



**“CTU-IPKIN“ d.o.o.**

**CENTAR TEHNIČKIH USLUGA**

**ISTRŽIVANJE, PROJEKTOVANJE KONSALTING INŽENJERING I NADZOR**

[www.ipkin.com](http://www.ipkin.com)

**Siniša Arsenović, master geologije**

# ***Primjenjena geofizika***

## **LEŽIŠTA**

**INSTRUMENTALNE METODE**  
GEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA U OKVIRU GEOLOŠKIH,  
HIDROGEOLOŠKIH, INŽINJERSKO-GEOLOŠKIH  
I GEOMEHANIČKIH ISTRAŽIVANJA KOJA SE PROVODE  
U ŽIVOTNIM CIKLUSIMA EKSPLOATACIJE  
LEŽIŠTA MINERALNOG RESURSA

# INSTRUMENTALNE METODE

## GEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA U OKVIRU GEOLOŠKIH, HIDROGEOLOŠKIH, INŽINJERSKO-GEOLOŠKIH I GEOMEHANIČKIH ISTRAŽIVANJA KOJA SE PROVODE U ŽIVOTNIM CIKLUSIMA EKSPLOATACIJE LEŽIŠTA MINERALNOG RESURSA

**Eksploatacija** mineralnog resursa predstavlja **proizvodni proces** kojim se **mineralni resurs** iz stjenskg masiva iz prirodnih uslova njegovog nastanka i zaljevanja, konvertuje u **materijalni resurs**, odnosno **proizvod** spreman za tržišnu konverziju u **kapital**.

**Mineralni resurs** predstavlja polazni osnov nad kojim se uspostavlja sistem upravljanja prirodnim resursima, a osnovu za definisanje tehnika proizvodnih procesa i tehnologija **eksploatacije mineralnog resursa**, čini **ležište mineralnog resursa** (*mineralne sirovine*) sa specifičnim geomorfološkim, geološkim, hidrogeološkim, inžinjerskogeološkim, klimatskim i ostalim osobinama.

Podaci o geološkim karakteristikama ležišta mineralnog resursa i njegovim fizičko-mehaničkim karakteristikama dobijaju se na osnovu **geoloških istraživanja** koja se provode počev od nivoa **osnovnih**, preko **regionalnih** do nivoa **detaljnih geoloških istraživanja** sa programiranom vrstom i obimom neophodnim za obezbeđenje kvalitetnih ulaznih podataka potrebnih za realizaciju eksploatacije predmetnog ležišta mineralnog resursa, počev od izrade *Studije tehnoekonomske opravdanosti* i pribavljanja *Koncesije na eksploataciju* do izrade *Glavnog rudarskog projekta eksploatacije mineralnog resursa* te uspostavljanja i konkretne realizacije *Proizvodnih procesa i funkcija*.

Vrsta i obim geoloških istraživanja za svaki nivo istraživanja, ovisi od niza uticajnih faktora iz domena složenosti prirodnih uslova zaleganja ležišta mineralnog resursa u stjenskom masivu, počev od geomorfoloških, montan geoloških, hidrogeoloških, inžinjersko-geoloških do strukturno-tektonskih i litostratigrafskih prilika u stjenskom masivu u kom je locirano ležište mineralnog resursa. Pri izradi *Programa osnovnih geoloških istraživanja*, odnosno *Projekta detaljnih geoloških istraživanja*, u zavisnosti od stepena dosegnutog nivoa spoznaja *in situ* geoloških prilika, potrebno je programirati optimalan i racionalan omjer obima i nivoa između **klasičnih geoloških metoda** istraživanja i **instrumentalnih**, odnosno **geofizičkih metoda istraživanja** koje se koriste kako u *in situ* uslovima zaljevanja stjenskih masa u stjenskom masivu istražnog prostora tako i na uzetim uzorcima za laboratorijska ispitivanja njihovih fizičko-mehaničkih parametara i svojstava, odnosno hemijskog, mineraloškog i petrografskog sastava. Pri definisanju fizičko-mehaničkih parametara i svojstava stjenskih masa u zoni istražnog prostora, razmjere veličine bloka stjenskog masiva koji se zahvata pojedinim metodama istraživanja imaju veoma bitnu ulogu i u većini slučajeva samo se geofizičkim metodama istraživanja može dosegnuti omjer 1:1 sa razmjerama „objekta“ za kojeg se istraživanja provode.

Realizacijom koordinisanih geoloških istraživanja uz primjenu klasičnih i instrumentalnih metoda geoloških istraživanja na bazi uspostavljenih funkcionalnih korelacionih veza između odgovarajućih fizičkih parametara definisanih statičkim i dinamičkim metodama ispitivanja u laboratorijskim i *in situ* uslovima, vrši se na adekvatan način transfer rezultata fizičko-mehaničkih parametara definisanih klasičnim statičkim metodama ispitivanja na relativno malim uzorcima stjenskih masa u stjenski masiv iz koga su uzeti uzorci za statička i dinamička laboratorijska ispitivanja.

Korelacionim povezivanjem rezultata geofizičkih istraživanja, odnosno instrumentalnih metoda goloških istraživanja sa rezultatima istraživanja dobijenih standardnim geomehaničkim, hidrogeološkim i inženjerskogeološkim istraživanjima, omogućava se transfer tih podataka u ostale segmente stjenskog masiva koji nisu bili podvrgnuti direktnim istraživanjima, odnosno tačkasti sistem istraživanja prenosi se na linijski 2D, a u određenim varijantama i 3D sistem u stjenskom masivu istražnog prostora. Iz ovih razloga u novije vreme **geofizička istraživanja**, odnosno **instrumentalne metode geoloških istraživanja** u sklopu **geloških, hidrogeoloških, inženjerskogeoloških i geomehaničkih istraživanja** fizičko-mehaničkih i strukturno-tektonskih svojstava i karakteristika stjenskih masa i montan-geoloških uslova njihovog zaleganja, odnosno njihovih parametara i svojstava u prirodnim uslovima koji vladaju u stjenskom masivu istražnog prostora, sve više preuzimaju primat.

**Geofizička istraživanja** u segmentu **geoloških istraživanja - segment instrumentalnih metoda geoloških istraživanja**, u novije vreme sa razvojem informacionih tehnologija, sve više dobijaju na značaju, tako da se angažman skupih klasičnih metoda geoloških istraživanja kao što je istražno, odnosno strukturno bušenje svodi na propisani minimum i uglavnom se ona programiraju za oprobavanje, provjeru, korelaciju i litostratigrafsku indentifikaciju rezultata geofizičkih istraživanja. Pored toga, prednost novijih varijanti geofizičkih metoda istraživanja je u činjenici da omogućavaju **kontinuarano**, odnosno **tomografsko** snimanje stjenskog masiva duž trase profila u istražnom prostoru. Na bazi rezultata dobijenih realizacijom tzv. tomografskih varijanti metoda geofizičkih istraživanja (*refrakciono seizmičke: Delta t-V, plitke reflektivne seimike: CMP (Common Mid Point) i geoelektrične: Lund, metode istraživanja*), na optimalan način se vrši definisanje kako obima, tako i same mikrolokacije za izradu strukturnih bušotina, tako da se na bazi rezultata istražnog bušenja vrši jednoznačna litološka identifikacija registrovanih geofizičkih, odnosno refrakciono i reflektivno-seizmičkih ili pak geoelektričkih horizonata, a rezultati laboratorijskih istraživanja dobijeni na uzetim uzorcima prenesu u cjelokupne segmente stjenskog masiva u kojima zaležu registrovani geofizički horizonti iz kojih su ti uzorci uzeti.

**Pravilnikom o klasifikaciji i kategorizaciji rezervi mineralnih resursa i vođenju evidencije o njima**, propisan je obim i vrsta istraživanja koje je potrebno provesti kako bi se dostigao propisani nivo stepena istraženosti i stepena poznavanja ležišnih uslova ležišta mineralnih resursa za odgovarajuće kategorije rezervi, počev od geoloških, geofizičkih, gohemijskih, hidrogeoloških i inženjersko-geoloških istraživanja, do realizacije površinskih i podzemnih vrsta rudarskih radova i površinskog i jamskog istražnog bušenja.

Pri kategorizaciji rezervi čvrstih mineralnih resursa shodno stepenu istraženosti i stepenu poznavanja kvaliteta mineralnog resursa, njihove mase se razvrstavaju u kategorije A, B, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, D<sub>1</sub> i D<sub>2</sub>.

U postupku realizacije istraživanja ležišta čvrstih mineralnih sirovina potrebno je istražiti i utvrditi do propisanog nivoa za datu kategoriju rezervi (*Pravilnik*):

- **ležišne uslove, zaljevanje i prostiranje, veličinu, oblik i građu ležišta, odnosno rudnog tijela, sve korisne mineralne supstance i njihov međusobni odnos i prostorni razmještaj,**
- **kvalitet i tehnološka svojstva za pripremu i preradu mineralnog resursa,**
- **prirodne tipove i industrijske vrste mineralnih resursa, njihov međusobni odnos i prostorni razmještaj,**
- **okonturenje izdvojenih jalovih i vanbilansnih dijelova u okviru rudnog tijela,**
- **ostale montan-geološke, tektonske, hidrogeološke, inženjersko-geološke i druge prirodne uslove (geomorfološke, hidrološke, klimatske i td.) u obimu koji omogućava utvrđivanje metode eksploatacije mineralnog resursa.**

U postupku realizacije istraživanja nalazišta, odnosno **ležišta podzemnih voda** potrebno je istražiti i utvrditi do propisanog nivo za datu kategoriju rezervi (*Pravilnik*):

- **geološku građu i hidrogeološke parametre vodonosne sredine, rasprostranjenost, uslove prihranjivanja i obnavljanja eksploatacionih rezervi,**

- stepen povezanosti sa vodama susjednih vodonosnih sredina i površinskih tokova, uslove vještačkog prihranjivanja, kao i uslove zaštite podzemnih voda,*
- *kvalitativna svojstva podzemnih voda u stepenu koji omogućava utvrđivanje njihovog korišćenja za određene namjene,*
  - *osnovne podatke o količini, kvalitetu i režimu podzemnih voda u ležištu, na osnovu kojih se njihove rezerve razvrstavaju po kategorijama.*

Uvođenjem savremenih instrumentalnih metoda geoloških istraživanja čija interpretacija rezultata uz pomoć savremenih kompjuterskih programskih paketa omogućava precizno definisanje osnovnih parametara eksploatacije i njenog razvoja od početne faze, odnosno faze otvaranja pa sve do završnih faza eksploatacije mineralnog resursa.

U novije vrijeme eksploatacija ležišta mineralnih resursa obavlja se u sve složenijim montan-geološkim uslovima njegovog zaleganja u stjenskom masivu i uz sve rigoroznije zahtjeve za obezbjeđenjem ekonomične, pouzdane i bezbjedne eksploatacije sa zadatim proizvodnim obimom i racionalnim iskorišćenjem rezervi mineralnih resursa u ležištu. Sa druge strane naučno-tehnološki progres i nova saznanja u drugim oblastima ljudskih djelatnosti, uz primjenu savremene opreme i novih materijala, proširuju domen i mogućnosti eksploatacije mineralnih resursa. Sagledavanje svih relevantnih činilaca kao i svih kriterijuma, na osnovu kojih se daje ocjena bilansnosti rudnih rezervi, odnosno u konačnoj fazi vrši ocjena uspješnosti eksploatacije, predstavlja osnovu za strateško planiranje, odnosno osnovu kod donošenja investicionih odluka, bilo da je riječ o ulaganjima u otvaranje i eksploataciji novih ležišta ili ulaganjima koja se odnose na uvođenje novih ili rekonstrukciju i modernizaciju postojećih tehnologija.

U eksploatacionim fazama ležišta mineralnih resursa instrumentalne, odnosno geofizičke metode istraživanja pored standardnih primjena koje za cilj imaju kako definisanje rudnih rezervi, njihovu kategorizaciju i ocjenu bilansnosti, tako i definisanje fizičko-mehaničkih parametara stjenskih masa, strukturno-tektonskih odnosa i ostalih montan-geoloških uslova koji vladaju u stjenskom masivu ležišta mineralnog resursa koji u bitnome opredjeljuju načine i uslove odvijanja proizvodnih procesa, imaju i značajnu primjenu i široko se koriste u identifikaciji i praćenju negativnih uticaja primjenjenih metoda eksploatacije ležišta mineralnih resursa na životnu sredinu. Neki od tih uticaja ispoljavaju se u vidu seizmičkog dještva, dještva zračnih udara, buke, vibracija i sl. Registracija i praćenje negativnih uticaja primjenjenih tehnologija u procesu eksploatacije na životnu sredinu vrši se uglavnom po procedurama **nadzornog monitoringa** i evidentni su kako u samim eksploatacionim fazama, tako i u posteksploatacionim fazama životnog ciklusa koji prati eksploataciju ležišta mineralnog resursa.

## GEOFIZIČKA ISTRAŽIVANJA

### **- Metode istraživanja**

#### ➤ **Geoelektične metode istraživanja**

Od geoelektričnih metoda u oblastima koje pokrivaju: **geologiju, hidrogeologiju, inženjerska geologiju i geomehaniku**, široku primjenu kod istraživanja imaju:

- **Metoda vertikalnog geoelektričkog sondiranja - VES**

Vertikalno geoelektričko 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 zaleganja 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.

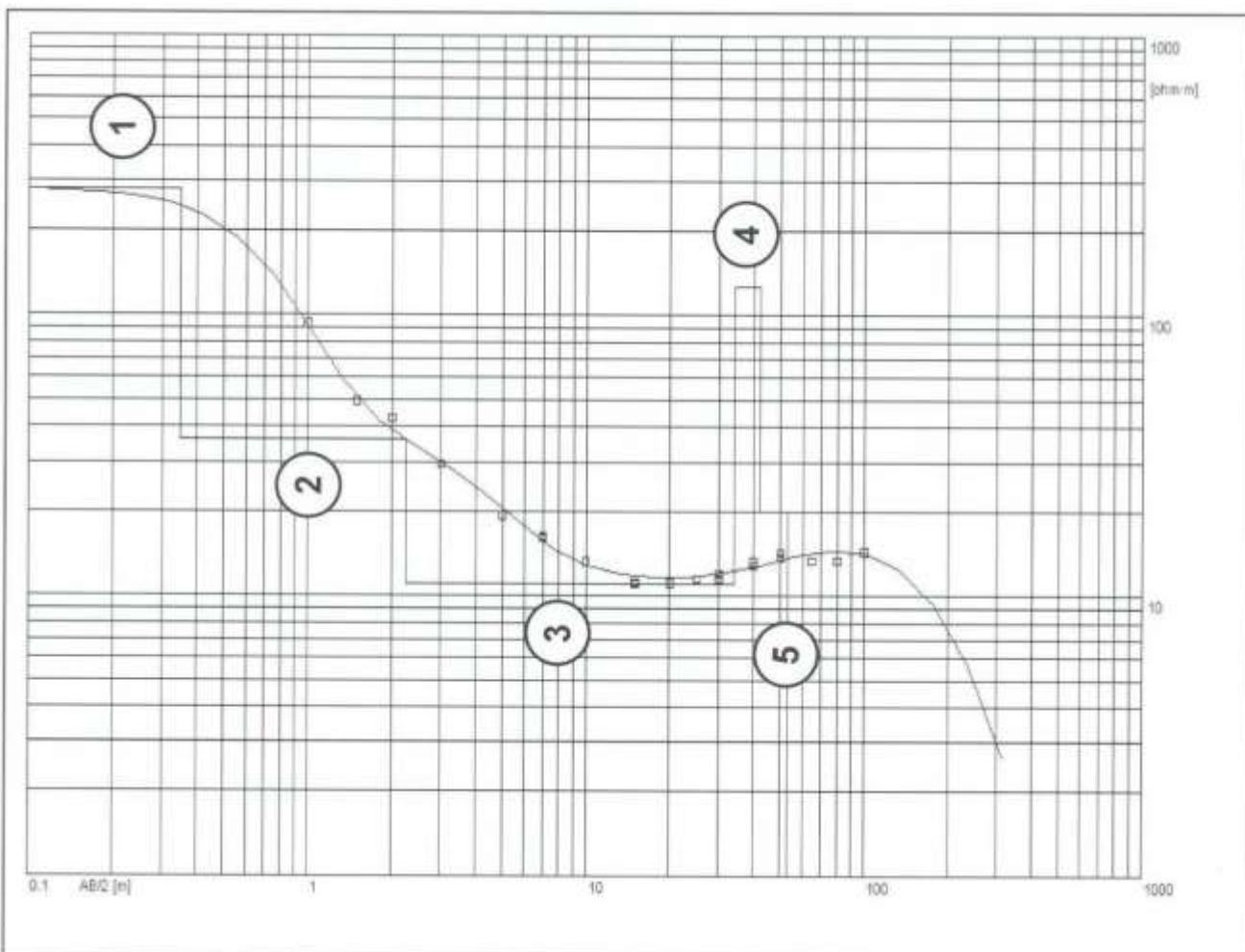
U slučaju kada se istraživanja provode duž istražnih profila, profili se u istražnom prostoru sa horizontalnom do blago talasatom topografskom strukturom, uglavnom postavljaju u vidu pravougaone mreže saglasno dominirajućoj geološkoj ili pak geomorfološkoj lineari. U brdsko-planinskim područjima sa srednje 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 stjenskog 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 stjenskog materijala u stjenском masivu istražnog prostora i identifikacija strukturno-tektonske građe stjenskog masiva,
- **Hidrogeologija:** Kvantitativna ocjena hidrogeoloških karakteristika registrovanih litostratigrafskih članova u stjenском masivu istražnog prostora i njegovih hidrogeoloških prilika. Definisane dubine i položaja zaleganja hidrogeoloških kolektora u strukturnoj građi stjenskog 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 stjenskog masiva u zoni istražnog prostora,
- **Geomehanika:** Zoniranje terena za potrebe uzorkovanja pri detaljnim geomehaničkim ispitivanjima.

- **Primjeri iz prakse:**

- Pr. - 1: Ležište podzemne vode – Hidrogeologija: Dubinski 2D presjek vertikalnog geoelektričkog sondiranja kada se geofizičko-geoelektrična istraživanja ne provode po trasama profila



DOO "CTU-IPKIN"  
VERTIKALNO GEOELEKTRIČKO SONDIRANJE

**GS - 1/2**

Maksimalni nivo iteracija modela

DUBINSKI PRESJEK

Teret		Lokacija		Profil
Srednji Zagoni	Zemljišni posjed u vlasništvu porodice Tojić	I		
Horiz. zona	Specifični otpor [ $\Omega\text{m}$ ]	Dubina [m]	Opis najjerovatnijeg litološkog sastava registrovanog geoelektričkog horizonta	
1	280	0.3	Zona aeracije (Pjeskovito-prašinat stijenski materijal - SUV) - Vodopropusni stijenski materijali	
2	36	2.2	Pjeskovito-prašinati stijenski materijal - Hidrogeološki kolektor male izdašnosti - Mogućnost formiranja: • <b>Freatske izdani</b> (izdan sa slobodnim nivoom PV)	
3	11	34	Glinovito-laporoviti stijenski materijal - Vodonepropusni stijenski materijali - Hidrogeološki izolator	
4	127	42	Pjeskovito-šljunakovito-prašinat stijenski materijal - Vodopropusni stijenski materijali - Hidrogeološki kolektor srednje izdašnosti - Mogućnost formiranja: • <b>Freatske izdani</b> (izdan sa slobodnim nivoom PV), • <b>Arteriske izdani</b> (izdan pod pritiskom arterijskog ili subarterijskog karaktera), - <b>Kaptiranje izdani:</b> • <b>Kopani bunar.</b> • <b>Bušeni bunar - Bušenje bez upotrebe isplake</b> (koprimovani vazduh ili čista voda)	
5	< 20	∞	Glinovito-laporoviti stijenski materijal - Vodonepropusni stijenski materijali - Hidrogeološki izolator	

Figuranti:

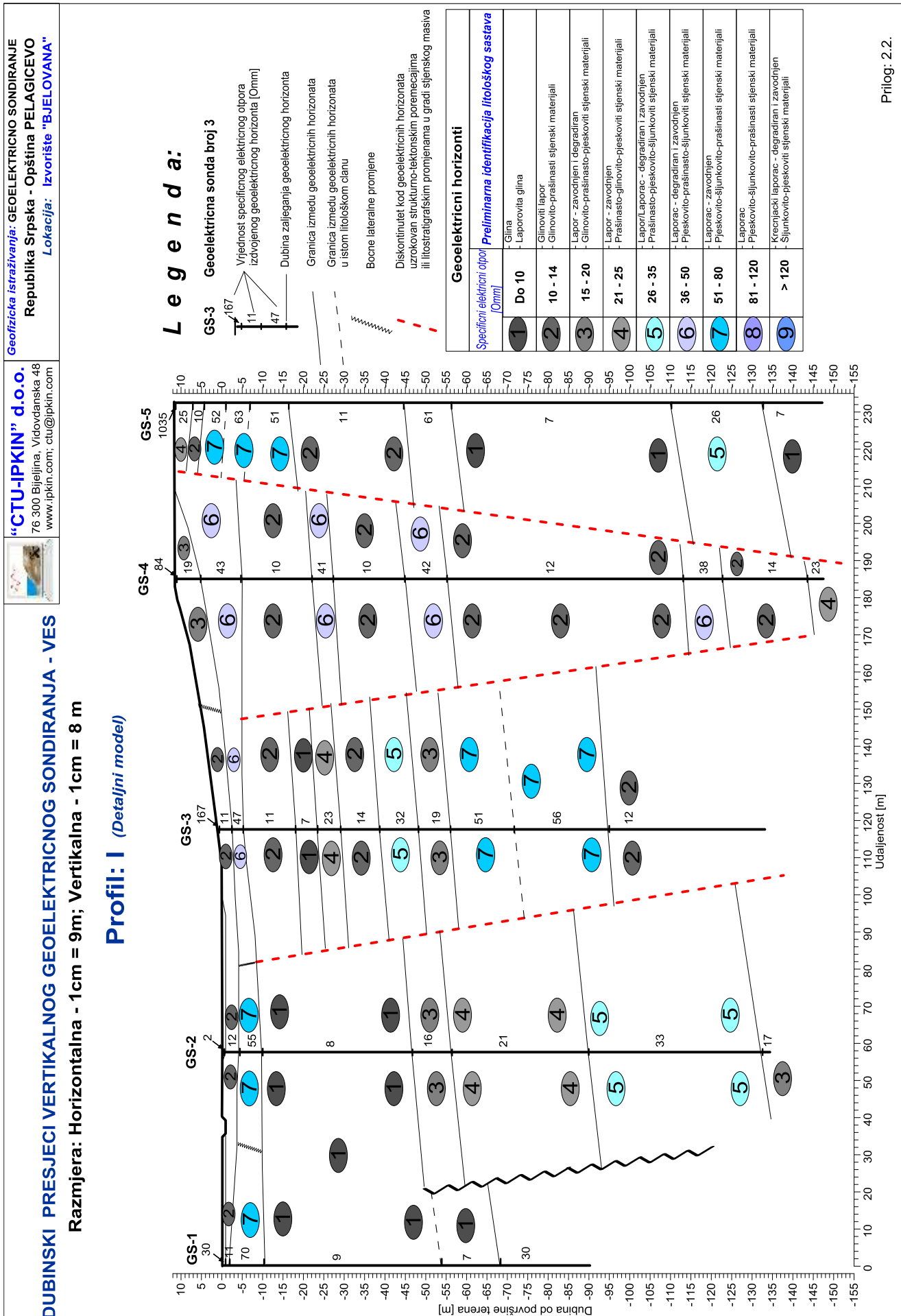
- Tojić Nikola
- Tojić Miodrag
- Sekulić Branko

Odgovorni istraživač



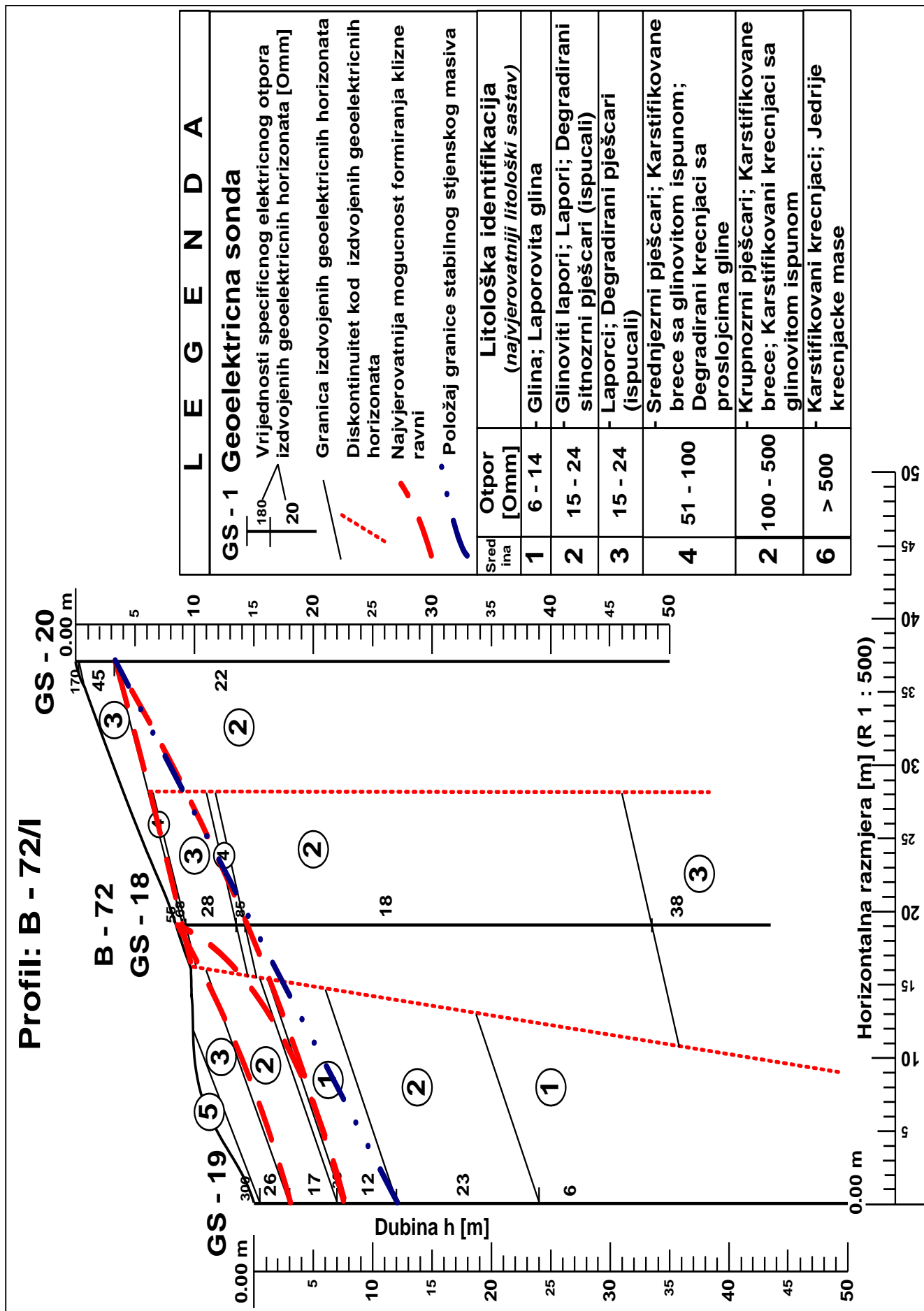
Dr. Živojin Arsenović, dipl. inž./

- Pr. - 2: Ležište podzemne vode – Hidrogeologija: Dubinski 2D presjek vertikalnog geoelektričnog sondiranja kada se geofizičko-geoelektrična istraživanja provode po trasama profila



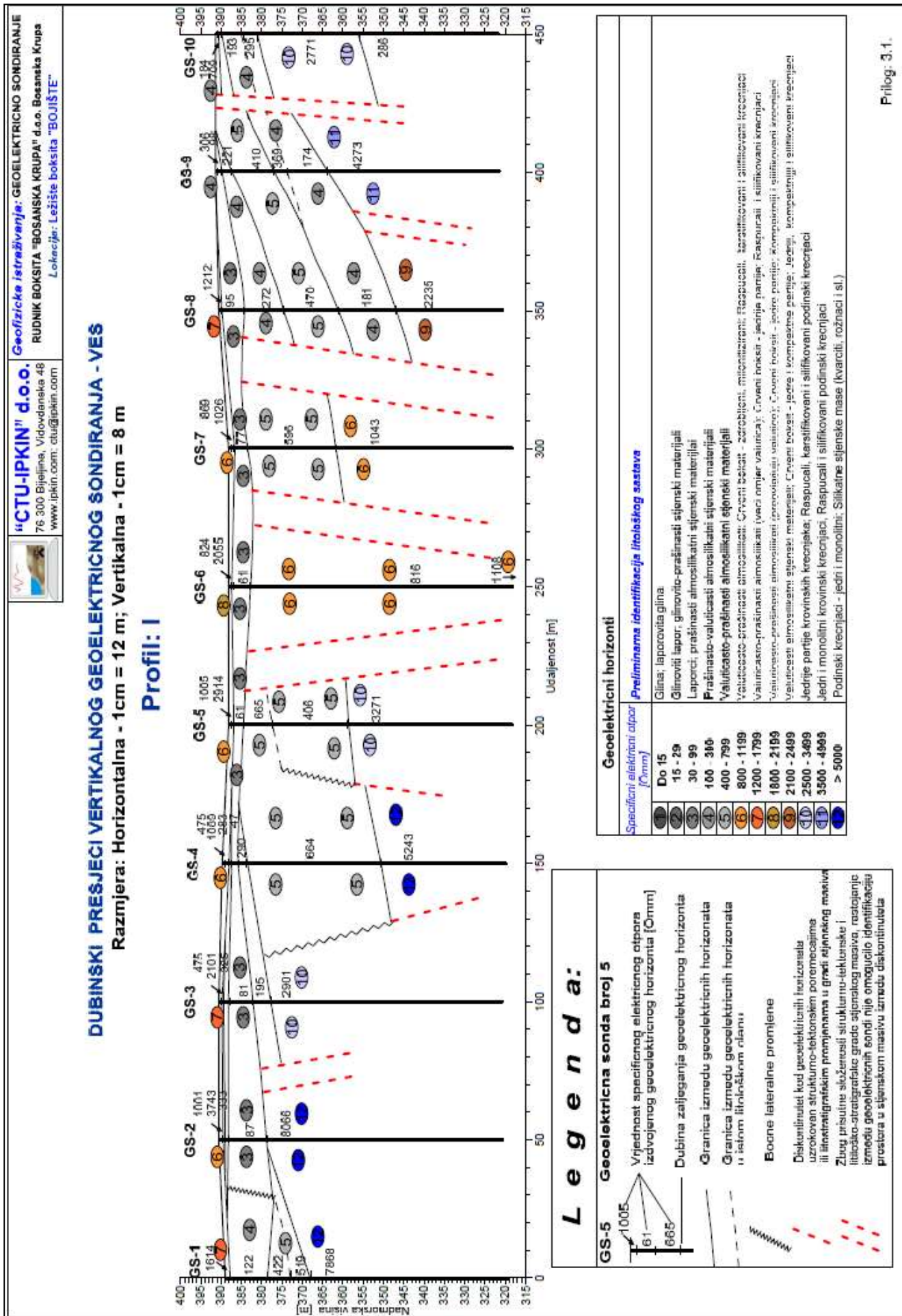
- Pr. - 3: Ležište soli - Inženjerska geologija – Dubinski 2D presjek vertikalnog geoelektričkog sondiranja kada se geofizičko-geoelektrična istraživanja provode po trasama profila

- Tereni sa složenom litostratigrafskom i strukturno-tektonskom građom





- Pr. - 4: Ležište boksita - Geologija – Dubinski 2D presjeka vertikalnog geoelektričnog sondiranja kada se geofizičko-geoelektrična istraživanja 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**

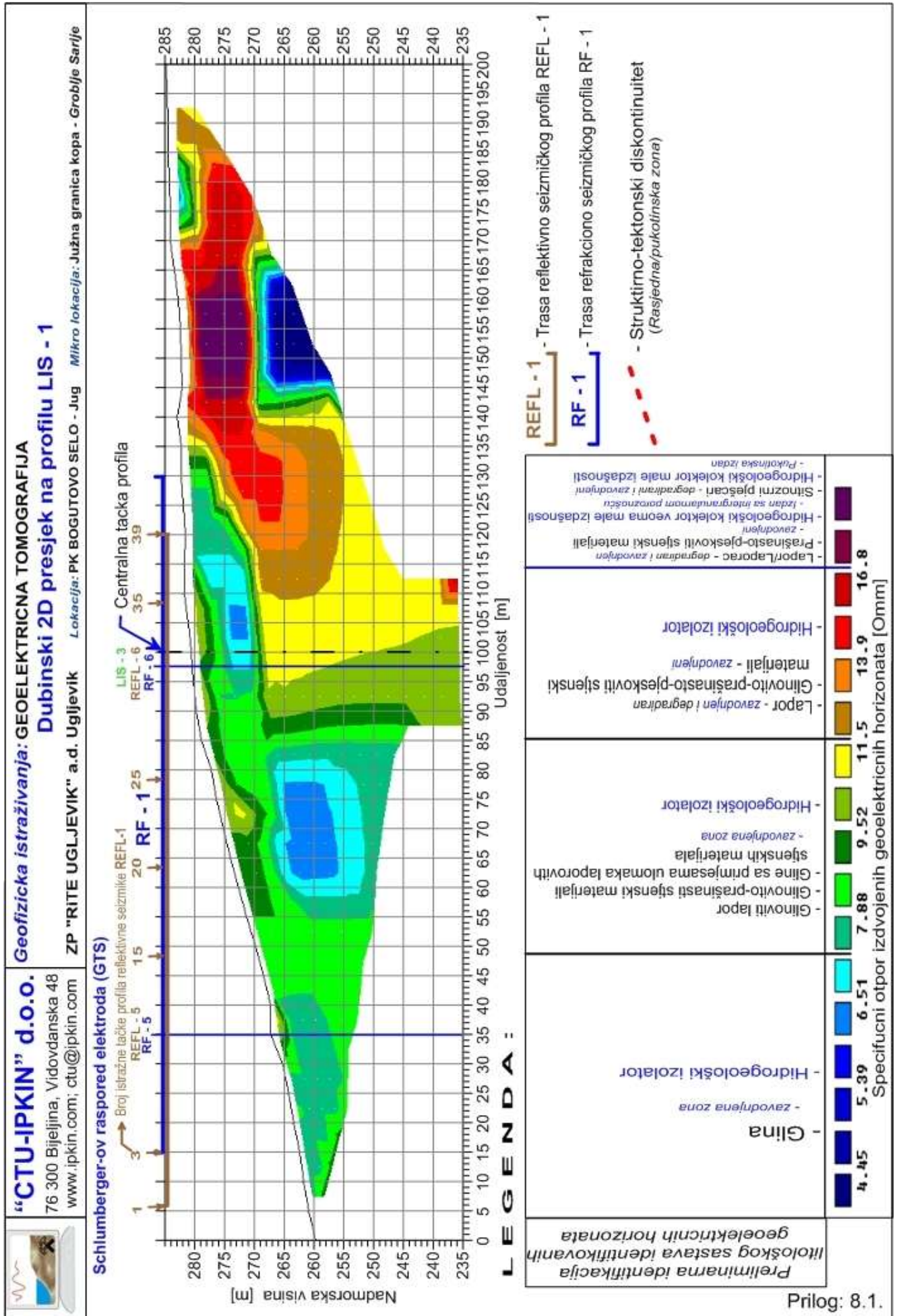
Geofizička istraživanja uz primjenu LIS tehnike vrši se isključivo duž istražnih profila i rječ je o potpuno automatizovanom postupku vertikalnog geoelektričnog sondiranja sa unaprijed definisanim elektrodnim rastojanjima, odnosno centrima internih geoelektričnih sonde u trasi istražnog profila. Kompjuterski 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 od cca 60 do cca 80 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:** Gruba litostratigrafska identifikacija stjenskog materijala u stjenskom masivu istražnog prostora i identifikacija strukturno-tektonske građe stjenskog masiva,
- **Hidrogeologija:** Kvantitativna ocjena hidrogeoloških karakteristika registrovanih litostratigrafskih članova u stjenskom masivu istražnog prostora i njegovih hidrogeoloških prilika. Definisane dubine i položaja zaleganja hidrogeoloških kolektora u strukturnoj građi stjenskog masiva, definisanje mikrolokacije za izradu istražnih i eksploatacionih hidrogeoloških objekata (*pijezometri, bunari i sl.*).
- **Inžinjerska geologija:** Kvantitativna ocjena inžinjersko-geoloških uslova stjenskog masiva u zoni istražnog prostora,
- **Geomehanika:** Zoniranje terena za potrebe uzorkovanja pri detaljnim geomehaničkim ispitivanjima.

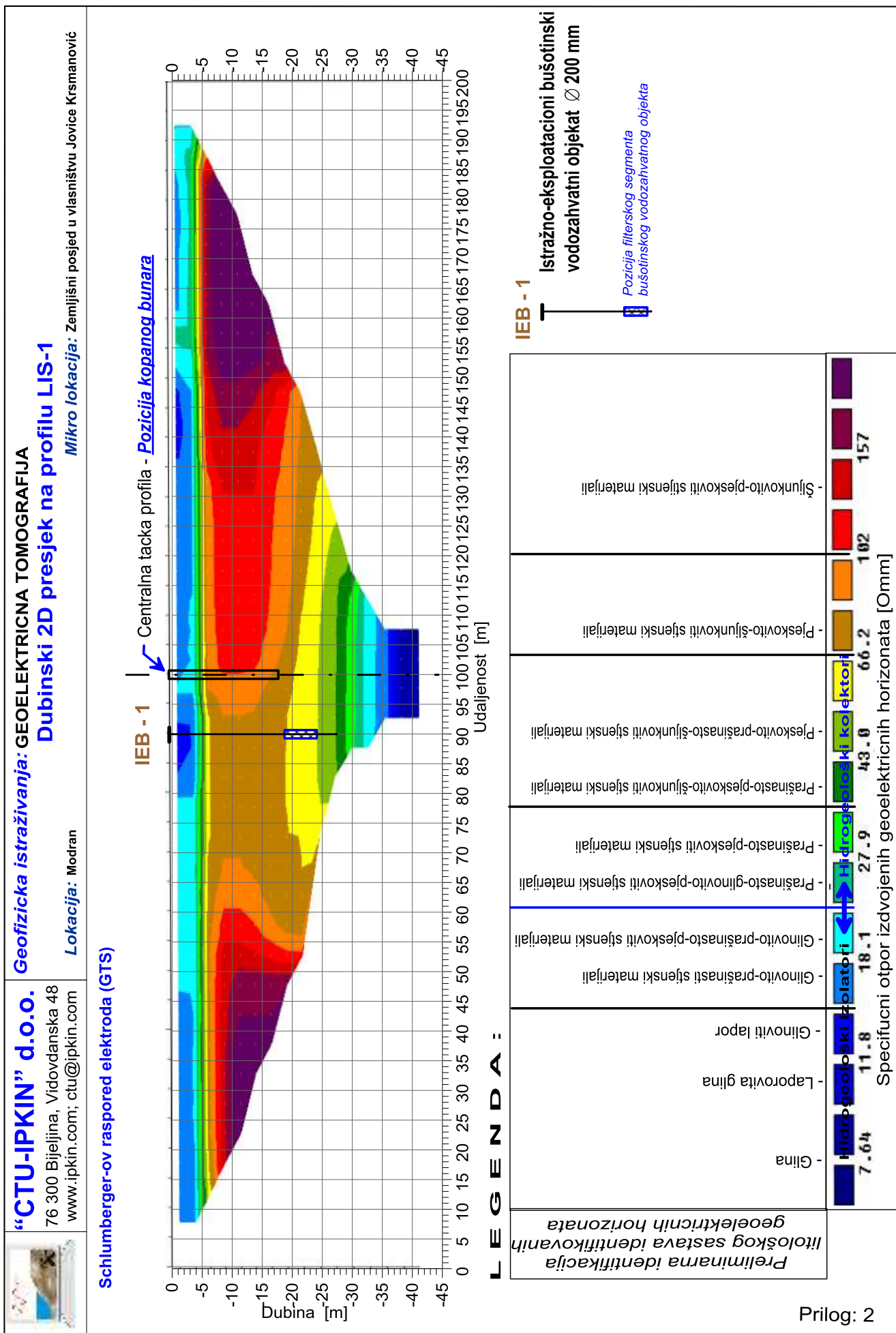
- **Primjeri iz prakse:**

Pr. - 1: Ležište uglja - Inženjerska geologija - Geoelektrički tomografski 2D presjek po trasi istražnog profila

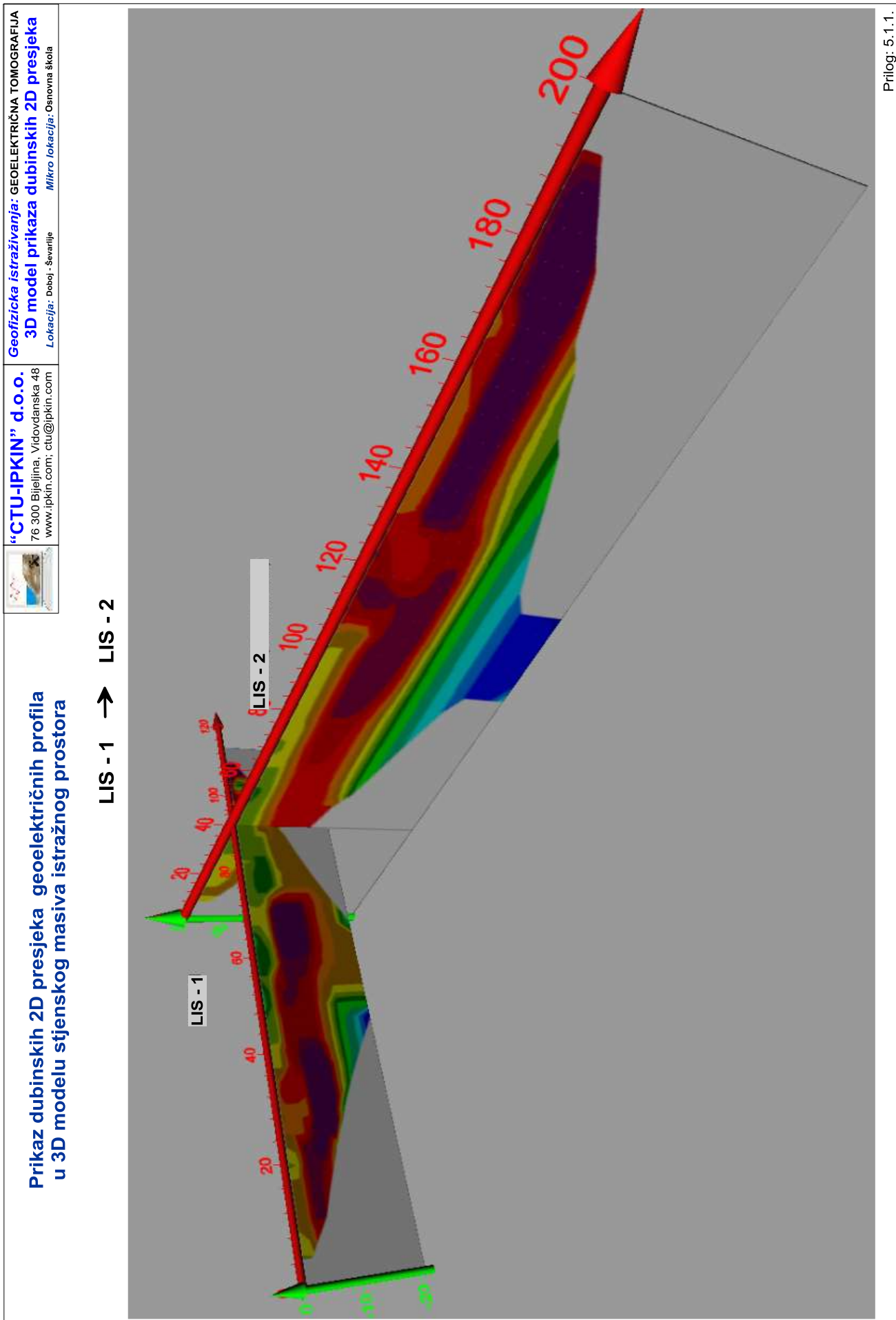


Prilog: 8.1.

Pr. - 2: Ležište podzemne vode - Hidrogeologija - Geoelektrični tomografski 2D presjek po trasi istražnog profila



– Pr. 3: Ležište podzemne vode - Hidrogeologija - Prikaz tomografskih dubinskih 2D presjeka geoelektricnih profila u 3D modelu stjenskog masiva istražnog prostora



Geofizička istraživanja: GEOELEKTRIČNA TOMOGRAFIJA  
3D model prikaza dubinskih 2D presjeka  
Lokacija: Boboj - Ševantijski Mikro lokacija: Osnovna škola



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

- **Metoda sopstvenog potencijala**

Metod prirodnog (sopstvenog) električnog polja - **SP** zasnovan je na izučavanju lokalnih prirodnih električnih polja, stvorenih u prirodnim električnim provodnicima. Osnovni zadatak metode SP je pronalaženje i istraživanje ležišta mineralnih resursa koja sadrže elektroprovodničke minerale, a takođe i kartiranje stjenskih masiva koji se odlikuju sa visokom elektroprovodnošću. Ovaj metod se koristi i pri hidrogeološkim i inženjerskogeološkim istraživanjima (*određivanje pravca i brzine toka podzemnih voda, lokalizacija mjesta filtracije (gubitka) vode iz akumulacija i kanala, određivanje mjesta i zona korozije podzemnih cjevovoda i dr.*).

- **Metodologija istraživanja**

Geofizička istraživanja uz korišćenje metoda sopstvenog potencijala - SP vrše se po metodologiji istraživanja u dve varijante i to:

- ✓ Varijanta **Potencijala** (*direkto mjerenje potencijala u svim tačkama u profilima i istražnom prostoru u odnosu na neku stacionarnu tačku - nulta tačka*),
- ✓ Varijanta **Gradijenata** (*mjerenje razlike potencijala između dve susjedne tačke u profilu*)

Geofizička istraživanja uz korišćenje metoda sopstvenog potencijala - SP uglavnom se izvode po varijanti **Potencijala**, obzirom da je on tačniji i tehnički jednostavniji za izvođenje i rezultate mjerenja ne treba podvrgavati složenim matematičkim proračunima. Varijanta **Gradijenata** koristi se u slučajevima kada su u istražnoj zoni prisutne značajne idustrijske smetnje ili kada je teško, odnosno nemoguće voditi kablovsku liniju od instrumenta do pokretne nepolarizirajuće elektrode u varijanti Potencijala.

Lokalnim prirodnim električnim poljima pripadaju:

- ✓ **Elektrohemijska (rudna),**
- ✓ **Filtraciona,**
- ✓ **Difuzna,**
- ✓ **Termofiltraciona (promjenljiva u vremenu) i još neka druga.**

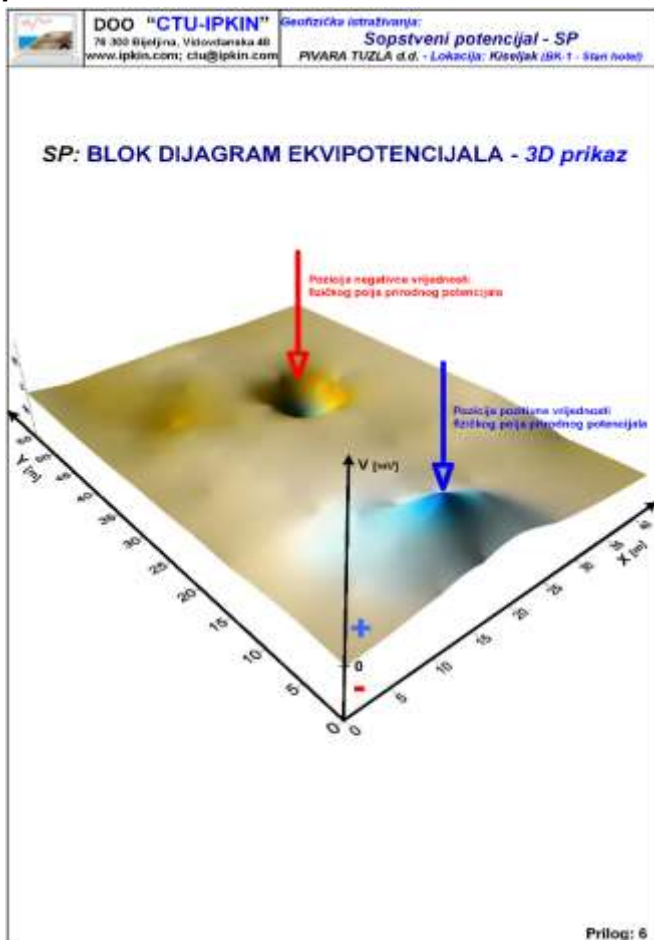
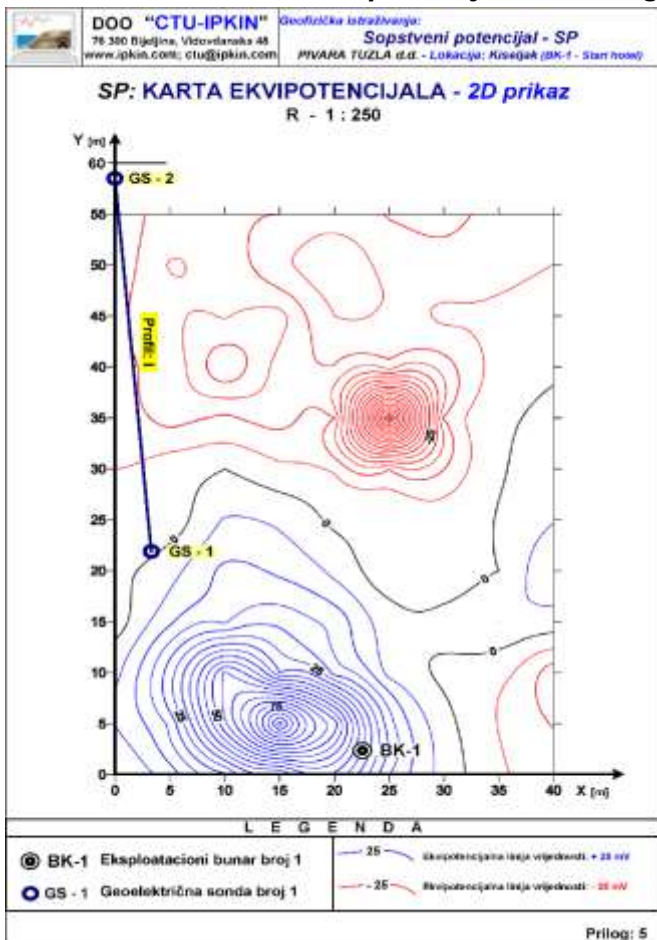
**Filtraciona polja** se stvaraju pri filtraciji podzemnih voda u stjenskom masivu (*filtraciono kretanje podzemnih voda u stjenskom masivu*). Najintenzivnije njihovo ispoljavanje je u uslovima brdskog reljefa i u dolinama rijeka, a posebno u njihovom priobalnom pojasu. Generalno, visinske oblasti terena sa kojih se vode filtriraju (*filtraciono kreću ≡ teku*) u niže oblasti, karakterišu se negativnim potencijalom (−) u odnosu na potencijal u dolini (+) - oblasti u koje se „slivaju“ podzemne vode. Veličina gradijenta filtracionog potencijala različita je za razne uslove i zavisi od brzine kretanja podzemnih voda, njihove mineralizacije, moćnosti vodonosnog sloja, razmjere i dubine zaljevanja podzemnog toka i drugih faktora. U praksi registrovan je pad filtracionog potencijala i do nekoliko stotina milivolti (mV) po kilometru. U dolinama rijeka registruje se povećanje potencijala u pravcu toka podzemne vode. U priobalnom dijelu rjeka potencijal **raste** ili **opada** u odnosu na kopneni deo (*dio rječne doline iza priobalnog pojasa*) u zavisnosti od toga da li rjeka **hrani** ili **drenira** podzemnu izdan, respektivno.

- **Oblast primjene:**

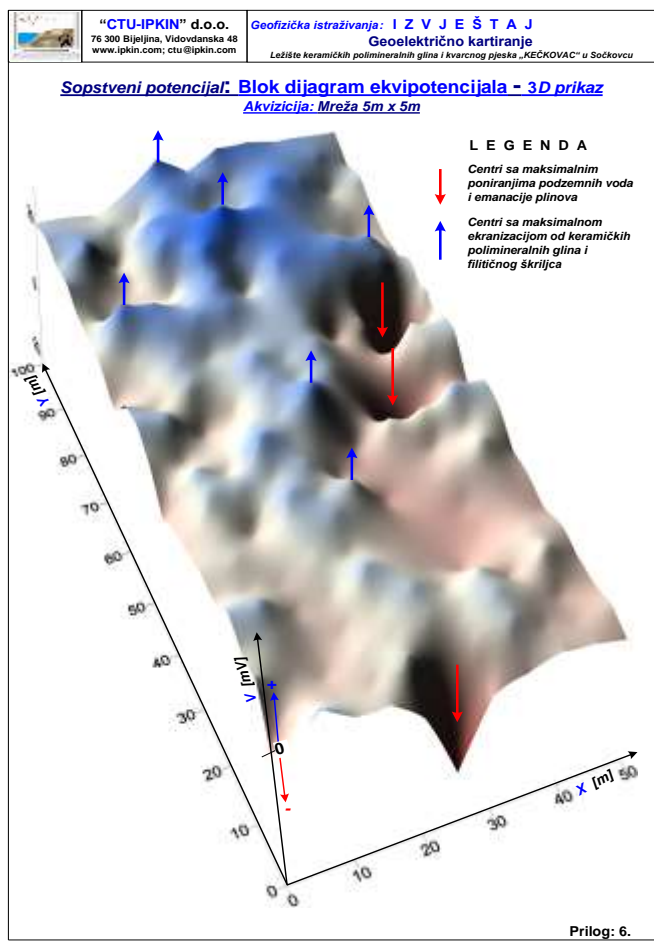
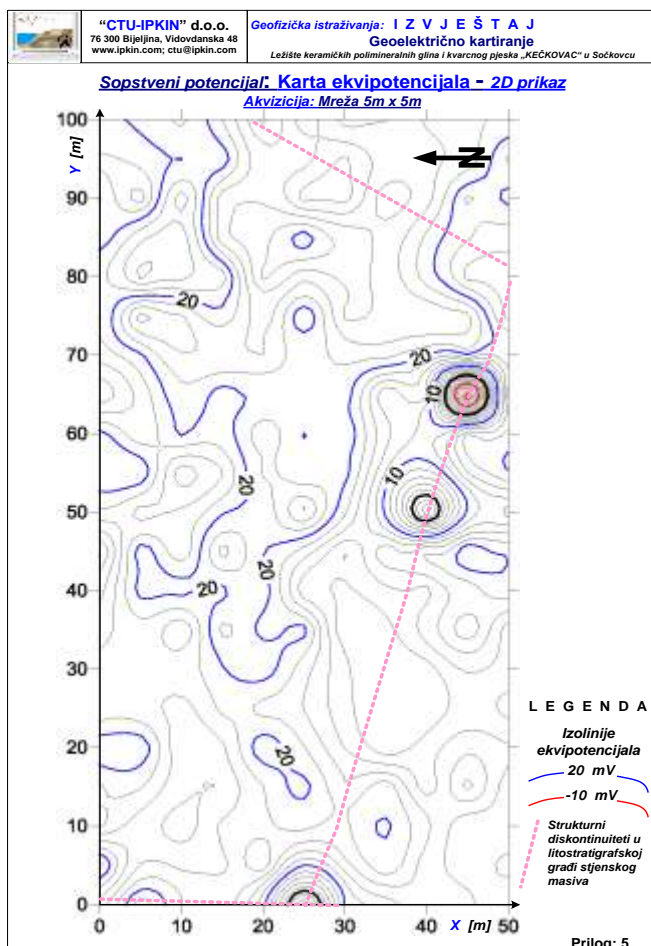
- **Geologija:** Identifikacija strukturno-tektonske građe stjenskog masiva, identifikacija položaja i uslova zaljevanja rudnih tjela kod sulfidnih ležišta
- **Hidrogeologija:** Kvantitativna ocjena hidrogeoloških karakteristika i uslova u stjenskom masivu istražnog prostora, određivanje pravca i smjera filtracionog toka podzemnih voda (*bitne informacije i podaci pri definisanju zaštitnih zona od zagađivanja podzemnih izdani*),
- **Inženjerska geologija:** Gruba ocjena inženjersko-geoloških uslova stjenskog masiva u zoni istražnog prostora,
- **Geomehanika:** Informacije kvantitativnog nivoa za potrebe zoniranja terena u cilju uzorkovanja stjenskog materijala pri detaljnim geomehaničkim ispitivanjima.

- **Primjeri iz prakse:**

- Pr. 1: Ležište podzemne vode - Hidrogeologija - 2D i 3D prikaz ekvipotencijala istražnog prostora



- Pr. 2: Ležište poliminerálnih glina – Inženjerska geologija - 2D i 3D prikaz ekvipotencijala istražnog prostora



## ➤ 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.

#### ○ Metodologija istraživanja

##### ✓ 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 dobija 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.*

##### ✓ 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.

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 kanal*).

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.

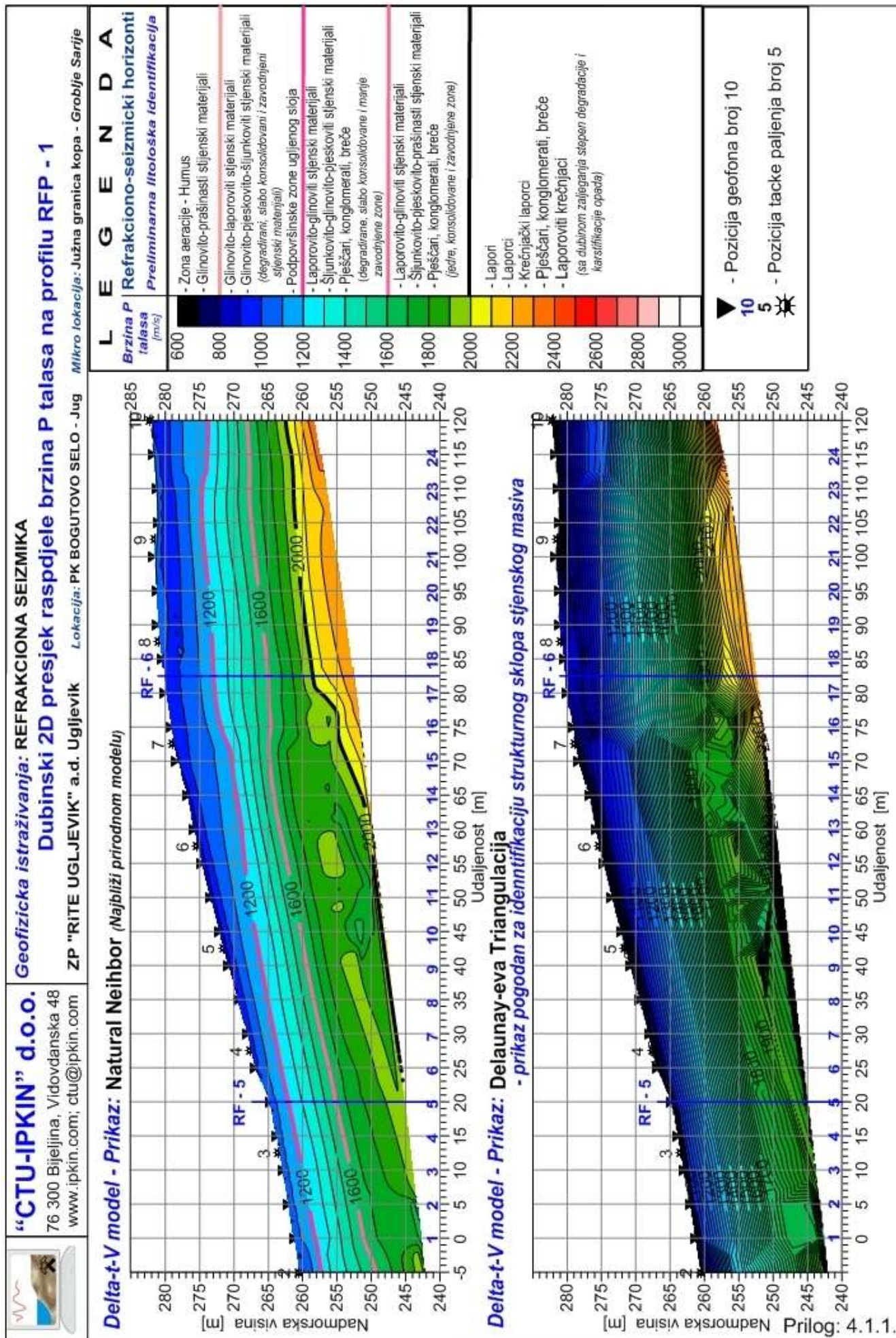
#### ○ Oblast primjene:

- **Geologija:** Litostratigrafska identifikacija stjenskog materijala u stjenskom masivu istražnog prostora, identifikacija strukturno-tektonske građe stjenskog masiva,

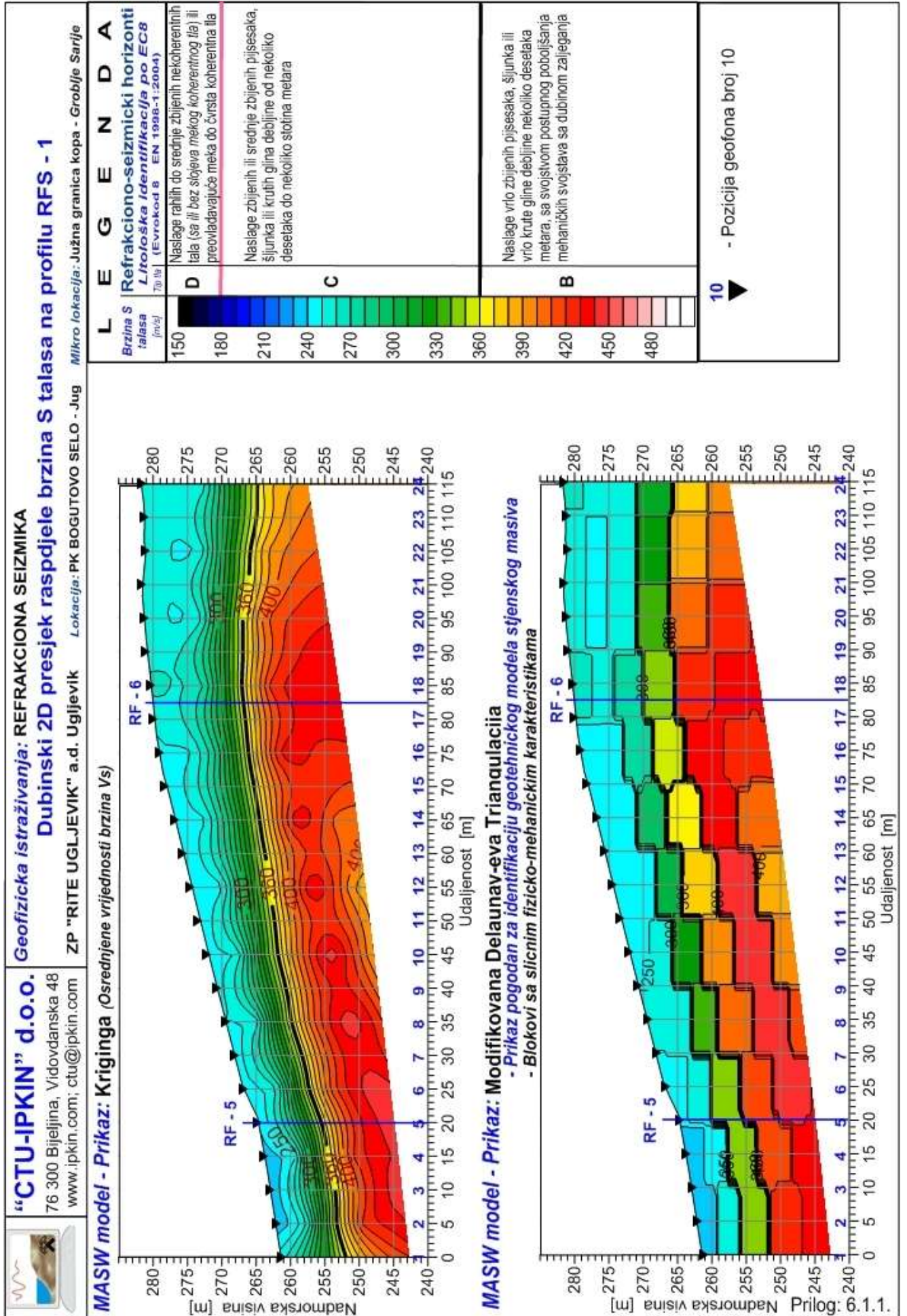


- **Hidrogeologija:** Kvantitativna ocjena hidrogeoloških karakteristika i uslova registrovanih litstratigrafskih članova u stjenskom masivu istražnog prostora,
  - **Inžinjerska geologija:** Kvantitativna ocjena inžinjersko-geoloških uslova stjenskog masiva u zoni istražnog prostora, a za potrebe seizmičkih rejonizacija (*makro i mikro*) definiše se dubina zaljevanja osnovne stijene i određuju komplementarni fizičko-mehanički parametri tremorskim mjerenjima pri određivanju priraštaja seizmičnosti usljed rezonantnih karakteristika podpovršinskih slojeva tla.
  - **Geomehanika:** Definisane dinamičkih fizičko-mehaničkih parametara stjenskih masa, a putem korelacionog povezivanja sa statičkim fizičko-mehaničkim parametrima vrši se njihov transfer u cjelokupne segmente stjenskog masiva u kojima zalježu registrovani refrakciono-seizmički horizonti iz kojih su uzeti uzorci za statička geomehanička ispitivanja.
- **Primjeri iz prakse:**

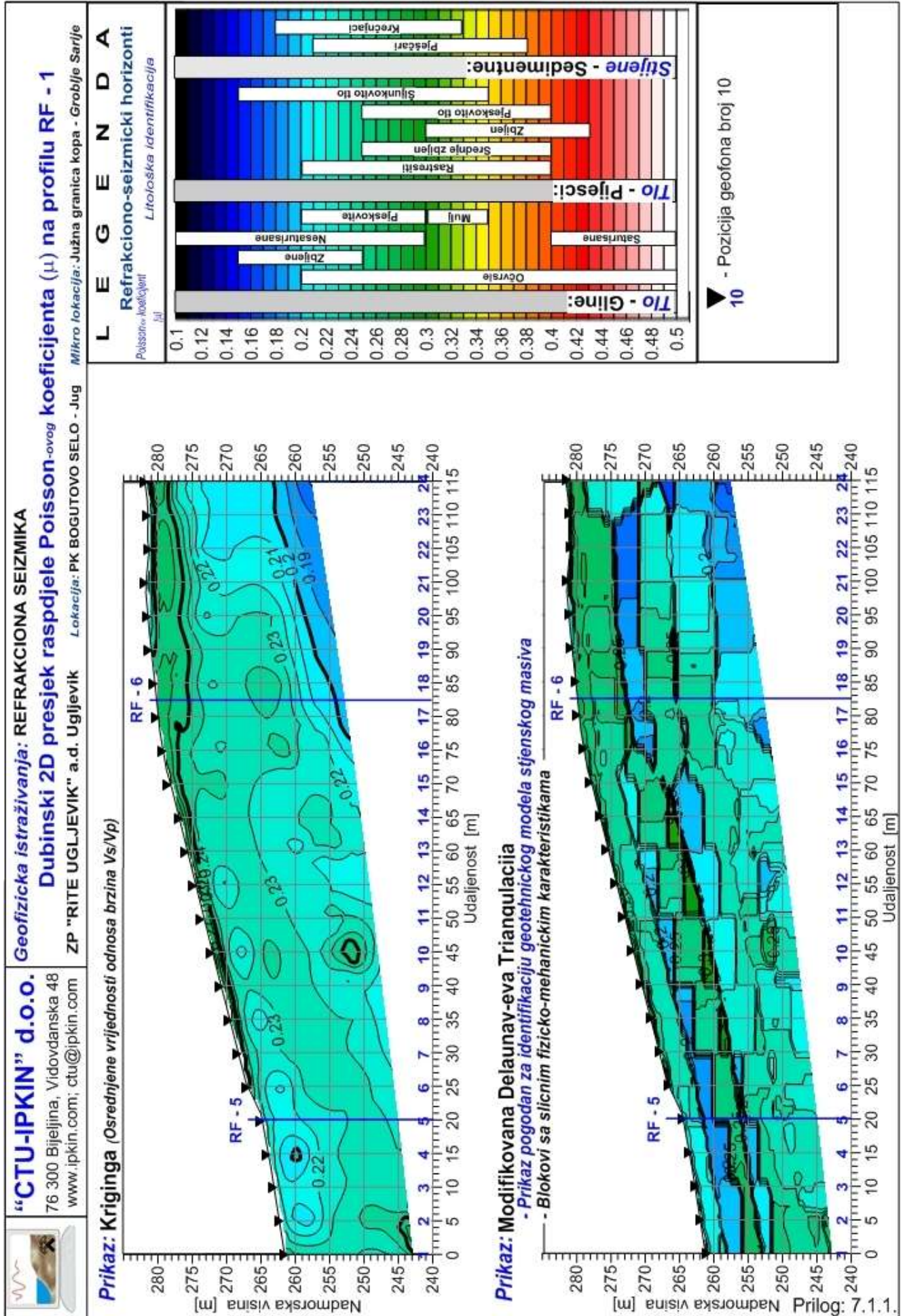
Pr. 1: Ležište uglja - Inženjerska geologija – Dubinska 2D raspodjela brzina uzdužnih „P“ talasa



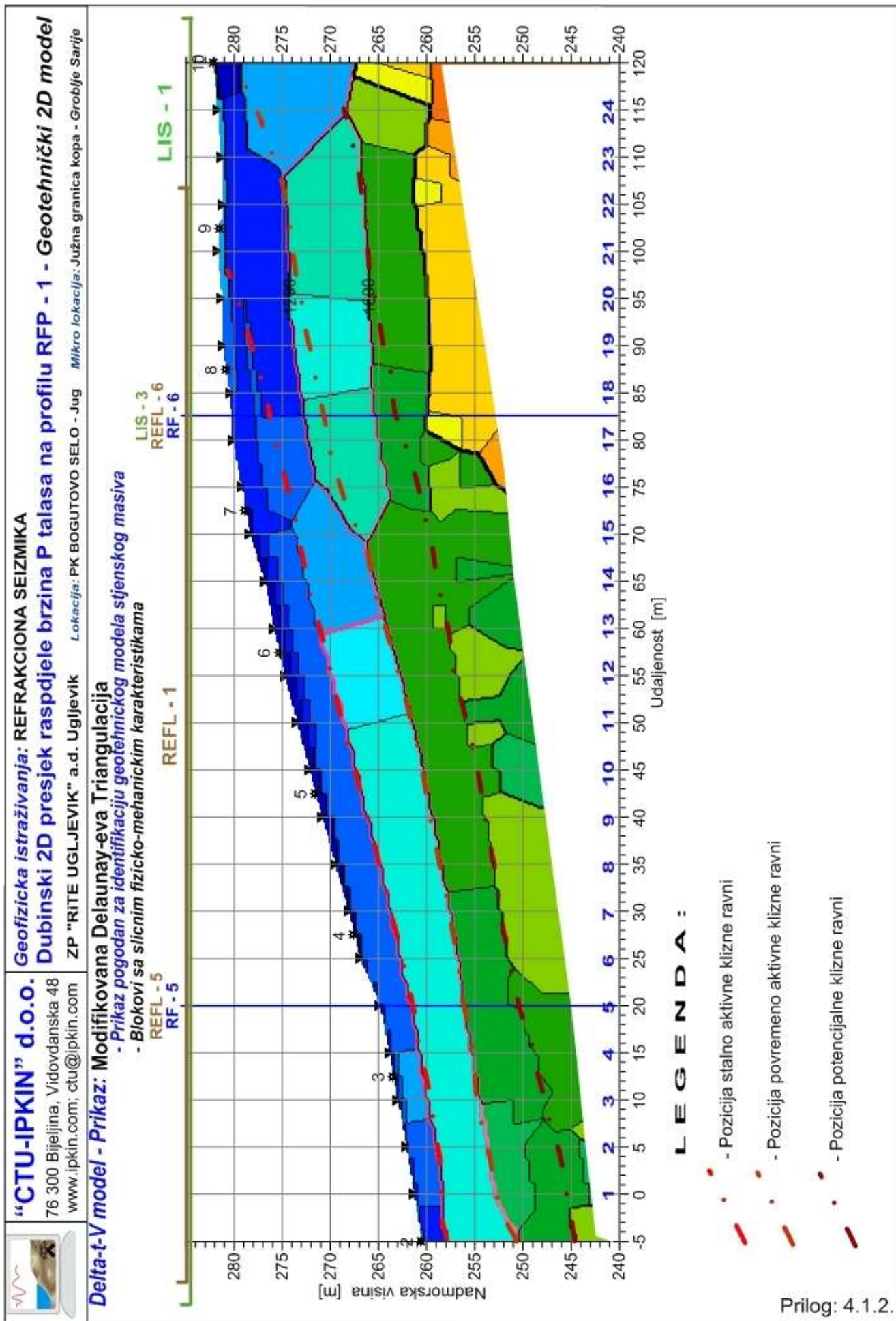
Pr. 2: Ležište uglja - Inženjerska geologija – Dubinska 2D raspodjela brzina uzdužnih „S“ talasa



Pr. 3: Ležište uglja - Inženjerska geologija – Dubinska 2D raspodjela Poisson-ovog koeficijenta „ $\mu$ “



Pr. 4: Ležište uglja - Inženjerska geologija – Prikaz dubinske 2D raspodjele brzina uzdužnih „P“ talasa pogodan za identifikaciju geotehničkog modela stijenskog masiva



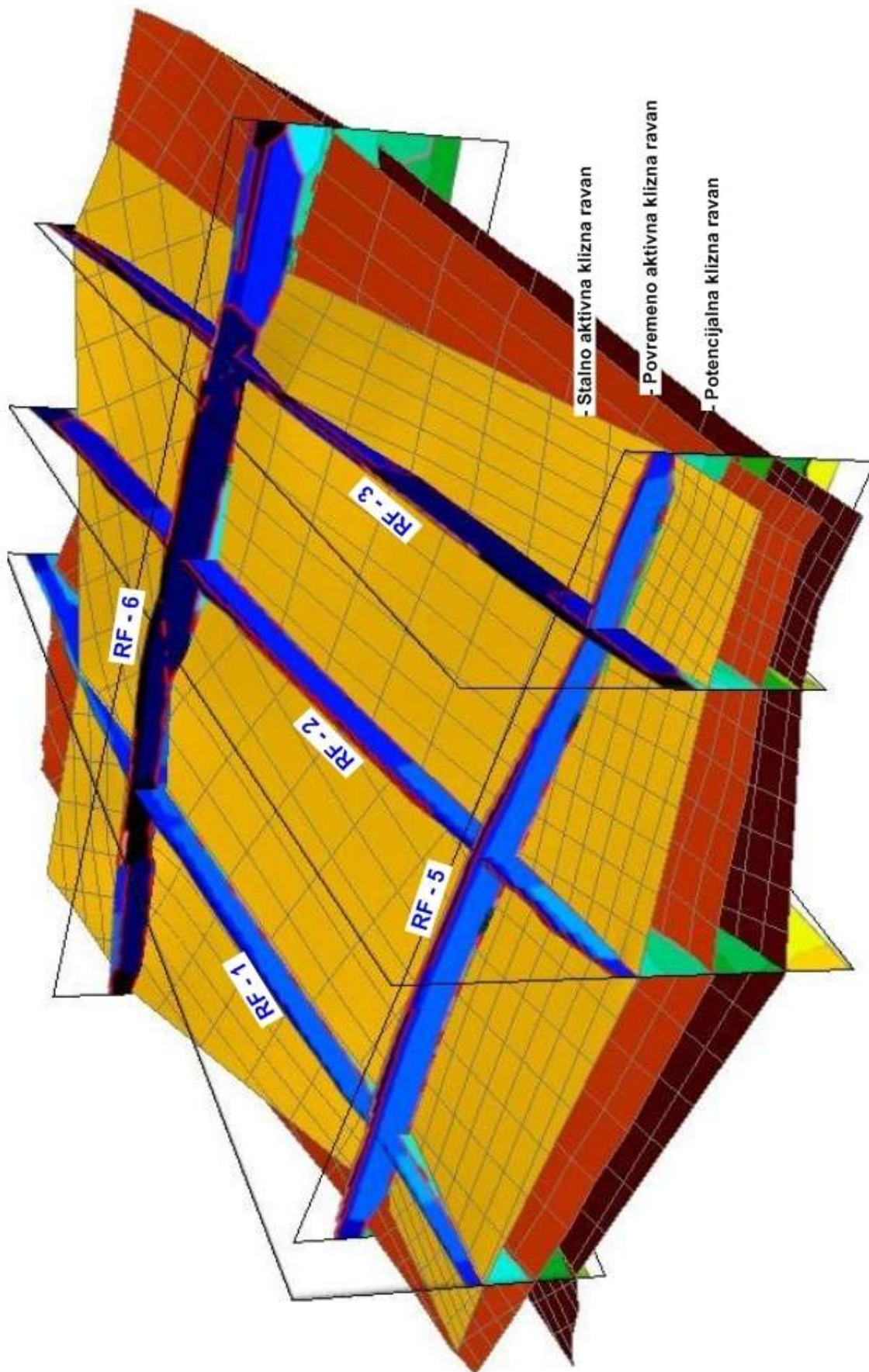
Pr. 5: Ležište uglja - Inženjerska geologija – Prikaz dubinskih 2D presjeka refrakciono-seizmickih profila u 3D modelu stjenskog masiva istražnog prostora

Geofizička istraživanja: REFRAKCIONA SEIZMIKA  
Prikaz dubinskih 2D presjeka geotehničkih modela u 3D modelu stjenskog masiva  
ZP "RITE UGLJEVIK" a.d. Ugljevik Lokacija: PK BOGUTOVO SELO - Jug Mikro lokacija: Južna granica kopa - Groblje Sarlje

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



3D dispozicija zaljeganja i morfologija stalno aktivne klizne ravni



Prilog: 5.1.

- **Metoda plitke reflektivne seizmike**

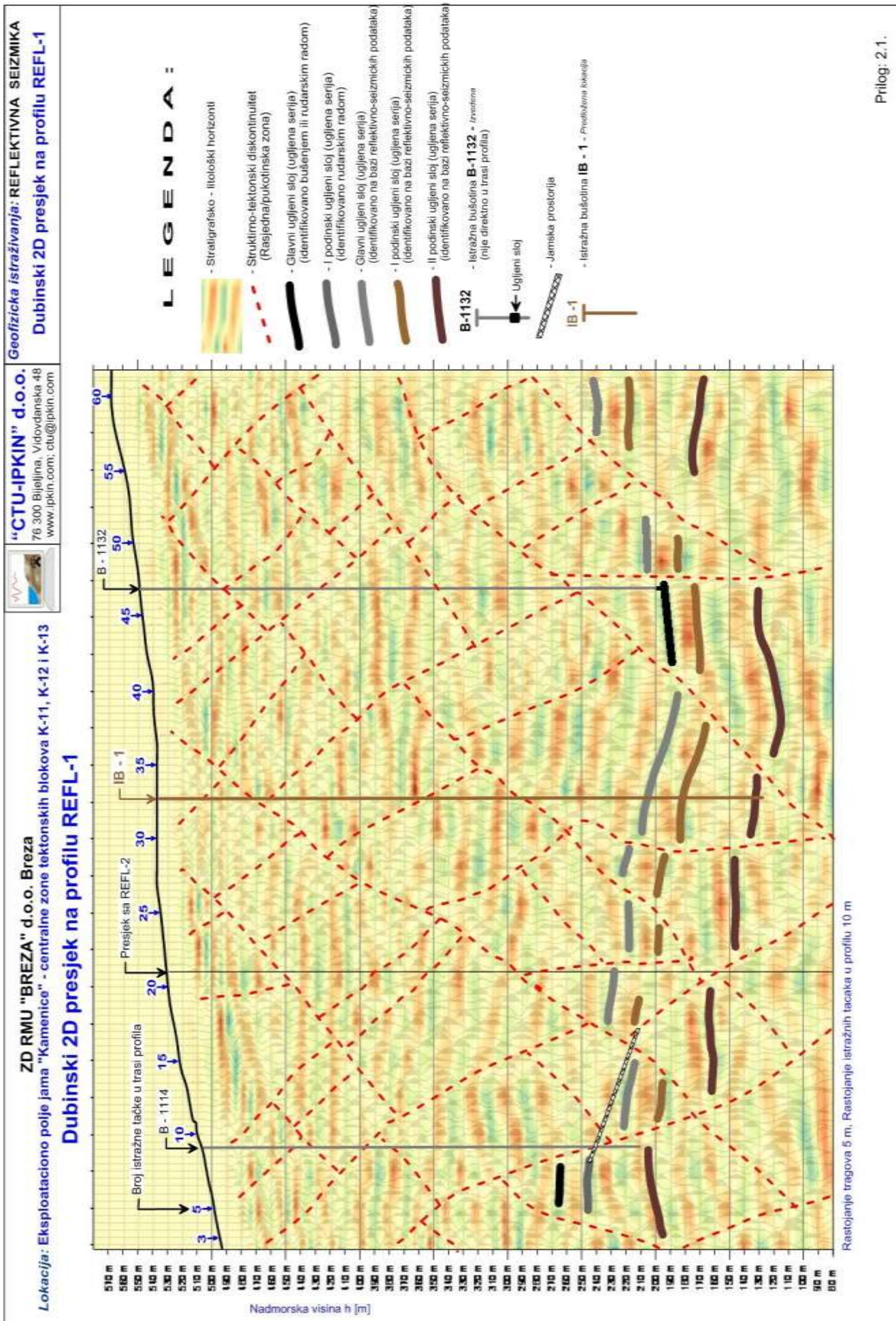
Zahvaljući intenzivnom razvoju elektronike koji je omogućio izradu veoma osjetljivih geofizičkih instrumenata namjenjenih za seizmička istraživanja, odnosno seizmičkih aparatura koje služe za terenska mjerenja i pohranjivanje podataka za kasniju obradu i s druge strane razvoju personalnih računara velike 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:** Definisane 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:**

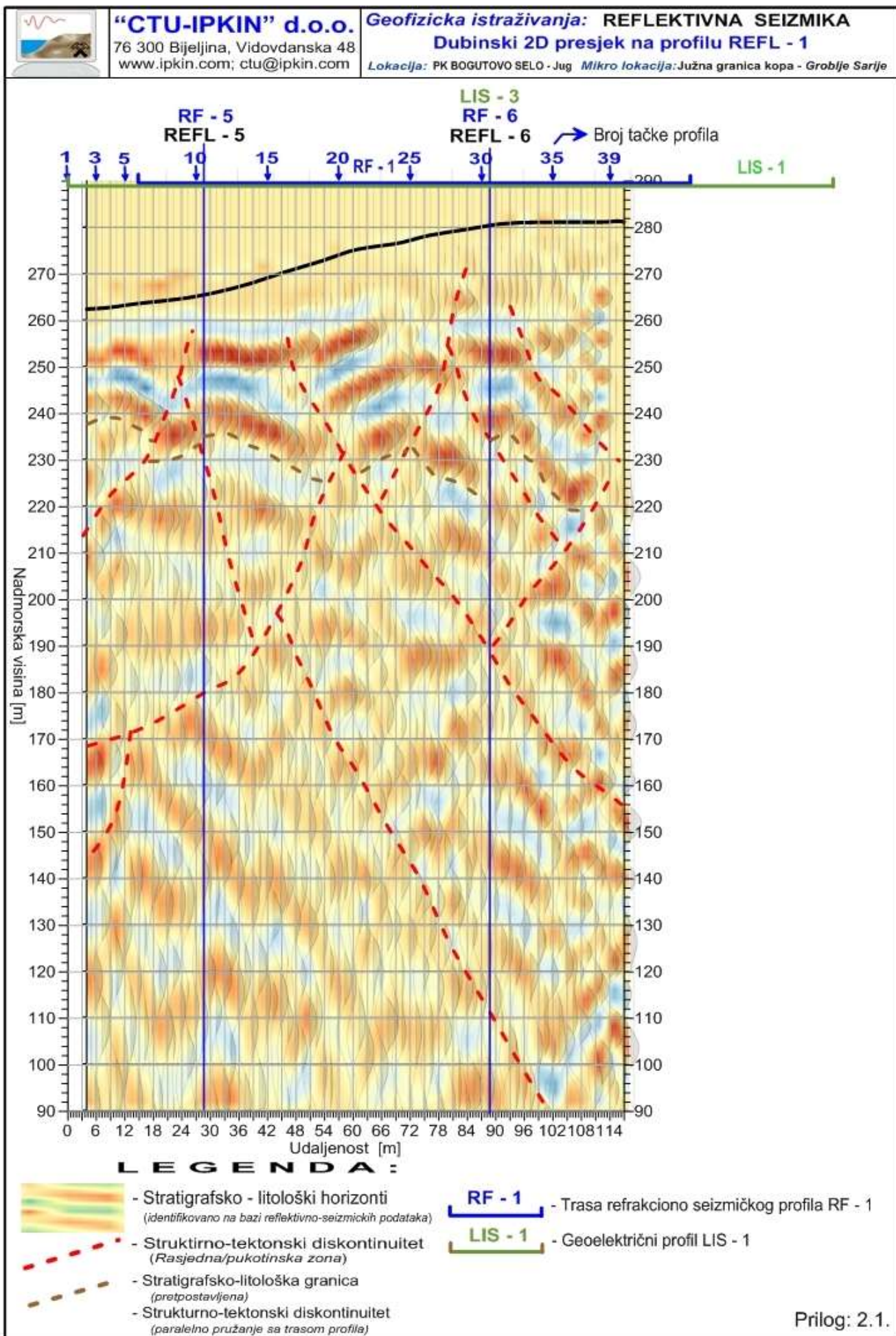
Pr. 1: Ležište uglja - Geologija – Dubinski 2D presjek stjenkog masiva u trasi reflektivno seizmičkog profila



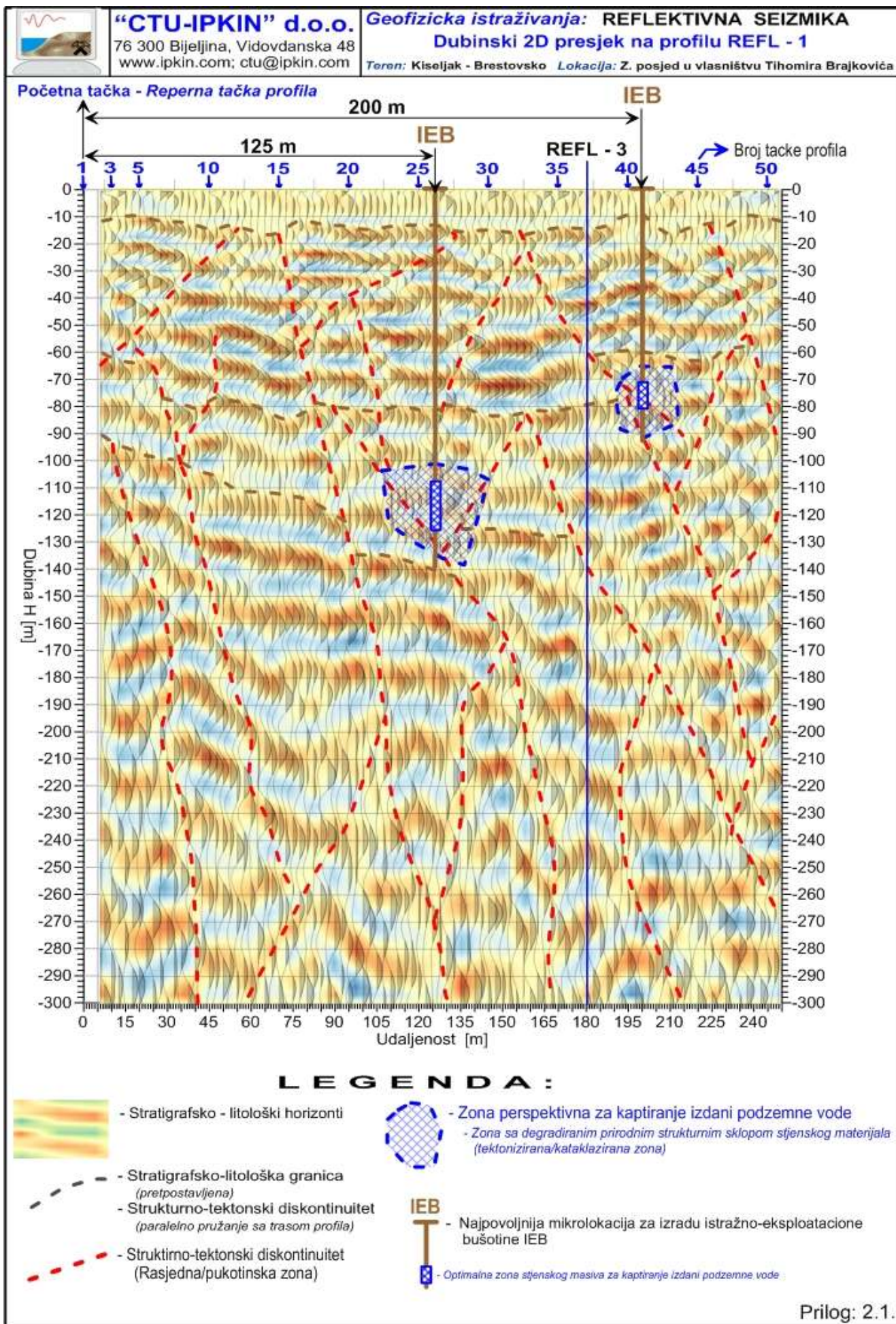
Prilog: 2.1.



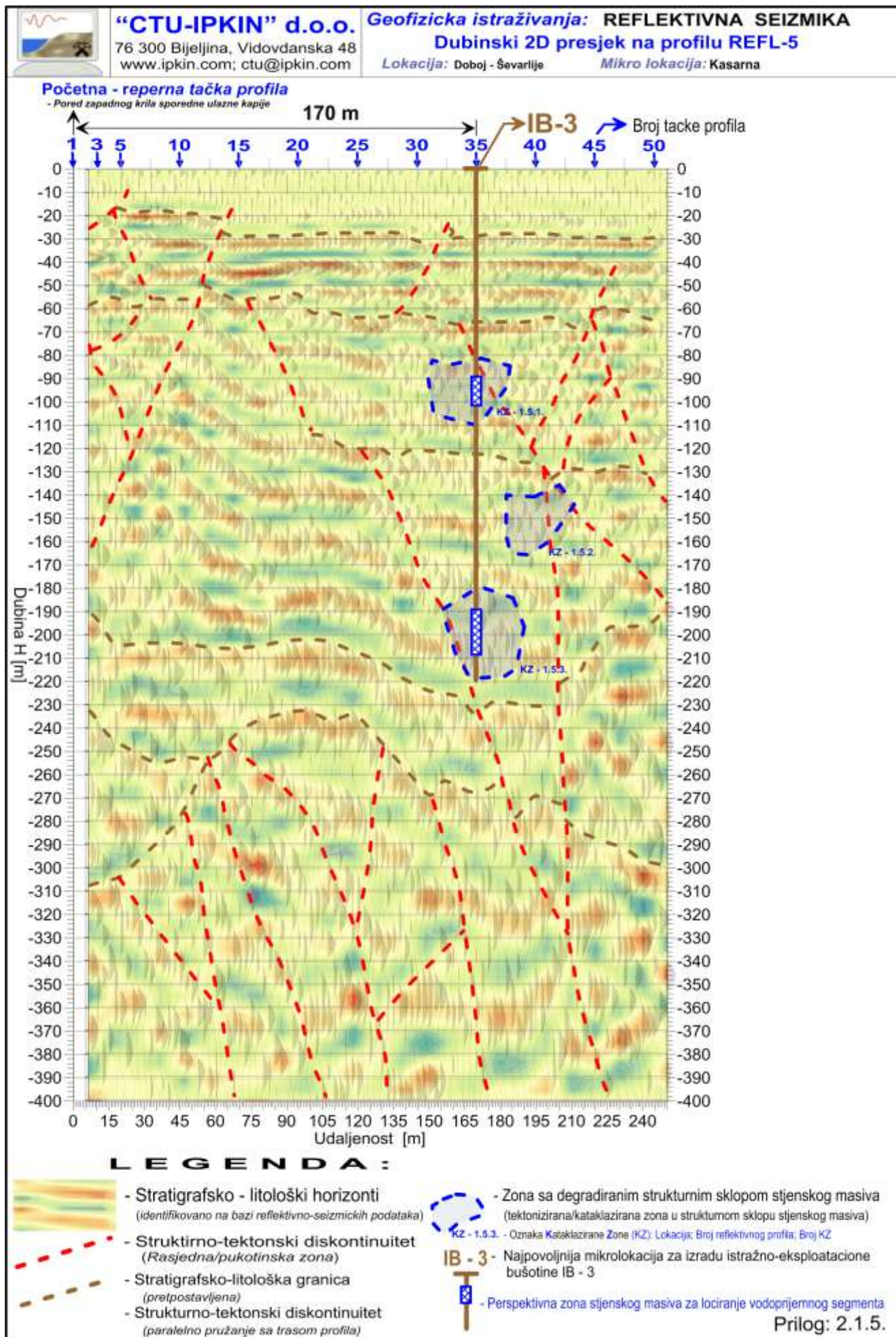
Pr. 2: Ležište uglja – Inženjerska geologija – Dubinski 2D presjek stjenjenskog masiva u trasi reflektivno seizmičkog profila



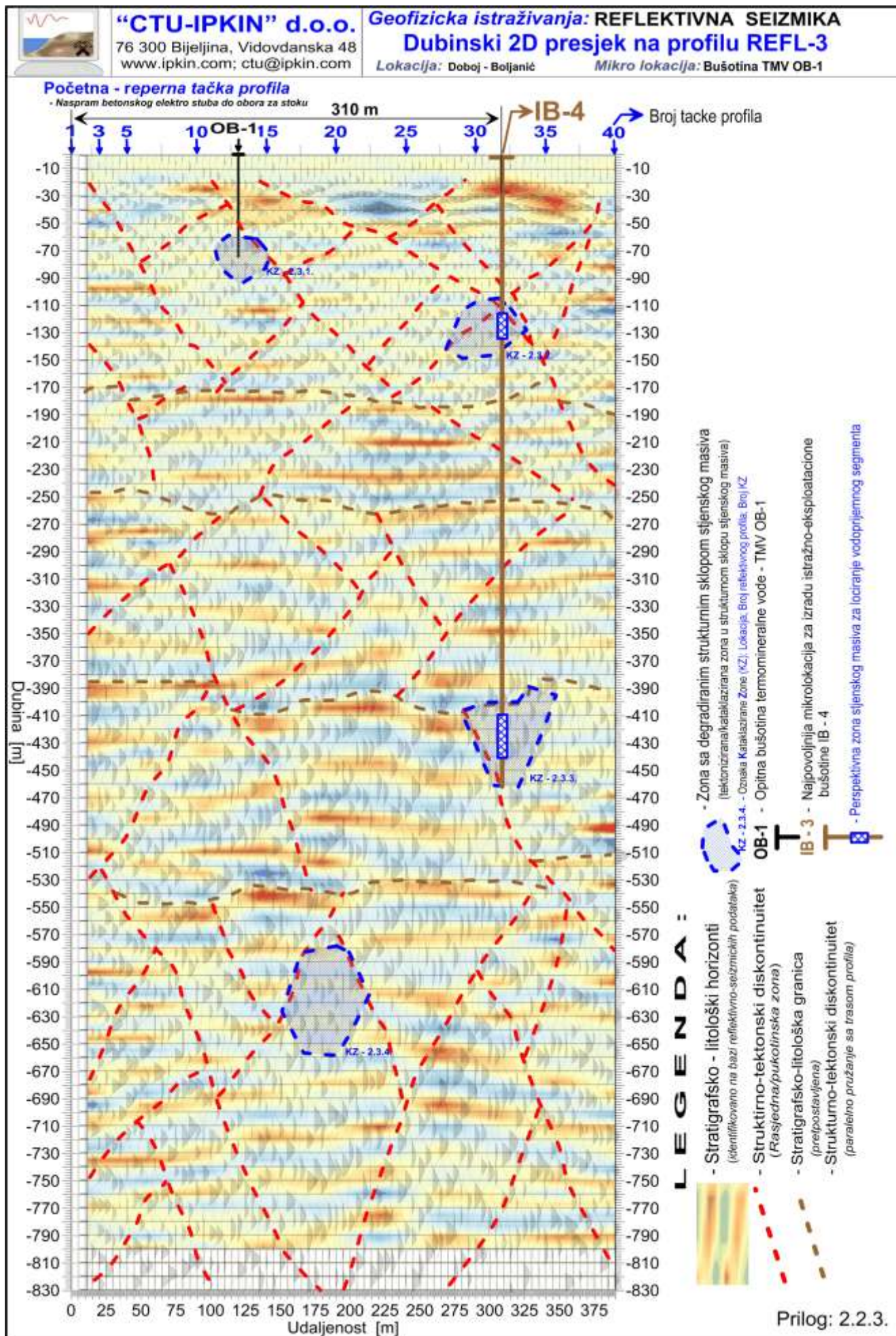
Pr. 3: Ležište podzemne vode – Hidrogeologija – Dubinski 2D presjek na profilu REFL - 1



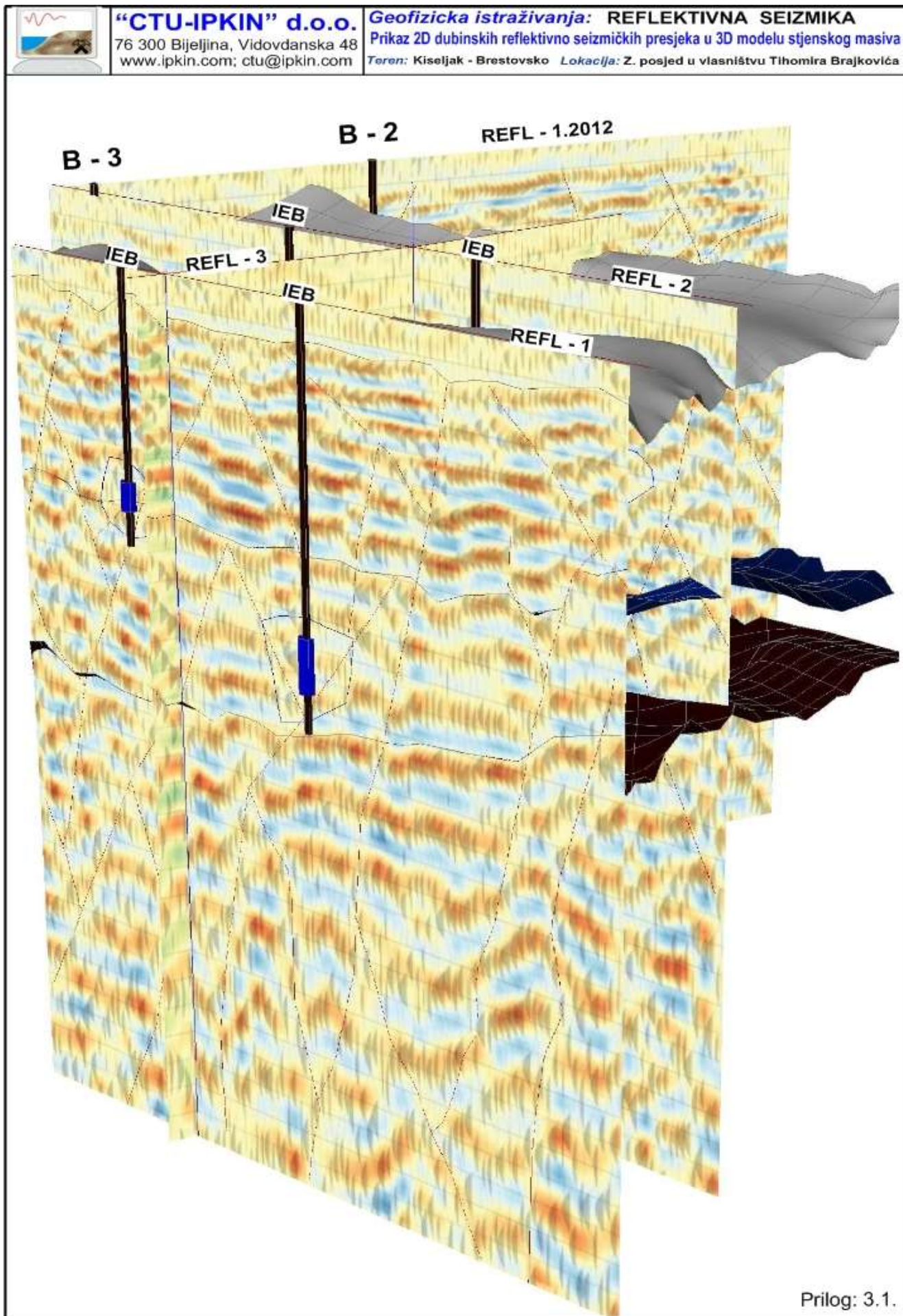
Pr. 4.1: Geotermalna energija – Hidrogeologija – Dubinski 2D presjek stjenskog masiva u trasi reflektivno seizmičkog profila



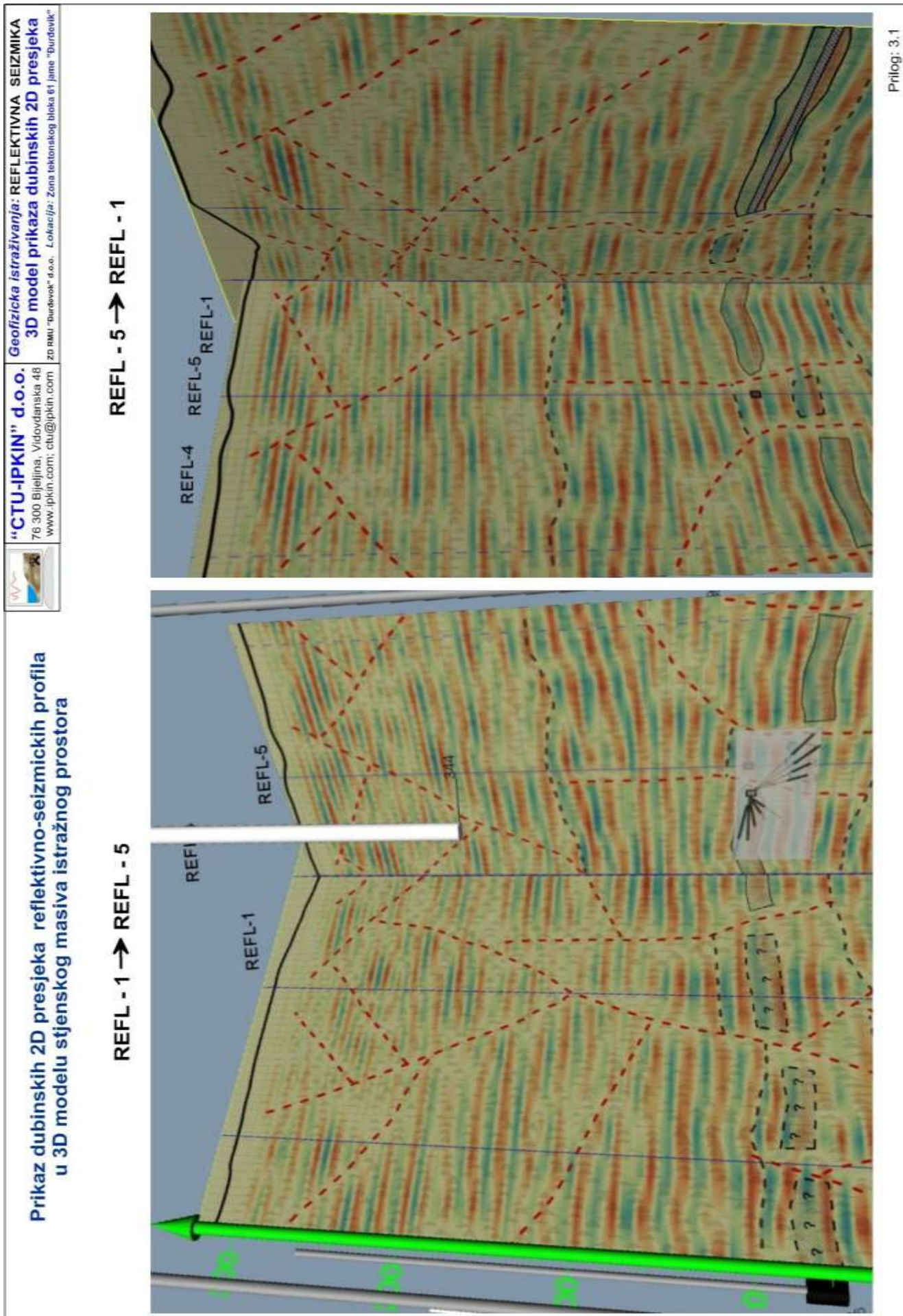
Pr. 4.2: Geotermalna energija – Hidrogeologija – Dubinski 2D presjek stjenkog masiva u trasi reflektivno seizmičkog profila



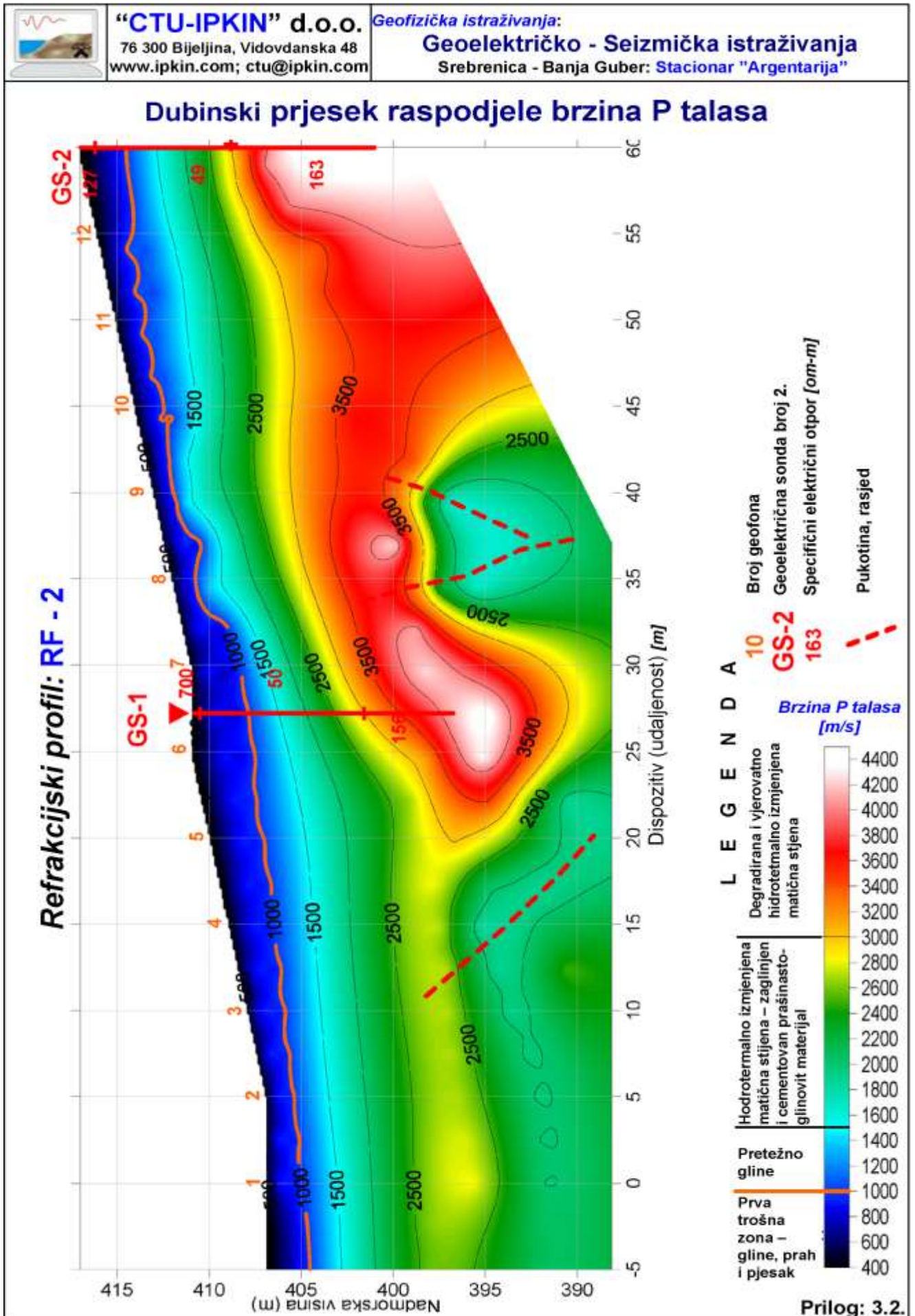
Pr. 5: Ležište podzemne vode – Hidrogeologija – 3D prikaz dubinskih 2D presjeka stijenskog masiva u trasamai reflektivno seizmičkih profila u zoni istržnog prostora



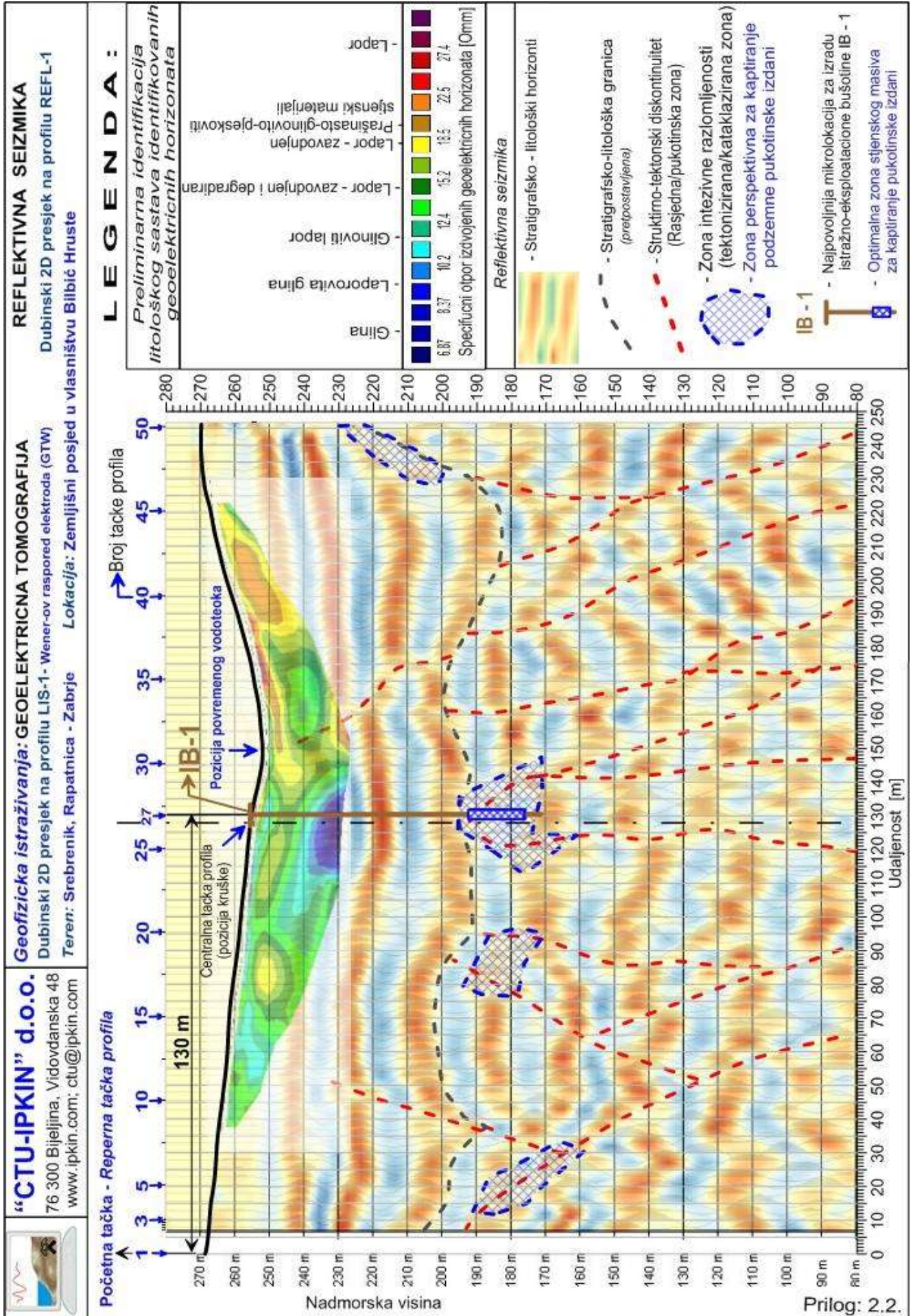
Pr. 6: Ležište uglja – Geologija – 3D prikaz dubinskih 2D presjeka stjenskog masiva u trasamai reflektivno seizmičkih profila u zoni istržnog prostora



- Pr. 7: Ležište podzemne vode – Hidrogeologija – Prikaz integrisanog dubinskog presjeka na istražnom profilu po metodi vertikalnog geoelektričnog sondiranja i refrakciono-seizmičke Delta t-V metode



– Pr. 8: Ležište podzemne vode – Hidrogeologija – Prikaz integrisanog dubinskog presjeka na istražnom profilu po metodi goelektrične tomografije i metode reflektivne seizmike.





## ➤ Seizmološke metode istraživanja

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.

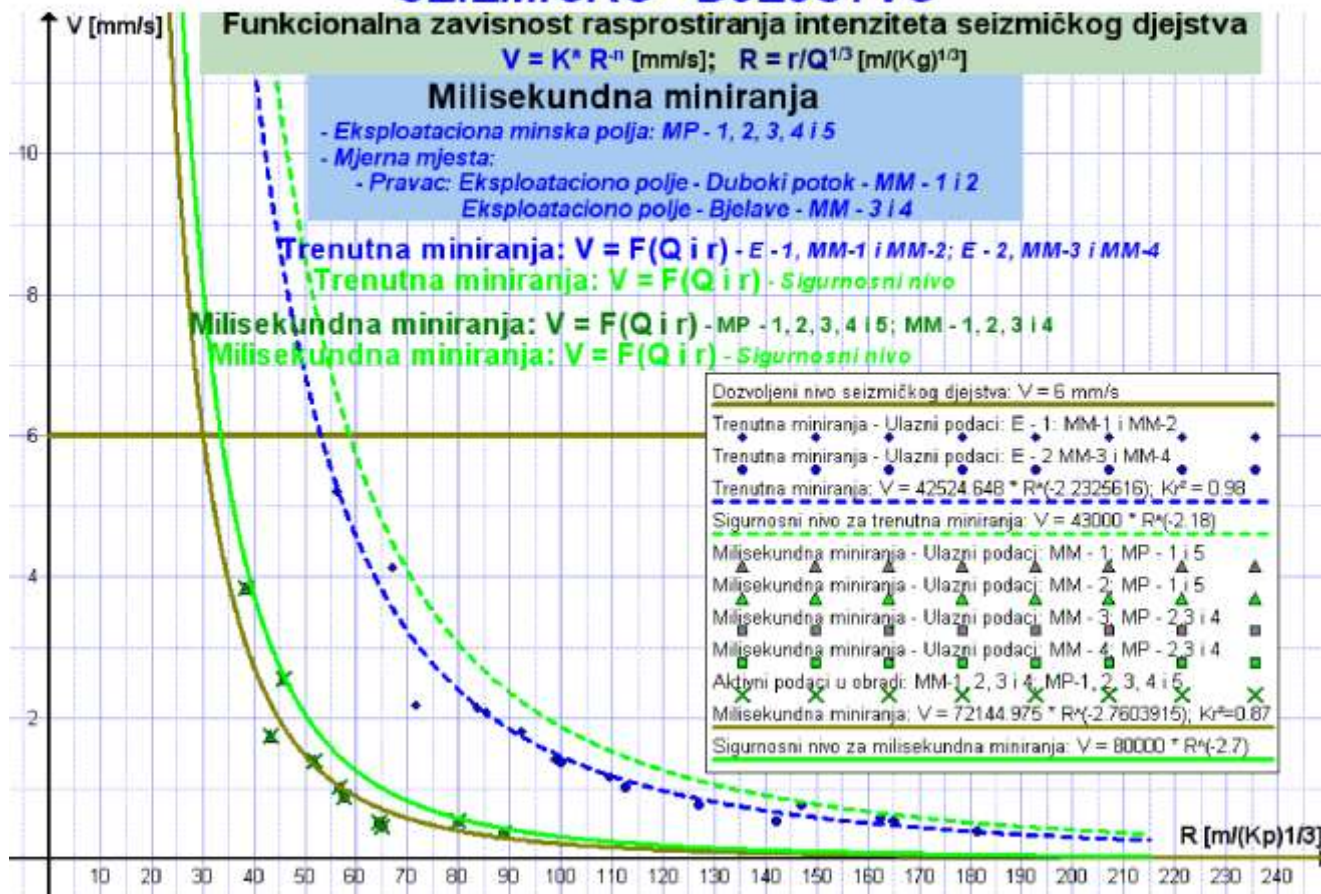
Negativni uticaji tehnologije bušenja i miniranja koja se koristi u proizvodnim procesima eksploatacije ležišta mineralnih sirovina na životnu i radnu sredinu i infrastrukturne i stambene građevinske objekte u urbanim zonama koje neposredno gravitiraju zoni eksploatacionog polja ispoljavaju se u vidu:

- **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**

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

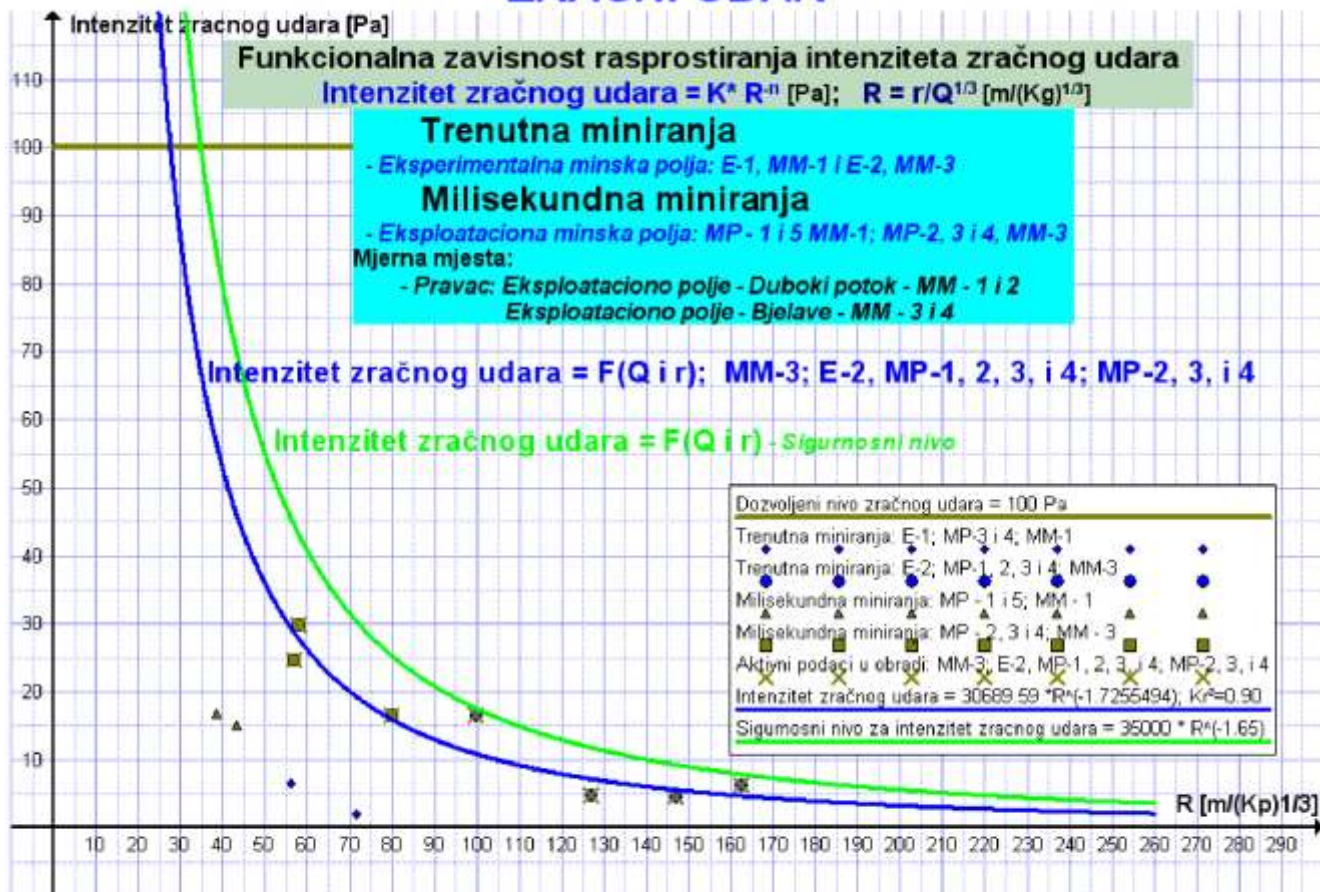
## ➤ Milisekundna miniranja

### SEIZMICKO DJEJSTVO



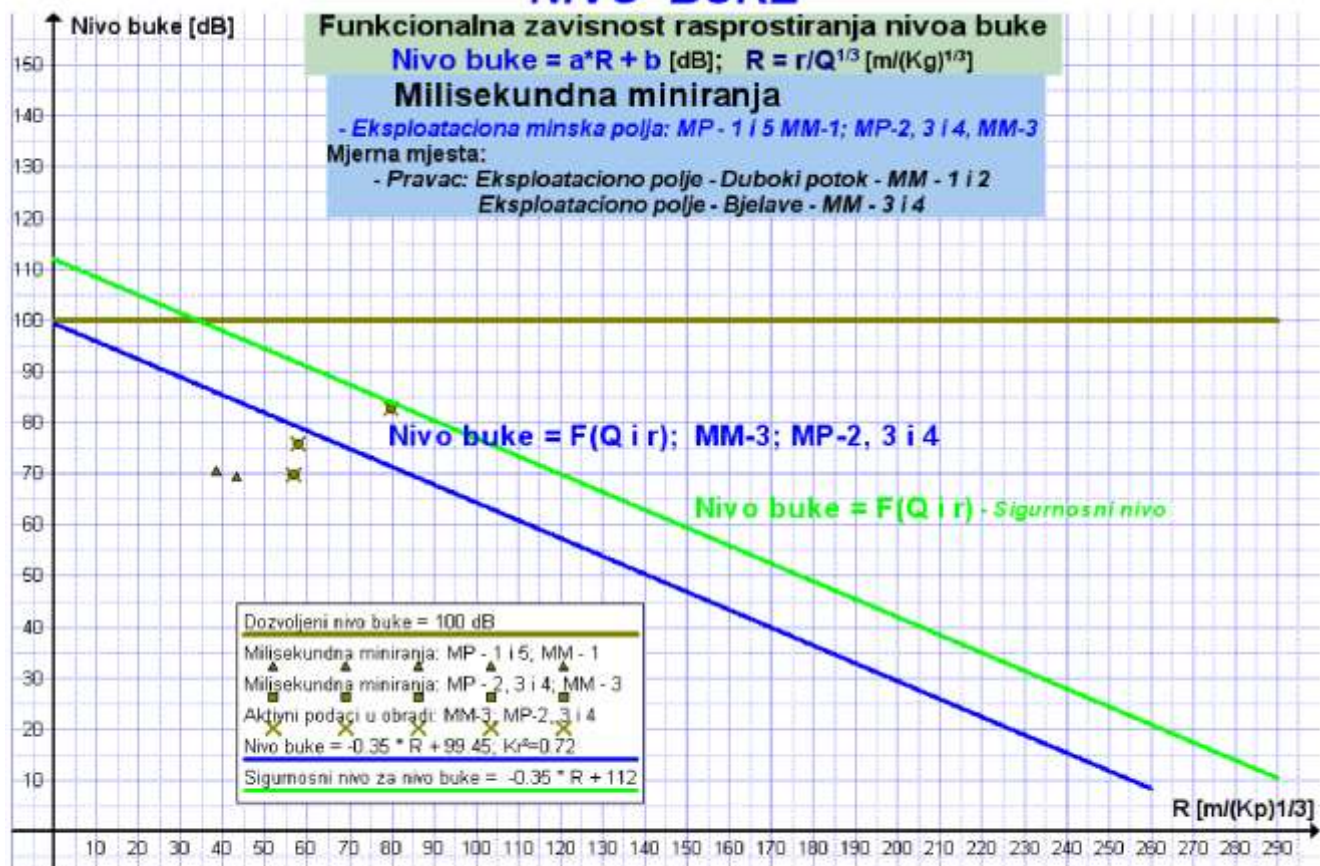
Slika 2. Milisekundna miniranja: Funkcionalna zavisnost rasprostiranja intenziteta seizmičkog dejstva

## ZRACNI UDAR



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

## NIVO BUKE

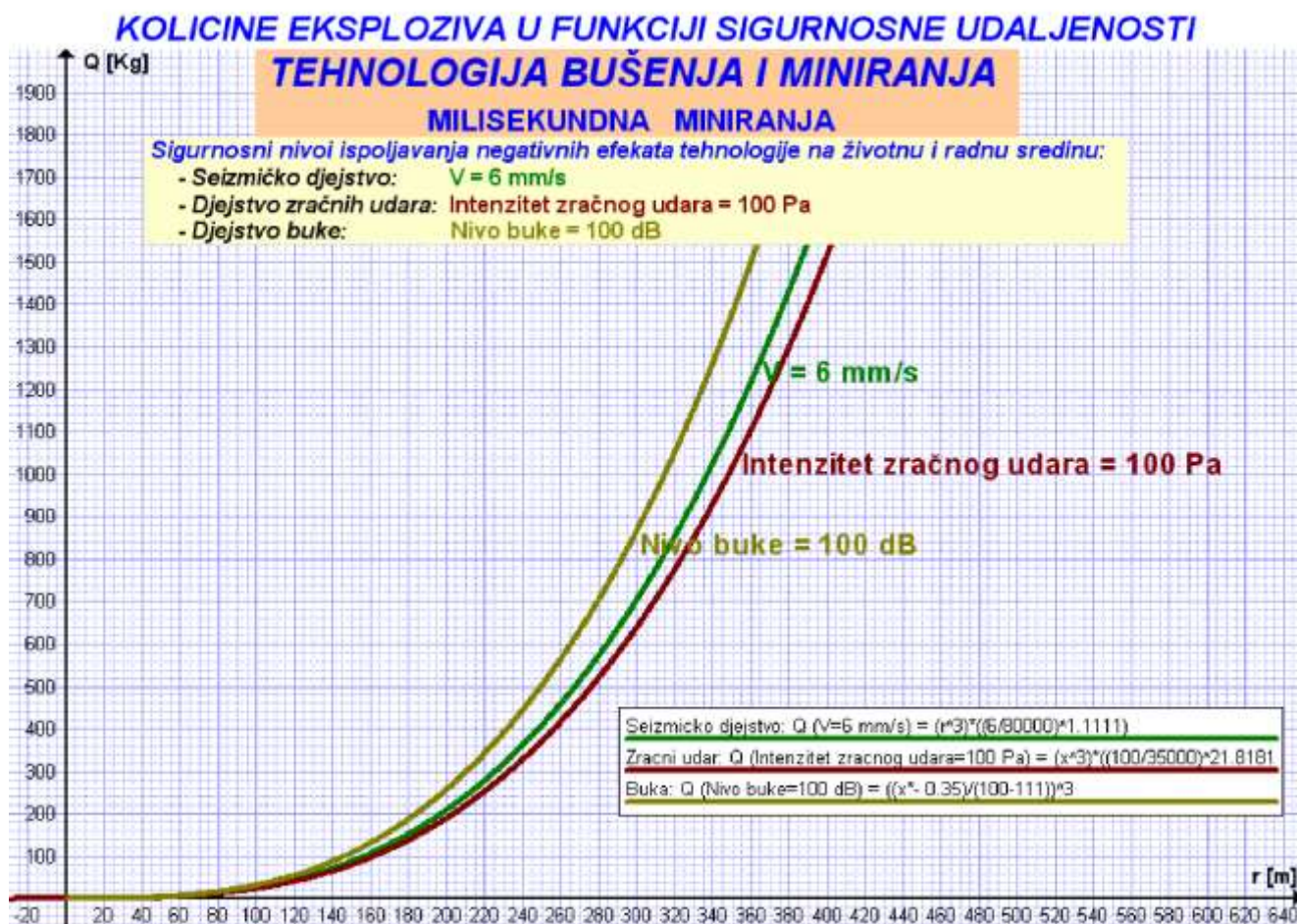


Slika 4. Milisekundna miniranja: Funkcionalna zavisnost rasprostiranja buke

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

▪ **Dijagramski prikaz seizmički bezbjednih količina eksploziva**

- Seizmičko dejstvo,
- Dejstvo zračnih udara,
- Dejstvo buke.



**Slika 6. Dijagram bezbjednih količina eksploziva pri milisekundnim miniranjima za: seizmičko dejstvo, zračne udare i buku**

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

▪ **Tabelarni prikaz seizmički bezbjednih količina eksploziva**

Tabela: 3.

Sigurnosna udaljenost $r [m]$	Trenutna miniranja		Milisekundna miniranja		
	Po intervalu usporenja		Seizmičko dejstvo	Zračni udar	Buka
	Seizmičko dejstvo $V = 0.6 \text{ cm/s}$ $Q [Kg]$	Seizmičko dejstvo $V = 0.5 \text{ cm/s}$ $Q [Kg]$	Seizmičko dejstvo $V = 0.6 \text{ cm/s}$ $Q [Kg]$	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

	<b>"CTU-IPKIN" d.o.o.</b> 76 300 Bijeljina Vidovdanska 48	www.ipkin.com ctu@ipkin.com	<b>Geofizička istraživanja: Nadzorni monitoring</b> <b>Seizmički efekti miniranja</b> A.D. "ROMANIJAPUTEVI" Sokolac - Kamenolom "DUB"
	(Empty space for additional information)		

**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.TQ0

**Notes**

Naručilac: A.D. "ROMANIJAPUTEVI" Sokolac  
 Lokacija: Kamenolom "DUB"  
 Izvodjac: DOO "CTU-IPKIN" Bijeljina  
 Istraživac: Dr Zivojin Ansenovic, dipl. Inz.

**Post Event Notes**

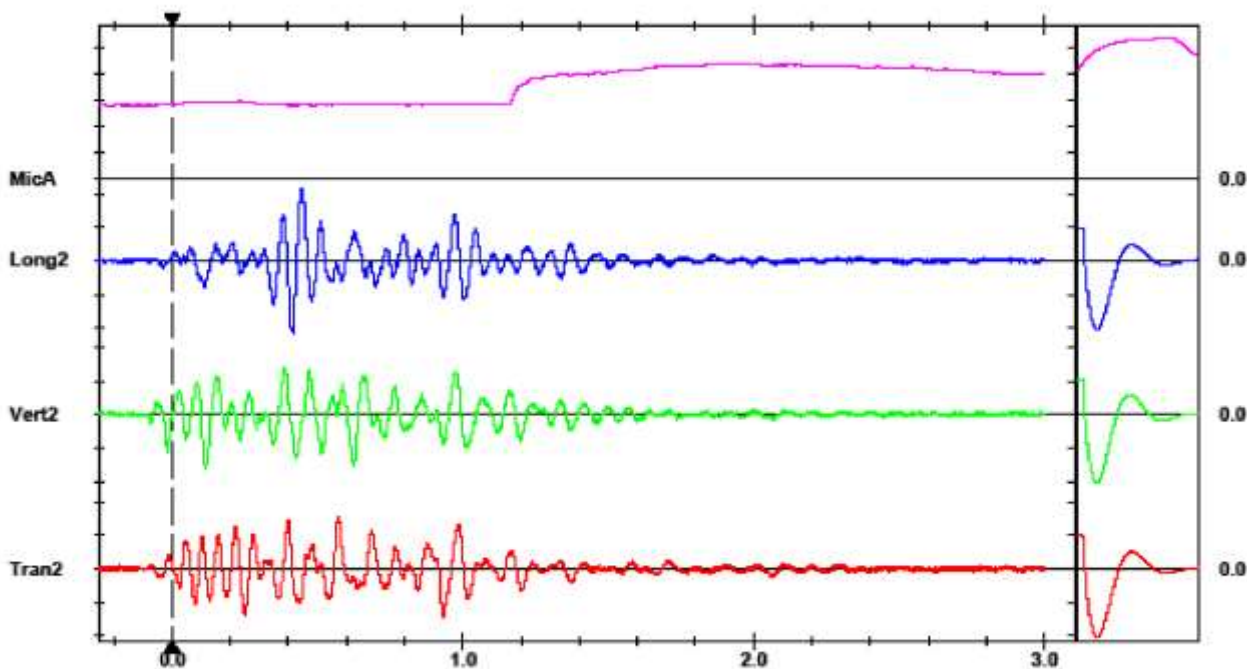
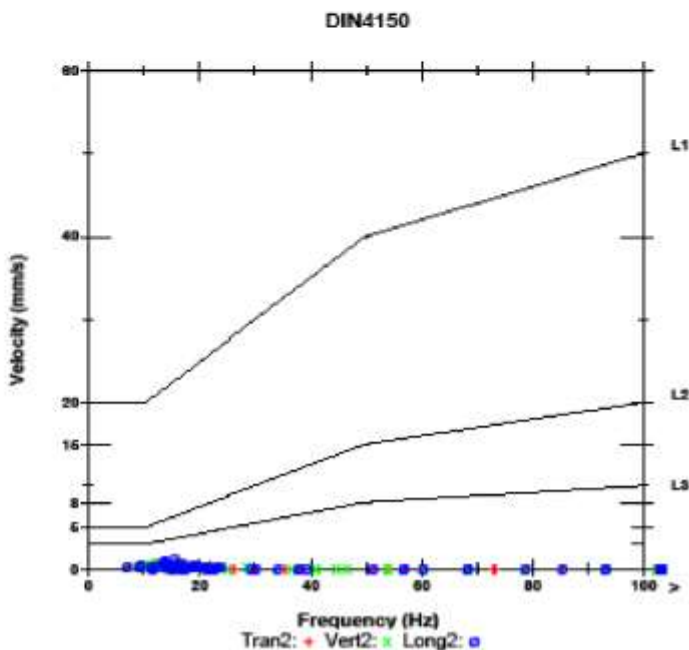
MM - 1 Kolska vaga - Triaksijalni geofon  
 + Mikrofon „L“ i Mikrofn „A“  
 MM - 2 Most - Triaksijalni geofon

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 mv)

	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



Sensorcheck