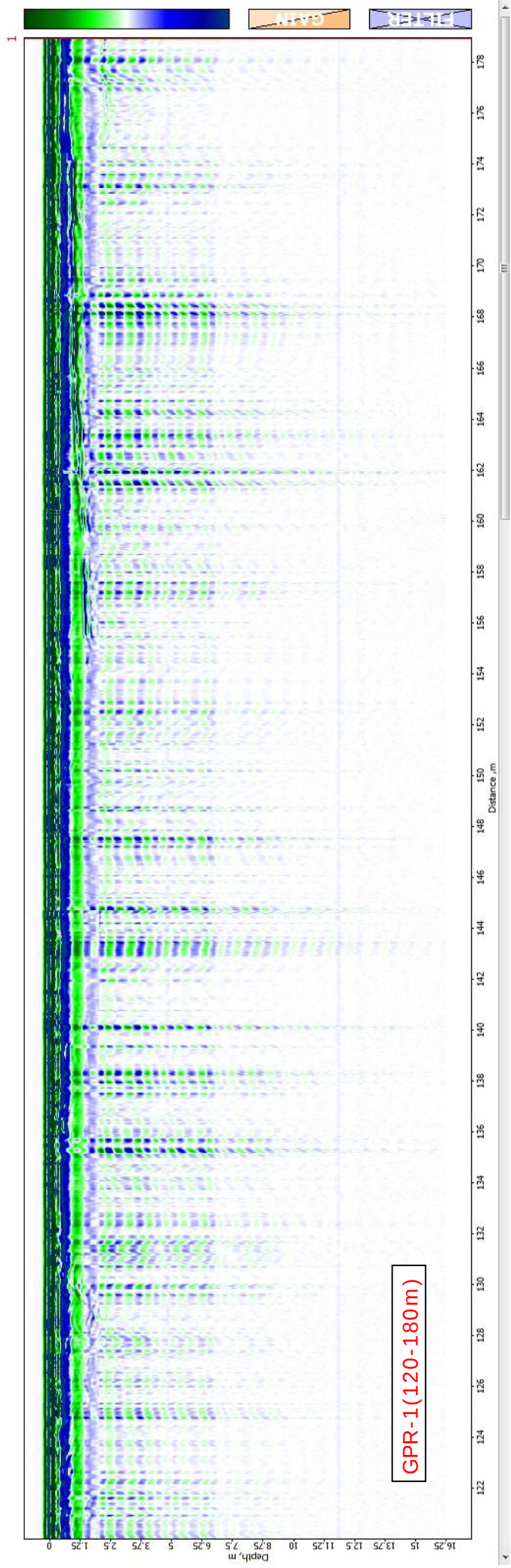


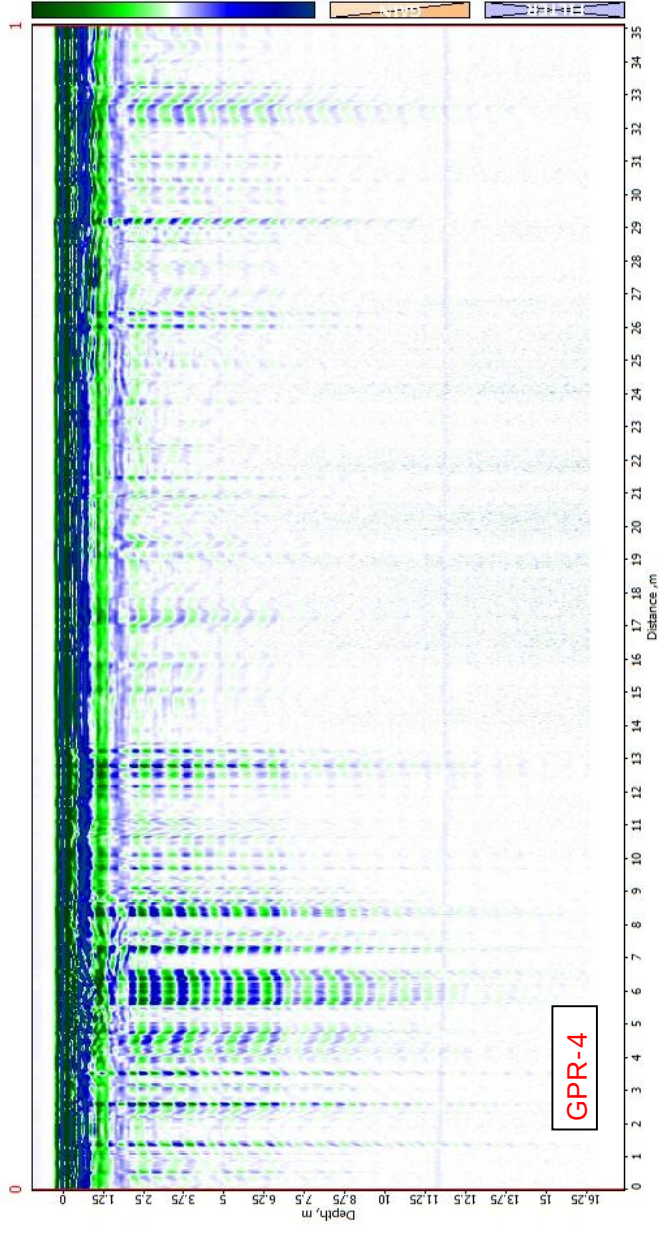
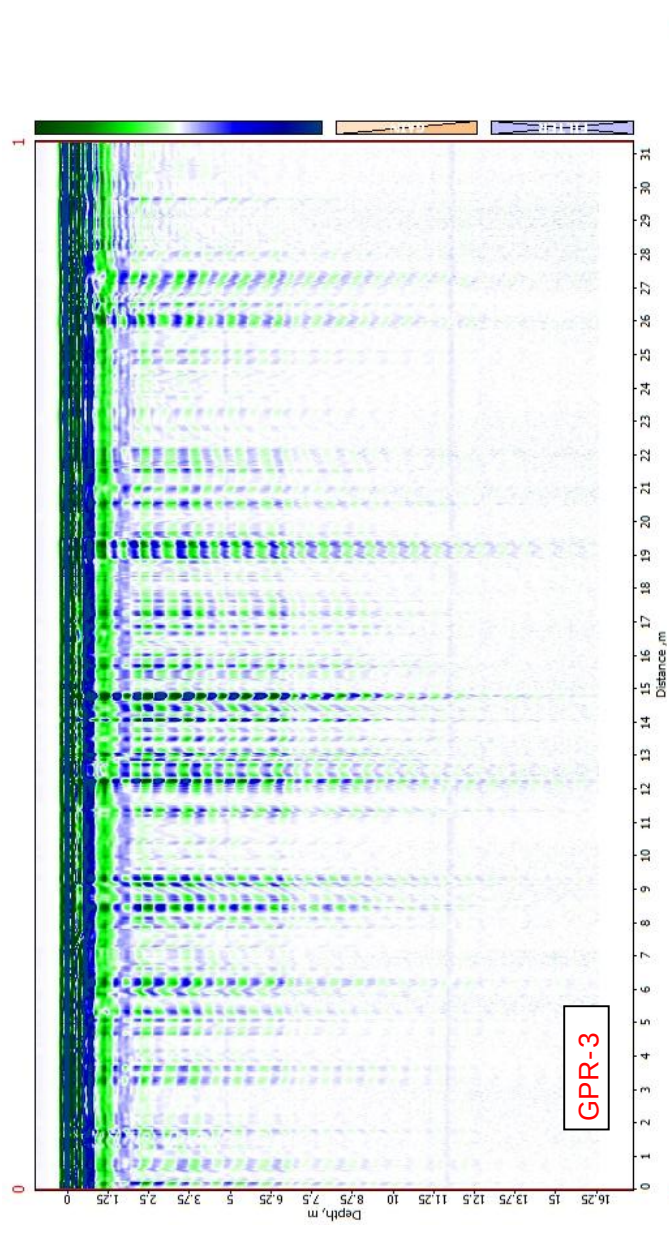
	Položaj i oznaka seizmičkog profila
	Položaj i oznaka geoelektričnog profila
	Položaj i oznaka georadarskog profila

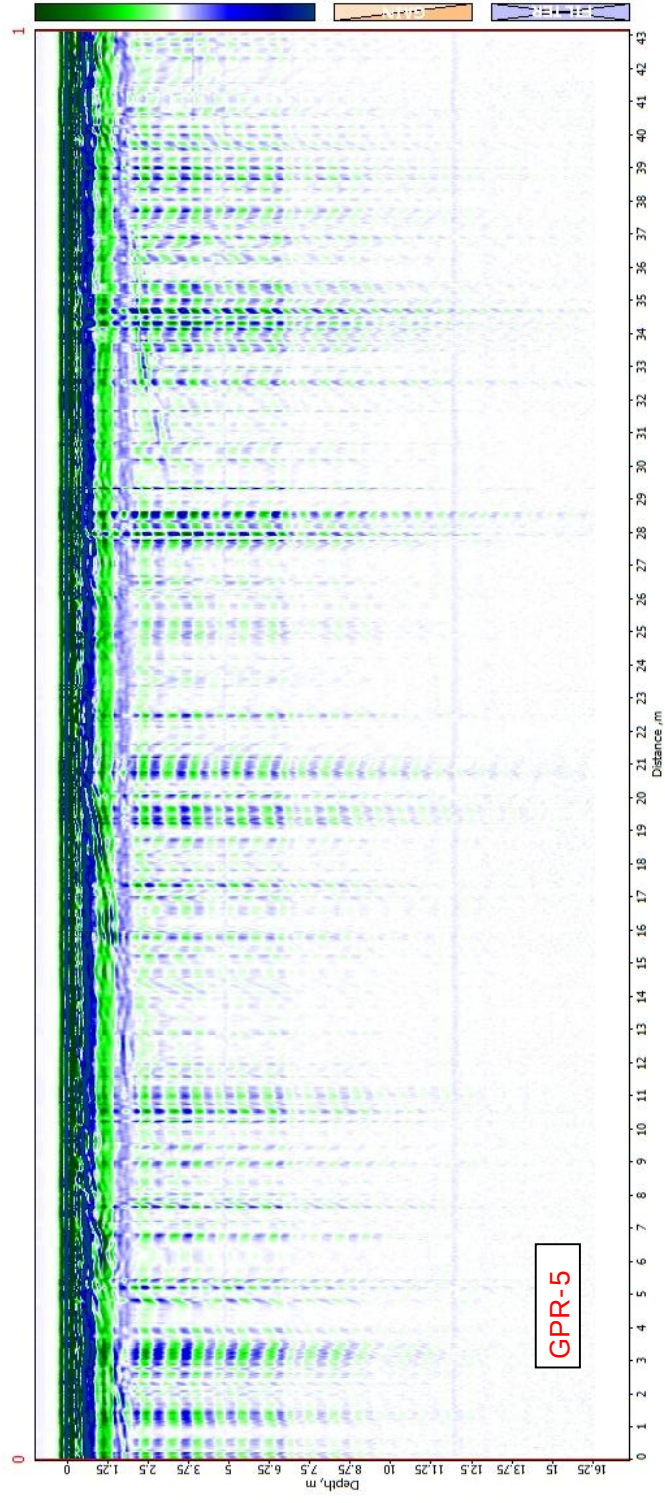
Projektant: SPP d.o.o., Trstenjakova 3, Varaždin			Naručitelj: CAPITAL ING d.o.o., Zagreb		
Odgovorni geomehaničar: Prof. dr. sc. Stjepan Strelec, dipl.ing.			Sadržaj: GEOTEHNIČKI ELABORAT TEMELJENJA OSNOVNE ŠKOLE NA PODRUČJU NOVI BOKANJAC, ZADAR		
Suradnik: Kristijan Grabar, dipl.ing.geot.			Prilog: SITUACIJSKI PLAN ISPITIVANJA		
M 1 : 1000	Datum: lipanj 2013.	Za projekt: Glavni	Br.teh.dn: 45-2/13	Prilog 1	List 1

PRILOG br. 2
GEORADARSKI RADIOGRAMI









PRILOG br. 3
KLASIFIKACIJA KARBONATNIH STIJENA
(Novosel i dr.)

Kategorizacija karbonatnih stijena prema Novosel i dr.

Broj kategorije	OPIS INŽINJERSKO-GEOLOŠKIH OBILJEŽJA	GEOFIZIČKA SVOJSTVA			TIP PRESIO METARSKJE KRIVULJE	RQD [%]	AKSIJALNA ČVRSTOĆA [MPa]	PARAMETRI ČVRSTOĆE ZA SMICANJE	
		Brzina seizmičkih valova [m/s]		Otpornost [Ωm]				Kut unutr. trenja	Kohezija [kPa]
		uzdužni	poprečni						
I	Stijena je neokršena, blokovi su masivni, učestalost pukotina je vrlo mala, ako postoje plohe pukotina su vrlo velike, a širina pukotina je vrlo mala, pukotine su bez ispune ili su ispunjene kristaliziranim supstancom.	>4300	>2200	>1000	F	90 - 100	>100	>45	>500
II	Stijena je slabo okršena, blokovi su veliki, učestalost pukotina je mala, pukotina su rijetke i velike, a širina im je mala, pukotine su rijetko po plohama presvučene filmom gline.	3000- 4300	1600 - 2200	>1000	F	75 - 90	75 - 100	>45	>500
III	Stijena je srednje okršena, blokovi su srednje veličine, učestalost pukotina je srednja, površina pukotina je srednje veličine, a širina pukotina je srednja, pukotine su djelomično ispunjeneglinom.	2000 -3000	1000 - 1600	300 - 1000	E	50 - 75	50 - 75	40 - 45	300 - 500
IV	Stijena je jako okršena, blokovi su mali, učestalost pukotina je velika, površina pukotina je uglavnom mala, a širina pukotina je srednja, pukotine su djelomično ispunjene, pojava srednje velikih pukotina je učestala, a pukotine su ispunjene mješavinom fragmenata stijene i gline ili povezanim brečama.	1400 - 2000	650 - 1000	300 - 1000	D	25 - 50	25 - 50	35 - 40	200 - 300
V	Stijena je vrlo jako okršena, učestala je pojava malih blokova, površina pukotina je vrlo mala uočavaju se milonitizirane zone, javljaju se pukotine velike širine ispunjene glinom i fragmentima stijene ili povezanim brečama.	900 - 1400	400 - 650	150 - 300	C	10 - 25	10 - 25	30 - 35	150 - 200
VI	Stijena je ekstremno okršena, prevladavaju ekstremno mali blokovi i milonitizirane zone, površina pukotina je ekstremno mala, a učestalost pukotina je ekstremno velika, uočavaju se pukotine ekstremne širine ispunjene glinom i fragmentima stijene te poluvezanim brečama.	600 - 900	250 - 400	150 - 300	B	0 - 10	3 - 10	<30	100 - 150
VII	Džepovi i vrtače ispunjene glinom ili mješavinom gline i fragmenata stijena.	300 -600	150 - 250	35 - 200	A	0	0	<30	<100

PRILOG br. 4

HOEK-BROWN-ov KRITERIJ ČVRSTOĆE

Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 55 MPa
GSI = 52 m_i = 5 Disturbance factor (D) = 0.7
intact modulus (E_i) = 11000 MPa

Hoek-Brown Criterion

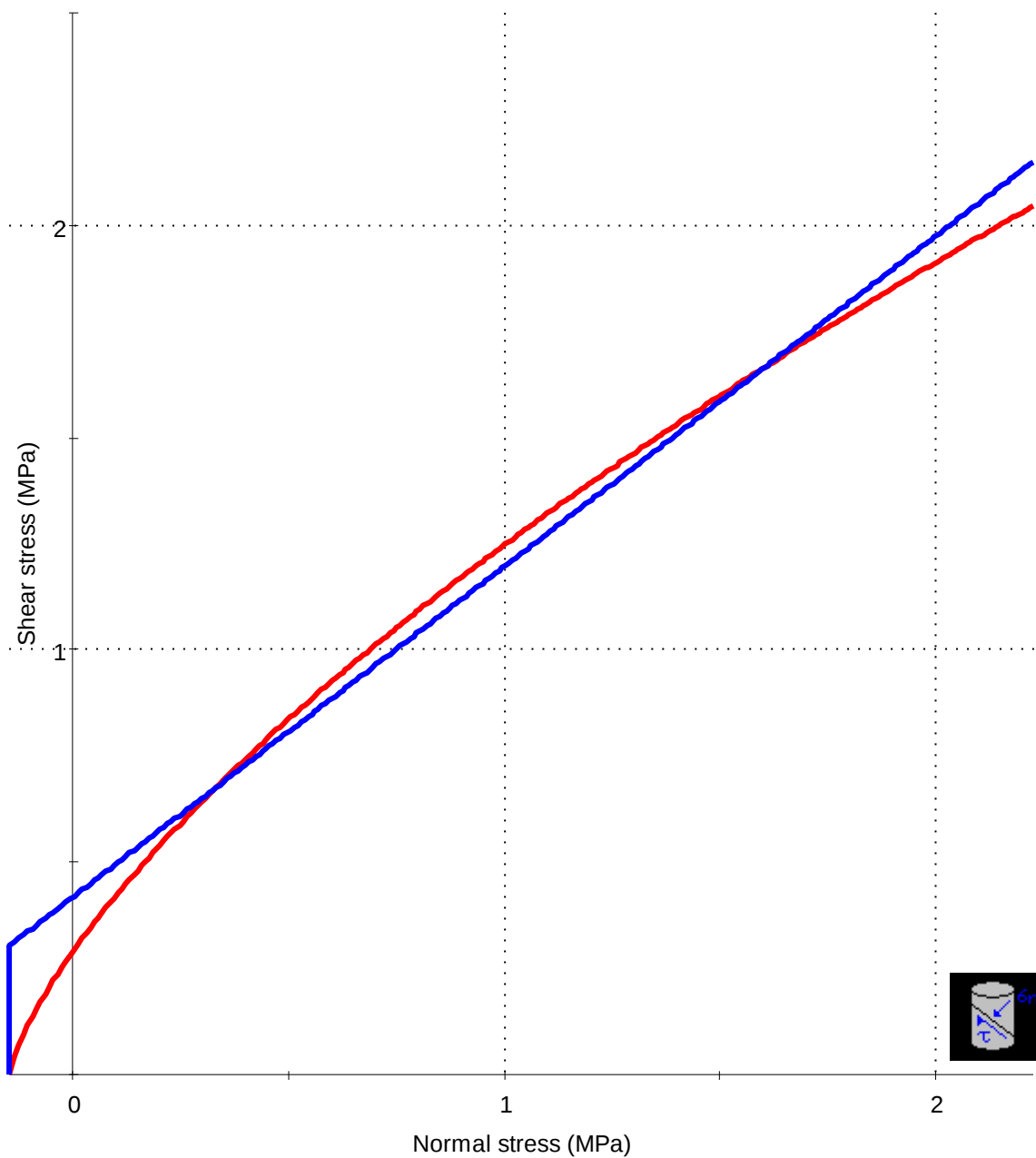
m_b = 0.36 s = 0.00095 a = 0.50

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.42 MPa friction angle = 37.91 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.15 MPa
uniaxial compressive strength = 1.64 MPa
global strength = 4.43 MPa
deformation modulus = 1341.51 MPa



PRILOG br. 5

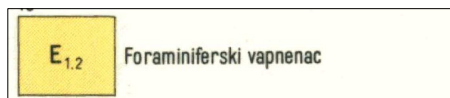
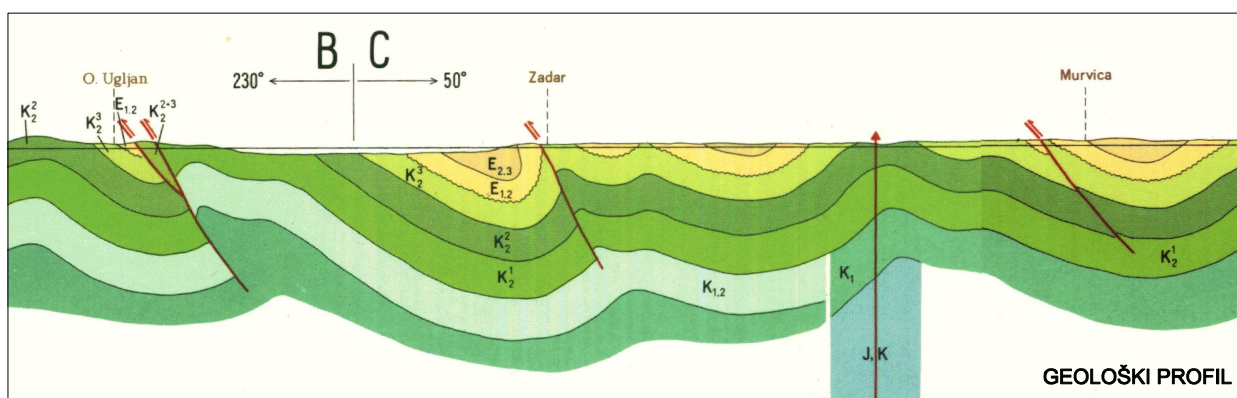
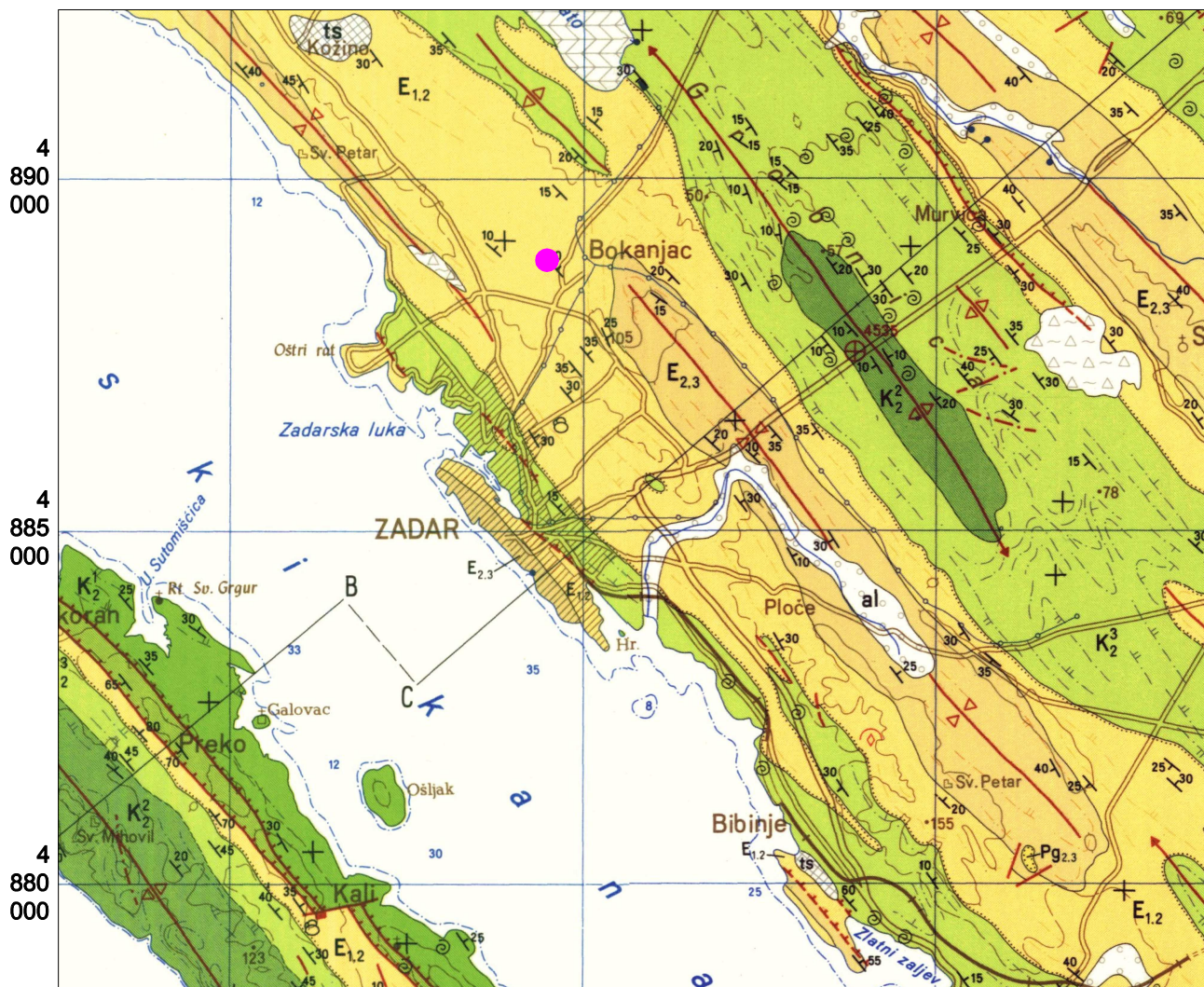
**OSNOVNA GEOLOŠKA KARTA ŠIREG PODRUČJA
ISTRAŽIVANJA**



5
515
000

5
520
000

5
525
000



TUMAČ KARTIRANIH JEDINICA

● LOKACIJA ISPITIVANJA

**OSNOVNA ŠKOLA NA PODRUČJU NOVI
BOKANJAC, ZADAR**

Prilog: GEOLOŠKA KARTA ŠIREG PODRUČJA ISTRAŽIVANJA

Mjerilo: 1 : 100 000

Datum: lipanj 2013.

Prilog 5