

# Seizmičke metode za preliminarno istraživanje stanja cestovnih pokosa

---

**Amidžić, Sven**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:730230>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-23**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

SVEN AMIDŽIĆ

SEIZMIČKE METODE ZA PRELIMINARNO  
ISTRAŽIVANJE STANJA CESTOVNIH  
POKOSA

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2021.

Sazivam članove ispitnog povjerenstva  
za 16. 09. 2021. u 9  
Obranu ovog rada kandidat će izvršiti i pred  
ispitnim povjerenstvom u Varaždinu  
Varaždin, 02. 09. 2021.

Predsjednik  
ispitnog povjerenstva

121. prof. dr. sc. Saupca Karčić

**Članovi povjerenstva**

- 1) Doc. dr. sc. Menio Gazdek
- 2) Doc. dr. sc. Davor Stanko
- 3) Prof. dr. sc. Stjepan Stelac

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

SEIZMIČKE METODE ZA PRELIMINARNO  
ISTRAŽIVANJE STANJA CESTOVNIH  
POKOSA

KANDIDAT:  
SVEN AMIDŽIĆ

MENTOR:  
Doc.dr.sc. Mario Gazdek

DRUGI MENTOR:  
Doc.dr.sc. Davor Stanko

VARAŽDIN, 2021.



Sveučilište u Zagrebu  
GEOTEHNIČKI FAKULTET



## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: SVEN AMIDŽIĆ  
Matični broj: 2541 - 2015./2016.

### NASLOV ZAVRŠNOG RADA:

SEIZMIČKE METODE ZA PRELIMINARNO ISTRAŽIVANJE  
STANJA CESTOVNIH POKOSA

Rad treba sadržati:

1. Uvod
2. Stabilnost i zaštita cestovnih pokosa
3. Geofizička istraživanja
4. Opis lokacije
5. Rezultati i interpretacija
6. Zaključak
7. Popis literature
8. Popis tablica
9. Popis slika

Pristupnik je dužan predati mentoru jedan uvezen primjerak završnog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade završnog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 17.03.2020.

Rok predaje: 02.09.2021.

Mentor:

*M. Gazdek*

Doc.dr.sc. Mario Gazdek

Drugi mentor/komentor:

*Stanko Davor*

Doc.dr.sc. Davor Stanko

Predsjednik Odbora za nastavu:

*Sanja Kovač*

izv.prof.dr.sc. Sanja Kovač



## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

SERBIČIJSKI NERODI ZA REGULIRANO ISTRAŽIVANJE STANJA ČESNOVINI PŠIC

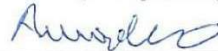
rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izraden pod mentorstvom doc.dr.sc. Maria Gazdeka i pod komentorstvom doc.dr.sc. Davora Stanka.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 26.08.2021.

SVAN ANIČIĆ

(Ime i prezime)



(Vlastoručni potpis)

**IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI ZAVRŠNOG RADA S VEĆ  
OBJAVLJENIM RADOVIMA**

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

SEIZMIČKE METODE ZA POZITIVANU ISTRAŽIVANJE STANJA ČESOVNIH PO

pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog završnog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20%, kao i da pojedinačni postotak sličnosti završnog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5%.

U Varaždinu, 26.08.2021.

doc.dr.sc. MARIO GAZDAR

(Mentor)

M. Gazdar

(Vlastoručni potpis)

Ime i prezime SVEN AMIDŽIĆ

Naslov rada SEIZMIČKE METODE ZA PRELIMINARNO  
ISTRAŽIVANJE STANJA CESTOVNIH POKOSA

### **Sažetak**

Stabilnost cestovnih pokosa je osnovni uvjet sigurnosti inženjerske konstrukcije ili prirodne kosine, posebno važan za sigurnost prometa na cestama, očuvanje života i okoliša. Fizikalno-mehanička svojstva geomedija su vrlo važna za stabilnost i opće geotehničko stanje pokosa. Preliminarna istraživanja seizmičkim metodama omogućavaju kvalitativan i kvantitativan uvid u intenzitet i mjesta promjena inženjerskih parametara i svojstava geomedija, tla i stijena. Refrakcijska tomografija i višekanalna analiza površinskih valova se koriste za određivanje seizmičkih brzina, kao geofizičkih parametara iz kojih je moguće odrediti dinamička svojstva i indeks kvalitete, odnosno stupanj dezintegracije geomedija u tijelu pokosa ili kosine. Rezultati tih istraživanja, osim za ocjenu stanja, se koriste i kao podloga za projektiranje zahvata i mjera zaštite, odnosno povećanje stabilnosti cestovnih pokosa. Geofizički preliminarni seizmički istražni radovi su izvedeni na državnoj cesti DC 1, dionica 16 Vrlika – Satrić radi procjene stanja cestovnih pokosa. Interpretacije istraživanja su namjenjene za kvalitetnu pripremu izvedbenog projekta sanacije potencijalno nestabilnih pokosa.

**Ključne riječi:** cestovni pokosi, refrakcijska tomografija, MASW, SQi



Name and Surname: SVEN AMIDŽIĆ

Title: SEISMIC METHODS FOR PRELIMINARY INVESTIGATION OF ROAD SLOPE CONDITIONS

### ***Abstract***

Road slopes stability is a prerequisite for the safety of engineering constructions or natural slopes. It is especially important for road traffic safety, preservation of life and the environment. Physio-mechanical properties of geomedia are very important for the stability and general geotechnical condition of a slope. Preliminary research using seismic methods provides qualitative and quantitative insight into the intensity and location of changes in engineering parameters and properties of geomedia, soil and rocks. Refractive tomography and multichannel analysis of surface waves are used to determine seismic velocities as geophysical parameters from which it is possible to determine dynamic properties and quality index or the degree of disintegration of geomedia in the body of a slope. The results of these research studies, apart from assessing the condition, are also used as a basis for designing interventions and protection measures, i.e. increasing the stability of road slopes. A geophysical preliminary seismic survey was performed on the state road DC1, section 16 Vrlika – Satrić, to assess the condition of road slopes. The aim of the research is to enable a quality preparation of a project design for the rehabilitation of potentially unstable slopes.

**Key words:** Road slopes, refraction tomography, MASW, SQi

---

## SADRŽAJ

1. Uvod.....	2
2. Stabilnost i zaštita cestovnih pokosa .....	4
3. Geofizička istraživanja .....	9
3.1. Plitka seizmička refrakcija SRF .....	17
3.2. Višekanalna analiza površinskih valova (MASW) .....	21
4. Opis lokacije .....	24
4.1. Geološke i hidrogeološke značajke.....	24
4.2. Erozija tla .....	26
4.3. Nestabilnost tla / klizišta.....	26
5. Rezultati i interpretacija .....	27
5.1. SQi .....	31
5.2. Rezultati ispitivanja .....	33
6. Zaključak.....	42
7. Popis literature .....	43
8. Popis tablica .....	45
9. Popis slika .....	46

# 1. Uvod

Klizišta i odroni mogu predstavljati potencijalno velike opasnosti za život i sigurnost ljudi, ali ih također prepoznajemo kao prijetnje za stanje u okolišu. Cestovni pokosi ili kosine konstrukcijski su elementi ceste pa stoga moraju zadovoljiti zadane uvjete sigurnosti inženjerske konstrukcije. Istovremeno su i zahvati u okolišu.

Njihova stabilnost ovisi o dimenzijama, posebno o visini, a također i o geotehničkim svojstvima tla i stijena te o razini i režimu podzemnih voda. Za cestovne pokose vrlo su važna rješenja odvodnje oborinskih voda. Klizišta su općenito pokosi kojima je narušena stabilnost, a najčešći je uzrok promjena razina podzemne vode u tlu, odnosno sadržaja vode u tijelu pokosa. Promjena razine, odnosno režima vode u tijelu pokosa stvara dodatna naprezanja koja mogu imati ogroman negativni utjecaj na njihovu stabilnost i sigurnost. Da bi se spriječilo klizanje, otklonile ili minimalizirale potencijalne opasnosti i velike štete koje nose nesigurne kosine i cestovni pokosi, potrebno je utvrditi geomehanička svojstva tla ili stijena te ih dovesti u stanje stabilnosti. Sigurnost se može povećati i određenim mjerama zaštite.

Postoji mnogo metoda za preliminarna istraživanja stanja cestovnih pokosa, no danas se najčešće za tu problematiku koriste geofizičke metode. Seizmičke metode bazirane su na mjerenu brzinu širenja elastičnih valova. Kod primjene seizmičkih metoda za istraživanje cestovnih pokosa najbolje su se pokazale plitka seizmička refrakcija (SRF, engl. Seismic Refraction) i višekanalna analiza površinskih valova (MASW, engl. Multi-Channel Analysis of Surface Waves).

Seizmička refrakcija i višekanalna analiza površinskih valova su danas tomografske interpretacijske metode, a brzine volumnih i površinskih seizmičkih valova su geofizički parametri iz kojih se mogu procijeniti inženjerski parametri za projektiranje, kao što je primjerice dinamički modul posmika. Tomografski prikazi su osnova za izradu geotehničkog modela tla i stijena prema njihovim geomehaničkim svojstvima.

Geofizička istraživanja radi potrebe procjene stanja cestovnih pokosa su provedena na državnoj cesti DC 1, dionica 16 Vrlika – Satrić radi izrade izvedebenog projekta sanacije nestabilnih pokosa. Cilj istraživanja je bio detekcija kritičnih zona, odnosno područja narušenog integriteta konstrukcije cestovnog pokosa. Uz seizmičke metode

---

koristila se i tomografija geoelektrične otpornosti kao komparativna i komplementarna metoda. U ovom radu se prezentiraju seizmičke metode, njihova primjena i interpretacija rezultata te uspješnost otkrivanja potencijalno nestabilnih zona.

## 2. Stabilnost i zaštita cestovnih pokosa

Prometna infrastruktura, ceste i pruge te svi prateći građevinski objekti, temelje se na geotehničkim konstrukcijama i/ili zahvatima. U geotehničkom inženjerstvu, bilo da se radi o preliminarnim istraživanjima ili pak opažanjima izvedenih objekata, potrebno je pridržavati se određenih pravilnika i zakona. Osnovni zakon i norme kojima se određuju i propisuju mjere sigurnosti i zaštite cesta i cestovnog pokosa, a posredno i uvjeti za provedbu istraživanja su dani u Tablici 1.

**Tablica 1** Popis zakona, normi i preporuka

1.	Zakon o gradnji	NN 153/13, 20/17, 39/19, 125/19
2.	Zakon o cestama	NN 84/11, 22/13, 54/13, 148/13, 92/14 110/19
3.	Pravilnik o održavanju cesta	NN 84/2011, 22/2013, 54/2013, 148/2013
4.	Eurocod 7: Geotehničko projektiranje - 1.dio: Opća pravila	HRN EN 1997-1: 2008
5.	Eurocod 7: Geotehničko projektiranje - 1.dio: Opća pravila - Nacionalni dodatak	HRN EN 1997-1: 2008
6.	Eurocod 7: Geotehničko projektiranje - 2.dio: Istraživanje i ispitivanje temeljnog tla	HRN EN 1997-2: 2008
7.	Eurocod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – 1. dio: Opća pravila – potresna djelovanja i opći zahtjevi za konstrukcije	HRN ENV 1998-1-1
8.	Prema preporukama ISSMGE (International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering)	

---

Zbog opasnosti i problema koji mogu nastati (ili se mogu očekivati) prilikom odronjavanja stijenske mase ili klizanja tla, kod izgradnje pokosa potrebno je isto tako pridržavati se određenih pravila, odnosno tehničkih uvjeta koji trebaju biti zadovoljeni prije početka izgradnje usjeka, zasjeka, nasipa i dr.: (Opći tehnički uvjeti, Hrvatske ceste)

- pokose izvoditi s nagibima koji osiguravaju stabilnost terena i onemogućavaju naknadna slijeganja (deformacije),
- labilne (nestabilne) pokose, nastale djelovanjem vode, sanirati primjenom odgovarajućih zahvata,
- površinske i podzemne vode slivnog zaleđa kontrolirano provesti u recepijente ili odgovarajuće depresije, primjenom travnatih polukružnih kanalića ili drenažnih kanala,
- nožice nasipa i gornje dijelove pokosa usjeka izvoditi u obliku kružnog luka, ako to projektom nije predviđeno,
- površine pokosa nasipa ili usjeka grubo isplanirati radi veće hrapavosti i boljega prijanjanja travnate vegetacije, a glatke površine treba vodoravno izbrazdati odgovarajućim sredstvima (grablje i sl.).

A nakon izgradnje potrebno ih je zaštititi u što kraćem roku. Primjeri zaštite pokosa: (Opći tehnički uvjeti, Hrvatske ceste)

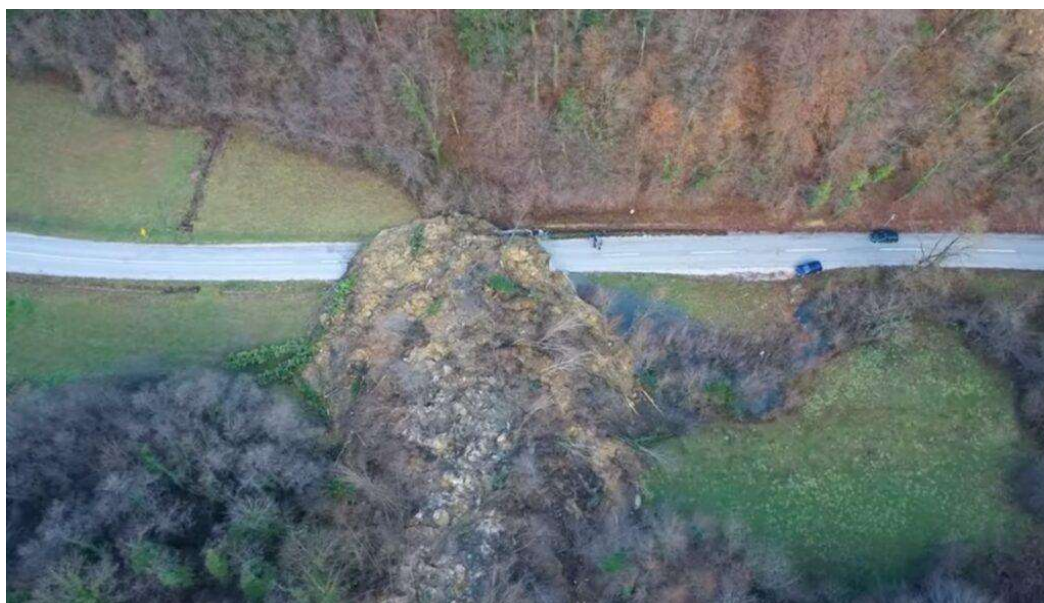
- Zaštita pokosa primjenom humusnog materijala i travnate vegetacije
- Zaštita pokosa primjenom busena
- Zaštita pokosa travnatim pokrivačem – hidrosjetva
- Zaštita pokosa primjenom prekrivača od netkanog tekstila s uložnim sjemenom trave
- Zaštita pokosa sadnjom grmlja i travnate vegetacije
- Zaštita pokosa primjenom pletera
- Zaštita pokosa pomoću košara (gabiona)
- Zaštita pokosa oblaganjem kamenom (roliranje)

- Zaštita pokosa primjenom mreža
- Zaštita pokosa mlaznim betonom
- Zaštita pokosa učvršćivanjem pojedinih blokova
- Zaštita pokosa geomrežama
- Izrada bankina

Pojam stabilnost pokosa može se definirati kao procjena stupnja otpornosti do sloma pokosa bazirano na njegovom faktoru sigurnosti. Faktor sigurnosti je vrijednost koja nastaje dijeljenjem posmične čvrstoće i posmičnog naprezanja tla. Drugim riječima, može se definirati kao omjer sila koje blokiraju aktivnost mase tla u pokosu i sila koje mogu aktivirati pomake i gibanje. Prema tome, ako je izračunati faktor sigurnosti iznad 1.0, kosinu se smatra sigurnom. (Park, 2018.) Osnovni uvjet koji mora biti ispunjen da bi se kosina smatrala sigurnom je veća posmična čvrstoća od posmičnog naprezanja, odnosno osiguran faktor sigurnosti ovisno o namjeni pokosa. Kod analize stabilnosti pokosa najčešće se koriste metoda analize granične ravnoteže. U najjednostavnijem obliku analize granične ravnoteže zadovoljena je jedino ravnotežna jednadžba (faktor sigurnosti) ovisno o mehanizmu sloma koji se promatra (ravni slom, klinasti slom, rotacijski slom, slom prevrtanjem...) (uvod u mehaniku stijena- predavanje)

S obzirom na stabilnost, kosine ili pokosi se mogu podijeliti u nekoliko kategorija:

- Stabilna kosina
- Potencijalno nestabilna kosina
- Rana faza rušenja (od 5 mm do 1.5m na godinu)
- Srednja faza rušenja ( do 5 cm na dan)
- Djelomično ili totalno rušenje
- Potpuno rušenje



**Slika 1** Primjer odrona na državnoj cesti DC74 Žutnica-Gornje Jesenje-Bednja (Vecernji.hr, 2021)

Na slikama 2. i 3. vidimo primjere zaštite pokosa postavljenjem zaštitne ograde i zaštitnih mreža snimljenih na lokaciji istraživanja.



**Slika 2** Primjer zaštitne ograde na državnoj cesti DC 1, dionica 16, Vrlika-Satrić





**Slika 3** Primjer zaštitnih mreža na državnoj cesti DC 1, dionica 16, Vrlika-Satrić

---

### 3. Geofizička istraživanja

Geofizička istraživanja su važan dio preliminarnih istraživanja kod gradnje ili sanacije cestovnih pokosa. Provedom geofizičkih istraživanja mogu se odrediti različita svojstva i stanja geomedija ili inženjerske konstrukcije, kao što su cestovni pokosi. Rezultati istraživanja se najčešće prezentiraju kao 1D – geofizičke sonde kojima se utvrđuje mjerni geofizički parametar po dubini na nekoj točki (stacionaži), odnosno kao 2D – geofizički profili koji prikazuju vrijednosti geofizičkog parametra po dubini duž nekog odabranog ili zadanog presjeka kroz geomedij (Gazdek, 2019a). Rezultati primijenjenih geofizičkih metoda služe za donošenje ekonomski opravdanih odluka o daljnjem planiranju ili poduzimanju inženjerskih rješenja na temelju uvida u stanje i svojstva istraživanog prostora.

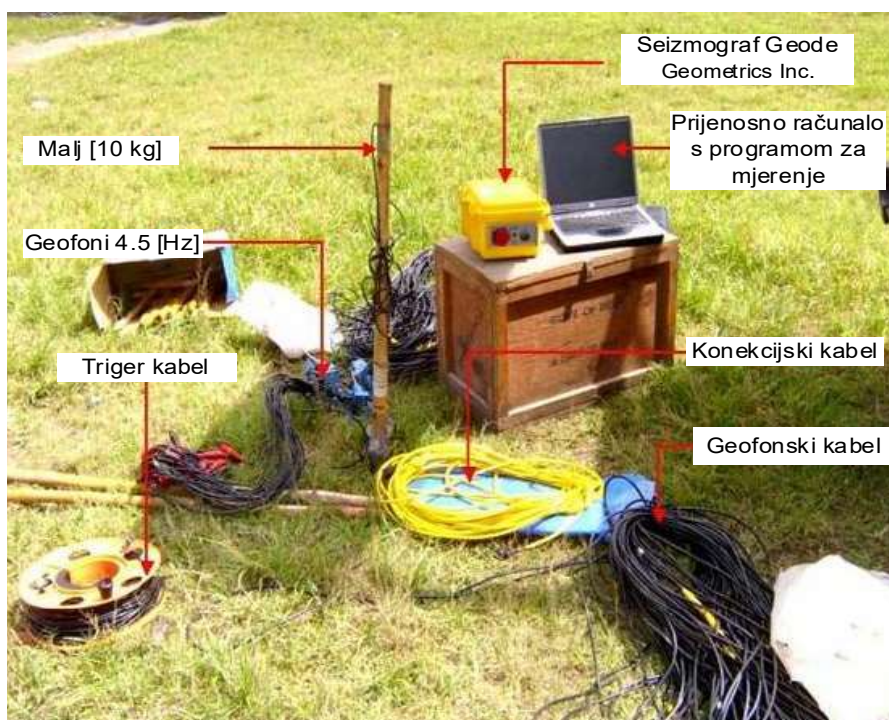
Geofizička istraživanja sastavni su dio gotovo svih geoloških, geotehničkih i mnogih drugih elaborata i projekata, kao što su projekti u inženjerstvu okoliša. U primijenjenoj geofizici postoje različite vrste i metode istraživanja radi uvida primjerice o geološkoj građi područja planiranog inženjerskog zahvata ili konstrukcije, o stanju i svojstvima temeljnog tla ili stijene, o klasifikaciji i diskontinuiranosti stijenske mase, o razini i djelovanju podzemne vode na geomedij ili o integritetu same konstrukcije. U inženjerstvu okoliša i geotehničkom inženjerstvu najčešće se primjenjuju elektromagnetske metode (georadar ili GPR, mjerenje vodljivosti), geoelektrične metode (metode otpornosti sondiranjem ili tomografijom) i seizmičke metode (refrakcijsko profiliranje tomografijom seizmičkih brzina P i S valova, sondiranje ili profiliranje MASW metodom površinskih valova) (Gazdek, 2019a).

U istraživanju cestovnih pokosa glavni je cilj uvid aktualno stanje i promjene mehaničkih svojstava geomedija u presjeku pokosa. Stanje i lokalne promjene unutar tijela pokosa, kao što su promjene seizmičkih brzina na primjer, bitne su za analizu, procjenu ili proračun faktora koji utječu na stabilnost i sigurnost tog cestovnog objekta.

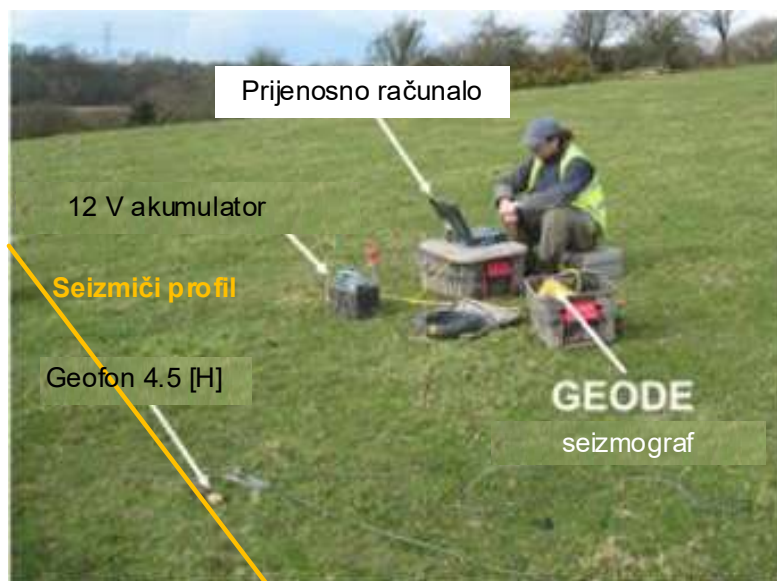
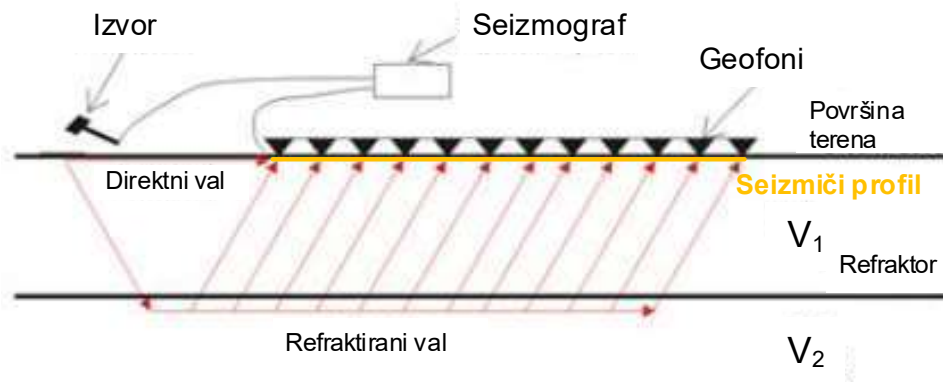
Promjene mjenog geofizičkog parametra su indikatori promjena svojstava tla, odnosno stijena, a da bi se pronašle kritične zone na kojima je potrebna sanacija ili postavljanje nekog sustava zaštite, u ovom konkretnom slučaju koristile su se metode

plitke seizmičke refrakcije (SRF, engl. Seismic Refraction) i višekanalna analiza površinskih valova (MASW, engl. Multi-Channel Analysis Of Surface Waves).

Za potrebe istraživanja seizmičkom refrakcijom i višekanalnom analizom površinskih valova koristio se seizmograf Geode Geometrics, malj (10 kg) geofoni, prijenosno računalo, konekcijski kabel, geofonski kabel i trigger kabel. Geometrics Geode je 24-kanalni seizmograf primjeren za znanstvena istraživanja, ali i za primjenu u inženjerskoj praksi. Standardne seizmičke metode su aktivne metode za koje je neophodan izvor seizmičkog vala, a to je najčešće udar maljem mase 6-10 kg. Val se može proizvesti i eksplozijama, bacanjem utega ili nekom drugom metodom koja generira impulsni signal. Seizmički val, kao poremećaj mehaničkog naprezanja u geomediju, se širi od izvora do senzora-geofona na kojem se registriju vibracije uzrokovane udarom (odziv geofona). Geofoni se postavljaju u nizu, po pravcu koji predstavlja gornju granicu seizmičkog presjeka, odnosno profila kroz geomedij koji se snima-istražuje. Postavljaju se na jednakom međusobnom razmaku utiskivanjem šiljka u površinski sloj tla.



**Slika 4** Oprema za terensko mjerenje SRF i MASW metodom (researchgate.net, 2006)



**Slika 5** Mjerenje seizmičkim metodama (Terradat.co.uk, 2021)

Snimljeni seizmički tragovi svih 24 geofona predstavljaju jednu seizmičku snimku za isti izvor. Izvor se postavlja ispred prvog i iza zadnjeg geofona, na zadanom razmaku, odnosno između geofona u profilu, najčešće poslije svakog šestog geofona (na polovici udaljenosti do susjednog geofona). Ako se želi povećati rezolucija, odnosno broj seizmičkih snimaka i putanja, onda se izvor može postavljati i iza svakog trećeg geofona.

Podaci mjerenja, seizmički tragovi zabilježeni geofonima frekvencije 4.5 Hz se mogu koristiti za analizu seizmičke refrakcije P valova ili refleksije, ali se uglavnom redovito koriste za višekanalnu analizu površinskih valova (engl. MASW).

Seizmički kabel ima dvopolne koneksije za svaki od 24 geofona. Razmak među njima može biti 3, 5 ili 10 m. Kabel za pokretanje mjerenja vremena („trigger“ kabel) omogućava zapis seizmičkog traga u vremenskoj domeni. Spojem metalne ploče i

čekića na mjestu udara pokreće se sat seizmografa. Za primjenu MASW metode, odnosno određivanje profila S valova iz površinskih R valova, vrijeme snimanja treba biti veće od 500 ms, što također ovisi i o duljini profila, kao i o vrsti geomedija.

Kod geotehničkih (i seizmoloških) istraživanja potrebno je poznavati brzinu  $V_s$  posmičnih S valova, jer se pomoću nje određuje modul posmika  $G$  i Youngov modul  $E$  geomedija koji se istražuje (Suto, 2007). Poznavanjem gustoće  $\rho$  geomedija, Poissonovog koeficijenta  $\nu$  i brzina seizmičkih P i S valova mogu se odrediti osnovna dinamička svojstva, odnosno vrijednosti modula  $E$  i  $G$  (često se označavaju i kao  $E_{\text{dyn}}$ , odnosno  $G_{\text{dyn}} \equiv G_{\text{max}}$ ) (Gazdek, 2019b).

Izrazi (1) i (2) se koriste pri projektiranju geotehničkih konstrukcija:  $\rho$  je gustoća geomedija,  $V_s$  je brzina S valova, a  $V_P$  je brzina P valova (Gazdek, 2019b).

$$G = \rho \cdot V_s^2 \quad (1)$$

$$E = \rho \cdot V_s^2 \cdot \frac{3 \left(\frac{V_P}{V_s}\right)^2 - 4}{\left(\frac{V_P}{V_s}\right)^2 - 1} \quad (2)$$

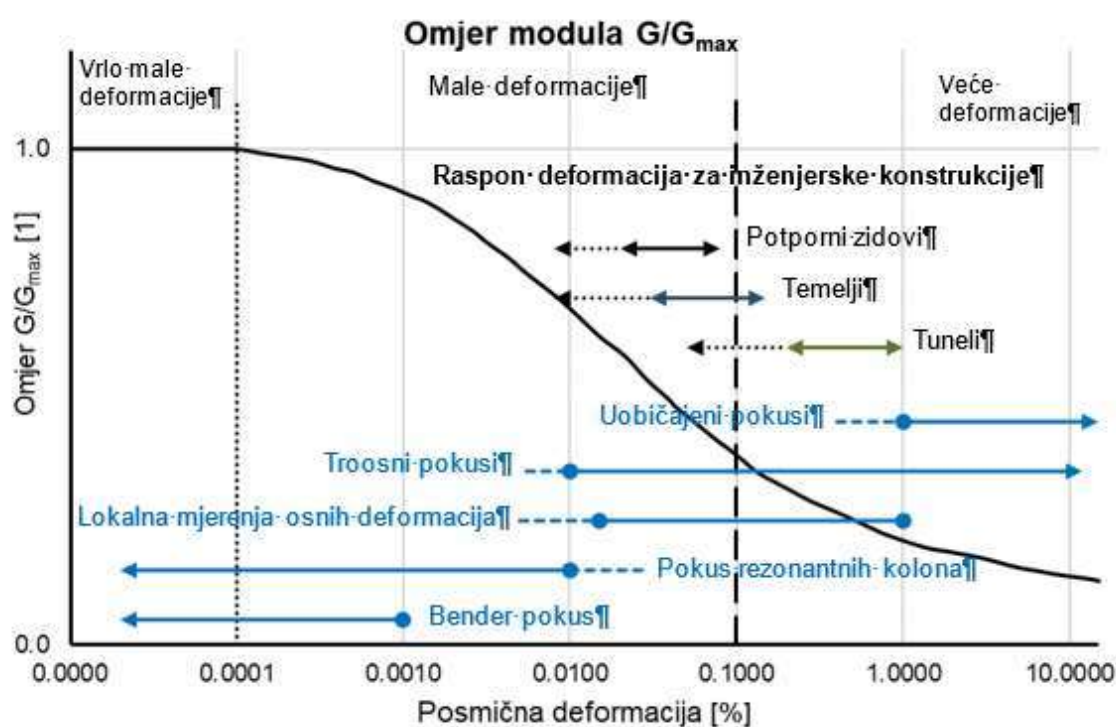
Seizmičkim SRF i MASW metodama se određuju brzine  $V_P$  i  $V_s$ . Moduli  $G$  i  $E$  se smatraju osnovnim dinamičkim konstantama elastičnosti, a njihov se odnos može opisati pomoću brzine  $V_s$  i Poissonovog koeficijenta  $\nu$ , izraz (3) (Gazdek, 2019b).

$$V_s = \sqrt{\frac{E}{2 \cdot \rho \cdot (1 + \nu)}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (3)$$

Modul  $G$  se inženjerski promatra kao krutost i vrlo je važan parametar koji se koristi za predviđanje mogućeg pomaka (slijeganje, klizanje) i interpretaciju terenskih podataka. U dinamici tla i potresnom inženjerstvu modul posmika kod malih deformacija ( $G_{\text{max}}$  ili  $G_0$ ) važan je parametar za parametriziranje dinamičkog stanja geomedija (Gazdek, 2019b).

Degradacijska krivulja krutosti često se koristi da bi se objasnila posmična krutost za široko područje posmičnih deformacija, Slika 6. Razine deformacije kategoriziraju se u tri grupe (Gazdek, 2019b):

1. Razina vrlo malih deformacija, gdje je modul krutosti konstantan u elastičnom području.
2. Razina malih deformacija, gdje se modul krutosti mijenja nelinearno s deformacijom.
3. Razina većih deformacija, gdje je tlo blizu sloma i krutost tla je relativno mala



**Slika 6** Normalizirana degradacijska krivulja. Pojedine geotehničke konstrukcije i vrste pokusa su raspoređene s obzirom na veličinu relativne posmične deformacije. (Gazdek, 2019b)

Istraživanja geomedija (tla i stijena) su pokazala da se krutost  $G$  pri malim deformacijama koje nastaju zbog širenja (elastičnih) seizmičkih valova, može koristiti za početna statička i dinamička opterećenja. Originalni dinamički modul posmika  $G_{dyn}$  postaje maksimalni modul posmika:  $G_{dyn} \equiv G_{max} \equiv G_0$  u izrazu (4) (Gazdek, 2019b):

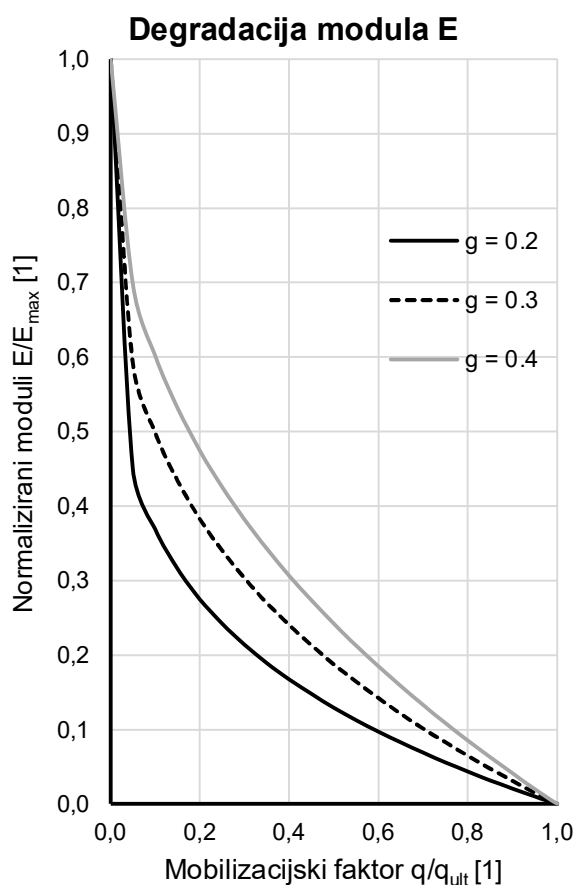
(4)

$$G_{0(dyn)} = \rho \cdot V_S^2$$

Modul stišljivosti  $M_v$  se konačno može izračunati prema izrazu (6) u kojem je, uz statički modul elastičnosti  $E_s$ , vrlo bitan parametar Poissonov koeficijent  $\nu$  (Gazdek, 2019b).

(6)

$$M_v = \frac{E_s \cdot (1 - \nu)}{(1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}$$



**Slika 7** Krivulje degradacije modula elastičnosti  $E$  za geostatičke proračune (Gazdek, 2019b)

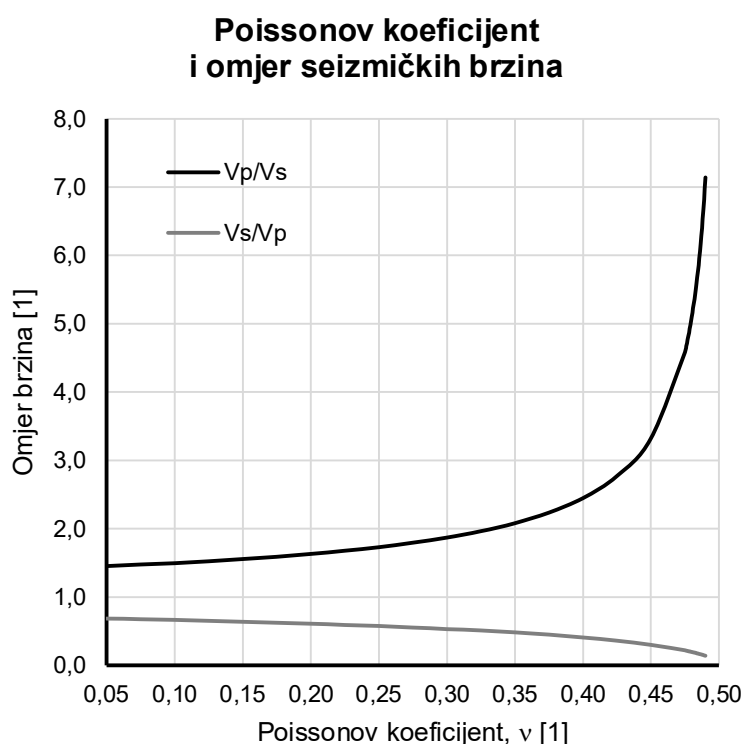
Poissonov koeficijent predstavlja odnos između poprečne i uzdužne deformacije. Uobičajena vrijednost je oko 0.25. Maksimalna teoretska vrijednost je 0.5, a minimalna praktična vrijednost se kreće oko 0.05 (Gazdek, 2019b).

Prisutnost podzemne vode ili pak stupanj saturacije ne utječe na promjenu brzine  $V_s$  posmičnih S valova, ali može znatno utjecati na promjenu brzine  $V_p$  kompresijskih P valova. Zbog toga npr. ASTM preporuča da se za Poissonov koeficijent uzima vrijednost oko 0.48 (Gazdek, 2019b).

Potpuna ili djelomična saturacija je seizmička situacija koja se realno očekuje, pa je preporuka da se te vrijednosti koeficijenta  $\nu$  ipak ne koriste za proračun bez prethodne korekcije vrijednosti brzine P vala (Gazdek, 2019b). Izraz (7) prikazuje odnos između seizmičkih brzina i Poissonovog koeficijenta kao i slika 8.

(7)

$$\frac{V_p}{V_s} = \left( \frac{1 - \nu}{0.5 - \nu} \right)^{1/2}$$



**Slika 8** Poissonov koeficijent i omjer seizmičkih brzina (Gazdek, 2019b)

Rezultati mjerenja brzina posmičnih valova se koriste i u seizmologiji. Seizmička mikrozonacija koristi  $V_s$  brzine do nekoliko desetaka metara dubine. U Europi je prihvaćen standard za klasifikaciju tla Eurokod 8 (EC8) – projektiranje konstrukcija otpornih na potres (CEN, 2004). Prema njemu se tla klasificiraju u tipove koji su opisani stratigrafskim profilom i s tri parametra: srednjom brzinom posmičnih valova gornjih 30



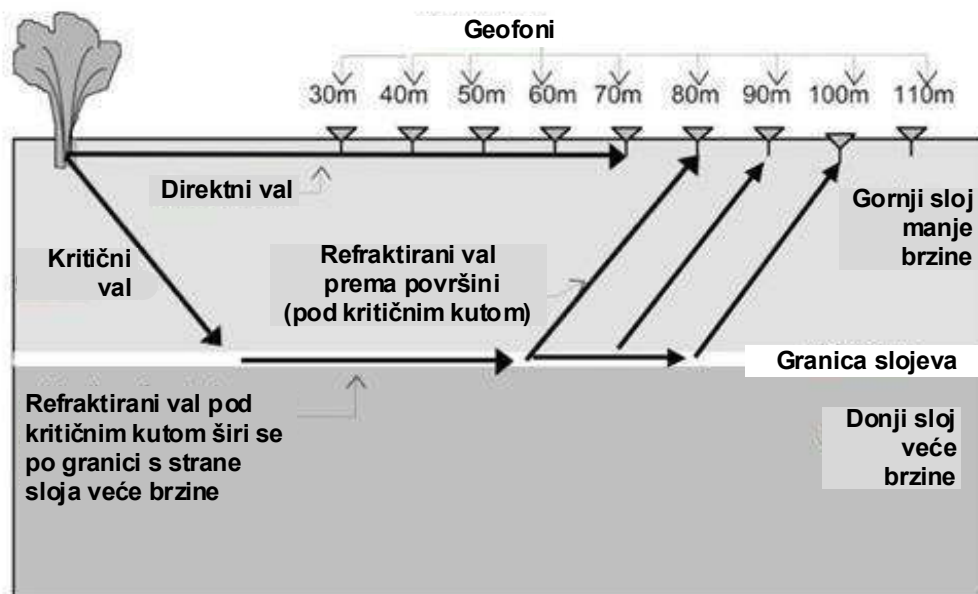
metara tla  $V_{s,30}$ , brojem udaraca standardnog penetracijskog pokusa  $N_{SPT}$  i nedreniranom posmičnom čvrstoćom  $c_u$ .

**Tablica 2** Brzine P i S valova u nekim geomedijima

Geo-medij	V <sub>P</sub> [m/s]			V <sub>S</sub> [m/s]			ρ [Mg/m <sup>3</sup> ]
Zrak	330	-	350	-	-	-	
Čista voda	1450	-	1460	-	-	-	1,00
Riječna i jezerska voda	1430	-	1680	-	-	-	
Morska voda	1460	-	1530	-	-	-	
Površinski sloj	300	-	600	100	-	200	-
Granit	4000	-	6100	2150	-	3350	2,67
Gabro	6500	-	6550	3400	-	3450	2,98
Bazalt	5600	-	5650	3000	-	3050	3,00
Dijabaz	5500	-	7000	3000	-	4500	3,00
Pješčenjak	1800	-	4000	915	-	3000	2,45
Šejl	2500	-	4250	1000	-	3000	2,60
Glina	2000	-	6100	1800	-	3800	2,65
Vapnenac	1100	-	2500	550	-	580	1,40
Pijesak i šljunak (suhi)	300	-	800	100	-	500	1,70
Pijesak i šljunak (mokri)	1500	-	2700	900	-	1600	1,93
Lapor	1800	-	3900	1050	-	2300	2,35
Morena	1500	-	2700	900	-	1600	2,00

### 3.1. Plitka seizmička refrakcija SRF

Plitka seizmička refrakcija je geofizička metoda kojom se određuju brzine elastičnih valova u geomediju kao funkcije dubine. Seizmički valovi se šire od izvora na površini, refraktiraju se na granicama slojeva različitih seizmičkih brzina i vraćaju se do niza geofona na površini. Geofoni su raspoređeni na jednakim razmacima duž orijentiranog pravca - refrakcijskog profila, slika 9.(Gazdek, 2019a)

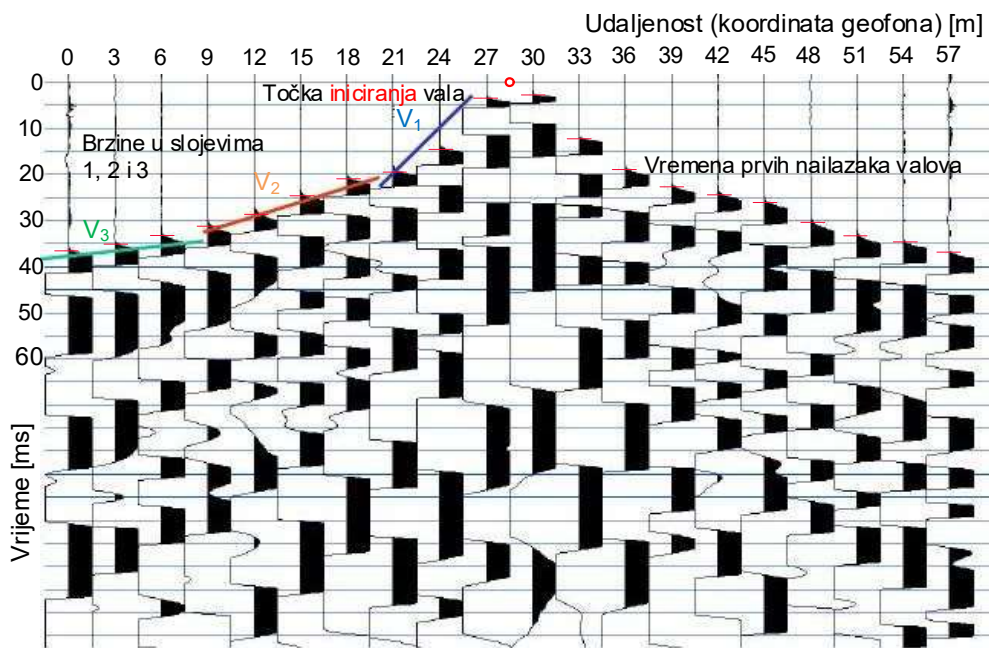


**Slika 9** Plitka seizmička refrakcija (Gazdek, 2019a)

Seizmička refrakcija se najčešće odnosi na registraciju prvih nailazaka uzdužnih, kompresijskih ili primarnih P valova. Detekcija vremena nailazaka prvih poremećaja (pikiranje) na nizu postavljenih geofona se uvijek odnosi na direktan ili na refraktirani val, slika 9 (Gazdek, 2019a). Iz poznatih odnosa udaljenosti izvor - geofon i vremena nailazaka, može se odrediti dubina refraktorskih slojeva i raspodjela brzina u geomediju.

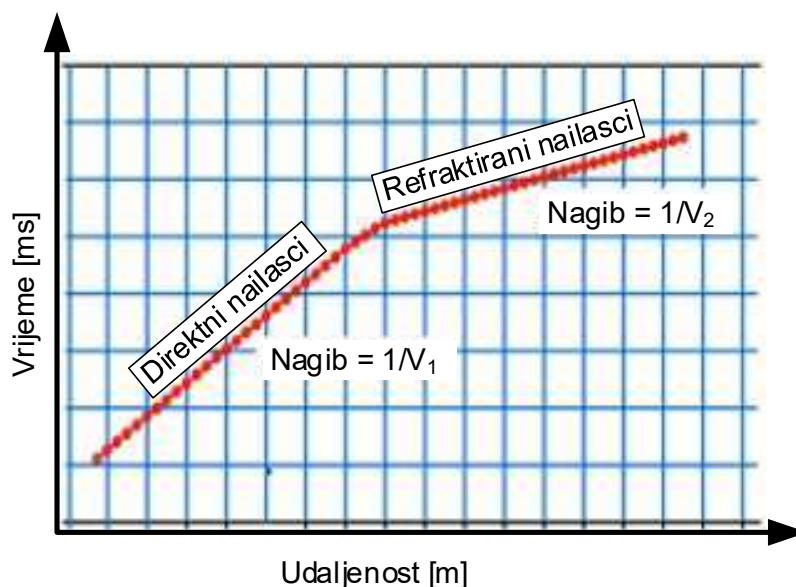
U plitkoj refrakciji tlo možemo najčešće klasificirati u 4-5 različitih horizonta (Gazdek, 2019a):

1. suhi nadsloj – brzina vala oko  $350 \text{ ms}^{-1}$ , sporo raste s dubinom
2. mokri nadsloj – od  $1500$  do  $1800 \text{ ms}^{-1}$ , nagli skok zbog saturacije podzemnom vodom
3. trošna stijena - uglavnom iznad  $2000 \text{ ms}^{-1}$
4. svježija stijena – općenito iznad  $2500 \text{ ms}^{-1}$ , brzina raste s dubinom



Slika 10 Primjer zapisa – seizmogram (Gazdek, 2019a)

### Udaljenost-vrijeme (x-t) dijagram brzine P valova



Slika 11 Obrada prvih nailazaka (Terradat.co.uk, 2021)

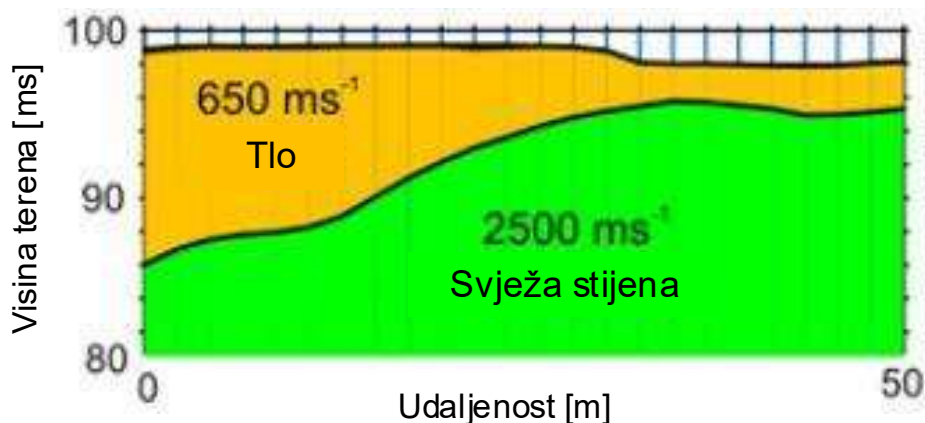
Ograničenje metode je pretpostavka o porastu brzine seizmičkih valova s dubinom (Snellov zakon) što nije uvijek slučaj. Snellov zakon pretpostavlja da vrijedi uvjet porasta brzine s dubinom:  $V_2 > V_1$  za  $\sin i < 1$ , pa će za kritični upadni kut  $i_c$  refraktirana zraka putovati paralelno granici s donje strane brzinom  $V_2$  ( $\sin i_c = V_1 / V_2$ ). Kada

upadna zraka dosegne kritični kut upada, događaj koji slijedi je kritična refrakcija, pa se za sve upadne kutove  $i = i_c$  dio energije vraća u nadsloj prema površini kao glavni ili vučeni val (engl. *head wave*). Zrake planarne valne fronte glavnog vala zatvaraju kut  $i_c$  s refraktorom i imaju smjer prema površini. Planarna fronta glavnog vala putuje kroz nadsloj brzinom  $V_1$ , ali se zbog nagiba  $i_c$ , mjereno na površini čini kao da se dio vremena giba brzinom  $V_2$ , brzinom u sloju ispod granice (Gazdek, 2019a).

Zbog toga nije moguće detektirati sloj niže brzine ispod sloja više brzine, ako nije nedvosmisleno utvrđen osnovni refraktor lokalno najveće brzine.

Uspješnost SRF metode ovisi o orijentaciji i duljini profila, razmaku geofona, poziciji točke paljenja, ukupnom vremenu mjerenja, vremenskoj jedinici mjerenja (Gazdek, 2019a).

### Interpretacija (model) seizmičkog presjeka brzine P valova



**Slika 12** Inverzija brzine po dubini (Terradat.co.uk, 2021)

Seizmičko profiliranje se izvodi radi stratificiranja geotehničko-geoloških sredina, određivanja njihovih mehaničkih i dinamičkih svojstava te procjene inženjerskih parametara kao SQi (Gazdek, 2019b). SQi (Seismic quality index) nije predstavljen niti jednim brojem već predstavlja ilustraciju seizmičke kvalitete koja je generirana iz polja vrijednosti koje prikazuju brzine uzdužnih P valova (Gazdek, Bačić, Kovačević 2014).

Obrada i interpretacija provedena je računalnim programom Rayfract 3.35 za 2D inverzno modeliranje. Inverznim modeliranjem se traži model raspodjele seizmičkih brzina koji se najbolje slaže s vremenima prvih nailazaka. Primjena CAD (engl.

---

Computer Aided Tomography: Delta-t-V inversion and WET tomography) daje korektne slike kad god se uvažuje relevantni podaci geotehničkog profila, čime se umanjuje moguća više-smislenosti zbog inverzije brzina po dubini.

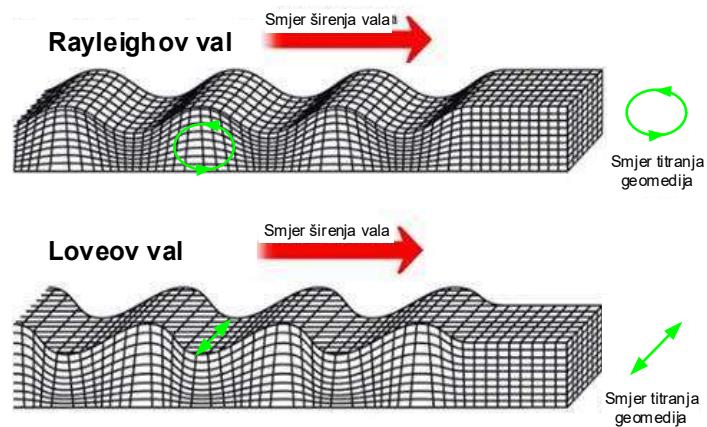
SQi metoda interpretacije tomografskog presjeka omogućuje procjenu seizmičke kvalitete geomedija, odnosno razinu mehaničke degradacije u odnosu na geološke sredine koje u seizmičkom presjeku imaju najbolja mehanička svojstva (osnovni geološki refraktor, najdublje geološke formacije brzine P vala veće od 3500 m/s) (Gazdek, 2019b).

### 3.2. Višekanalna analiza površinskih valova (MASW)

Razvoj seizmičkih metoda posljednjih desetljeća, posebno višekanalne analize površinskih valova (engl. Multi Channel Analysis of Surface Waves, MASW) omogućava određivanje brzine posmičnih S valova geomedija. Za procjenu dinamičkih svojstava tla ( $V_s$ ,  $V_{s,30}$ ), često se koristi MASW metoda. Koristi se kao sondiranje (1D), tomografija (2D) ili modeliranje stvarnosti (3D) (Gazdek, 2019a).

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 (Rayleighove i Loveove). Kada se za generiranje seizmičkih valova na površini koriste vertikalni izvori poput čekića ili pada utega (engl. *weight drop*), nastaju Rayleighevi (R) valovi koji u najvećoj mjeri preuzimaju seizmičku energiju izvora (R valovi 67% seizmičke energije, S valovi 26% i P valovi 7%). (Gazdek, 2019b)

Složeni oblik Rayleighevih valova čine longitudinalni (kompresijski) P val i transverzalni (posmični) S val s međusobnim pomakom u fazi. Materijalna čestica (reprezentativni volumen geomedija) opisuje eliptičku putanju kojoj je velika poluos vertikalna kada se val približava površini tla. R valovi često se nazivaju i valjanje tla (engl. *ground roll*). (Gazdek, 2019b)



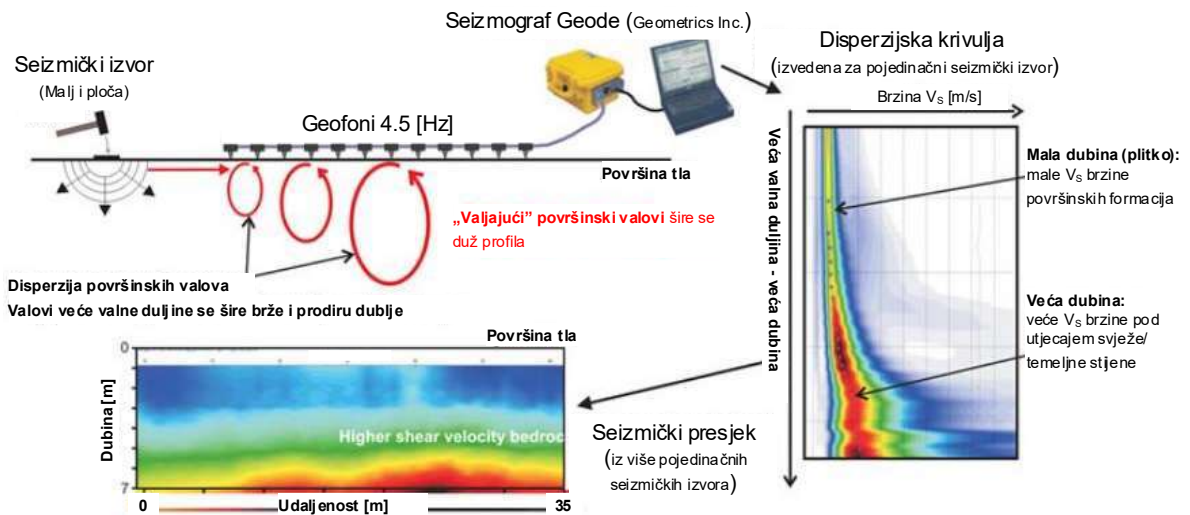
**Slika 13** Širenje Rayleighovog i Loveovog vala (Gazdek, 2019a)

Najvažnije svojstvo R valova je disperzija. Tako se valovi niže frekvencije, pa prema tome veće valne duljine, šire dublje u geomedij nego valovi visoke frekvencije, odnosno male valne duljine. Brzina širenja vala pri pojedinoj frekvenciji naziva se fazna brzina, a krivulja koja prikazuje faznu brzinu ovisno o frekvenciji se naziva krivulja fazne brzine ili disperzijska krivulja. Prostorni P i S valovi nemaju disperzivno svojstvo. (Gazdek, 2019b)

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 ( $M_1$ ) nakon kojeg slijede i ostali viši modovi. Fazna brzina širenja Rayleighovih valova ( $V_R$ ) ovisi prvenstveno o brzini posmičnih valova ( $V_S$ ) (Gazdek, 2019b). Izraz koji pokazuje odnos između brzine posmičnih valova ( $V_S$ ) i brzine Rayleighovih valova ( $V_R$ ) je:

$$V_S = P V_R$$

gdje je  $P$  konstanta ovisna o Poissonovom koeficijentu ( $n$ ) (primjerice  $P = 1.09$  za  $n = 0.25$ ) (Gazdek, 2019b).



**Slika 14** Shematski prikaz mjerenja MASW metodom: prikupljanje podataka, obrada podataka i konačna interpretacija – seizmički presjek promjena brzine S valova. (js.com.tr, 2021)

MASW dispozitiv sastojao se od 24 vertikalna geofona frekvencije 4.5 Hz koji su bili postavljeni na međusobnom razmaku od 3 m. Seizmičke snimke duljine 500 ms su se koristile za interpretaciju brzine posmičnih valova  $V_s$ , ali i za tomografsku interpretaciju brzine seizmičke refrakcije P valova  $V_p$ .

Interpretacija krivulje disperzije su provedene je računalnim programom SeisIMAGER 4.0.1.6. (OYO Corporation 2004-2009). Pri interpretaciji se koristio fundamentalni ili osnovni mod.

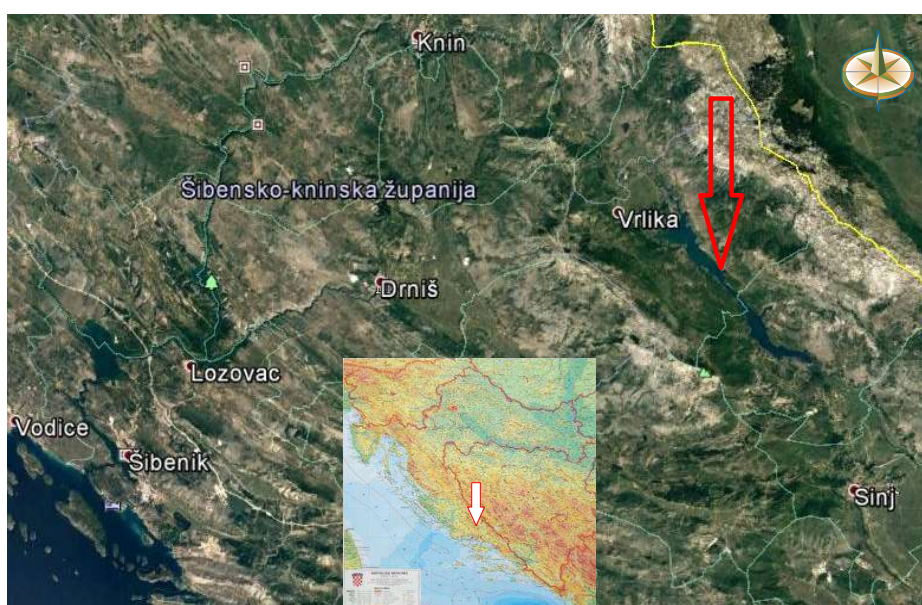


## 4. Opis lokacije

Istraživanja su izvođena u Republici Hrvatskoj na području Splitsko – dalmatinske županije na lokaciji DC 1, dionica 16, Vrlika – Satrić. Cesta se nalazi na otprilike 440 metara nadmorske visine uz jezero Peruća. Zbog svoje lokacije izuzetno je važna za promet u tom dijelu zemlje. Ukupno 17 lokacija na kojima su provedena istraživanja nalaze se uz cestu DC1 (Zagreb – Split) u duljini 7 kilometara.

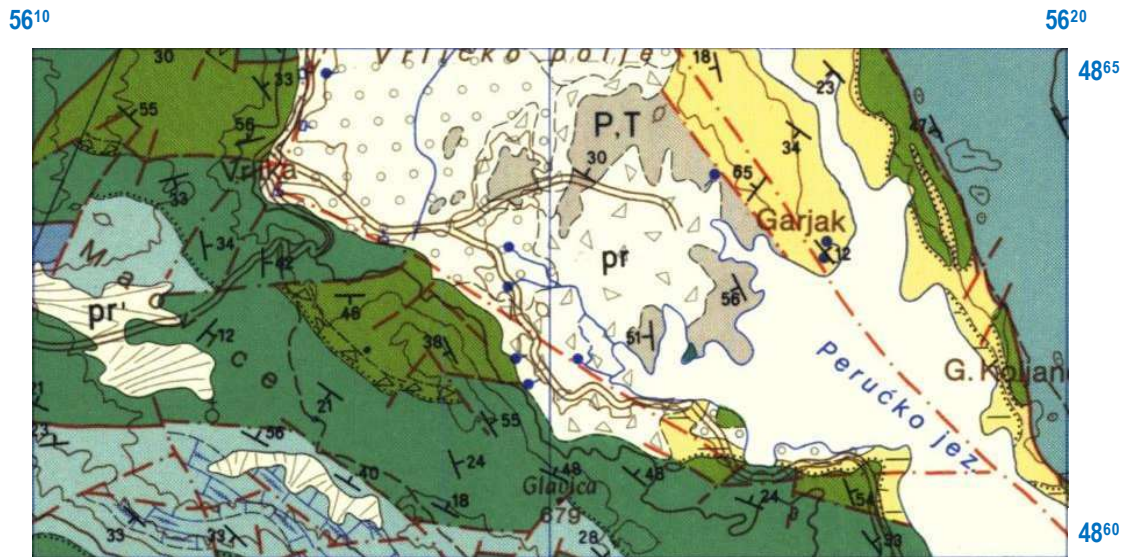
### 4.1. Geološke i hidrogeološke značajke

Šire područje grada Vrlike, pa tako i duž državne ceste istočno od mjesta Podosoje, čine vapnenačke i dolomitne geološke formacije. Vapnenci i dolomiti se odlikuju pukotinskom poroznošću i u pravilu su vodopropusne stijene. Kredne i trijaske formacije uglavnom se odnose na vapnenačko kamenje: vapnenac, dolomit, opučnjak, konglomerat i sadra (gips) (Vuković, 2020).



Slika 15 Lokacija ispitivanja

Opučnjak (njem. Rauchwacke) je trošna dedolomitizirana stijena, a zbog procesa dolomitizacije i dedolomitizacije i tektonskog djelovanja ima brečasti izgled. One su visokoporozne i šupljikave, a sastavljene su od nesortiranih, nezaobljenih i korodiranih odlomaka vapnenaca i dolomita, (Šalić, 2015).



Slika 16 Isječak iz OGK Drniš K 33-9 (Ivanović i dr., 1972)

Tablica 3 Tumač geoloških oznaka

al		Aluvij: (naplavina) općeniti naziv za gline, prahove, pijeske, šljunke i slične nevezane sedimente taložene u samom vodotoku, poplavnoj ravnici, delti
pr		Proluvij: materijal taložen bujicama, najčešće u obliku naplavina
E <sub>3</sub>		Izmjena prominskih konglomerata, breča i vapnenaca
K <sub>2</sub> <sup>1,2</sup>		Vapnenici s proslojcima i lećama dolomita
K <sub>2</sub> <sup>1,2</sup>		Dolomitno-vapnene breče
K <sub>1</sub>		Vapnenici s proslojcima i lećama dolomita

## 4.2. Erozija tla

Istraživano područje se nalazi u zoni potencijalnog rizika od erozije. Ipak, očekuje se da u projektiranom razdoblju do prve sanacije uređenih pokosa uz cestu, neće doći do izrazitog i značajnog povećanja oborina. Zbog toga se ne očekuje ni povećanje rizika od erozije koji je sada ispod srednje razine osjetljivosti, (Vuković, 2020).

## 4.3. Nestabilnost tla / klizišta

Pojave klizišta su posljedica geološke građe, geomorfoloških procesa, klimatoloških pojava (sunce, vjetar, oborine), odnosno ljudskih aktivnosti (sječa vegetacije, obrada tla i odvodnja iznad vrha cestovnih pokosa), (Vuković, 2020)

---

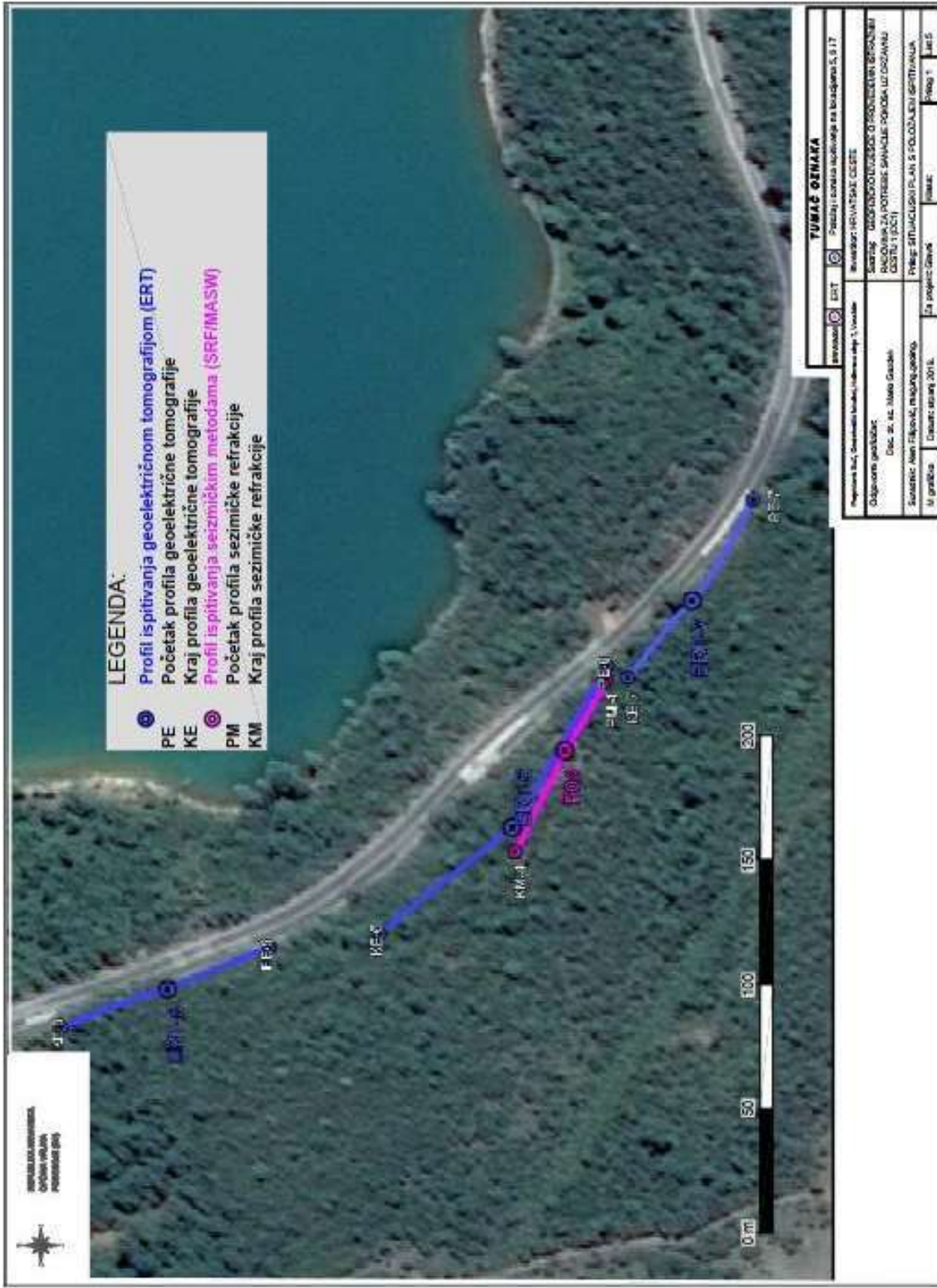
## 5. Rezultati i interpretacija

Pri interpretaciji podataka terenskih mjerenja koristile su se poznate informacije o sastavu, građi i obliku terena (osnovne geološke, inženjersko-geološke i morfološke informacije). Za identifikaciju vrste geomedija koristili su se podaci istražnog bušenja, laboratorijskog ispitivanja i/ili podaci iz literature.

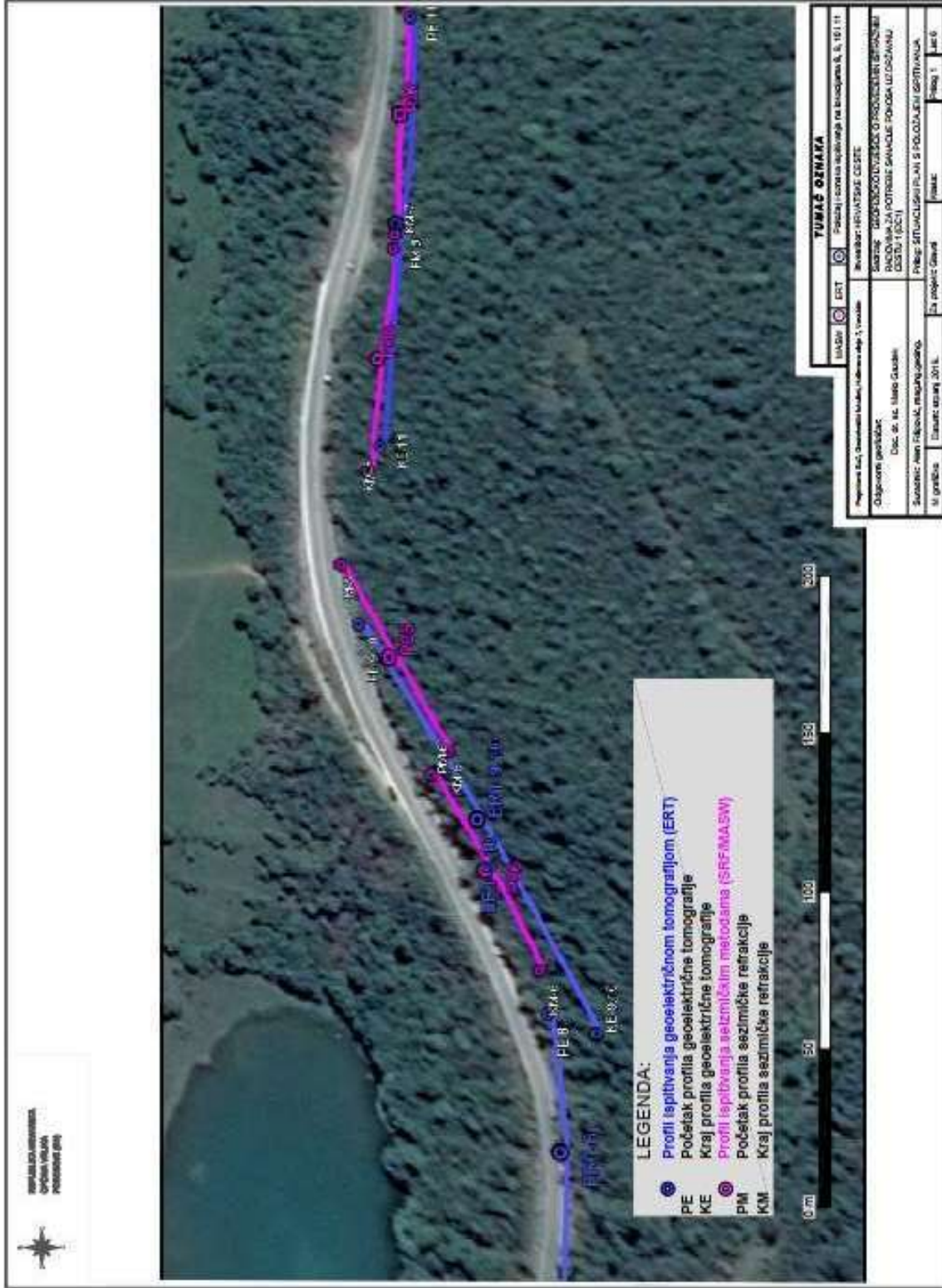
Pojedine lokacije izvođenja ispitivanja seizmičkim metodama označene su na slici karte – Slika 17. Kao primjeri, prikazana su 3 profila i to na lokacijama 6, 7 i 10



Slika 17 Lokacija izvođenja ispitivanja



Slika 18 po4



Slika 19 p10

---

Rezultati SRF metode prikazane su kao 2D tomografski presjek raspodjele geomedija prema brzinama P vala. Na apscisi je duljina profila, a na ordinati dubina zahvata. Rezultati MASW metode prikazani su kao 1D presjek raspodjele brzine S vala po dubini. Na apscisi je brzina vala, a na ordinati je dubina interpretacije. Snimano je do 20 metara u dubinu na svim profilima. Detaljniji pregled lokacija profila i brzine P i S valova prikazane su na slikama.

Uglavnom na svim profilima možemo zaključiti da postoje 3 – 4 glavna sloja. Od pokrovnog sloja gdje se brzine kreću od 200 – 500 ms<sup>-1</sup>. Drugi sloj s nešto višim brzinama koje se okreću otprilike od 500 – 800 ms<sup>-1</sup>. Brzina se povećava s dubinom i prelazi u sljedeći sloj gdje se brzine kreću od 800 - 2000 ms<sup>-1</sup>. Kod brzina iznad 2500 ms<sup>-1</sup> dolazimo do mjesta gdje je stijena svježija.

## 5.1. SQi

U radu su prikazani i profili indeksa seizmičke kvalitete prema brzini P valova.

Pojam indeks seizmičke kvalitete stijenske mase (SQi) uveden je kao prateća metoda stanja kvalitete za bilo koji sustav kategorizacije stijena te za bolje tumačenje inženjersko-geoloških značajki. Nastao je iz trogodišnjeg istraživanja krških područja Hrvatske i potvrđen je stvarnim tomografskim presjecima dobivenim kao rezultat profiliranja diskontinuiteta. Kao ulazni parametri koriste se brzine seizmičkih valova (Gazdek, Bačić, Kovačević 2014). SQi metoda interpretacije tomografskog presjeka omogućuje procjenu seizmičke kvalitete geomedija, odnosno razinu mehaničke degradacije u odnosu na geološke sredine koje u seizmičkom presjeku imaju najbolja mehanička svojstva (osnovni geološki refraktor, najdublje geološke formacije brzine P vala veće od 3500 m/s) (Gazdek, 2019b).

Načelo sporosti, načelo seizmičke impedancije i načelo poroznosti su mehanički principi pomoću kojih su određeni međusobni odnosi vrijednosti. Spajanjem svih pretpostavki, uvjeta i odnosa može se definirati sustav jednadžbi koji definira geometrijske odnose geomedija u pojedinoj ćeliji matrice (polja) brzine.

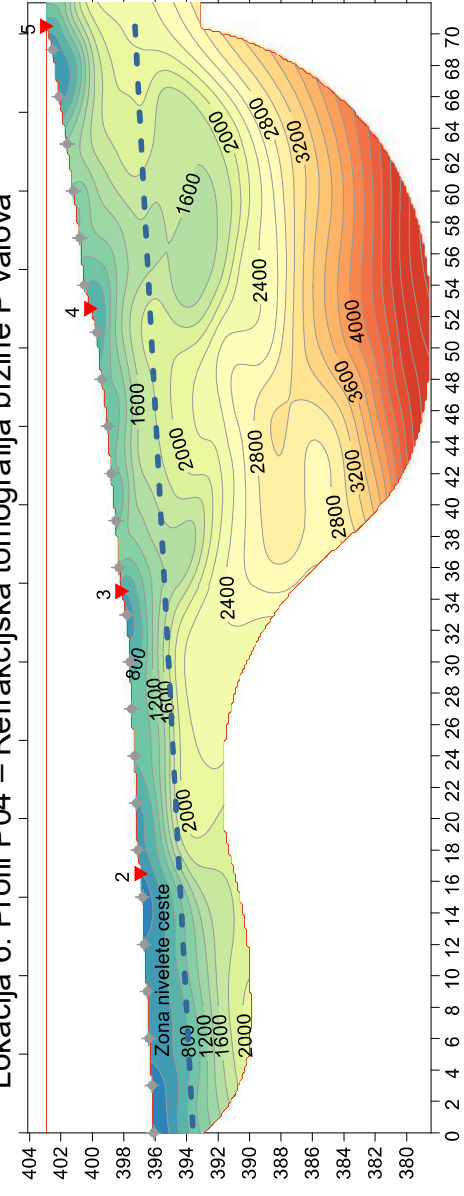


Jednadžbe se provode u programskom paketu Wolfram Mathematica 5.0, koji služi za izradu programskog koda za određivanje polja SQi vrijednosti indeksa seizmičke kvalitete (Gazdek, Bačić, Kovačević 2014).

SQi nije predstavljen jednim brojem već daje sliku seizmičke kvalitete koja je generirana iz polja vrijednosti koje prikazuju brzine uzdužnih P valova (Gazdek, Bačić, Kovačević 2014).

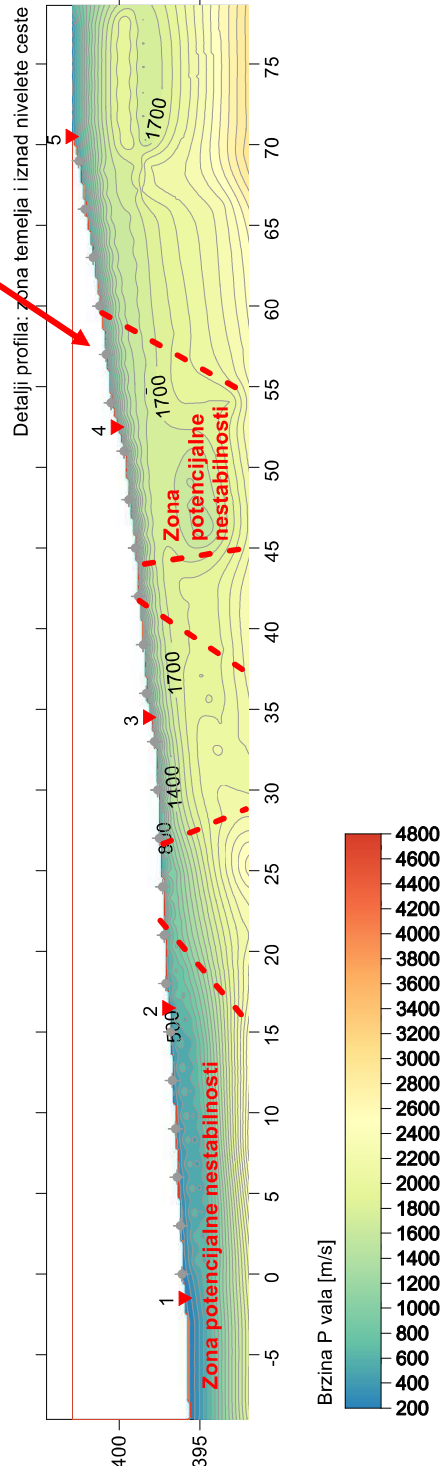
## 5.2. Rezultati ispitivanja

Lokacija 6: Profil P04 – Refrakcijska tomografija brzine P valova



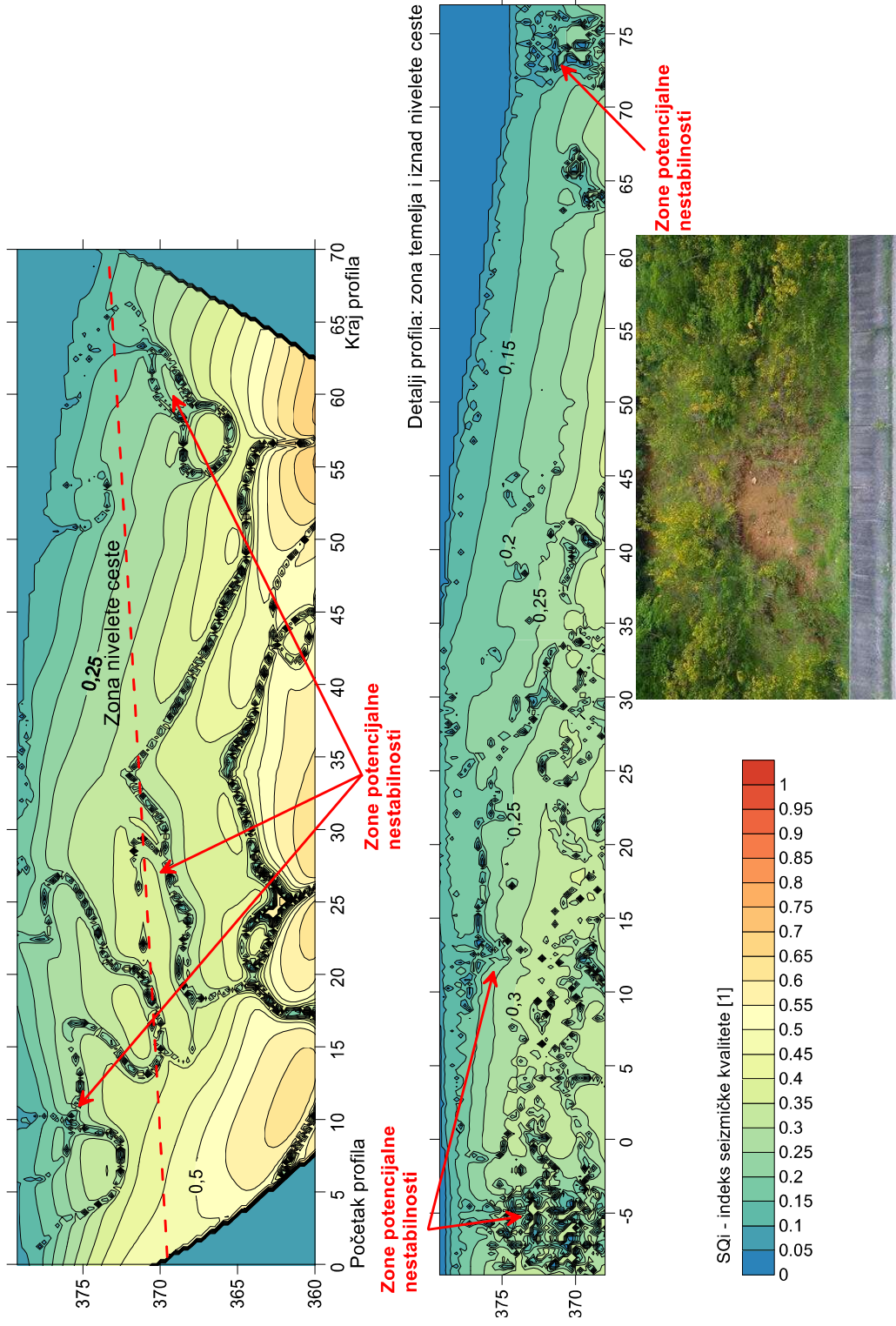
Početak profila

Kraj profila

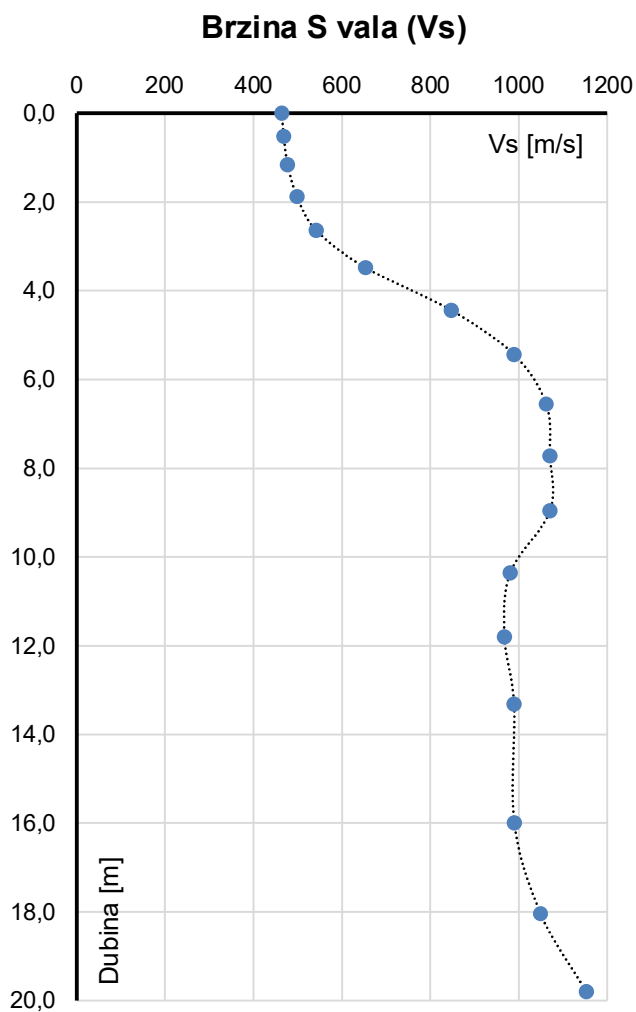


### Lokacija 6: Profil P04 – Profil indeksa seizmičke kvalitete prema brzini P valova

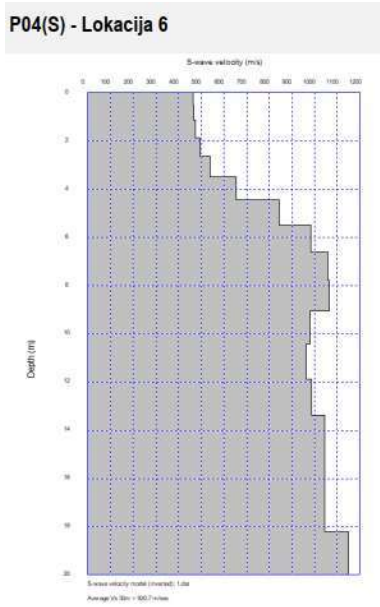
**SQi** - indeks seizmičke kvalitete geometrija (analogno RQD indeksu stijenske mase).  
Crne krivulje predstavljaju seizmičke diskontinuitete (analogno pretpostavljenim stvarnim diskontinuitetima).



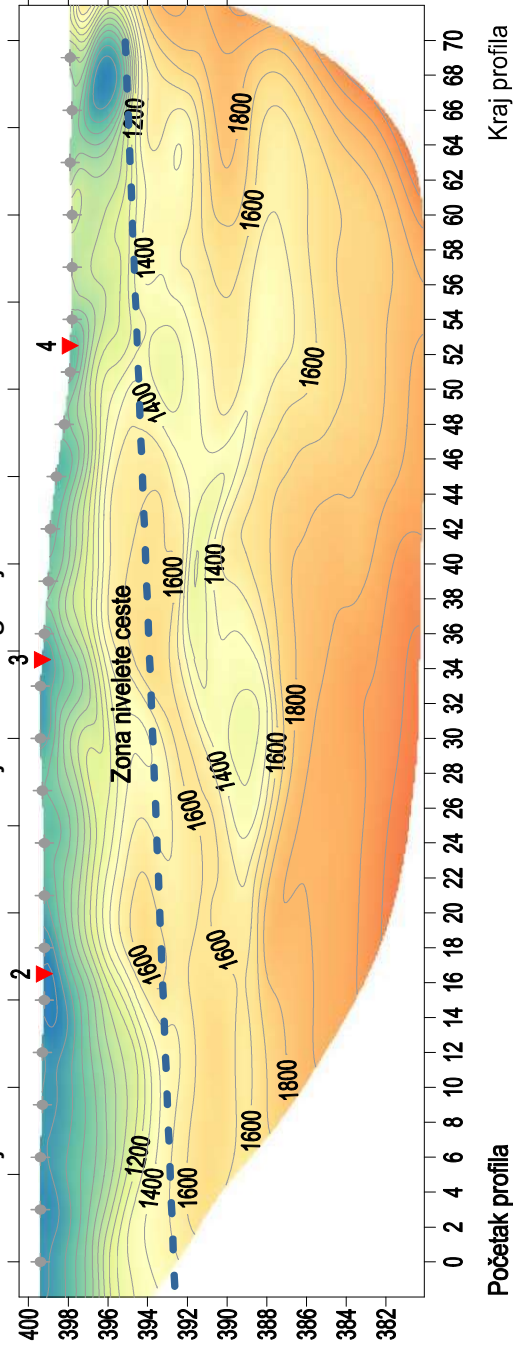
Lokacija 6  
Profil 04 – MASW seizmička sonda brzine S valova (sredina profila)



Prosječna brzina Vs(30) = **900.7** [m/s]

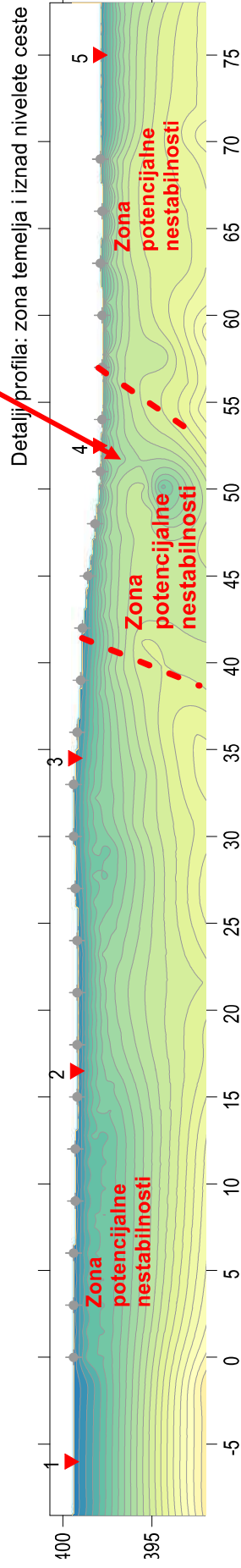


Lokacija 7: Profil P04.1 – Refrakcijska tomografija brzine P valova

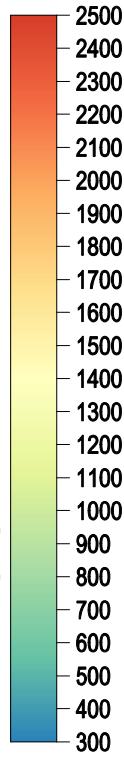


Početak profila

Kraj profila



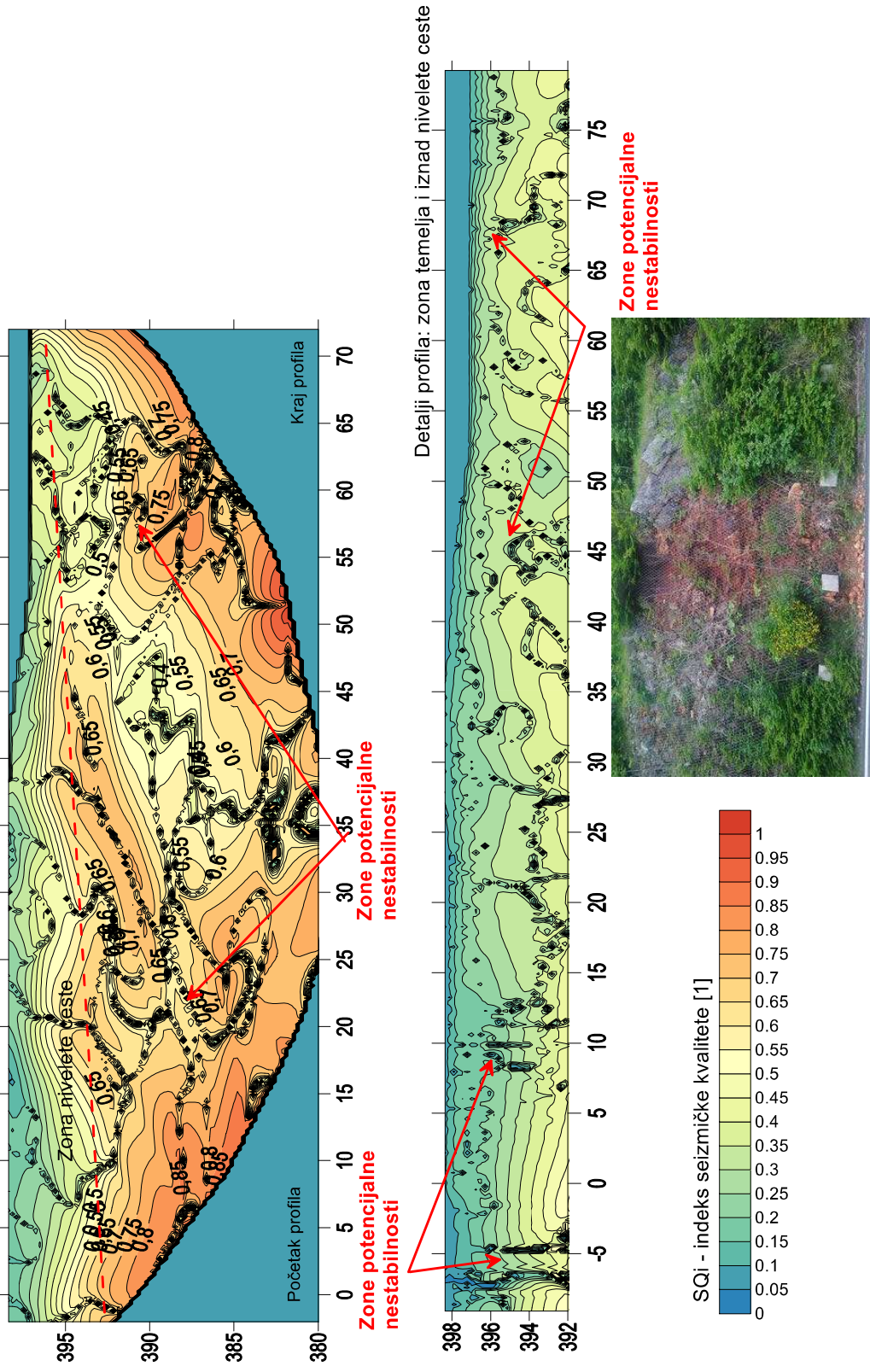
Brzina P vala [m/s]



Lokacija 7: Profil P04.1 – Profil indeksa seizmičke kvalitete prema brzini P valova

**SQI - indeks seizmičke kvalitete geomidija**  
(analogno RQD indeksu stijenske mase).

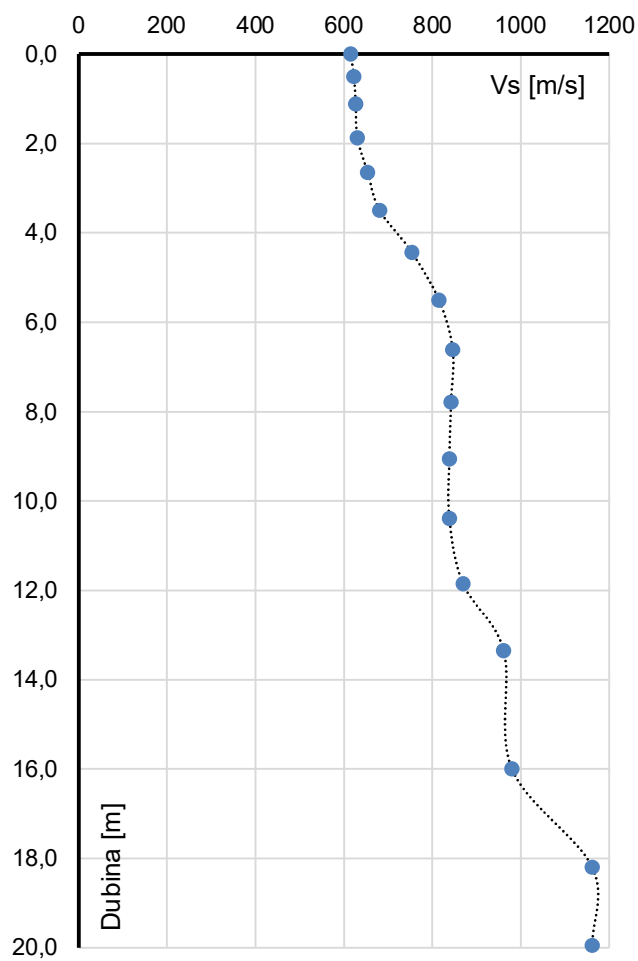
Crne krivulje predstavljaju seizmičke diskontinuitete  
(analogno pretpostavljenim stvarnim diskontinuitetima).



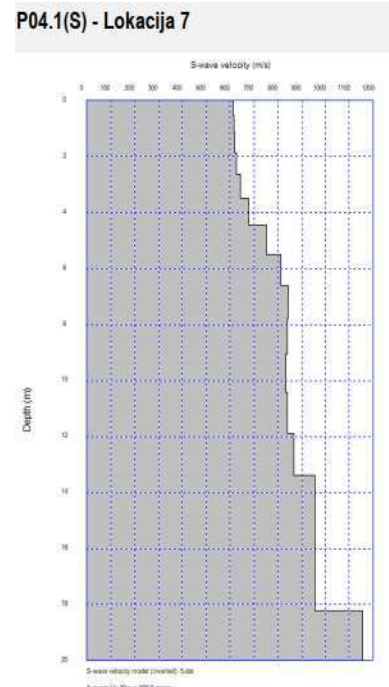
Lokacija 7

Profil 04.1 – MASW seizmička sonda brzine S valova (sredina profila)

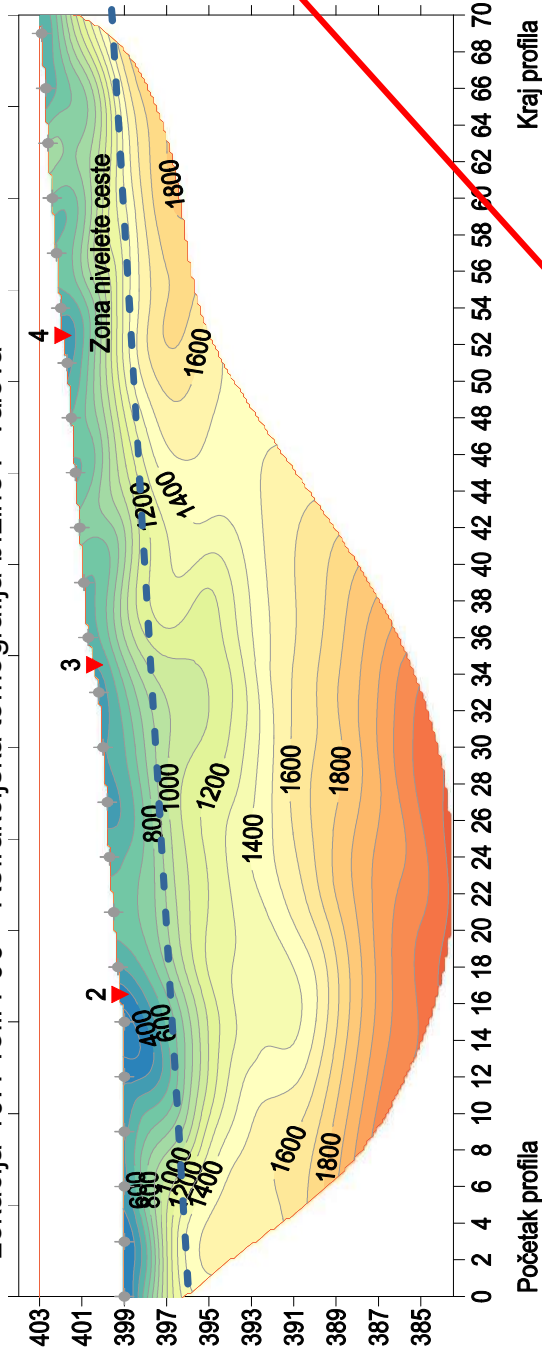
### Brzina S vala (Vs)



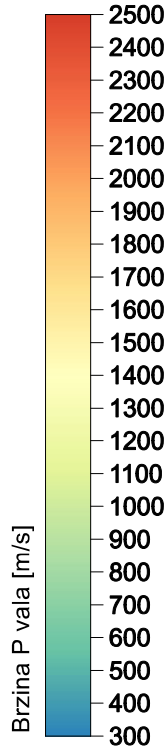
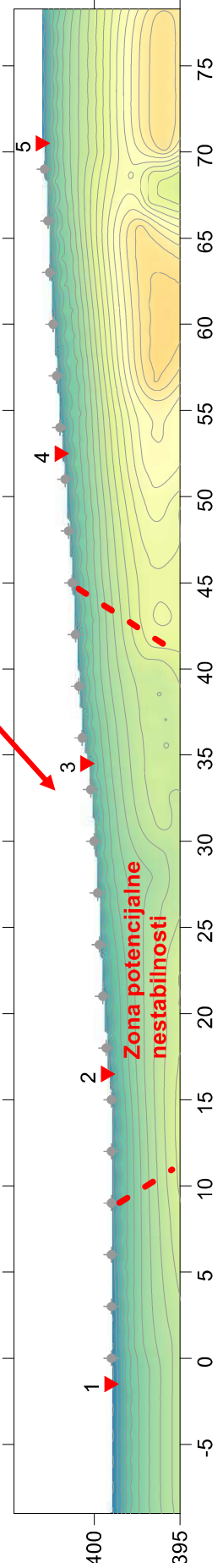
Prosječna brzina Vs(30) = **909.0** [m/s]



Lokacija 10: Profil P06 – Refrakcijska tomografija brzine P valova



Detalji profila: zona temelja i iznad nivelete ceste

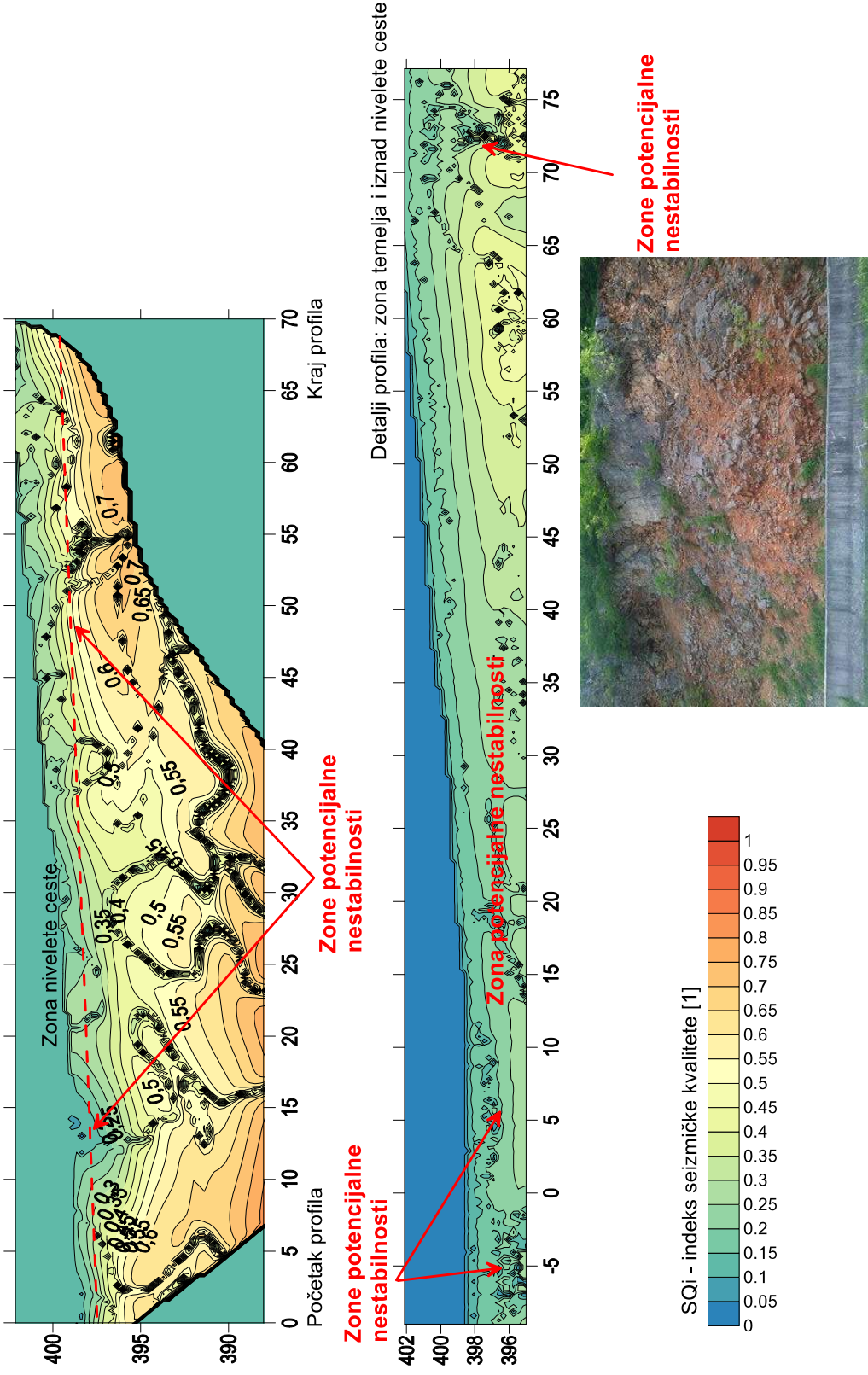


Lokacija 10: Profil P06 – Profil indeksa seizmičke kvalitete prema brzini P valova



**SQi - indeks seizmičke kvalitete geomeditija**  
(analogno RQD indeksu stijenske mase).

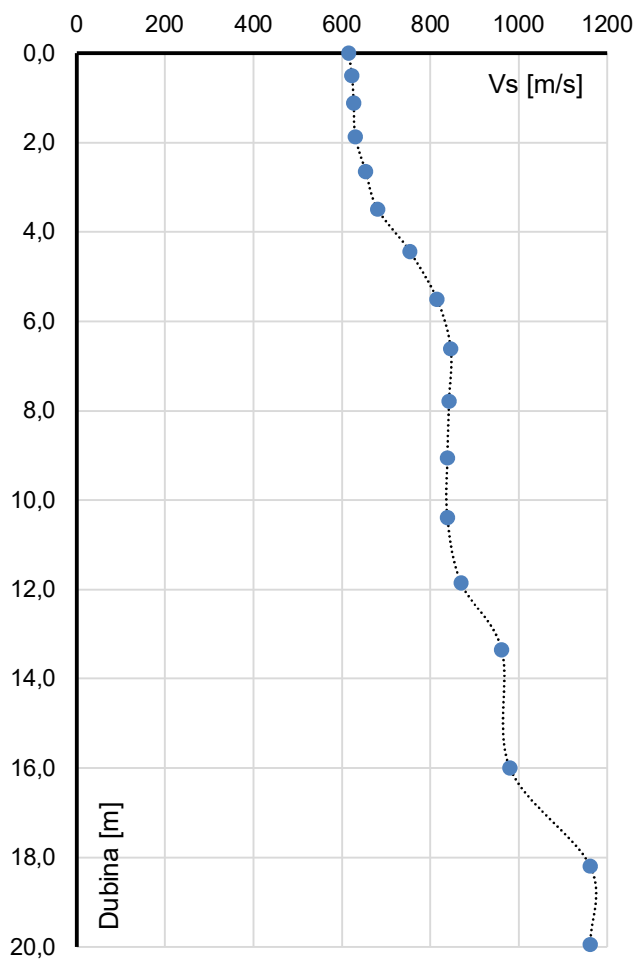
Crne krivulje predstavljaju seizmičke diskontinuitete  
(analogno prepostavljenim stvarnim diskontinuitetima).



Lokacija 10

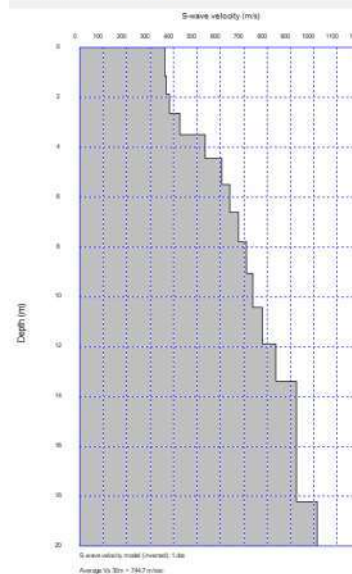
Profil 06 – MASW seizmička sonda brzine S valova (sredina profila)

### Brzina S vala (Vs)



Prosječna brzina Vs(30) = **744.7** [m/s]

P06(S) - Lokacija 10



## 6. Zaključak

Refrakcijska tomografija P valovima (SRF) i višekanalna analiza površinskih valova (MASW) su se pokazale kao uspješne metode za analizu stanja cestovnih pokosa. Iz tomografskih SRF presjeka i MASW sondi se mogu inženjerski precizno detektirati lokacije potencijalnih zona nestabilnosti. Osim položaja, mogu se odrediti i smjerovi njihova pružanja, a također se može procjeniti i njihov volumen. Indeks seizmičke kvalitete (SQi) geomedija služi za određivanje pružanja nestabilnih dijelova i zona pokosa, odnosno diskontinuiteta te za ocjenu stanja mehaničke kvalitete u odnosu na osnovnu stijensku masu. Seizmički diskontinuiteti ukazuju i na moguće pravce kretanja oborinskih voda kroz tijelo pokosa, što je posebno važno, jer oborinske vode mogu biti okidači nestabilnosti.

Primijenjene seizmičke metode su i međusobno komplementarne, s obzirom da se iz brzina kompresijskih P valova i brzina posmičnih S valova mogu odrediti dinamičke konstante elastičnosti geomedija. Te su konstante važne za ocjenu dinamičkih svojstava geomedija u pokosu, ali i za projektna rješenja u područjima nestabilnosti, radi poduzimanja mjera zaštite i sanacije.

---

## 7. Popis literature

Hack, R. Geophysics For Slope Stability. *Surveys in Geophysics* **21**, 423–448 (2000). <https://doi.org/10.1023/A:1006797126800>

M. Henryk, P. Zenon, P. Elzbieta and K. Jerzy (2000) Prediction of slope failure using seismic refraction and numerical modelling <https://geospectrum.pl/wp-content/uploads/2017/02/prediction.pdf>

Mari, Jean-Luc. "Chapter 2 Refraction surveying". *Seismic imaging: a practical approach*, Les Ulis: EDP Sciences, 2021, pp. 35-62. <https://doi.org/10.1051/978-2-7598-2351-2.c004>

Mari, Jean-Luc and Vergnault, Christophe. *Well seismic surveying and acoustic logging*, Les Ulis: EDP Sciences, 2021. <https://doi.org/10.1051/978-2-7598-2263-8>

Mario Gazdek (2019a) Interna skripta s Geotehničkog fakulteta iz kolegija Geofizika

Mario Gazdek (2019b) Rezultati istraživanja Vrlika

Mario Gazdek, Mario Bačić, Meho Saša Kovačević (2014) SEISMIC QUALITY INDEX (SQi) OF ROCK MASS [https://hrcak.srce.hr/index.php?id\\_clanak\\_jezik=172333&show=clanak](https://hrcak.srce.hr/index.php?id_clanak_jezik=172333&show=clanak)

Martina Šalić (2015). Petrološke i geokemijske značajke izvorišta Studenog potoka na Plješevici. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

Marijana Vuković (2020). Elaborat zaštite okoliša uz zahtjev za ocjenu o potrebi procjene utjecaja na okoliš za zahvat: „Sunčana elektrana Derven, grad Vrlika, Splitsko-dalmatinska županija“, Zeleni servis d.o.o., Split.

OGK Drniš: K 33-9. Autori: Ivanović, A., Sikirica, V., Marković, S., Sakač, K., Institut za geološka istraživanja Zagreb, 1967-1972.

Park, Sangki & Kim, Wooseok & Lee, Jonghyun & Baek, Yong. (2018). Case Study on Slope Stability Changes Caused by Earthquakes—Focusing on Gyeongju 5.8 ML EQ. Sustainability. 10. 3441. 10.3390/su10103441.

Suto, K (2007): Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) for Investigation of Ground Competence: An Introduction. Proceedings of the Sydney Chapter 2007 Symposium, Australian Geomechanics Society, pp71-81.

Hrvatske ceste, Opći tehnički uvjeti. Dostupno na: <https://hrvatske-cesta.hr/hr/stranice/tehnicka-dokumentacija/dokumenti/44-opci-tehnicki-uvjeti-za-radove-na-cestama> [21. ožujka 2021.]

Nepoznat autor. Dostupno na: [Microsoft Word - ukupni teksta literaturom .doc \(irb.hr\)](#) [21. ožujka 2021.]

Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet. Dostupno na:

[https://www.grad.unizg.hr/download/repository/GI\\_10.predavanje\\_Stabilnost\\_stijenskih\\_pokosa.pdf](https://www.grad.unizg.hr/download/repository/GI_10.predavanje_Stabilnost_stijenskih_pokosa.pdf) [10. lipnja 2021.]

---

## 8. Popis tablica

TABLICA 1 POPIS ZAKONA, NORMI I PREPORUKA.....	4
TABLICA 2 BRZINE P I S VALOVA U NEKIM GEOMEDIJIMA.....	17
TABLICA 3 TUMAČ GEOLOŠKIH OZNAKA.....	25

## 9. Popis slika

SLIKA 1 PRIMJER ODRONA NA DRŽAVNOJ CESTI DC74 ŽUTNICA-GORNJE JESENJE-BEDNJA (VECERNJI.HR, 2021) .....	7
SLIKA 2 PRIMJER ZAŠTITNE OGRADE NA DRŽAVNOJ CESTI DC 1, DIONICA 16, VRLIKA-SATRIĆ .....	7
SLIKA 3 PRIMJER ZAŠTITNIH MREŽA NA DRŽAVNOJ CESTI DC 1, DIONICA 16, VRLIKA-SATRIĆ .....	8
SLIKA 4 OPREMA ZA TERENSKO MJERENJE SRF I MASW METODOM (RESEARCHGATE.NET, 2006) .....	10
SLIKA 5 MJERENJE SEIZMIČKIM METODAMA (TERRADAT.CO.UK, 2021) .....	11
SLIKA 6 NORMALIZIRANA DEGRADACIJSKA KRIVULJA. POJEDINE GEOTEHNIČKE KONSTRUKCIJE I VRSTE POKUSA SU RASPOREĐENE S OBZIROM NA VELIČINU RELATIVNE POSMIČNE DEFORMACIJE. (GAZDEK, 2019B).....	13
SLIKA 7 KRIVULJE DEGRADACIJE MODULA ELASTIČNOSTI E ZA GEOSTATIČKE PRORAČUNE (GAZDEK, 2019B).....	14
SLIKA 8 POISSONOV KOEFICIJENT I OMJER SEIZMIČKIH BRZINA (GAZDEK, 2019B).....	15
SLIKA 9 PLITKA SEIZMIČKA REFRAKCIJA (GAZDEK, 2019A) .....	18
SLIKA 10 PRIMJER ZAPISA – SEIZMOGRAM (GAZDEK, 2019A) .....	19
SLIKA 11 OBRADA PRVIH NAILAZAKA (TERRADAT.CO.UK, 2021) .....	19
SLIKA 12 INVERZIJA BRZINE PO DUBINI (TERRADAT.CO.UK, 2021).....	20
SLIKA 13 ŠIRENJE RAYLEIGHOVOG I LOVEOVOG VALA (GAZDEK, 2019A).....	22
SLIKA 14 SHEMATSKI PRIKAZ MJERENJA MASW METODOM: PRIKUPLJANJE PODATAKA, OBRADA PODATAKA I KONAČNA INTERPRETACIJA – SEIZMIČKI PRESJEK PROMJENA BRZINE S VALOVA. (JS.COM.TR, 2021) .	23
SLIKA 15 LOKACIJA ISPITVANJA.....	24
SLIKA 16 ISJEČAK IZ OGK DRNIŠ K 33-9 (IVANOVIĆ I DR., 1972) .....	25
SLIKA 17 LOKACIJA IZVOĐENJA ISPITAVANJA .....	28
SLIKA 18 PO4 .....	29
SLIKA 19 P10.....	30