



“CTU-IPKIN“ d.o.o.

CENTAR TEHNIČKIH USLUGA

ISTRŽIVANJE, PROJEKTOVANJE KONSALTING INŽENJERING I NADZOR

www.ipkin.com

Siniša Arsenović, master geologije

Primjenjena geofizika

GEOFIZIČKE METODA ISTRAŽIVANJA U OBLASTI GEOTEHNIKE

METODE GEOFIZIČKIH ISTRAŽIVANJA

➤ Geoelektične metode istraživanja

Od geoelektričnih metoda u oblastima koje pokrivaju: **geologija, hidrogeologija, inženjerska geologija i geomehanika**, široku primjenu kod istraživanja imaju:

- **Metoda vertikalnog geoelektričkog sondiranja - VES**

Vertikalno geoelektrično sondiranje sa Schlumberger-ovim ili Wenner-ovim elektrodnim rasporedom, predstavlja primarnu metodu istraživanja obzirom da se njome dobija niz korisnih podataka i informacija kvalitativnog i kvantitativnog karaktera o litološkom sastavu stjenskih masa, strukturnoj građi stjenkog masiva i njegovim hidrogeološkim uslovima i ostalim svojstvima i uslovima njegovog prirodnog zaljevanja iz domena inženjerske geologije i geomehanike.

- **Metodologija istraživanja**

Metodologija geofizičkih istraživanja uz primjenu geoelektrične metode vertikalnog geoelektričkog sondiranja u suštini se svodi na dva sistema, odnosno da li se raspored geoelektričnih sonde u zoni istražnog prostora vrši duž istražnih profila ili se njihova dispozicija u zoni istražnog prostora programira na po već opredjeljenim karakterističnim tačkama na bazi predhodnih spoznaja ili pak ukazanih potreba da se na tim tačkama dobiju preko potrebni podaci i saznanja o litostratigrafskoj građi podzemlja u cilju programiranja i usmjeravanja istraživanja u fazama koje slijede.

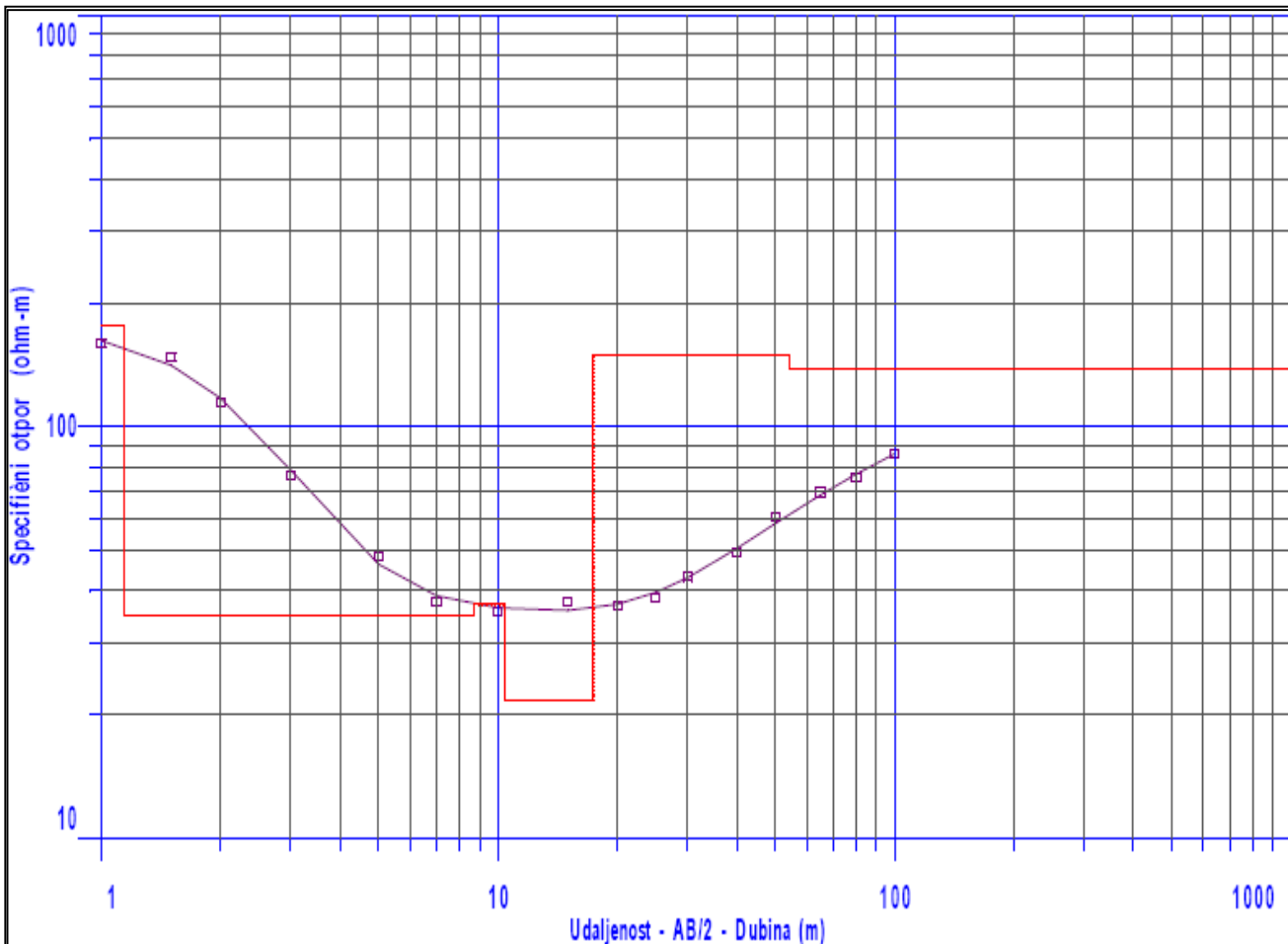
U slučaju kada se istraživanja provode duž istražnih profila, profili se u istražnom prostoru sa horizontalnom do blago talasatom topografskom strukturom, uglavnom postavljaju u vidu pravougaone mreže saglasno dominirajućoj geološkoj ili pak geomorfološkoj lineari. U brdsko-planinskim područjima sa srednje do strmo nagnutim terenima, profili se obavezno postavljaju po padu terena kako bi se inženjerskoj geologiji omogućio maksimalni nivo spoznaja potrebnih za analizu stabilnosti terena. Po ovim principima se planiraju istraživanja uz primjenu svih geofizičkih metoda koja se vrše duž profilnih linija. Detaljnost istraživanja opredjeljuje niz faktora od kojih su ključni: geološka (*litostratigrafska i strukturno-tektonska*) složenost stjenkog masiva istražnog prostora, nivo istraživanja (*preliminarna, detaljna i td.*), cilj i namjena (*za potrebe kako geologije, hidrogeologije, inženjerske geologije ili geomehanike, kako pojedinačno tako i kombinovano*).

- **Oblast primjene:**

- **Geologija:** Litostratigrafska identifikacija stjenkog materijala u stjenkom masivu istražnog prostora i identifikacija strukturno-tektonske građi stjenkog masiva,
- **Hidrogeologija:** Kvantitativna ocjena hidrogeoloških karakteristika registrovanih litostratigrafskih članova u stjenkom masivu istražnog prostora i njegovih hidrogeoloških prilika. Definisane dubine i položaja zaljevanja hidrogeoloških kolektora u strukturnoj građi stjenkog masiva, definisanje mikrolokacije za izradu istražnih i eksploatacionih hidrogeoloških objekata (*pijezometri, bunari i sl.*).
- **Inženjerska geologija:** Kvantitativna, a u određenim uslovima i kvalitativna ocjena inženjersko-geoloških uslova stjenkog masiva u zoni istražnog prostora,
- **Geomehanika:** Zoniranje terena za potrebe uzorkovanja pri detaljnim geomehaničkim ispitivanjima.

- **Primjeri iz prakse:**

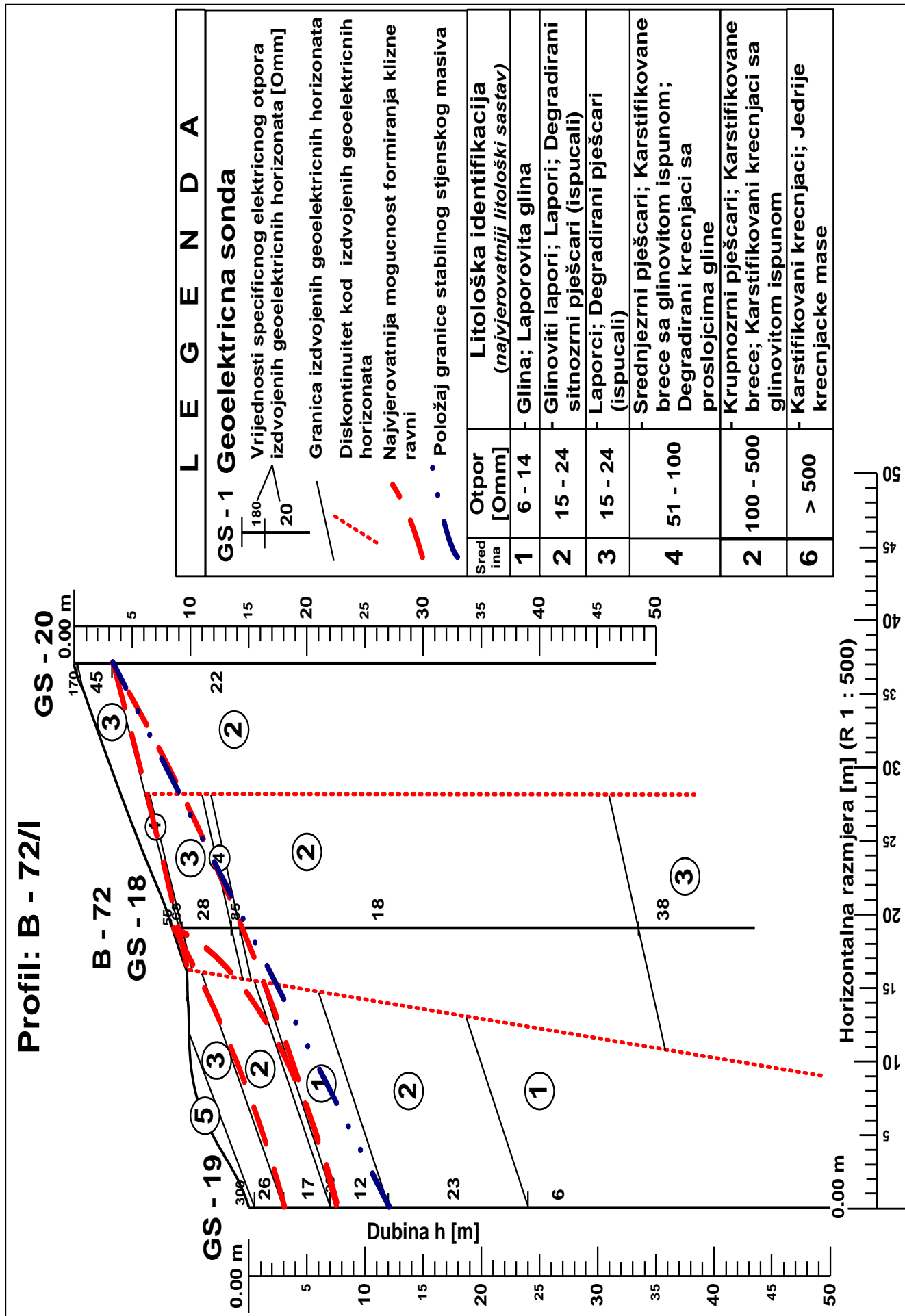
– Pr. - 1: Inženjerska geologija – Klizište (Lopare – Milino Selo): Dubinski 2D presjek vertikalnog geoelektričkog sondiranja kada se geofizičko-geoelektrična istraživanja ne provode po trasama profila



<p>“CTU-IPKIN” d.o.o. CENTAR TEHNIČKIH USLUGA ISTRŽIVANJE, PROJEKTOVANJE KONSALTING INŽENJERING I NADZOR Geofizička istraživanja: VERTIKALNO GEOELEKTRIČKO SONDIRANJE</p>	
<p>GS – 1.2. (Detaljni model) DUBINSKI PRESJEK</p>	
Teren:	Lokacija:
Lopare – Milino Selo	Klizište na privatnom posjedu u vlasništvu Cvijetina Lazića
Specifični otpor zoni [Ωmm] Dubina[m]	Profil
	I
179	Opis najjerovatnijeg litološkog sastava registrovanog geoelektričkog horizonta
1	Zona aeracije Humus
1.1	Jako degradiran stjenjski materijal primarne stijene (pješčar)
2	35 8.7 Vodopropusni stjenjski materijali
3	37 Degradirani i ispućali sitnozrni pješčari Vodopropusni stjenjski materijali
10.4	Uslovi za formiranje pukotinske poroznosti Uslovi za formiranje pukotinske izdani male izdašnosti Kaptiranje izdani: Bušeni ili kopani bunar velikog prečnika
22	Glinoviti lapor
4	Lapor
17.4	Vodonepropusni stjenjski materijali
5	149 54.3 Hidrogeološki izolator
139	Krupnozrni pješčari – monolitni Vodonepropusni stjenjski materijali
6	Hidrogeološki izolator Karstifikovane karbonatne stijene (krečnjački lapori, laporoviti krečnjaci) Karstifikovane karbonatne stijene sa glinovitom ispunom (konglomerati, breče, krečnjaci) Vodopropusni stjenjski materijali Hidrogeološki kolektor pukotinsko-karstne poroznosti Uslovi za formiranje pukotinsko-karstne izdani male do srednje izdašnosti
∞	Kaptiranje izdani: Bušeni bunar srednjeg prečnika

Greška modela: 2.83%

- Pr. - 2: Inženjerska geologija – Klizište (Tetima – Ležište soli): Dubinski 2D presjek vertikalnog geoelektričnog sondiranja kada se geofizičko-geoelektrična istraživanja ne provode po trasama profila



• **Geoelektrična tomografija**, odnosno LIS tehnika mjerenja specifičnog električnog otpora (*Lund Imaging Sistem*) sa Schlumberger-ovim ili Wenner-ovim elektrodnim rasporedom.

○ **Metodologija istraživanja**

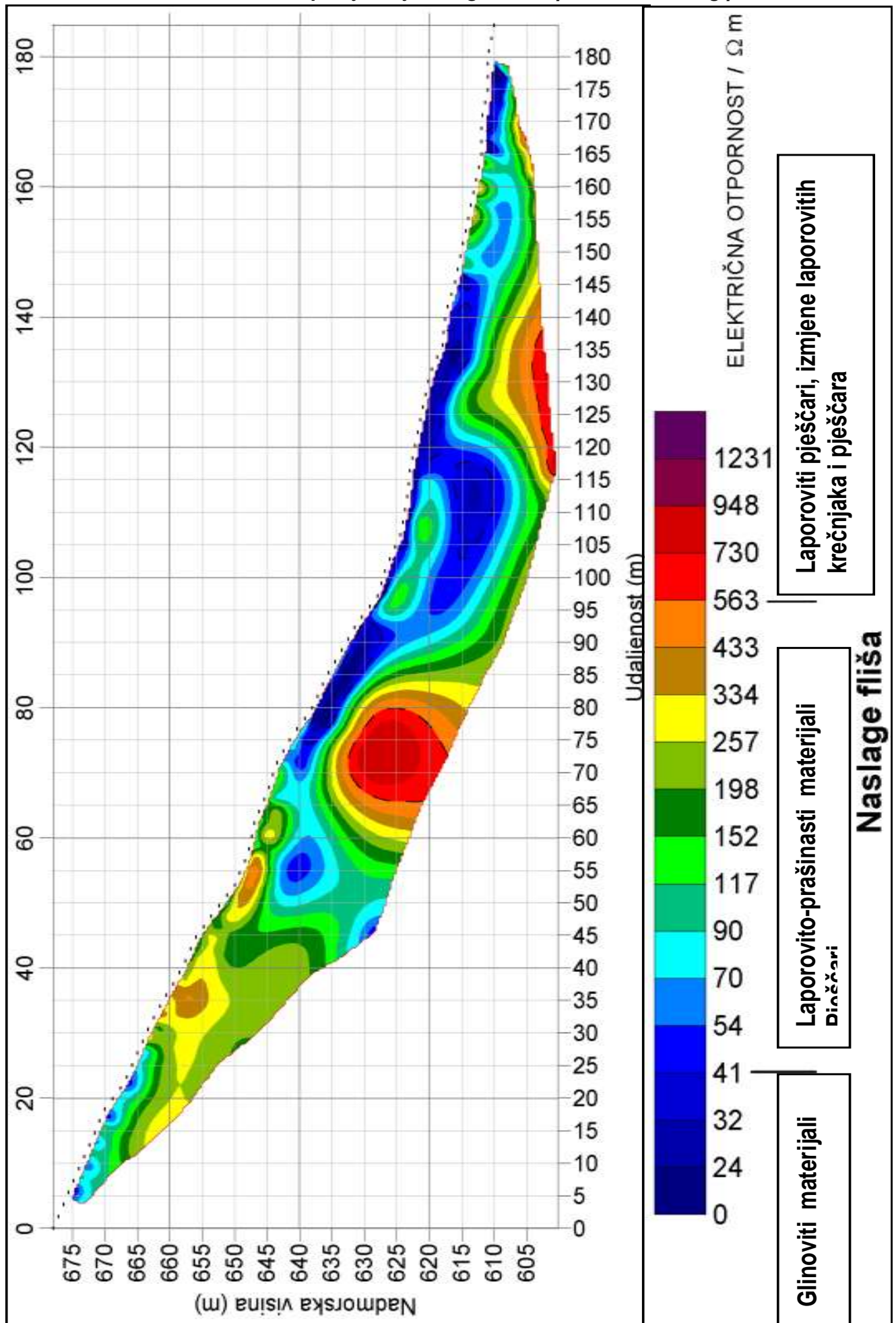
Geofizička istraživanja uz primjenu LIS tehnike vrši se isključivo duž istražnih profila i rječ je o potpuno automatizovanom postupku vertikalnog geoelektričnog sondiranja sa unaprijed definisanim elektrodnim rastojanjima, odnosno centrima internih geoelektričnih sonde u trasi istražnog profila. Kompjuterski program preuzima upravljanje nad selektorom elektroda i omogućava da se izvrše kompletne serije mjerenja na svim sondama u jednoj postavci na profilu. Maksimalna dubina istraživanja koja se za sada može dosegnuti sa LIS tehnikom je do cca 120 m. U terenima sa složenom litostratigrafskom i strukturno-tektonskom građom na istražnim profilima poželjno je uraditi i po neku klasičnu geoelektričnu sondu po metodi VES-a sa većim dubinskim zahvatima.

○ **Oblast primjene:**

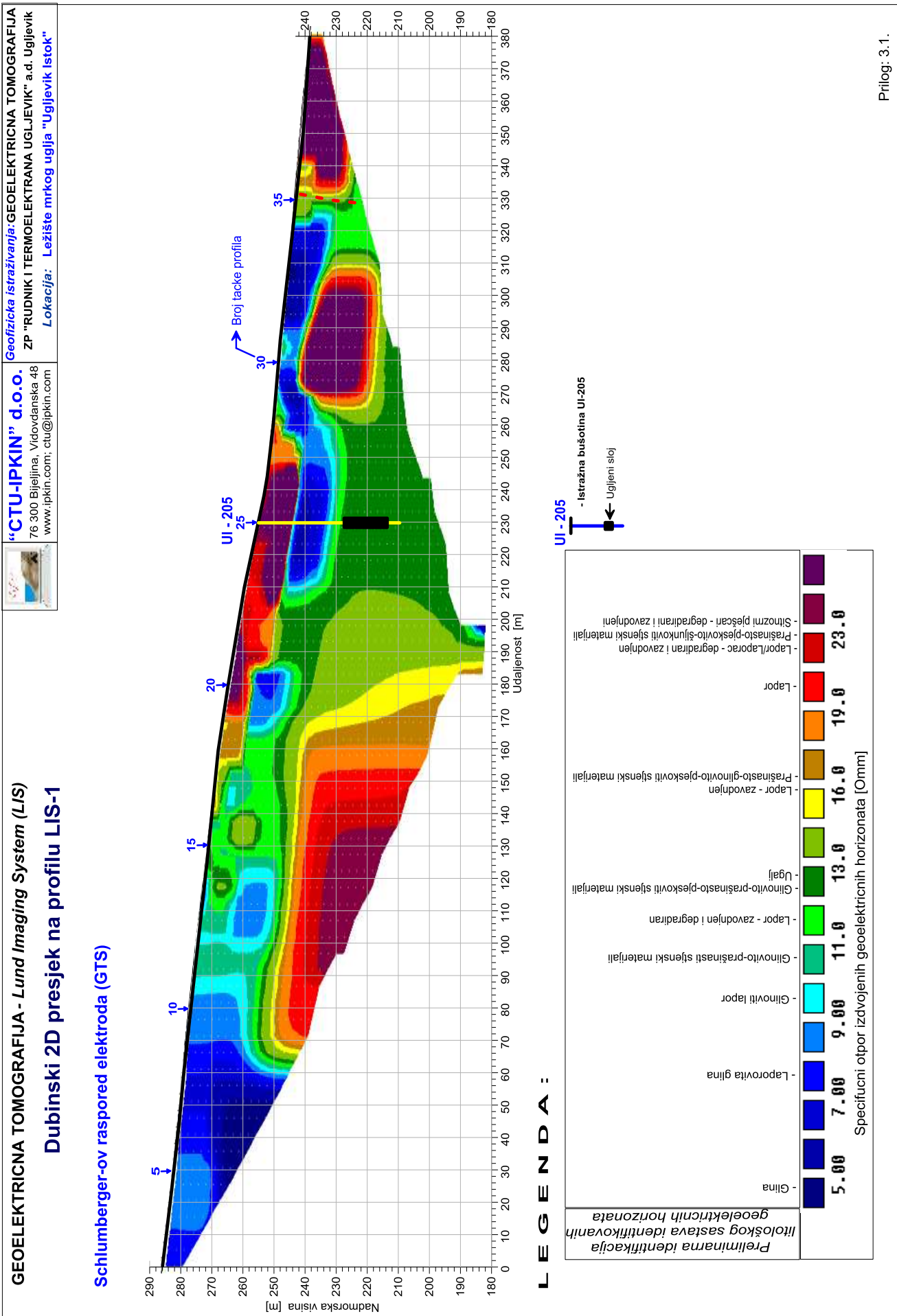
- **Geologija:** Litološko-stratigrafska identifikacija stjenskih masa u stjenskom masivu istražnog prostora (*identifikacija genetskih tipova površinskih pokrivača i njihov litološki sastav po površini terena i dubini zaljevanja uz definisanje njihove prostorne pozicije i dimenzija u 2D presjeku trase geoelektričnog profila*).
- **Hidrogeologija:** Kvantitativna ocjena hidrogeoloških karakteristika stjenskih masa i hidrogeoloških uslova u stjenskom masivu istražnog prostora (*analiza uslova prehranjivanja podzemnih voda, kroz analizu hidrogeoloških funkcija i vodopropusnosti stjenskih masa i uslova dreniranja, te njihova dispozicija u građi tijela klizišta i sl.*).
- **Inženjerska geologija:** Kvantitativna ocjena inženjersko-geoloških uslova stjenskog masiva u zoni istražnog prostora, definisanje položaja, dubine i načina zaljevanja klizne ravni - *osnovne stijene (definisanje litofacijalnog sastava i prostornog položaja geološkog substrata i geoloških struktura)*, identifikacija dubine nestabilnosti, analiza stabilnosti prirodne padine i sl..
- **Geomehanika:** Zoniranje terena za potrebe uzorkovanja pri detaljnim geomehaničkim ispitivanjima. Putem korelacionog povezivanja sa statičkim fizičko-mehaničkim parametrima definisanim laboratorijskim geomehaničkim ispitivanjima uzoraka tla litoloških sredina izdvojenih geoelektričnih horizonata, vrši se njihov transfer na sve segmente stjenskog masiva koji su zahvaćeni dubinskim 2D geoelektričnim presjecima u trasama istražnih profila.

○ **Primjeri iz prakse:**

- Pr. - 1: Inženjerska geologija – Vodostan (HE Ulog): Geoelektrično tomografski dubinski 2D presjek stjenkog masiva po trasi istražnog profila



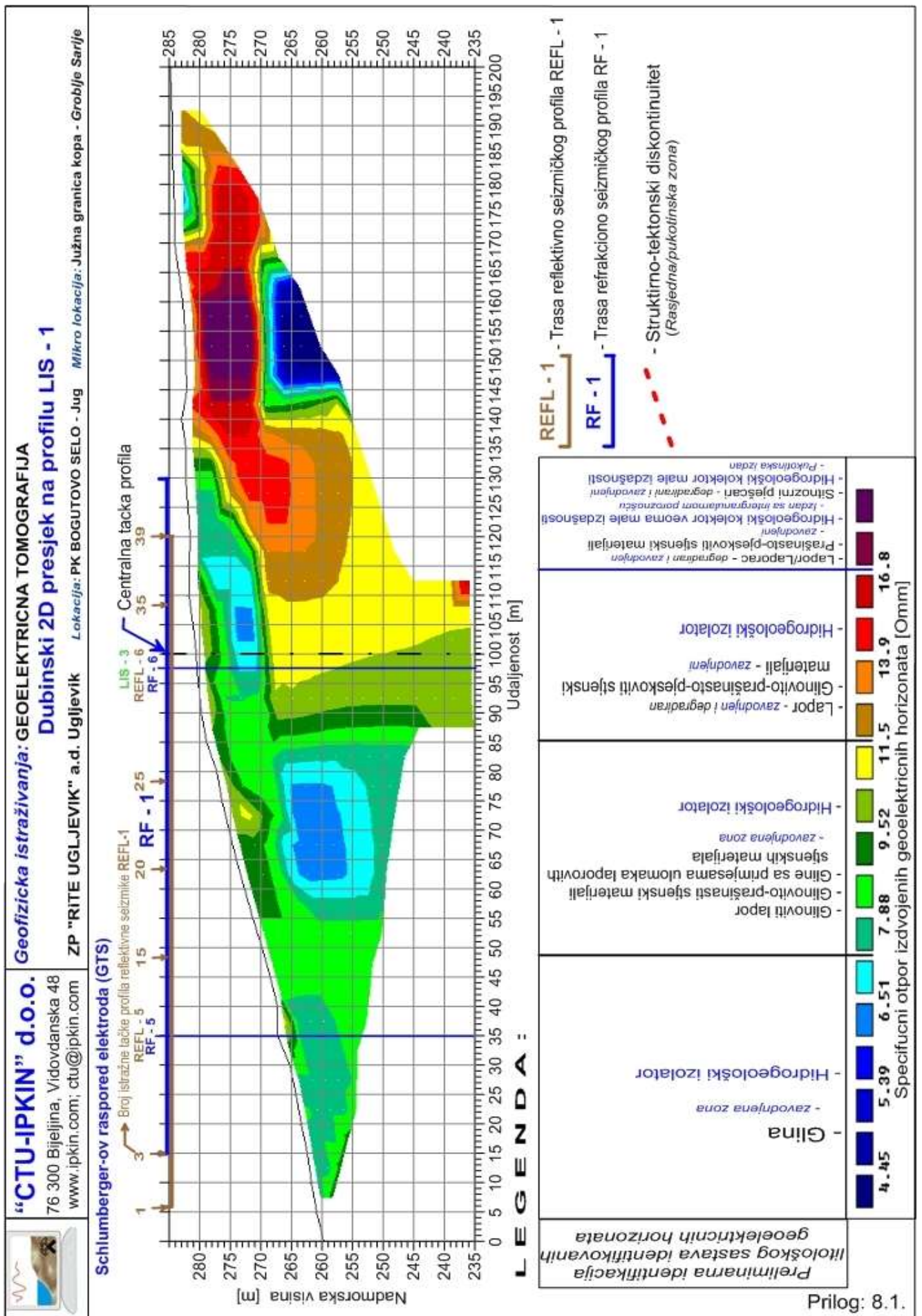
– Pr. - 2: Inženjerska geologija – Usjek otvaranja (LU „Ugljevik Istok“):
Goelektrično tomografski dubinski 2D presjek stjenjskog masiva po trasi istražnog profila



Geofizička istraživanja: GEOELEKTRICNA TOMOGRAFIJA
ZP "RUDNIK I TERMOELEKTRANA UGLJEVIK" a.d. Ugljevik
Lokacija: Ležište mrkog uglja "Ugljevik Istok"

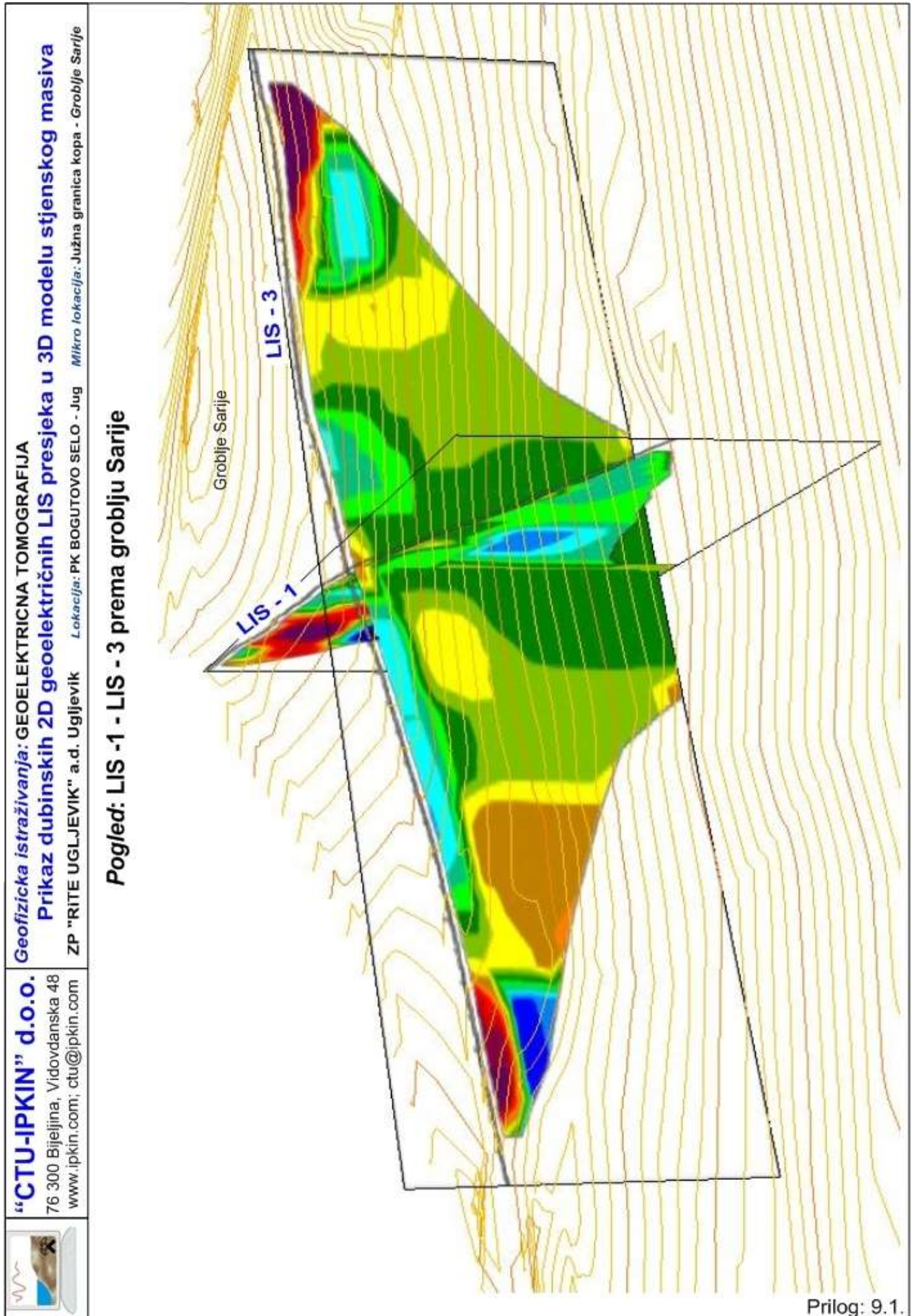
"CTU-IPKIN" d.o.o.
76 300 Bijeljina, Vidovdanska 48
www.ipkin.com; ctu@ipkin.com

- Pr. - 3: Inženjerska geologija – Klizište Sarije (PK “Bogutovo Selo“):
Goelektrično tomografski dubinski 2D presjek stjenskog masiva po trasi istražnog profila



Prilog: 8.1.

– Pr. - 4: Inženjerska geologija – Klizište Sarije (PK “Bogutovo Selo“): 3D prikaz geoelektrično tomografskih dubinskih 2D presjeka stjenskog masiva po trasama istražnih profila



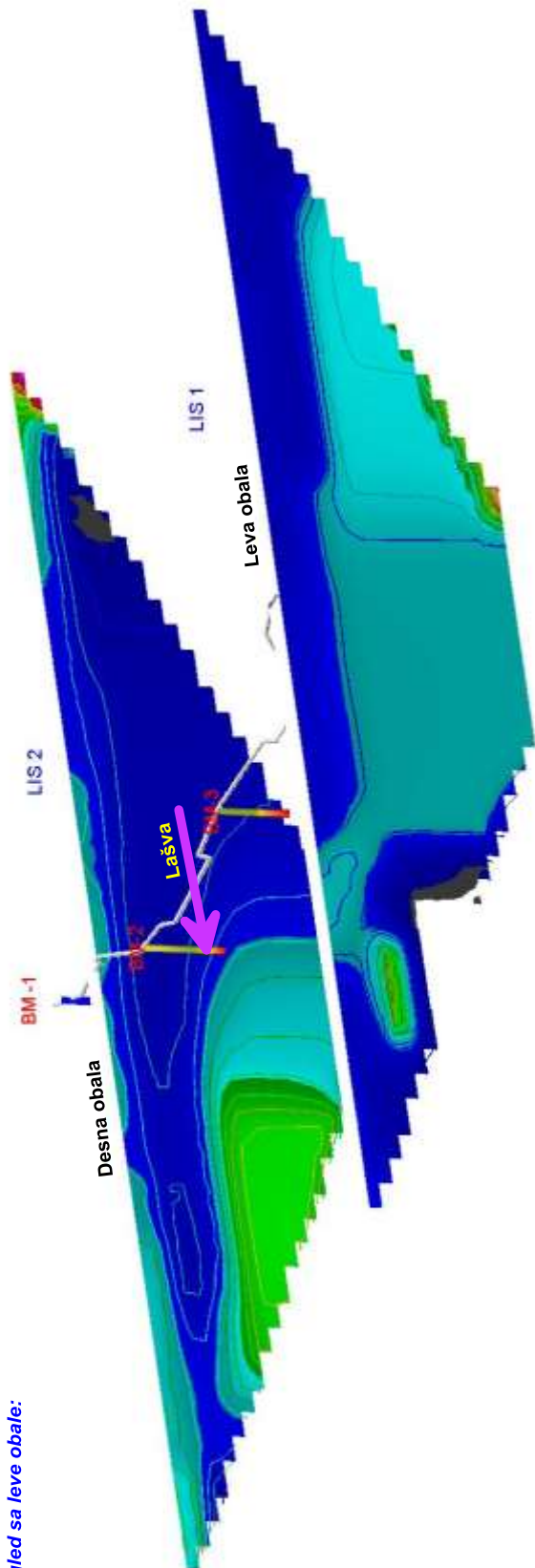
– Pr. - 5: Inženjerska geologija – Pregradno mjesto - Brana (MHE “Merdani”):
3D prikaz geoelektrično tomografskih dubinskih 2D presjeka
stjenskog masiva po trasama istražnih profila

“CTU-IPKIN” d.o.o.
76 300 Bijeljina, Vidovdanska 48
www.ipkin.com; ctu@ipkin.com

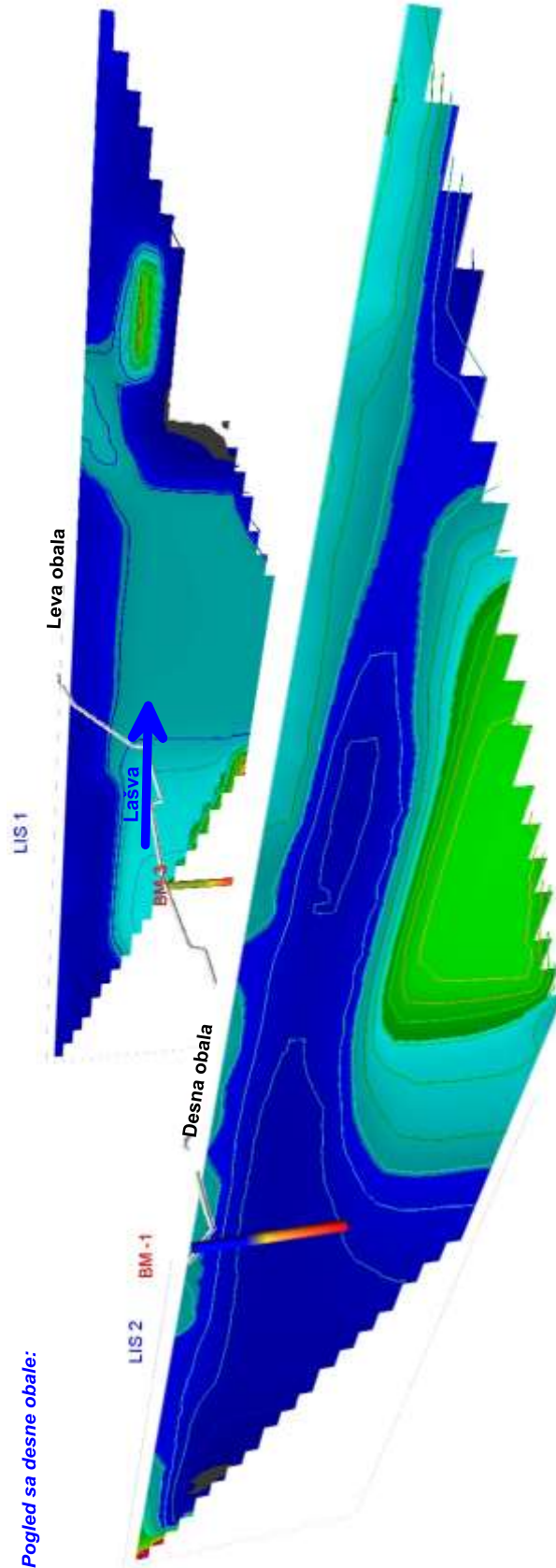
Geofizička istraživanja: REFRAKCIONA SEIZMIKA
Objekat: Mini hidroelektrana “MERDANI”
Lokacija: Opština Busovaca - Merdani: Pregradno mjesto MH “Merdani”

GEOELEKTRICNA TOMOGRAFIJA - Lund Imaging System (LIS)
Prikaz dubinskih 2D presjeka geoelektricitnih profila
u 3D modelu stjenskog masiva istražnog prostora

Pogled sa leve obale:



Pogled sa desne obale:



➤ Seizmičke metode istraživanja

Od seizmičkih metoda istraživanja koje su u novije vrijeme sa razvojem digitalne elektronike doživjele značajan razvoj i koji im je omogućio razvoj tomografskih tehnika prikaza rezultata istraživnog podzemlja u 2D i 3D grafičkim sistemima, široku primjenu u praksi imaju:

◇ Refrakciono-seizmičke metode

Za uspješnu primjenu direktnih i regresivnih metoda obrade podataka seizmičke refrakcije (*plus-minus metoda, metoda talasnog fronta, CMP-metoda, GRM-metoda i sl.*), kod određivanju granica različitih sredina po dubini treba postojati tzv. normalan niz brzina, što znači da se materijali veće brzine širenja elastičnog talasa trebaju nalaziti ispod onih s manjom brzinom. Ovaj uslov je do sada predstavljao glavno ograničenje za primjenu refrakcijske metode jer je inverzija brzina česta pojava u prirodi, npr. u kršu kod pojave kaverni, zatim razlomljenih krečnjaka ispod kompaktnih, flišnih lapora ispod krečnjaka i sl.

Uvođenjem novih metoda obrade podataka inverznim modeliranjem, što je bilo moguće zahvaljujući razvoju jakih i brzih personalnih računara, ovo ograničenje je praktično uklonjeno i u značajnoj mjeri je povećan domen u primjeni refrakcijske seizmičke metode u rješavanju kompleksnih geoloških problema. Glavnu primjenu refrakciono-seizmičke metode imaju u oblasti geotehnike gdje se izvanredni rezultati istraživanja postižu do dubina od cca 40 m. Sa većim dubinama istraživanja cijena istraživanja značajno raste, a kvalitet i kvantitet rezultata istraživanja opada. Refrakciono-seizmička istraživanja se uglavnom koriste u stjenskim masivima koji se odlikuju povoljnom konstelacijom ograničavajućih faktora za njihovu primjenljivost do dubina ispod 100m, odnosno u praksi se to uglavnom svodi na dubine ispod 60m i podpovršinske segmente stjenskog masiva u kom prisustvo podzemnih voda dovodi do značajnog pogoršanja fizičko-mehaničkih karakteristika stjenskih masa u uslovima njihovog prirodnog zaljevanja.

• **P (longitudinalni) talasi - Delta t-V metoda (WET - tomografija)**

Metoda obrade refrakcijskih podataka inverznim modeliranjem - **Delta - t-V metoda** je uvedena u praksu 1999. godine premda su joj teorijsku osnovu dali autori: Gebrande i Miller još 1985. godine. Po njoj se dobije kontinuiran raspored brzina s dubinom ispod svakog geofonskog mjesta pri čemu se uključuju: vertikalni gradijenti brzina, linearni porast brzine s dubinom i inverzni rasporedi brzina.

Prikaz u vidu **Delaunay-ve Triangulacije** pruža najpovoljniji oblik za identifikaciju strukturne građe istraživnog segmenta stjenskog masiva.

Prikaz u vidu **Modifikovane Delaunay-ve Triangulacije** ima za cilj da prikaže prostornu poziciju u 2D presjeku blokova stjenskih materijala sa sličnim fizičko-mehaničkim karakteristikama, što je od izuzetnog značaja za oblast geotehnike u slučaju kada litološki sastav stjenskog materijala nema bitnog uticaja, odnosno presudnu ulogu imaju fizičko mehanička svojstva stjenskog materijala i strukturno-tektonska građa stjenskog masiva u kombinaciji sa ostalim montan-geološkim, hidrogeološkim i inženjersko-geološkim uslovima prirodnog zaljevanja stjenskog masiva u zoni istražnog prostora.

Prikazi po **Kriging-u** i u vidu: **Natural Neighbor**, predstavljaju standardni oblik prikaza rezultata refrakcijskih istraživanja uz primjenu inverzne Delta-t-V metode i pogodan je za oblast geologije, hidrogeologije i baznih oblasti inženjerske geologije.

○ **Oblast primjene:**

- **Geologija:** Litostratigrafska identifikacija stjenskog materijala u stjenskom masivu istražnog prostora (*identifikacija genetskih tipova površinskih pokrivača i njihov litološki sastav po površini terena i dubini zaljevanja uz definisanje njihove prostorne pozicije i dimenzija u 2D presjeku trase refrakcionog profila*) i identifikacija strukturno-tektonske građe stjenskog masiva u 2D presjeku trase refrakcionog profila.
- **Hidrogeologija:** Kvantitativna ocjena hidrogeoloških karakteristika stjenskih masa i hidrogeoloških uslova u stjenskom masivu istražnog prostora (*analiza uslova prehranjivanja podzemnih voda, kroz analizu hidrogeoloških funkcija i*

vodopropusnosti stijenskih masa i uslova dreniranja, te njihova dispozicija u građi stijenskog masiva i sl.).

- **Inžinjerska geologija:** Kvantitativna ocjena inžinjersko-geoloških uslova stijenskog masiva u zoni istražnog prostora, definisanje položaja, dubine i načina zaljevanja klizne ravni pri istraživanju klizišta - *osnovne stijene (definisanje litofacijalnog sastava i prostornog položaja geološkog substrata i geoloških struktura)*, identifikacija dubine nestabilnosti, položaj, orijentacija, nagib pukotina, analiza stabilnosti prirodne padine i sl..
 - **Geomehanika:** U kombinaciji sa **MASW metodom - S (transverzalni) talasi** vrši se definisanje dinamičkih fizičko-mehaničkih parametara stijenskih masa na bazi koji se identifikuju uslovi stabilnosti stijenskih masa (*poissonov koeficijent*), putem korelacionog povezivanja sa statičkim fizičko-mehaničkim parametrima definisanim laboratorijskim geomehaničkim ispitivanjima uzoraka tla litoloških sredina izdvojenih refrakcionom seizmikom, vrši se njihov transfer na sve segmente stijenskog masiva koji su zahvaćeni dubinskim refrakciono-seizmičkim presjekom.
- **Metodologija istraživanja:**
- Refrakciono-seizmička istraživanja uz primjenu **Delta - t-V metode** vrše se po trasama uzdužnih i poprečnih profila lociranih tako da ravnomjerno prekrivaju tijelo klizišta i da dispozitivi zahvataju nenarušeni segment stijenskog masiva u dovoljnom omjeri koji obezbjeđuje potreban dubinski zahvat istraživanja u svim segmentima istražnih profila.
 - U istražnom prostoru sa blago talasatom do srednje nagnutom topografskom strukturom, profili se uglavnom postavljaju u vidu pravougaone mreže saglasno dominirajućoj geološkoj ili pak geomorfološkoj lineari u tjelu klizišta. U brdsko-planinskim područjima sa srednje do strmo nagnutim terenima, profili se obavezno postavljaju po padu terena u tjelu klizišta kako bi se inžinjerskoj geologiji omogućio maksimalni nivo spoznaja potrebnih za analizu stabilnosti terena.
 - Detaljnost istraživanja opredjeljuje niz faktora od kojih su ključni: geološka (*litostratigrafska i strukturno-tektonska*) složenost stijenskog masiva istražnog prostora, nivo istraživanja (*preliminarna, detaljna i td.*), cilj i namjena (*za potrebe kako geologije, hidrogeologije, inžinjerske geologije ili geomehanike, kako pojedinačno tako i kombinovano*).
 - Broj istražnih profila uslovljen je kako veličinom i oblikom "tjela" objekta koji predmet istraživanja (*klizišta i sl.*), tako i geomorfološkim uslovima, odnosno uslovima konfiguracije i pristupačnosti i prohodnosti terena u zoni istražnog prostora.
 - Dubina istraživanja uslovljena je veličinom i oblikom "tjela" objekta koji predmet istraživanja (*klizište i sl.*). Dubinu istraživanja opredjeljuje dužina dispozitiva refrakcionog profila, a detaljnost istraživanja geofonsko rastojanje. Pri istraživanjima se koristi 12 kanalni i 24 kanalni dispozitivi. Standardni razmak geofona je 5m (*12 kanala: → dispozitiv: 55 m, dubina istraživanja do 20m; 24 kanala: → dispozitiv: 115m, dubina istraživanja do 40m*). Za dosta detaljnija istraživanja i manje dubine istraživanja koristi se geofonsko rastojanje od 3m, 2m, a u jako složenim montan geološkim uslovima i 1m. Za mnje složene montan geološke uslove i veće dubine istraživanja koristi se rastojanje gofona od 10m (*12 kanala: → dispozitiv: 110 m, dubina istraživanja do 40m; 24 kanala: → dispozitiv: 230m, dubina istraživanja do 80m*)

• **S (transverzalni) talasi - MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) metoda**

Aktivna MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) metoda koristi se za in-situ određivanje dubinske dvodimezionalne raspodjele poprečnih (smičućih) (S) talasa preko površinskih Rayleigh-ovih talasa.

Obrada snimljenih podataka zasniva se na činjenici da su površinski talasi disperzivni, tj. da im je fazna brzina ovisna o frekvenciji. Spektralnom analizom izračunava se kriva disperzije površinskog talasa. Iz krive disperzije inverznim modeliranjem se dobija raspodjela brzina Rayleigh-ovog površinskog talasa. Ove brzine se preračunaju u brzine širenja poprečnog S talasa (V_s), koristeći se poznatim teorijskim odnosom:

$$V_s = V_R/0,9194$$

Za svaki od dobijenih snimaka vrši se spektralna analiza i kao konačan rezultat se dobije dubinska raspodjela brzina S talasa.

Na bazi **dubinske raspodjele brzina poprečnih „S“ talasa - MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) metoda**, u skladu sa eurokodom 8 vrši se klasifikacija tipova tla prema glavnim karakteristikama površinskih naslaga,

- **Tabela 1.: Klasifikacija tipova tala prema glavnim mehanickim karakteristikama površinskih naslaga prema eurokodu 8.**

Tip tla	Opis stratigrafskog profila	Parametri		
		$V_{s,30}$ [m/s]	N_{SPT} [br. ud. /30 cm]	C_u [kPa]
A	Stijena ili slične geološke formacije s najviše 5 m slabog materijala na površini.	> 800	-	-
B	Naslage vrlo zbijenog pijeska, šljunka ili vrlo krute gline debljine nekoliko 10-aka m, sa svojstvom postupnog poboljšanja mehanickih svojstava s dubinom	360 - 800	> 50	> 250
C	Naslage zbijenog ili srednje zbijenog pijeska, šljunka ili krutih glina debljine od nekoliko desetka do nekoliko stotina metara	180 - 360	15 – 50	70 - 250
D	Naslage rahlih do srednje zbijenih ekoherentnih tala (sa ili bez slojeva mekog koherentnog tla) ili prevladavajuće meka do cvrsta koherentna tla	< 180	< 15	< 70
E	Profil tla izgrađen od površinskih naslaga aluvija s vrijednostima V_s za tipove tla C ili D, debljine 5-20m, ispod kojih se nalazi kruci materijal s vrijednostima $V_s > 800$ m/s.			
S₁	Naslage koje su u potpunosti izgrađene ili sadrže sloj meke gline/praha s visokim indeksom plasticnosti ($PI > 40$) i visokom vlažnosti, a čija debljina je 10 m ili više	< 100	-	10 - 20
S₂	Naslage tala podložnih likvefakciji, osjetljive gline ili bilo drugi profil tla koji nije naveden u tipovima od A do S ₁			

○ **Oblast primjene:**

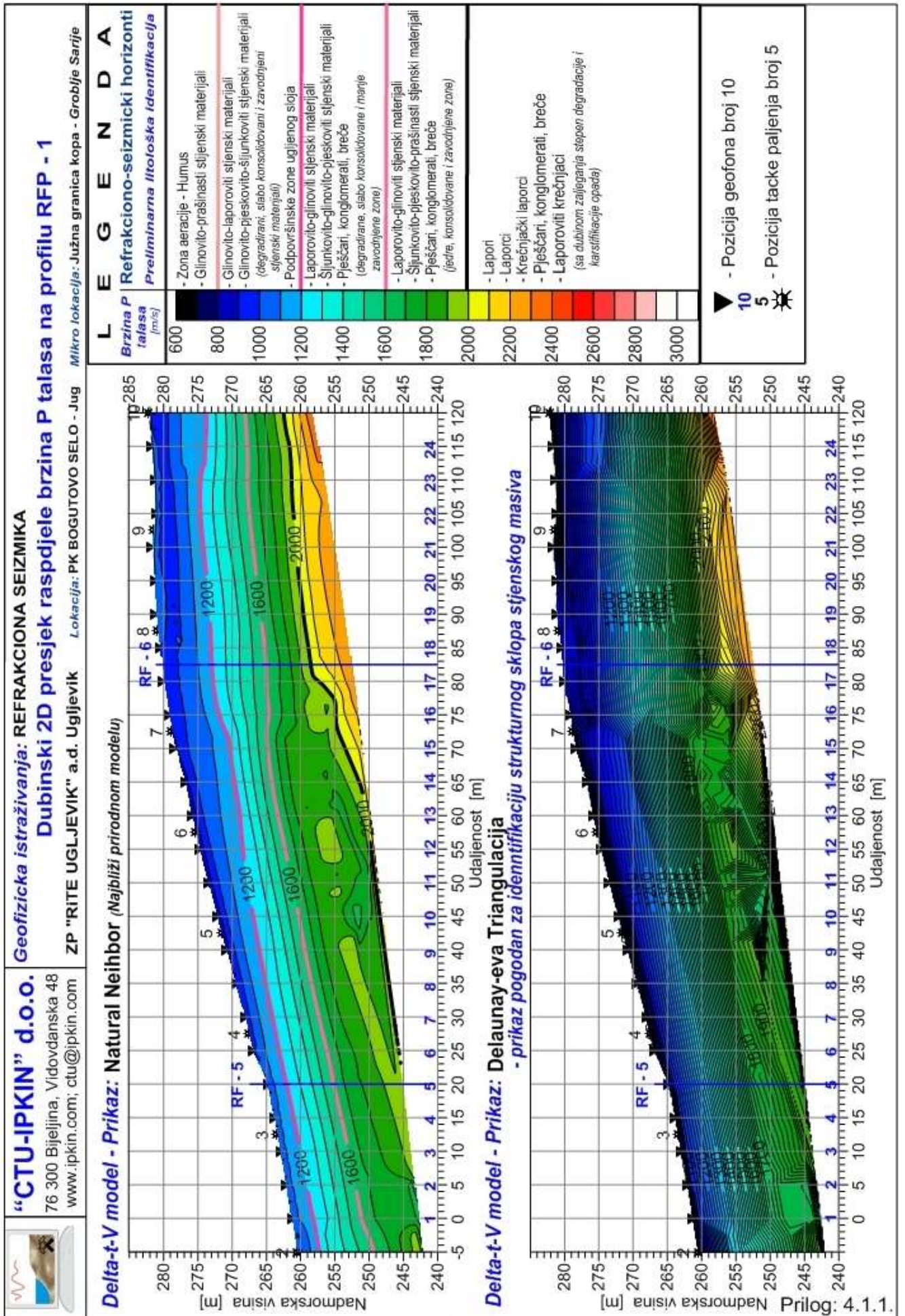
- **Inžinjerska geologija:** Klasifikacija tipova tala prema glavnim mehanickim karakteristikama površinskih naslaga u skladu sa eurokokodom 8, kvantitativna ocjena inžinjersko-geoloških uslova stjenskog masiva u zoni istražnog prostora, definisanje položaja, kod klizišta - dubine i načina zaljevanja klizne ravni - *osnovne stijene (definisanje litofacijalnog sastava i prostornog položaja geološkog substrata i geoloških struktura)*, identifikacija dubine nestabilnosti.
- **Geomehanika:** Na bazi korelacionih zavisnosti mogu se odrediti geotehnički parametri ispitivanja kao što su SPP i CPT.

○ **Metodologija istraživanja:**

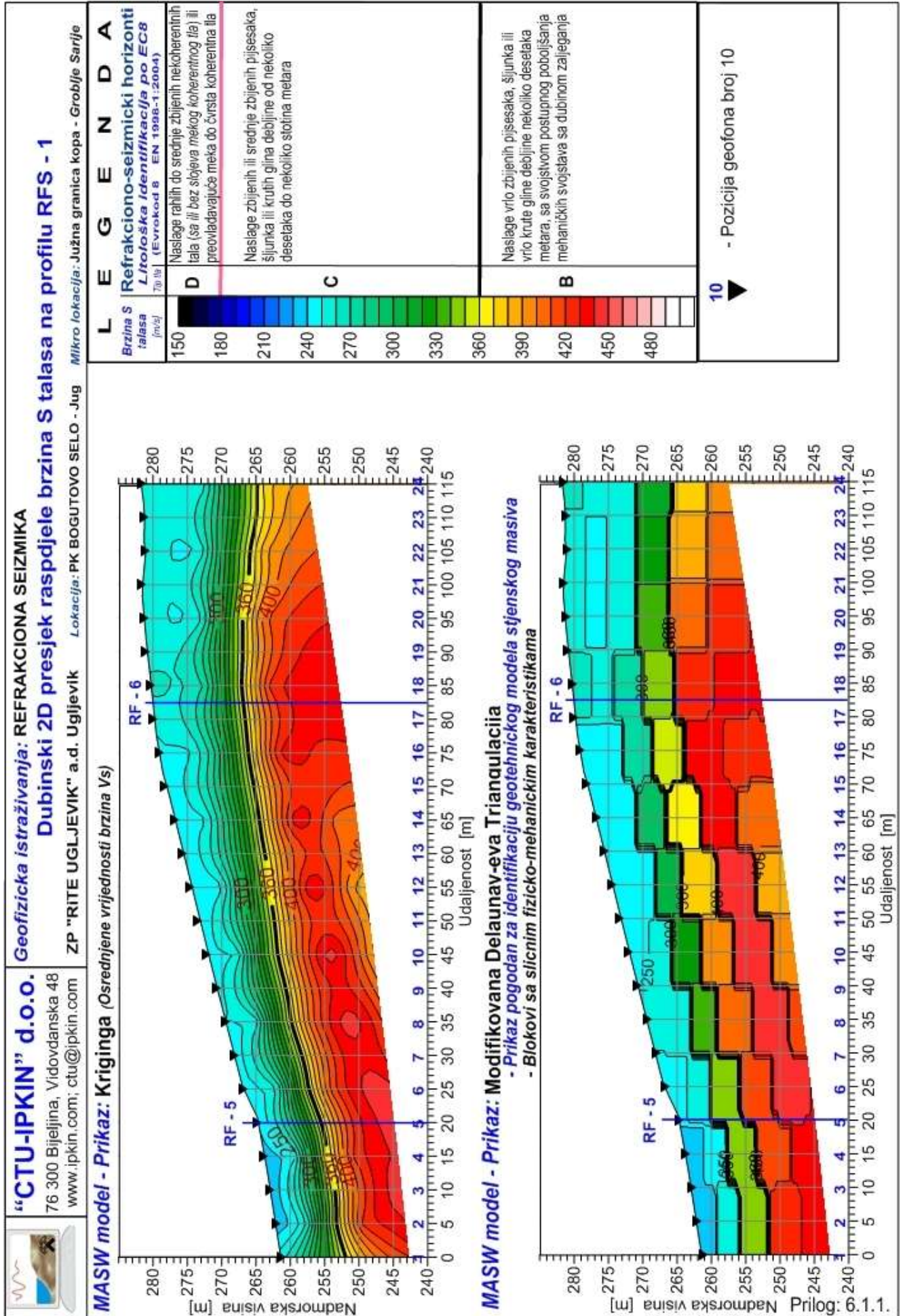
- Refrakciono-seizmička istraživanja uz primjenu **MASW metode - S (transverzalni talasi)**, vrše se po trasama istražnih refrakciono-seizmičkih profila snimljenih uz primjenu **Delta - t-V metode**. Pri tome koriste se isti tip geofona (4.5 Hz), a terenskim mjerenjem prikupljaju se podaci na isti način kao kod metode refleksije, samo s većom dužinom pojedinih snimaka. Izvor talasa se sukcesivno pomiče za isti razmak (dx) duž profila, pri čemu se za jednak razmak pomiče i dispozitiv (*spread, aktivni kanali*).
- Dubina istraživanja uslovljena je kako dužinom dispozitiva (*brojem aktivnih kanala: 12 ili 24*), tako i moćnošću podpovršinskog sloja male brzine (*degradirani površinski segment stjenskih masa stjenskog masiva omogućava formiranje površinskih talasa a potom i rasprostiranje, inače u odsustvu degradiranog površinskog segmenta stjenskog masiva nema uslova za formiranje površinskog talasa pa samim tim nema ni uslova za primjenu MASW metode*). Pri istraživanju klizišta, samom činjenicom da se klizište pojavilo, to su automatski obezbeđeni uslovi za primjenu **MASW metode** istraživanja i u praksi parametri istraživanja se podešavaju tako da se dubina istraživanja podudara sa dubinom **Delta - t-V metode**.

○ **Primjeri iz prakse:**

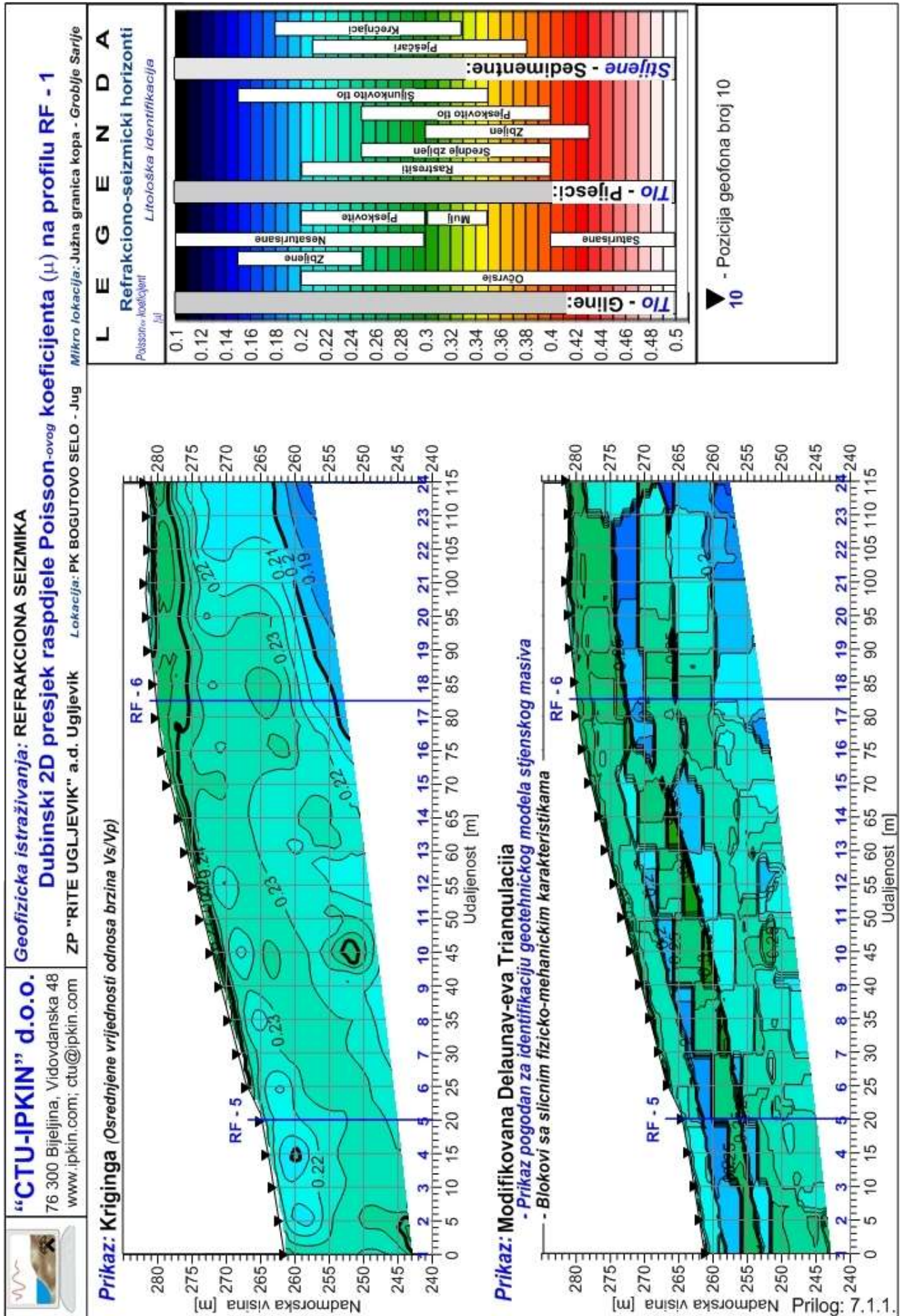
Pr. - 1: Inženjerska geologija – Klizište Sarije (PK “Bogutovo Selo”):
Dubinska 2D raspodjela brzina uzdužnih „P“ talasa



Pr. - 2: Inženjerska geologija – Klizište Sarije (PK “Bogutovo Selo”):
Dubinska 2D raspodjela brzina uzdužnih „S“ talasa



Pr. - 3: Inženjerska geologija – Klizište Sarije (PK “Bogutovo Selo”): Dubinska 2D raspodjela Poisson-ovog koeficijenta „ μ “



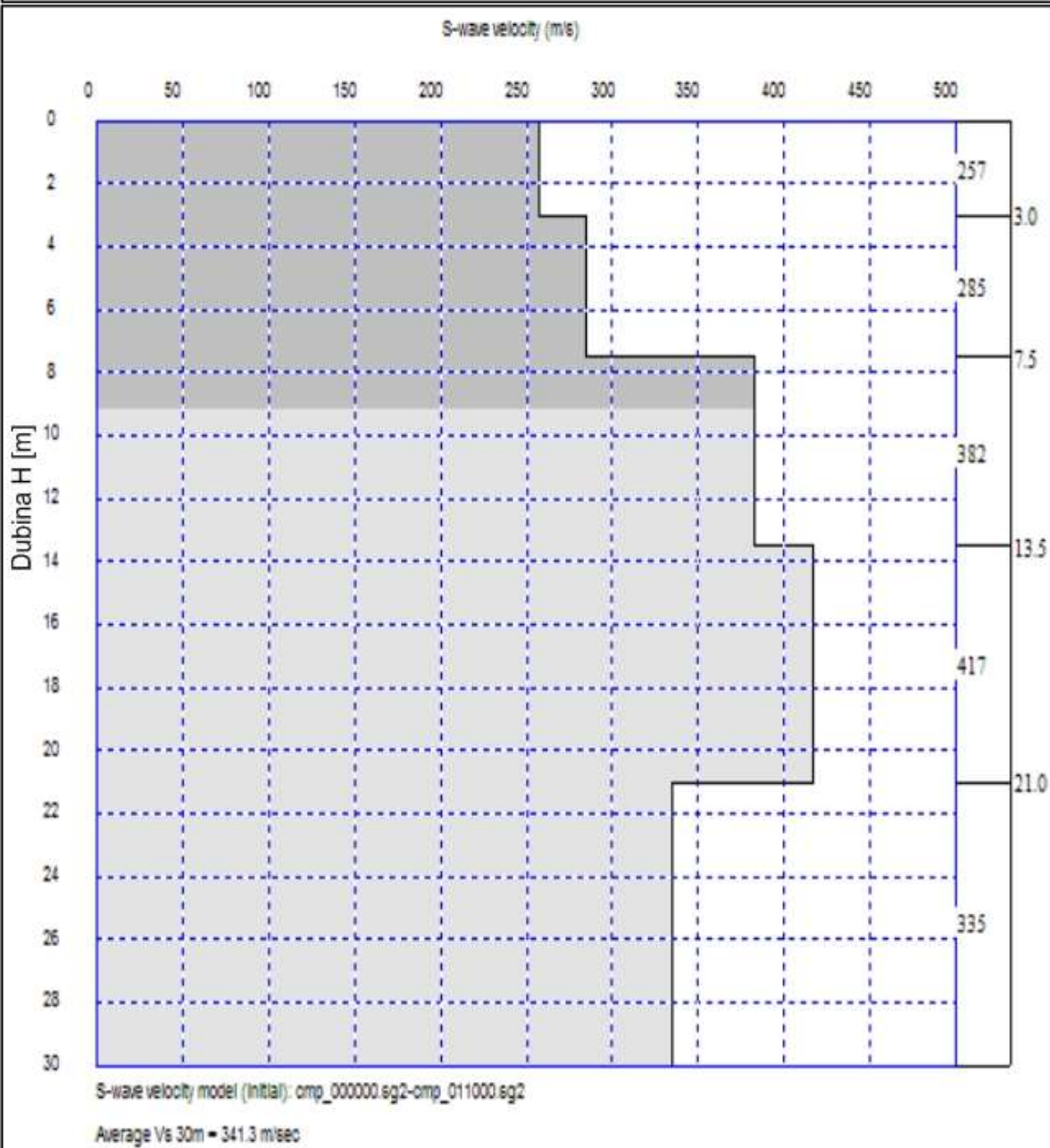
Pr. - 4: Inženjerska geologija – Klizište Sarije (PK “Bogutovo Selo”): Klasifikacija tipova tla na lokaciji radilišta u skladu sa Evrokodom 8, odnosno standardom: EN1998-1:2004



“CTU-IPKIN” d.o.o.
76 300 Bijeljina, Vidovdanska 48
www.ipkin.com; ctu@ipkin.com

Geofizička istraživanja: REFRAKCIONA SEIZMIKA
Dijagram raspodjele brzine S talasa u funkciji dubine
Lokacija: PK BOGUTOVO SELO - Jug Mikro lokacija: Južna granica kopa - Groblje Sarije

**Dijagram raspodjele brzine S talasa u funkciji dubine
- Profil RFS - 1**

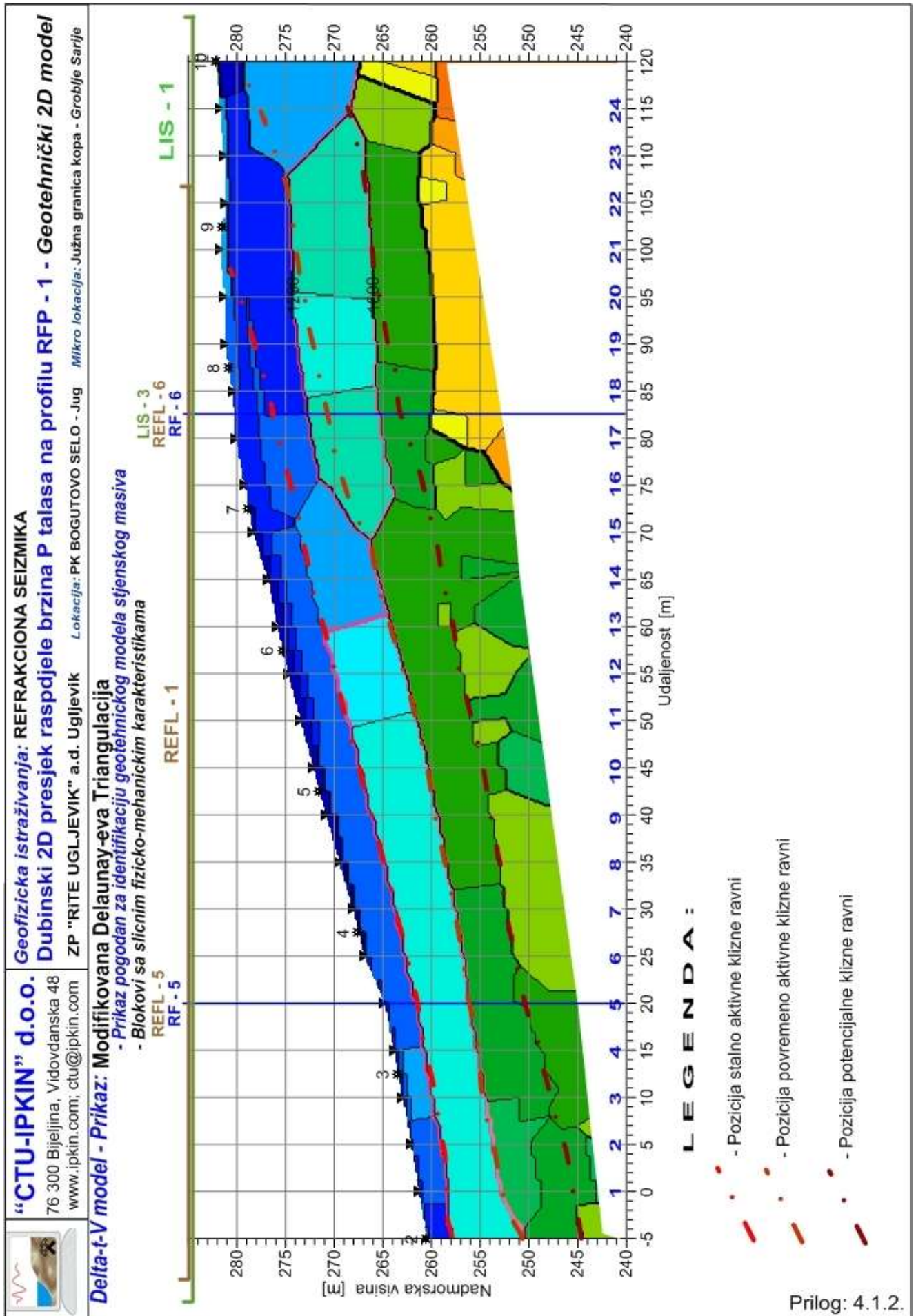


**KLASIFIKACIJA TIPA TLA NA LOKACIJI REFRAKCIONOG PROFILA RFS - 1
- Evrokod EN 1998-1:2004**

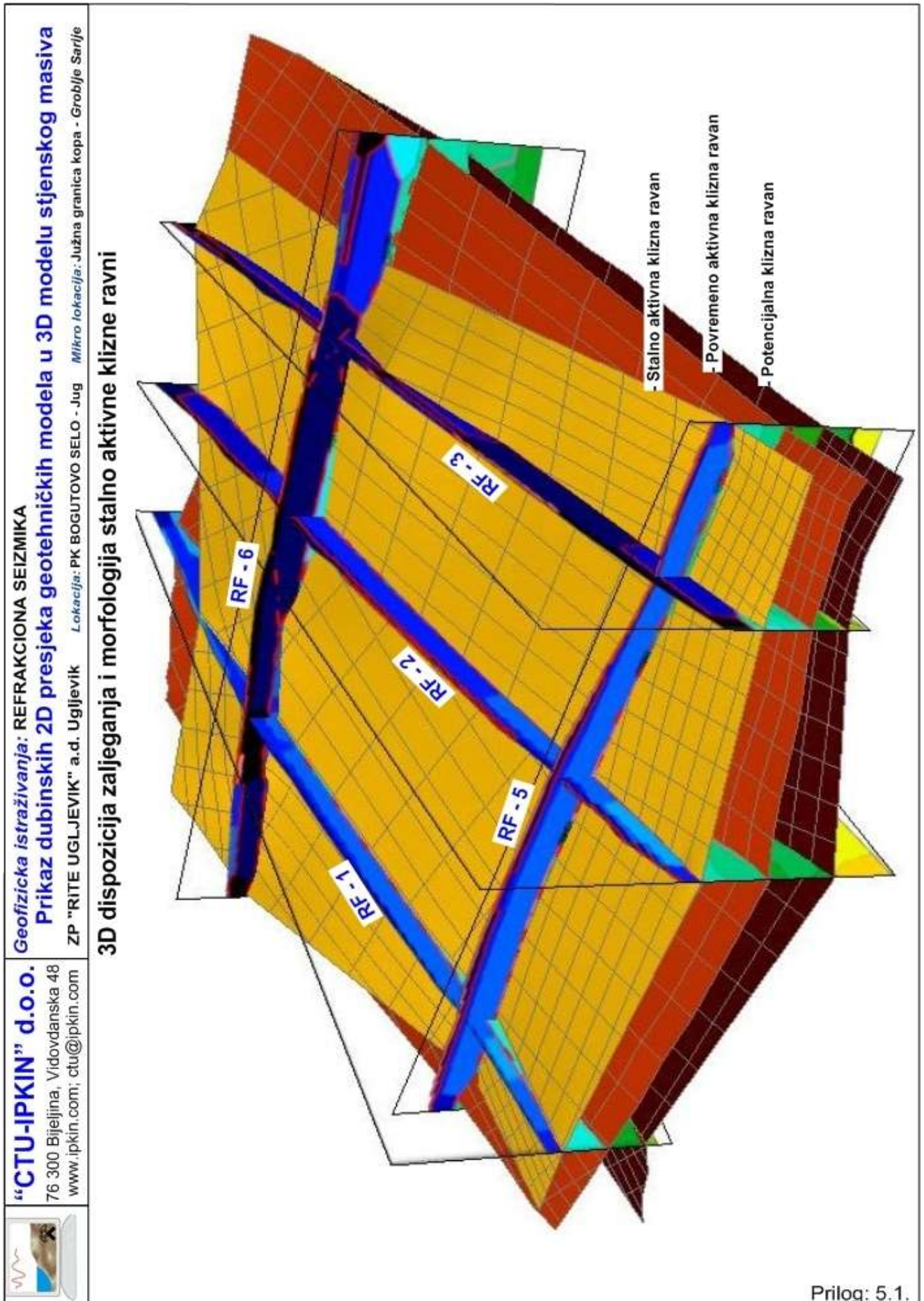
$V_{s,30}$ [m/sec]	N_{SPT} [udarci/30 cm]	C_u [kPa]	Kategorija tla	Opis geološkog profila
180 - 360 341.3	15 - 50 -	70 - 250 -	C	Naslage zbijenih ili srednje zbijenih pijesaka, šljunka ili krutih glina, sa debljinama od nekoliko desetina do nekoliko stotina metara

Prilog: 6.2.1.

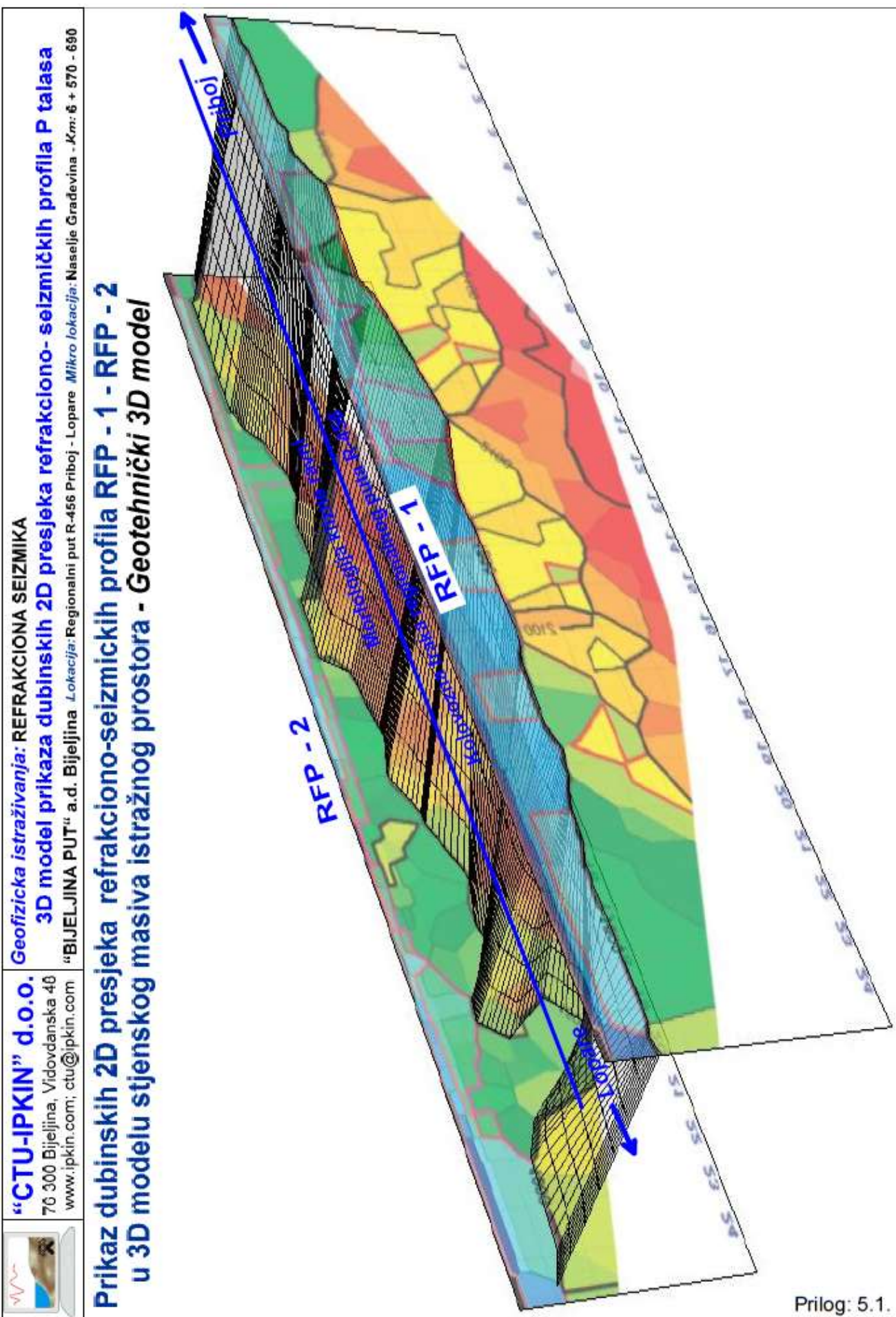
Pr. - 5: Inženjerska geologija – Klizište Sarije (PK “Bogutovo Selo”): interpretacija dubinske raspodjele brzina uzdužnih „P“ talasa pogodan za identifikaciju geotehničkog modela



- Pr. - 6: Inženjerska geologija – Klizište Sarije (PK “Bogutovo Selo”): Prikaz dubinskih 2D presjeka refrakciono-seizmickih profila Dubinske 2D raspodjele brzina uzdužnih „P“ talasa u 3D modelu stjenskog masiva istražnog prostora



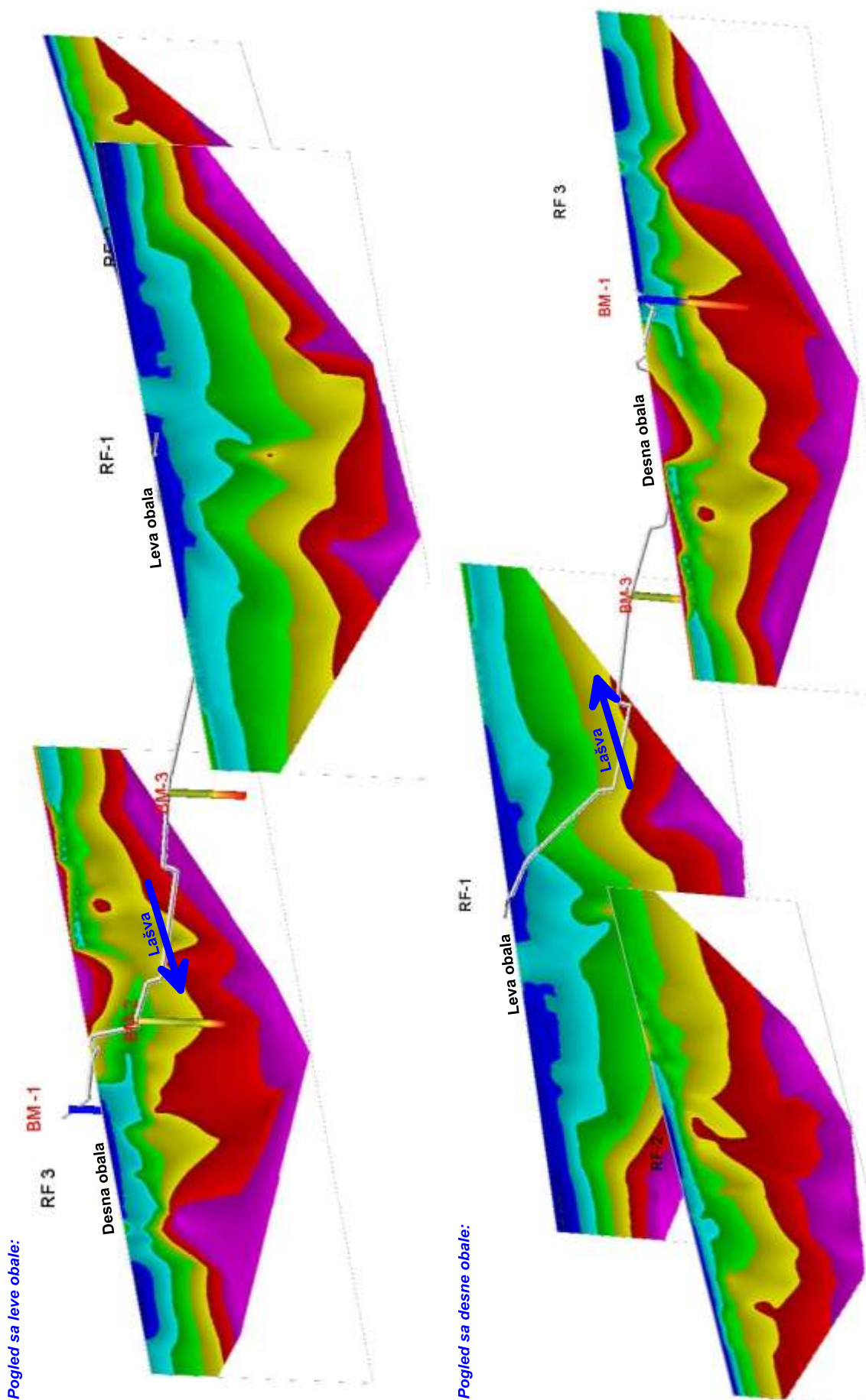
- Pr. - 7: Inženjerska geologija – Klizište Građevina (Regionalni put Priboj - Lopare):
3D prikaz dubinskih 2D presjeka stijenskog masiva u trasama
refrakciono seizmičkih profila – Geotehnički model



– Pr. - 8: Inženjerska geologija – Pregradno mjesto - Brana (MHE “Merdani”):
 Prikaz dubinskih 2D presjeka refrakciono-seizmickih profila
 Dubinske 2D raspodjele brzina uzdužnih „P“ talasa u 3D modelu
 stjenskog masiva istražnog prostora

Delta-t-V varijanta metode refrakcione seizmike
 Prikaz dubinskih 2D presjeka refrakciono-seizmickih profila
 u 3D modelu stjenskog masiva istražnog prostora

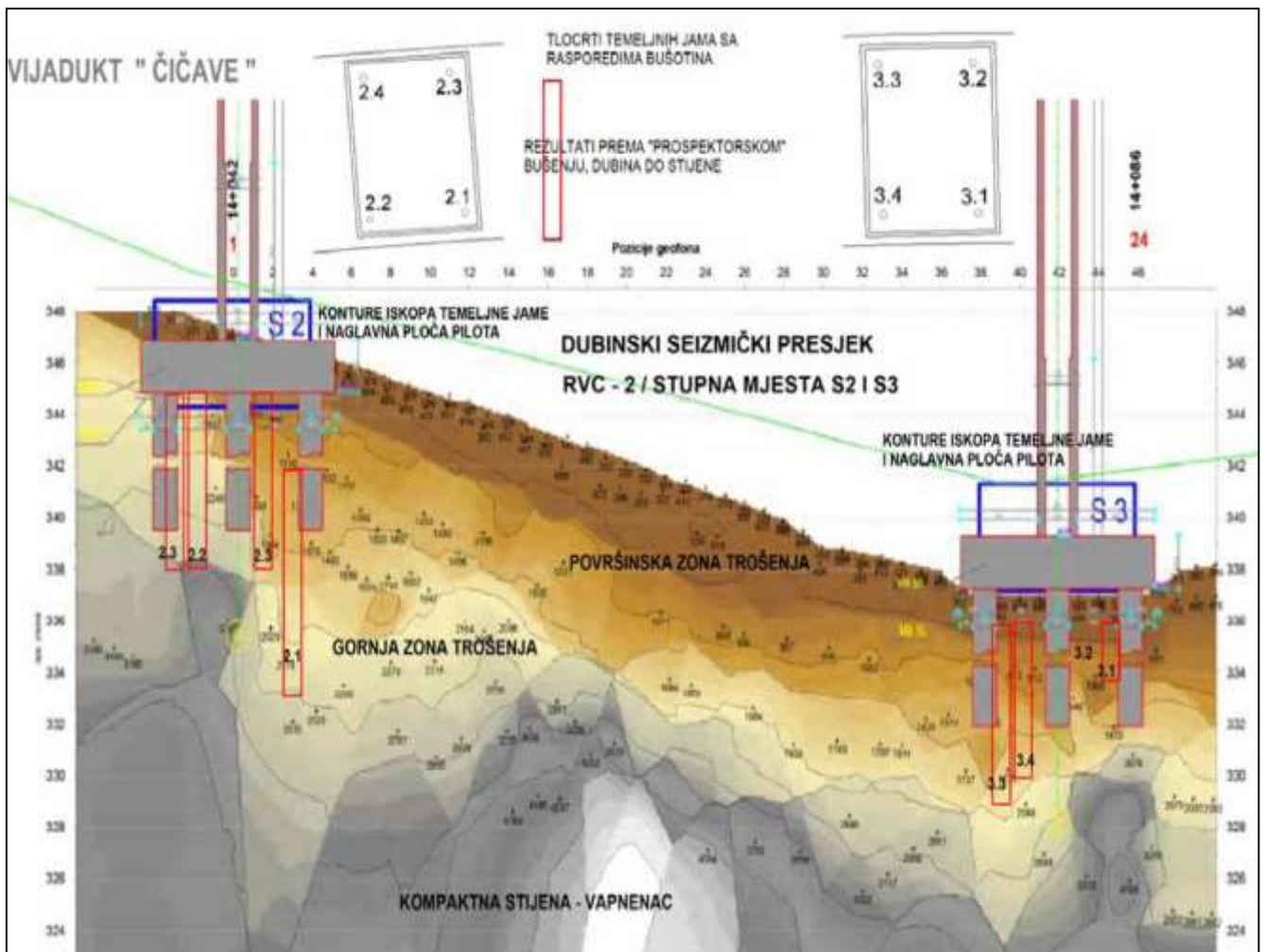
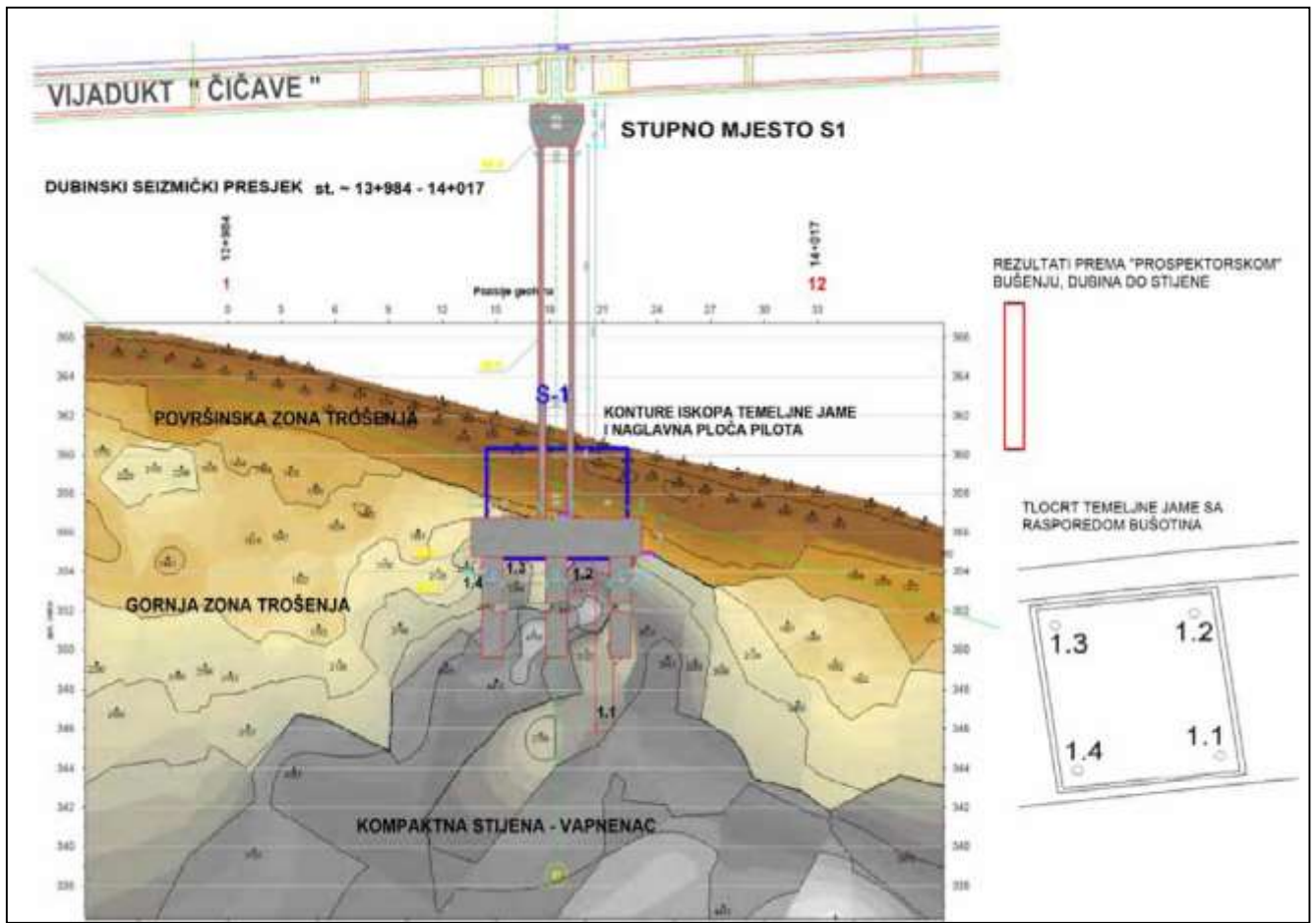
“CTU-IPKIN” d.o.o.
 76 300 Bijeljina, Vidovdanska 48
 www.ipkin.com; ctu@ipkin.com
 Geofizička istraživanja: REFRAKCIONA SEIZMIKA
 Objekat: Mini hidroelektrana “MERDANI”
 Lokacija: Opština Busovaca - Merdani: Pregradno mjesto MH “Merdani”



Pogled sa leve obale:

Pogled sa desne obale:

- Pr. - 9: Inženjerska geologija – Temeljenje (Vijadukt "ČIČAVE"): Prikaz Geotehnički model stjenkog masiva u zoni temeljenja – Stupna mjesta



• **Mikrotremorska mjerenja**

Mikrotremori predstavljaju grupu mikroseizmičkih oscilacija koje nastaju od raznih prirodnih i vještačkih izvora seizmičkih šumova (*vjetar, promjene atmosferskog pritiska, promjene naponskog stanja u dubini stjenskog masiva, zemljotresi malih magnituda, riječni tokovi, saobraćaj, rad industrijskih postrojenja i sl.*).

Mikrotremori imaju složen mehanizam talasnog širenja i uslovljeni su nizom uticajnih faktora: od mehanizma izvora, od geološke građe terena i fiziko-mehaničkih karakteristika stjenskih masa i sl.. Radi toga, njihove oscilacije na površini sadrže niz korisnih informacija o stjenskom masivu kroz kojeg se šire i u novije vrijeme se veoma često koriste za proučavanje vibracionih i strukturno-geoloških karakteristika terena.

Koristeći se egzaktnim matematičkim izrazima iz teorije **Elastičnosti** za:

- **Normalni napon :** $-\sigma = \pm K_s \gamma V_P T_0 / 2\pi$ [KN/m²],
- **Tangencijalni napon:** $-T = \pm K_s \gamma V_S T_0 / 2\pi$ [KN/m²],

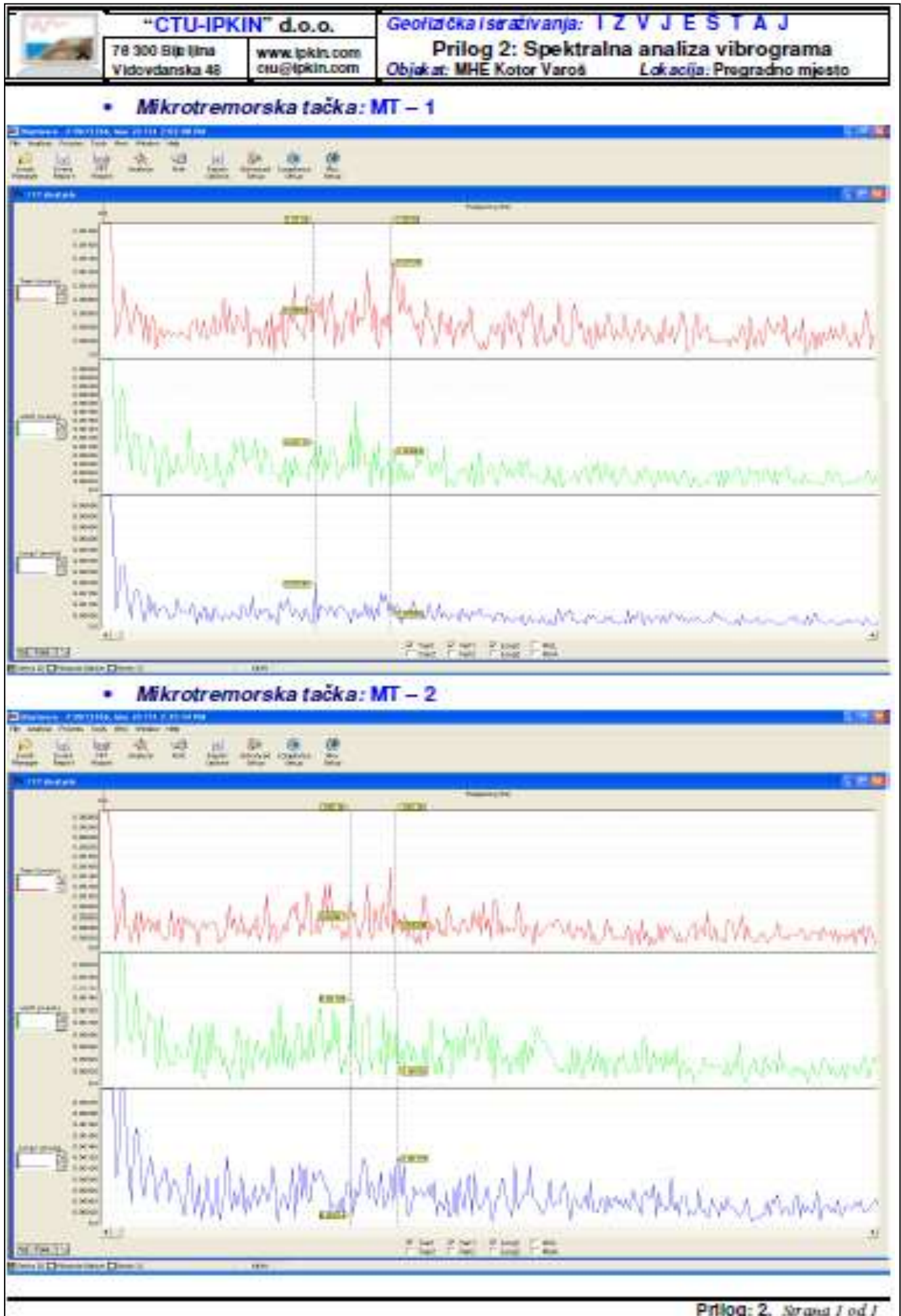
gje je:

V_P	Brzina prostiranja longitudinalnih (uzdužnih) - P seizmičkih talasa
V_S	Brzina prostiranja transferzalnih (poprečnih) - S seizmičkih talasa
T₀	Dominantni period oscilovanja
γ	Zapreminska težina tla
α	Seizmoakustična impedansa (= V _{L(II)} γ _(II) /V _{L(III)} γ _(III))
K_s = a α / g	Koeficijent seizmičnosti
g	Konstanta zemljinog ubrzanja

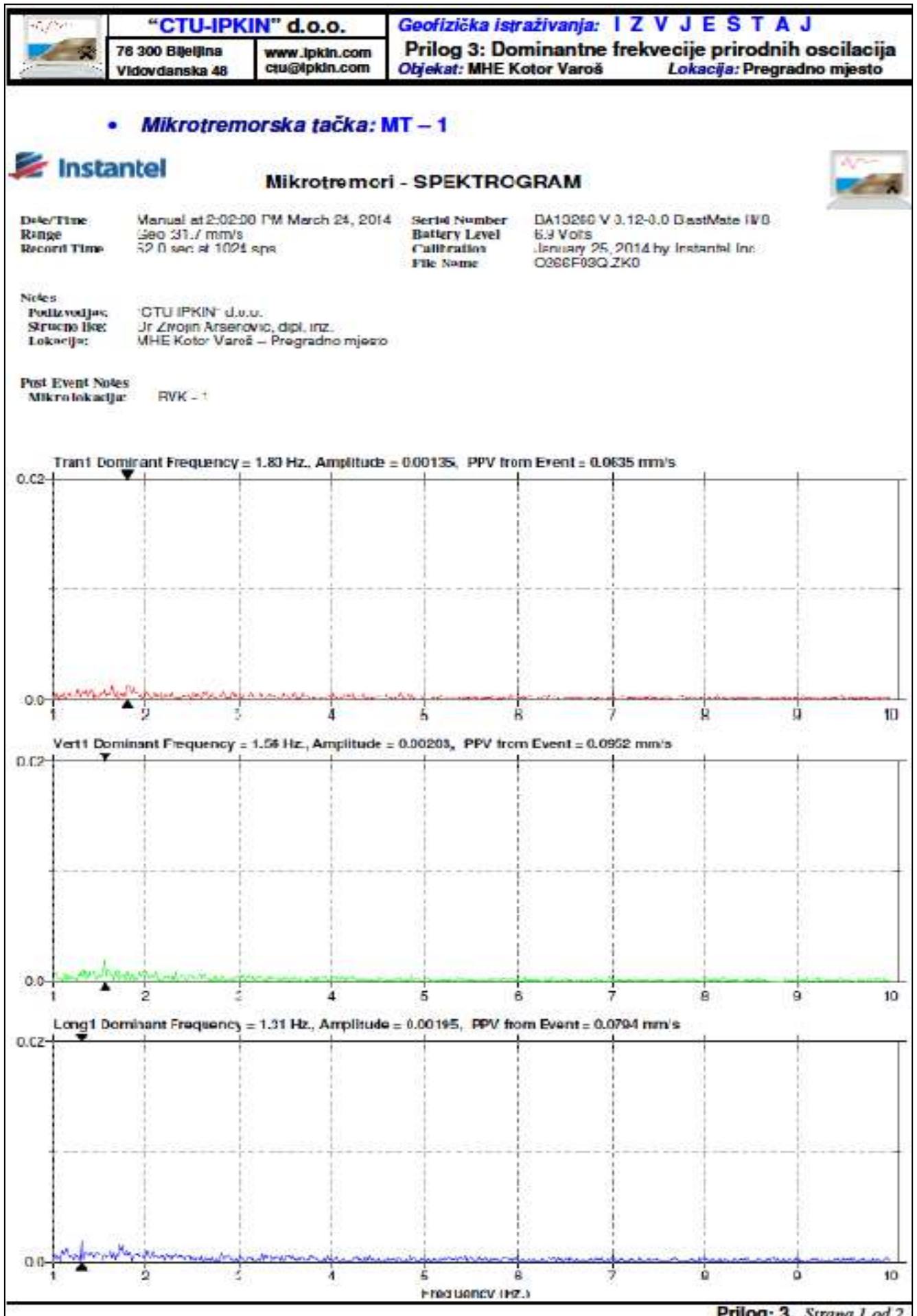
mogu se isti izračunati u svakoj promatranoj tački stjenskog masiva obuhvaćenim i prikazanim na **Dubinskim presjecima raspodjele brzina P i S talasa refrakciono-seizmičkih sondi**.

- **Oblast primjene:**
 - **Inžinjerska geologija:** Kod mikroseizmičkih rejonizacija (*makro i mikro*) određuju se komplementarni fizičko-mehanički parametri refrakciono seizmičkim istraživanjima potrebni za definisanje priraštaja seizmičnosti usljed rezonantnih karakteristika podpovršinskih slojeva tla.
 - **Geomehanika:** Definisanje normalnih i tangencijalnih napona u stjenskom masivu izazvanih dinamičkim opterećenjima (prirodnim potresima – *zemljotresi* i vještačkim potresima - *vibracije*) u svakoj prosmatranoj tački stjenskog masiva obuhvaćenim i prikazanim na **Dubinskim 2D presjecima raspodjele brzina P i S talasa refrakciono-seizmičkih profila**.
- **Primjeri iz prakse:**

- Pr. - 1: Inženjerska geologija – Pregradno mjesto - Brana (MHE “Kotor Varoš”):
Spektrogrami mikrotremorskih mjerenja – FFT Analysis



- Pr. - 1: Inženjerska geologija – Pregradno mjesto - Brana (MHE “Kotor Varoš“):
Rezultati spektralne analize vibrograma mikrotremorskih mjerenja po
komponentama oscilovanja – FFT Analysis





Metoda plitke reflektivne seizmike

Zahvaljući intenzivnom razvoju elektronike koji je omogućio izradu veoma osjetljivih geofizičkih instrumenata namjenjenih za seizmička istraživanja, odnosno seizmičkih aparatura koje služe za terenska mjerenja i pohranjivanje podataka za kasniju obradu i s druge strane razvoju personalnih računara velike brzine rada i velike memorije, omogućen je razvoj varijante metode reflektivne seizmike namjenjen za istraživanje takozvanog plićeg podzemlja, odnosno podzemlja do dubina do cca 500 m. U klasičnoj, odnosno naftnoj reflektivnoj seizmici, dubine do cca 300 m nisu bile od nekog posebnog interesa za istraživanje, pogotovo što su te dubine bile izvan domena osjetljivosti korištenih seizmičkih sistema. Međutim sa aspekta geologije, hidrogeologije, inženjerske geologije i geotehnike, upravo istraživanja do ovih dubina stjenkog masiva su i najrasprostranjenija. Osjetljivost najnovijih seizmičkih sistema omogućava registraciju reflektovanih seizmičkih talasa sa litoloških i strukturno-geoloških granica na dubini njihovog zaljevanja u stjenkom masivu od svega nekoliko metara, čime je faktički eliminisan ovaj ključni limitirajući faktor u primjeni reflektivne seizmike pri istraživanju lito-stratigrafske i strukturno-tektonske građe plićih segmenata stjenkog masiva.

○ **Oblast primjene:**

- **Geologija:** Kontinuirano kvalitativno i kvantitativno praćenje litostratigrafske građe stjenkog masiva duž istražnih profila, definisanje dubine i položaja zaleganja litoloških granic, identifikacija strukturno-tektonske građe stjenkog masiva i definisanje položaja tektonskih granica u stjenkom masivu istražnog prostora. Dubinski 2D reflektivno seizmički presjeci predstavljaju "most" između istražnih bušotina pomoću kog se vrši transfer podataka determinacije bušotina i rezultata laboratorijskih i in situ opita i sl.
- **Hidrogeologija:** Definisanje dubine i položaja zaljevanja „**tektoniziranih**“ segmenata u strukturnoj građi stjenkog masiva, definisanje mikrolokacije za izradu istražnih i eksploatacionih hidrogeoloških objekata (*pijezometri, bunari i sl.*).
- **Inženjerska geologija:** Kvantitativna ocjena inženjersko-geoloških uslova stjenkog masiva u zoni istražnog prostora, definisanje položaja, dubine i načina zaleganja osnovne stijene (*prostornog položaja geološkog substrata i geoloških struktura*), identifikacija dubine nestabilnosti, položaj, orijentacija, nagib pukotina, analiza stabilnosti prirodne padine i sl..

○ **Primjeri iz prakse:**

- **Geofizička istraživanja ležišta uglja**

Na slici: 12. prikazani su primjeri istraživanja ugljenih ležišta metodom seizmičke refleksije. To su obrađeni dubinski reflektivno-seizmički presjeci na kojima se jasno vide refleksi sa ugljenih slojeva. Na presjecima se mogu uočiti i strukturni oblici tipa *rasjeda*. Lito-stratigrafska interpretacija dubinskih seizmičkih presjeka je naročito pouzdana i precizna ako se istražni reflektivno-seizmički profili vežu na podatke strukturnog bušenja.

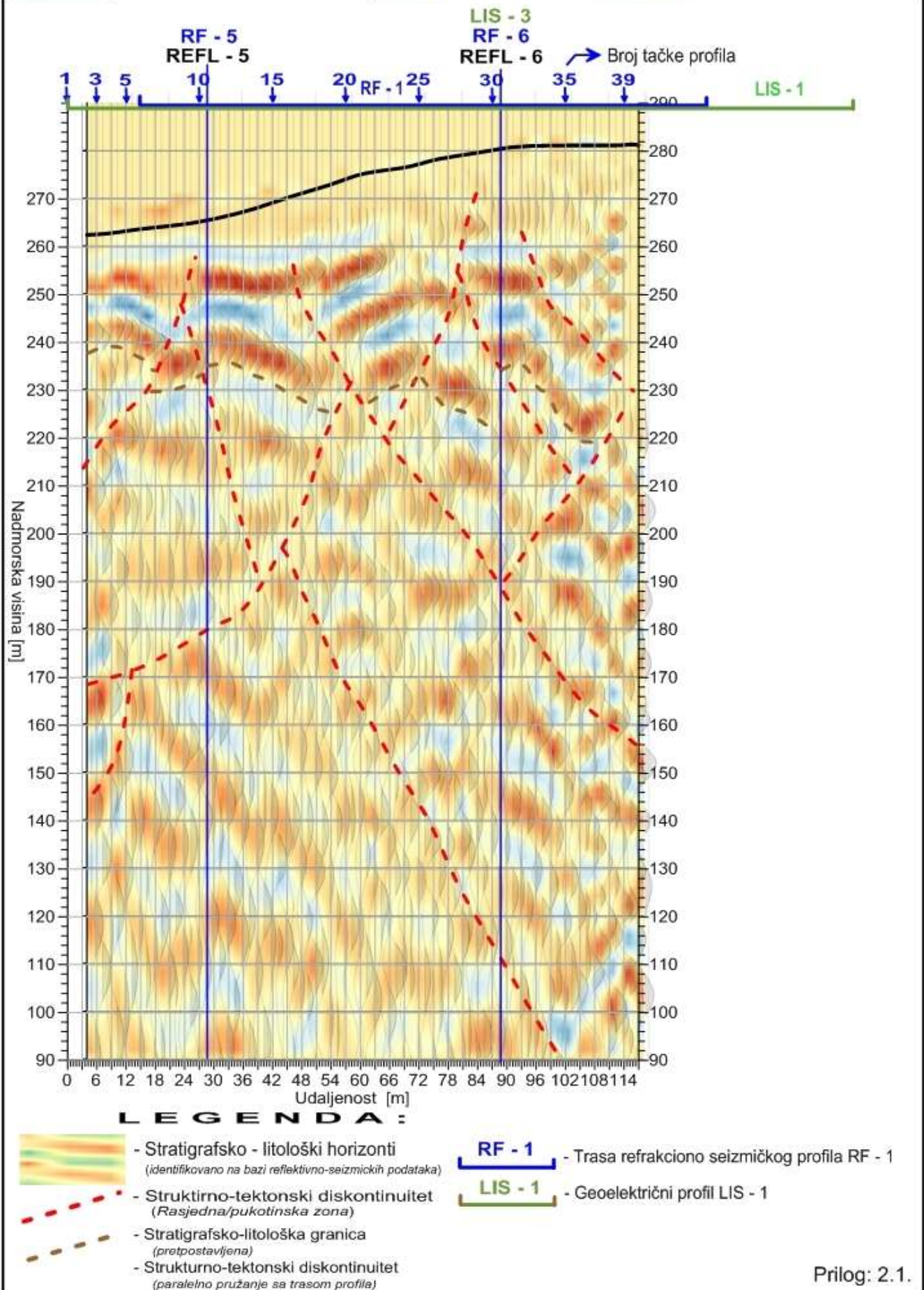
U stjenkom masivu istražnog prostora ugljeni sloj predstavlja lito-stratigrafsku sredinu koja se po svojim fizičko-mehaničkim karakteristikama znatno razlikuje od njegove krovine i podine, obzirom da on redovno ima nižu vrijednost brzine širenja elastičnog talasa i manju zapreminsku gustoću, odnosno, malu *seizmoakustičku impedansu*. Zato se i na njegovoj gornjoj i na donjoj granici dešava jaka refleksija elastičnog talasa pa se na obrađenim dubinskim presjecima ugljeni sloj lako može prepoznati. To je ilustrovano na nekoliko primjera iz prakse.

- **Pr. - 1: Inženjerska geologija – Klizište Sarije (PK "Bogutovo Selo"): Dubinski 2D presjek stjenkog masiva u trasi reflektivno seizmičkog profila**



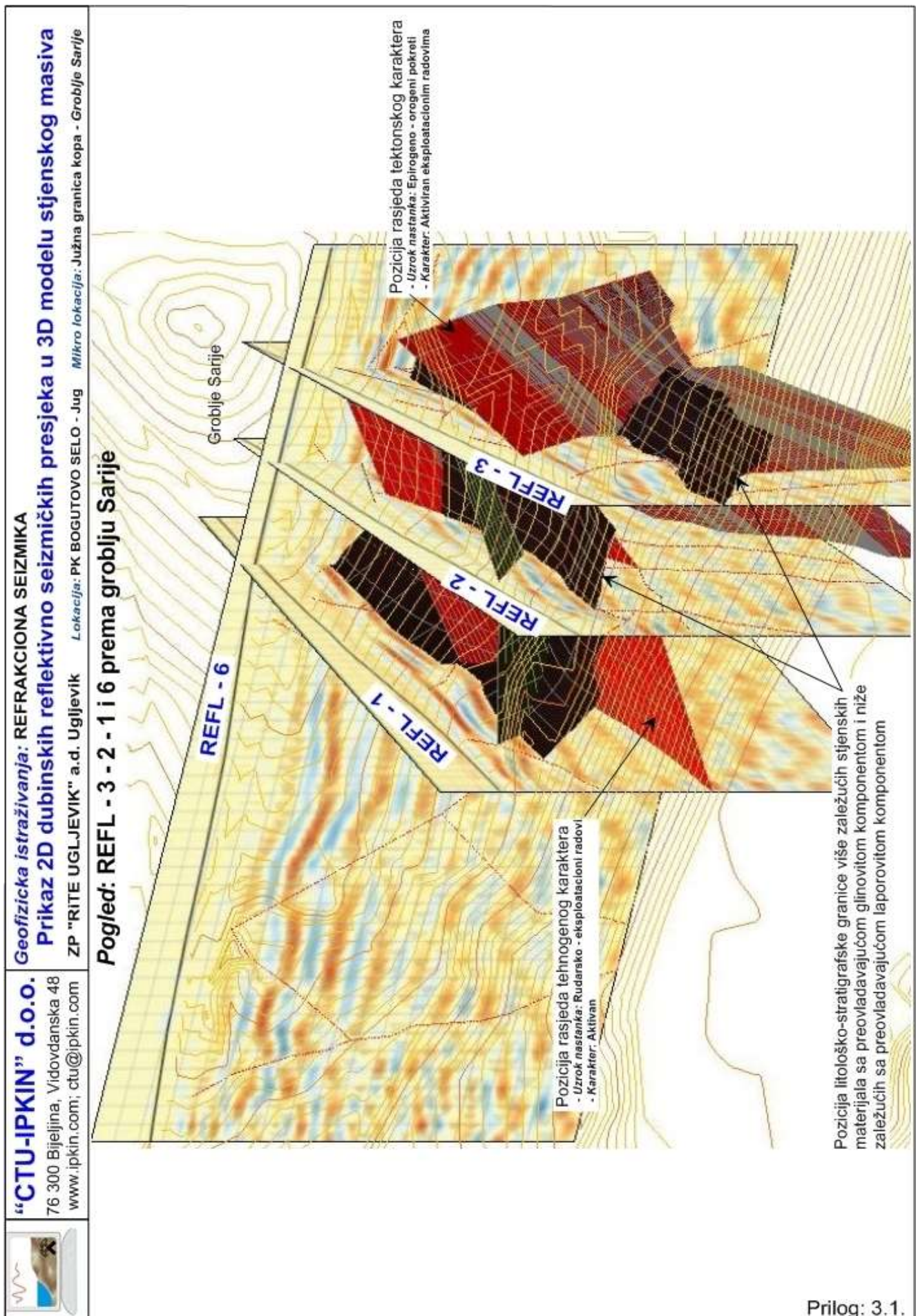
“CTU-IPKIN” d.o.o.
76 300 Bijeljina, Vidovdanska 48
www.ipkin.com; ctu@ipkin.com

Geofizička istraživanja: REFLEKTIVNA SEIZMIKA
Dubinski 2D presjek na profilu REFL - 1
Lokacija: PK BOGUTOVO SELO - Jug Mikro lokacija: Južna granica kopa - Groblje Sarije



Prilog: 2.1.

- Pr. - 2: Inženjerska geologija – Klizište Sarije (PK “Bogutovo Selo“): 3D prikaz dubinskih 2D presjeka stjenskog masiva u trasama reflektivno seizmičkih profila



➤ Seizmološke metode istraživanja

◇ Negativno dejstvo tehnologije miniranja

Definisanje intenziteta i nivoa negativnog ispoljavanja tehnologije bušenja i miniranja koja se koristi u proizvodnim procesima eksploatacije ležišta mineralnih sirovina na životnu i radnu sredinu vrši se po specifičnoj metodologiji uz primjenu seizmoloških metoda istraživanja i korišćenje specifične i strogo namjenske seizmološke opreme.

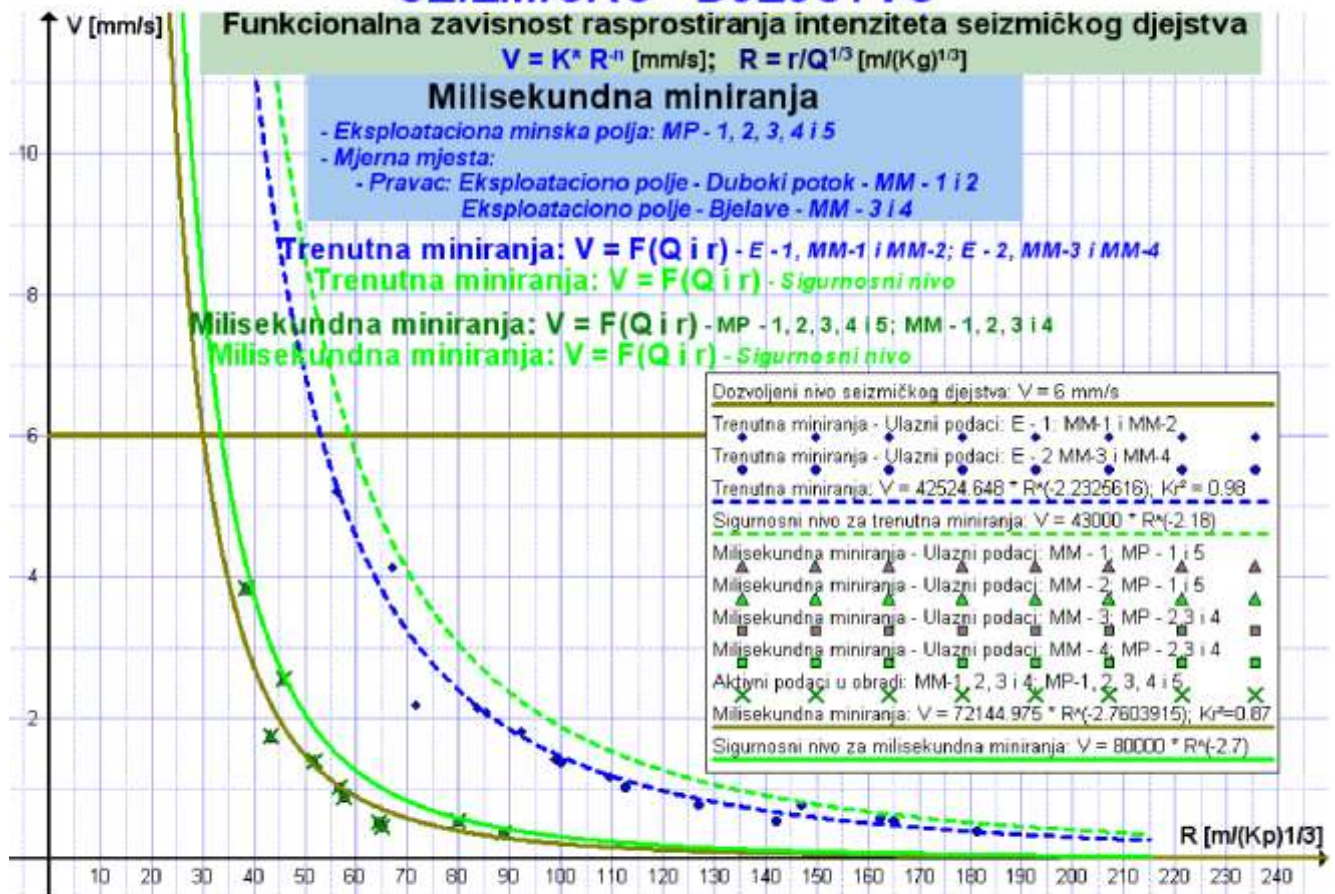
Negativni uticaji tehnologije bušenja i miniranja koja se koristi u proizvodnim procesima eksploatacije ležišta mineralnih sirovina na životnu i radnu sredinu i infrastrukturne i stambene građevinske objekte u urbanim zonama koje neposredno gravitiraju zoni eksploatacionog polja ispoljavaju se u vidu:

- **seizmičkog dejstva,**
- **dejstva zračnih udara i**
- **dejstva buke.**
- **Primjeri iz prakse:**
 - **Optimalizacija projektovane tehnologije bušenja i miniranja**
 - **Definisanje matematičkih zakonitosti negativnih uticaja projektovane tehnologije bušenja i miniranja**

	“CTU-IPKIN” d.o.o. 76 300 Bijeljina Vidovdanska 48	www.ipkin.com ctu@ipkin.com	Geofizička istraživanja: E L A B O R A T NEGATIVNI EFEKTI TEHNOLOGIJE MINIRANJA “INGRAM” d.d. Srebrenik, PK “Duboki potok - Bijela rijeka”

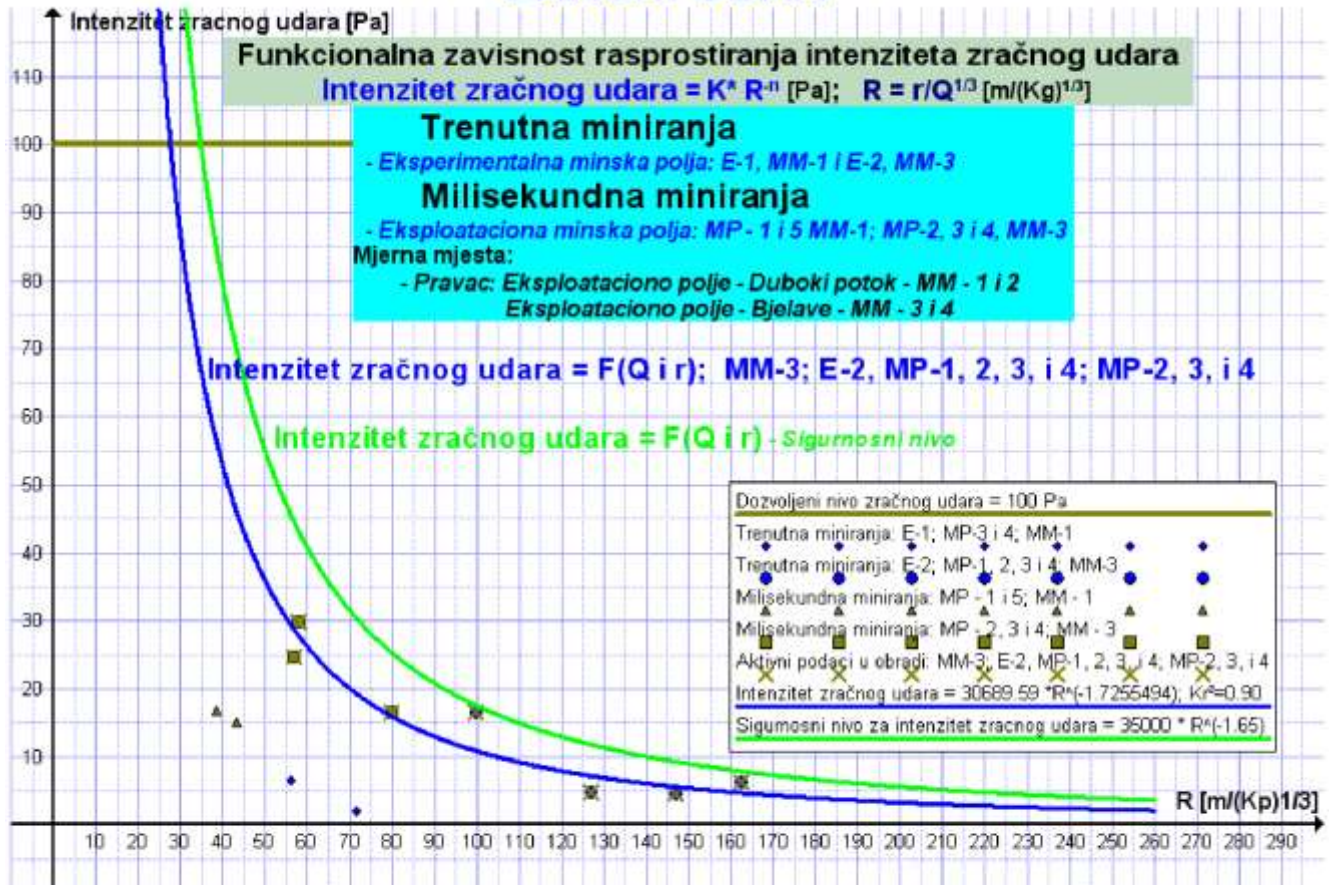
➤ Milisekundna miniranja

SEIZMICKO DJEJSTVO



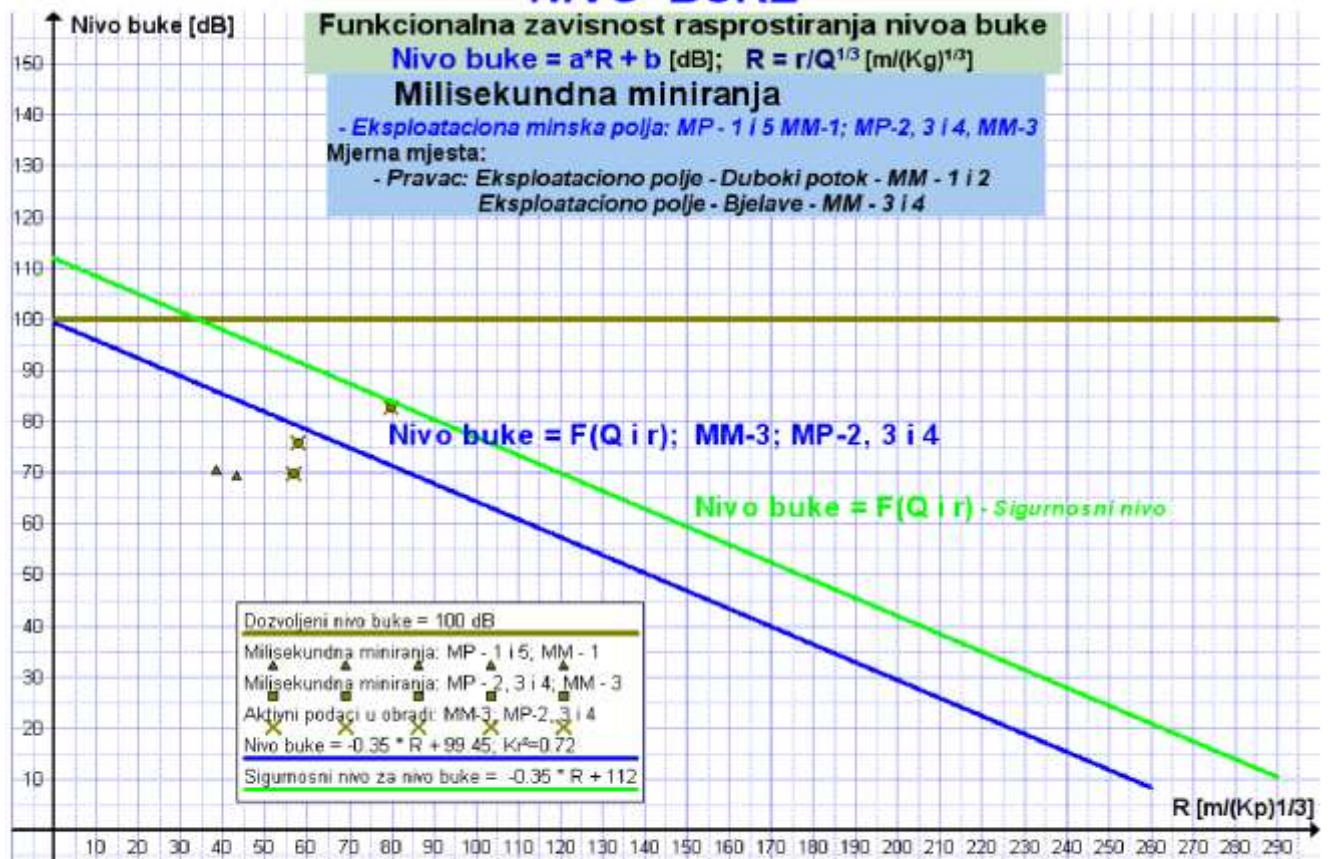
Slika 2. Milisekundna miniranja: Funkcionalna zavisnost rasprostiranja intenziteta seizmičkog dejstva

ZRACNI UDAR



Slika 3. Milisekundna miniranja: Funkcionalna zavisnost rasprostiranja intenziteta zračnog udara

NIVO BUKE

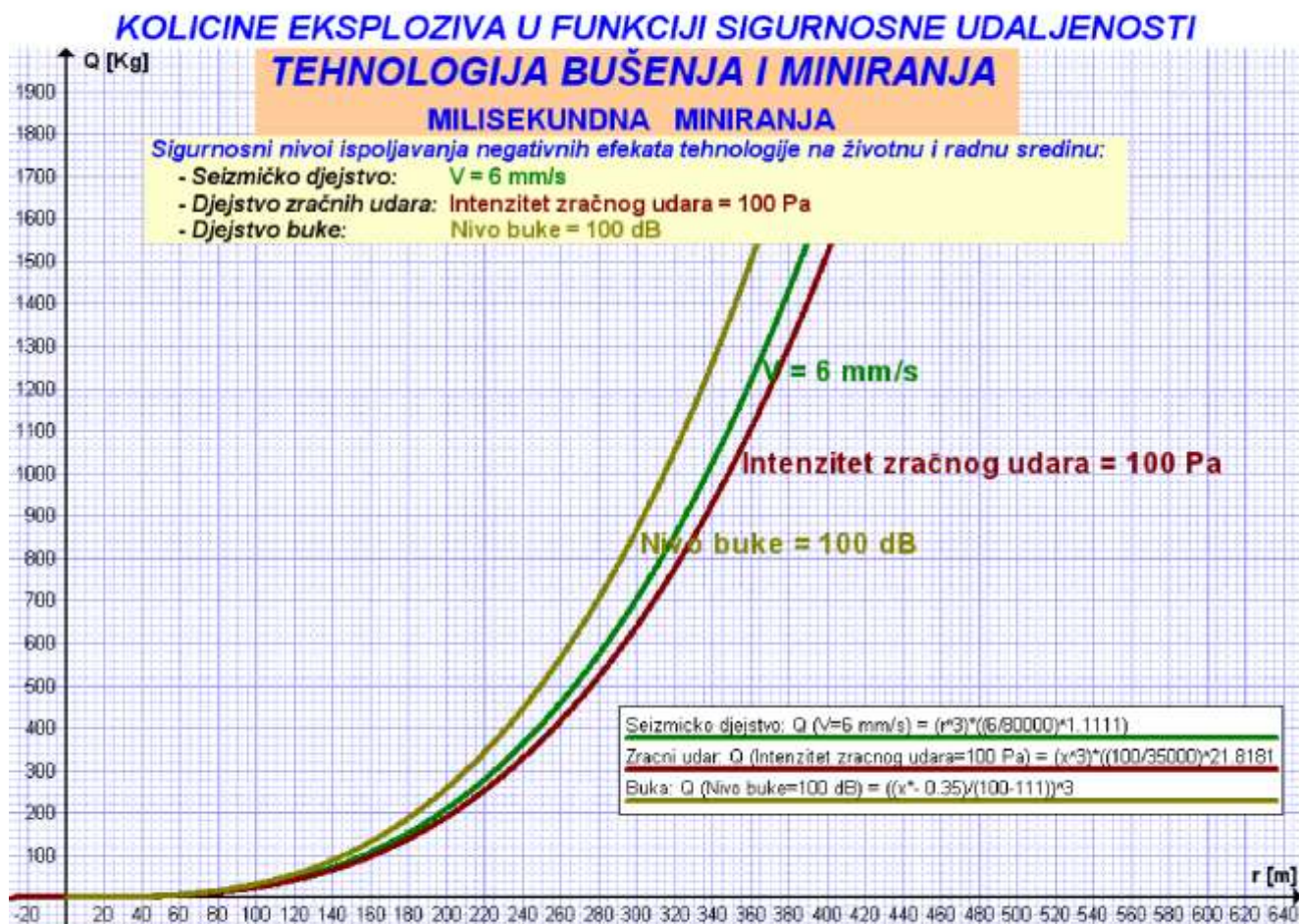


Slika 4. Milisekundna miniranja: Funkcionalna zavisnost rasprostiranja buke

• **Definisanje bezbjednih količina eksploziva u funkciji udaljenosti**

▪ **Dijagramski prikaz seizmički bezbjednih količina eksploziva**

- Seizmičko djejestvo,
- Djejestvo zračnih udara,
- Djejestvo buke.



Slika 6. Dijagram bezbjednih količina eksploziva pri milisekundnim miniranjima za: seimičko djejestvo, zračne udare i buku

	“CTU-IPKIN” d.o.o.	Geofizička istraživanja: E L A B O R A T
	76 300 Bijeljina Vidovdanska 48	www.ipkin.com ctu@ipkin.com

▪ **Tabelarni prikaz seizmički bezbjednih količina eksploziva**

Tabela: 3.

Sigurnosna udaljenost $r [m]$	Trenutna miniranja		Milisekundna miniranja		
	Po intervalu usporenja		Seizmičko djejestvo	Zračni udar	Buka
	Seizmičko djejestvo	Seizmičko djejestvo			
	$V = 0.6 \text{ cm/s}$ Q [Kg]	$V = 0.5 \text{ cm/s}$ Q [Kg]	$V = 0.6 \text{ cm/s}$ Q [Kg]	Inten. = 100 Pa Q [Kg]	Nivo = 100 dB Q [Kg]
200	39.6	30.8	208.9	189.5	257.7
210	45.8	35.7	241.8	219.4	298.3
220	52.7	41.0	278.0	252.3	343.0
230	60.2	46.9	317.7	288.3	391.9
240	68.4	53.2	360.9	327.5	445.3
250	77.3	60.2	407.9	370.2	503.3

- Nadzorni monitoring negativnih uticaja na životnu i radnu sredinu

	"CTU-IPKIN" d.o.o.		Geofizička istraživanja: Nadzorni monitoring Seizmički efekti miniranja A.D. "ROMANIJAPUTEVI" Sokolac - Kamenolom "DUB"
	76 300 Bijeljina Vidovdanska 48	www.ipkin.com ctu@ipkin.com	

MP - 1/12: MM - 2 → Vibrogram; MM - 1 → Buka



NEGATIVNI EFEKTI TEHNOLOGIJE MINIRANJA



Date/Time Vert at 14:34:38 December 2, 2009
 Range Geo :31.7 mm/s
 Record Time 5.0 sec (Auto=3Sec) at 2048 sps

Serial Number BA13266 V 8.12-8.0 BlastMate III/8
 Battery Level 6.3 Volts
 Calibration January 25, 2008 by Instantel Inc.
 File Name O266D06T.TQD

Notes

Naručilac: A.D. "ROMANIJAPUTEVI" Sokolac
 Lokacija: Kamenolom "DUB"
 Izvođač: DOO "CTU-IPKIN" Bijeljina
 Istraživač: Dr Živojin Arsenović, dipl. inž.

Post Event Notes

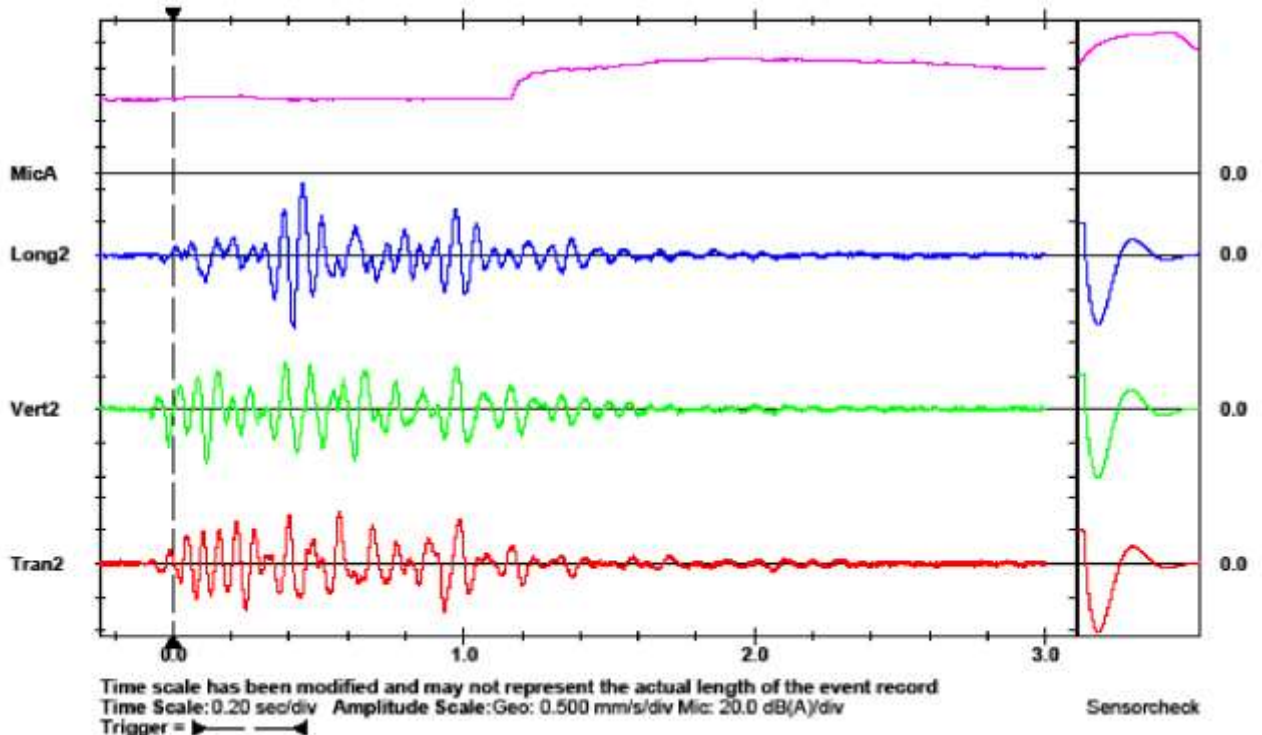
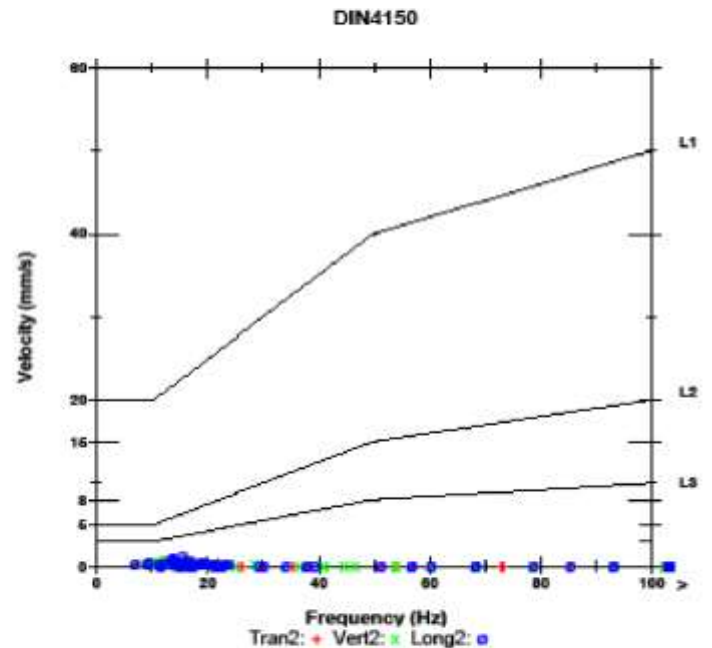
MM - 1 Kolska vaga - Triaksijalni geofon
 + Mikrofon „L“ i Mikrofon „A“
 MM - 2 Most - Triaksijalni geofon

Microphone 'A' Weight
 PSPL 87.7 dB(A) 87.7 dB(A) at 1.897 sec
 ZC Freq N/A
 Channel Test Passed (Freq = 4.3 Hz Amp = 848 mw)

	Tran2	Vert2	Long2	
PPV	0.778	0.810	1.14	mm/s
PPV	48.8	49.2	52.2	dB
ZC Freq	14.0	14.4	15.5	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.571	0.112	0.413	sec
Peak Acceleration	0.0133	0.0166	0.0166	g
Peak Displacement	0.00879	0.00886	0.0127	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.1	7.7	7.1	Hz
Overswing Ratio	4.0	3.5	4.3	

Peak Vector Sum 1.19 mm/s at 0.443 sec

N/A: Not Applicable



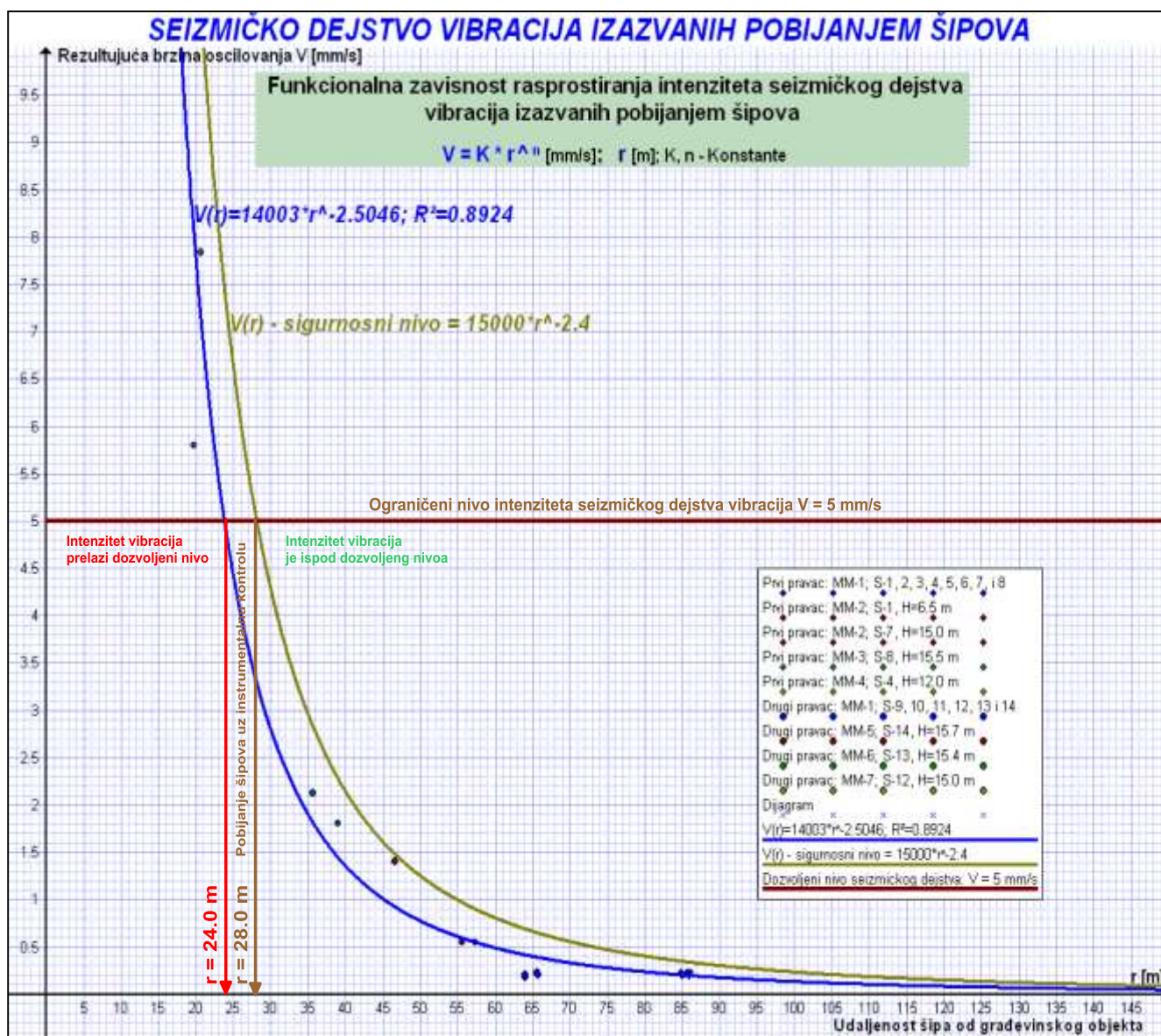
◇ Negativno dejstvo vibracija izazvanih pobijanjem šipova

Cilj realizacije geofizičko-seozmoloških mjerenja negativnog dejstva vibracija izazvanih pobijanjem šipova, je registracija egzaktnih *in situ* podataka na bazi kojih je u postupku kabinetske obrade podataka potrebno izvršiti definisanje matematičke zakonitosti rasprostiranja negativnog dejstva tehnologije pobijanja šipova ispoljenih u vidu njena tri ključna segmenta: **seizmičkog dejstva, dejstva zračnog udara i dejstva buke**, na bazi kojih se vrši:

- definisanje bezbjedne udaljenosti usklađene sa normama i propisima kojima se regulišu dozvoljeni nivoi negativnih dejstava primjenjene tehnologije pobijanja šipova na životnu i radnu sredinu, a naročito na građevinske stambene i infrastrukturne objekte locirane u segmentima urbanih zona koje neposredno gravitiraju radilištu objekta,
- definisanje granica zona u životnoj i radnoj sredini u kojima se moraju provoditi posebne mjere zaštite u cilju zaštite ljudskih i materijalnih resursa,

○ Primjeri iz prakse:

- **Definisanje matematičkih zakonitosti seizmičkog dejstva vibracija izazvanih pobijanjem šipova**



Slika 1. Funkcionalna zavisnost rasprostiranja intenziteta seizmičkog dejstva vibracija izazvanih pobijanjem šipova; Lokacija: Objekat turističkog stanovanja sa djelatnostima UP 1-06, KO Tivat, KP 965/2

➤ Velosigrama: **Snimak: S - 13** → **MM - 6**

Lokacija: **Objekat turističkog stanovanja sa djelatnostima UP 1-09, KO Tivat, KP 965/2**



Date/Time Manual at 10:50:02 AM Februy 10, 2014
 Trigger Source Geo: 0.130 mm/s
 Range Geo :31.7 mm/s
 Record Time 5.0 sec at 1024 sps

Serial Number BA13266 V 8.12-8.0 BlastMate III/8
 Battery Level 6.9 Volts
 Calibration January 25, 2014 by InstanTEL Inc.
 File Name O266F6YNFE0



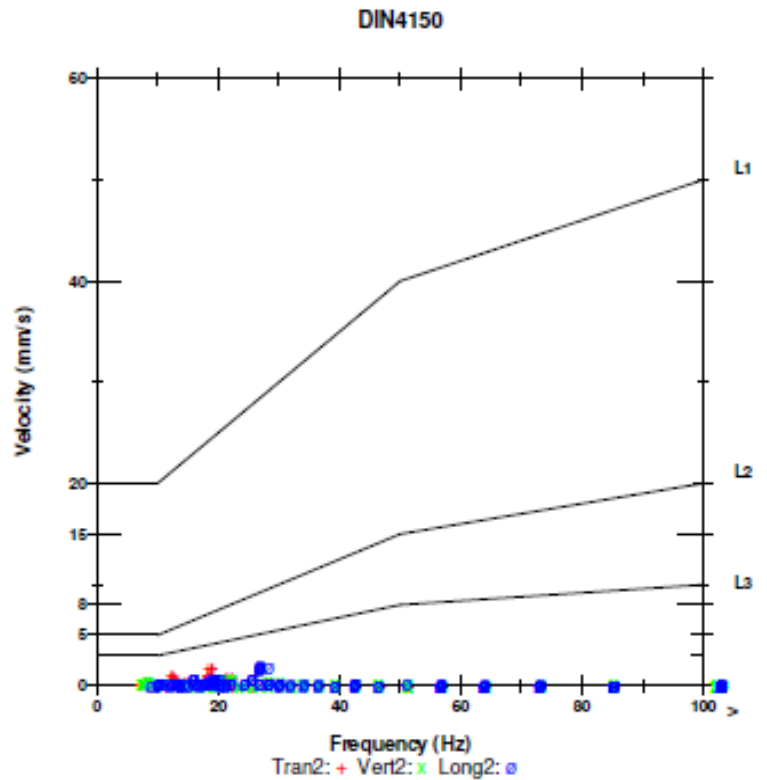
Notes

Investitor: PM 1.9 d.o.o.
 Narucilac: GF ING d.o.o. Beograd
 Izvršilac: "CTU IPKIN" d.o.o.
 Strucno lice: Dr Zivojin Arsenovic, dipl. inz.
 Lokacija: UP 1-09, Porto Montenegro Tivat

Post Event Notes

Microphone 'A' Weight
 PSPL 85.0 dB(A) 85.0 dB(A) at 0.269 sec
 ZC Freq N/A
 Channel Test Passed (Freq = 4.3 Hz Amp = 847 mv)

	Tran2	Vert2	Long2	
PPV	1.71	0.667	1.94	mm/s
PPV	5.68	2.52	6.74	dB
ZC Freq	18	21	27	Hz
Time (Rel. to Trig)	1.643	4.649	4.608	sec
Peak Acceleration	0.0232	0.0149	0.0381	g
Peak Displacement	0.0140	0.00909	0.0111	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.3	7.4	7.3	Hz
Overswing Ratio	4.0	3.5	3.8	



Peak Vector Sum 2.13 mm/s at 4.608 sec

N/A: Not Applicable

