

Geološka interpretacija podataka električne tomografije na području Orebića

Rukavec, Domagoj

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:704764>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-14**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij geološkog inženjerstva

**GEOLOŠKA INTERPRETACIJA PODATAKA ELEKTRIČNE TOMOGRAFIJE NA
PODRUČJU OREBIĆA**

Diplomski rad

Domagoj Rukavec
GI 265

Zagreb, 2018.

GEOLOŠKA INTERPRETACIJA PODATAKA ELEKTRIČNE TOMOGRAFIJE NA
PODRUČJU OREBIĆA

DOMAGOJ RUKAVEC

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geofizička istraživanja i rudarska mjerenja
Pierottijeva 6, 10002 Zagreb

Sažetak

Od 2. do 8. rujna provedeno je geofizičko istraživanje na području općine Orebić. Cilj istraživanja bio je odrediti litološke i strukturne odnose podzemlja terena u svrhu određivanja hidrogeološkog potencijala terena. Koristila se metoda električne tomografije. Izmjeren je ukupno 8 km duljine tomografskih profila. Podaci prikupljeni na terenu obrađeni su softverom RES2DINV te geološki interpretirani. Prema prijašnjim istraživanjima na tom području nalaze se kredne i eocenske naslage. Rezultati prikazuju kako je podzemlje istraživanog područja okarakterizirano navlakom gornjokrednih vapnenaca preko eocenskih lapora. Njihov odnos definiran je reversnim rasjedom. Na temelju geološke interpretacije korigirana je geološka karta koja se zasnivala na prijašnjem geološkom kartiranju. Korekcije se uglavnom odnose na položaj rasjeda te njegovo pružanje kroz podzemlje.

Ključne riječi: električna tomografija, inverzni i geološki profili, hidrogeološki potencijal, litološki i strukturni odnosi, reversni rasjed, vapnenac, lapor

Diplomski rad sadrži: 27 stranica, 14 slika, 1 tablicu, 11 priloga i 18 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Voditelj: Dr. sc. Franjo Šumanovac, redoviti profesor, RGNF

Ocjenjivači: Dr. sc. Franjo Šumanovac, redoviti profesor, RGNF
Dr. sc. Jasna Orešković, docent, RGNF
Dr. sc. Davor Pavelić, redoviti profesor, RGNF

Datum obrane: 19. siječnja 2018.

Faculty of Mining, Geology
and Petroleum Engineering

GEOLOGIC INTERPRETATION OF ELECTRICAL TOMOGRAPHY DATA IN THE AREA OF OREBIĆ

DOMAGOJ RUKAVEC

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum engineering
Department of geophysical exploration and mine surveying,
Pierottijeva 6, 10 002 Zagreb

Abstract

From September 2nd to September 8th a geophysical research was carried out in the area of community Orebić. The aim of the research was to determine the lithological and structural relationships of the ground underground in order to define hydrogeological potential of the terrain. The method of electrical tomography was used. A total of 8 km of tomographic profile length was measured. Field data are processed in the RES2DINV software and geologically interpreted. According to previous researches in this area, there are Cretaceous and Eocene deposits. The results show that the underground of the area is characterized by the coverage of Upper Cretaceous limestones through Eocene marl. Their relationship is defined by a reverse fault. On the basis of geological interpretation, a geological map was corrected, based on previous geological mapping. The corrections are mainly related to the position of the fault and the movement of his plane through the underground.

Keywords: electrical tomography, inverse and geological profiles, hydrogeological potential, lithological and structural relationships, reverse fault, limestone, marl

Thesis contains: 27 pages, 14 figures, 1 table, 11 appendixes and 18 references.

Original in: croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: PhD Franjo Šumanovac, Full Professor, RGNF

Reviewers: PhD Franjo Šumanovac, Full Professor, RGNF
PhD Jasna Orešković, Assistant Professor, RGNF
PhD Davor Pavelić, Full Professor, RGNF

Date of defense: January 19, 2018.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentoru dr. sc. Franji Šumanovcu na prihvaćanju mentorstva te dobronamjernim primjedbama i prijedlozima koji su poboljšali kvalitetu ovoga rada. Također mu se zahvaljujem na pruženoj prilici za izvannastavnim terenskim radom koji je uvelike poboljšao moje shvaćanje uzrečice „u geofizici je naglasak na fizici“.

Zahvaljujem se dr. sc. Jasni Orešković i dr. sc. Davoru Paveliću na velikoj pristupačnosti, korisnim sugestijama i pregledu rada u kratkom roku.

Zahvaljujem se Saši Kolaru na društvu i strpljivom vodstvu prilikom iscrpnog terenskog postupka kojem smo zajedno prisustvovali. Također se zahvaljujem kolegi Iliji Ravnjaku koji je skupa sa nama bio na terenu i učinio ga lakše izdrživim.

Zahvaljujem se asistentici Heleni Vučenović na prijateljskom odnosu prilikom diplomskog studija i pruženoj prilici za izvannastavnim radom u laboratoriju.

Zahvaljujem se svim ostalim kolegama, posebno kolegama Miškiću, Brletiću i Tumari, te prijateljima, posebno kumu Lovri, koji su na bilo koji način sudjelovali u mom studiranju.

Zahvaljujem svojoj obitelji, mami Matiji, tati Tomislavu, seki Veroniki, braci Karlu i baki Mariji na izuzetnoj potpori svih vrsta prilikom studija. Bez njihove potpore ništa od ovoga ne bi bilo moguće. Također zahvaljujem i ostatku obitelji koji je uvijek pokazivao zanimanje i interes o napretku mog studija, pogotovo mojoj sestrični Andreji i njenom suprugu Peri iz njima znanih razloga.

Na kraju svoju veliku zahvalu dugujem svojoj zaručnici Klaudiji. Bez njene prisutnosti, koja me je na mnoge načine izgradila, nikada ne bih ovako uspješno završio studij niti bio osoba kakva jesam.

SADRŽAJ

| | |
|--------------------------------------|----|
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA | 2 |
| 2.1. Geografske karakteristike | 2 |
| 2.2. Geološke karakteristike | 3 |
| 3. GEOELEKTRIČNA ISTRAŽIVANJA | 6 |
| 3.1. Električna otpornost..... | 6 |
| 3.2. Metode otpornosti..... | 8 |
| 3.2.1. Teoretske osnove | 8 |
| 3.3. Električna tomografija | 11 |
| 3.3.1. Geometrija mjerenja | 11 |
| 3.3.2. Tomografska inverzija..... | 12 |
| 3.3. Instrumenti i mjerenje..... | 15 |
| 4. TERENSKI POSTUPAK | 17 |
| 5. REZULTATI | 20 |
| 6. DISKUSIJA | 24 |
| 7. ZAKLJUČAK..... | 25 |
| 8. LITERATURA | 26 |

POPIS SLIKA

| | |
|---|----|
| Slika 2-1. Orebić i Stanković (izvor: Google Earth) | 2 |
| Slika 2-2. Satelitska snimka istražnog područja mjerila 1:10 000 (izvor: Google Earth) | 3 |
| Slika 2-3. Isječak lista Korčula Osnovne geološke karte SFRJ-a mjerila 1:100 000 s prikazanim istraživanim područjem (Korolija et al., 1968)..... | 4 |
| Slika 3-1. Definicija otpornosti | 6 |
| Slika 3-2. Približni rasponi otpornosti nekih stijena (Šumanovac, 1998) | 7 |
| Slika 3-3. Raspored struje i potencijala u homogenoj sredini oko izvora na površini | 8 |
| Slika 3-4. Četveroelektrodni raspored | 10 |
| Slika 3-5. Primjeri najčešćih elektrodnih rasporeda | 10 |
| Slika 3-6. Geometrija mjerenja za dvodimenzionalnu električnu tomografiju uporabom Wennerova rasporeda | 12 |
| Slika 3-7. Utjecaj elektrodnog rasporeda na mjerenu pseudosekciju (Loke, 1997) | 13 |
| Slika 3-8. Raspored blokova za računanje 2D modela | 14 |
| Slika 3-9. Sustav LIS | 15 |
| Slika 4-2. Vađenje opreme prije mjerenja | 19 |
| Slika 4-3. Raslinje na potezu profila (primjer teških terenskih uvjeta) | 19 |

POPIS TABLICA

| | |
|--|----|
| Tablica 4-1. Koordinate elektroda na svakih 100 metara profila | 18 |
|--|----|

POPIS PRILOGA

PRILOG 1. Geološki interpretiran profil P-1

PRILOG 2. Geološki interpretiran profil P-2

PRILOG 3. Geološki interpretiran profil P-3

PRILOG 4. Geološki interpretiran profil P-4

PRILOG 5. Geološki interpretiran profil P-5

PRILOG 6. Geološki interpretiran profil P-6

PRILOG 7. Geološki interpretiran profil P-7

PRILOG 8. Geološki interpretiran profil P-8

PRILOG 9. Geološki interpretiran profil P-9

PRILOG 10. Geološki interpretiran profil P-10

PRILOG 11. Korigirana karta i karakterističan profil P'

1. UVOD

Istraživani teren nalazi se na području općine Orebić smještenoj na poluotoku Pelješcu. U periodu od 2. do 8. rujna 2017. godine provedena su geofizička istraživanja od strane Zavoda za geofizička istraživanja i rudarska mjerenja Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Cilj je bio odrediti litološke i strukturne odnose u podzemlju terena u svrhu određivanja hidrogeološkog potencijala terena.

Istraživanja su izvedena metodom električne tomografije kojom su kartirani litološki i strukturni odnosi do dubine od 130 metara s ciljem određivanja potencijalnih lokacija za crpljenje vode. Metoda je odabrana zbog mogućnosti kontinuiranog pokrivanja podzemlja u dvodimenzionalnom prostoru te zbog dobrih rezultata koje daje na krškim terenima (Šumanovac i Weisser, 2001), kakav je i istraživani. Izvedeno je ukupno 8 km profila električne tomografije.

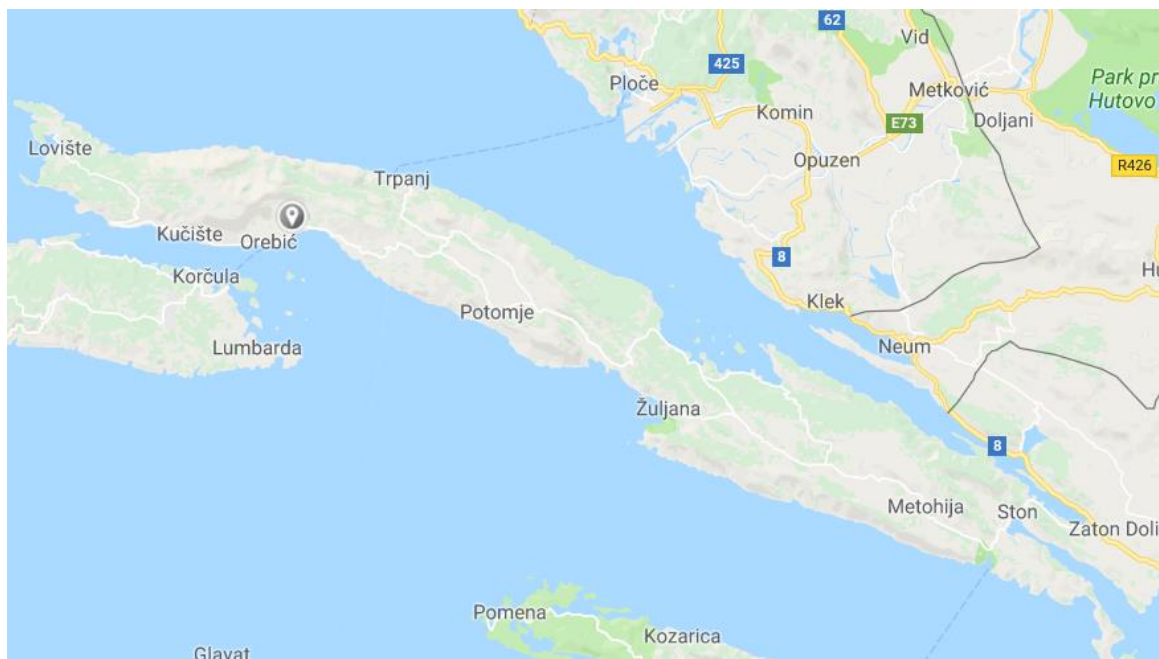
Prividne otpornosti, mjerene na terenu i prikazane u obliku „pseudosekcije“, obrađene su tomografskom inverzijom u softveru RES2DINV te su na temelju dobivenih profila otpornosti u podzemlju i pregledom Osnovne geološke karte za istraživano područje (Korolija et al., 1968) izvedeni geološki profili u svrhu boljeg shvaćanja geologije područja.

Osnovna geološka karta za istraživano područje (Korolija et al., 1968) izrađena je na temelju regionalnog i površinskog kartiranja, a kako se u ovom slučaju radi o lokalnom i preciznom istraživanju, osim geoloških profila kao rezultat je prikazana i korigirana geološka karta te karakterističan profil povučen preko nje. Korekcije su temeljene na objektivnim podacima dobivenim električnom tomografijom.

2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

2.1. Geografske karakteristike

Općina Orebić nalazi se na jugozapadu poluotoka Pelješac ispod brda Svetog Ilije. Naselja u općini obuhvaćena istraživanjem su Orebić i Stanković. Njihov položaj na Pelješcu prikazan je na slici 2-1. Satelitski snimak istraživanog područja krupnijeg mjerila prikazan je na slici 2-2.



Slika 2-1. Orebić i Stanković (izvor: Google Earth)



Slika 2-2. Satelitska snimka istražnog područja mjerila 1:10 000 (izvor: Google Earth)

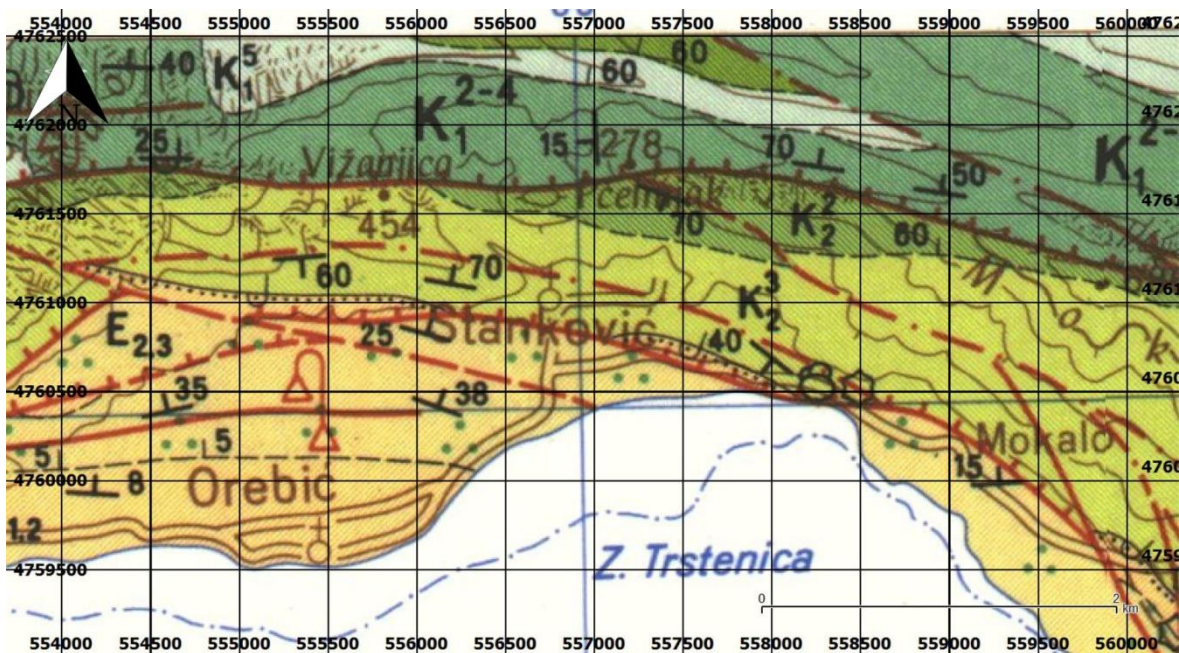
2.2. Geološke karakteristike

Na slici 2-3. prikazan je isječak lista Korčula osnovne geološke karte SFRJ-a mjerila 1:100 000 koji prikazuje istraživano područje (Korolija et al. 1968). Naslage koje izgrađuju istraživano područje uglavnom su karbonatnog razvoja i mogu se podijeliti u dvije skupine: gornjokredne i eocenske. Gornjokredne naslage sastoje se od vapnenaca turonske starosti te vapnenaca i dolomita senonske starosti.






Konkordantno uslojeni vapnenci turonske starosti kontinuirano naliježu na naslage cenomana. To su naslage koje izgrađuju veliki dio struktura na poluotoku Pelješcu i otocima uz njega. Stijene su klasificirane kao razni litotipovi vapnenaca, od kojih dolaze kalkarenit i kalcilutit. Debljina tih vapnenaca nije veća od 500 m.

Vapnenci i dolomiti senonske starosti naliježu na turonske naslage. To su prema litološkom sastavu uslojeni vapnenci u kojima dolaze znatno zastupljeni dolomiti. Vapnenci su biokalkareniti, kalcilutiti i biokalciruditi, dok su dolomiti nastali dijagenetskim postsedimentacijskim procesima iz vapnenaca, pa se susreću raznovrsni litološki prijelazi od vapnenačkih dolomita i dolomitičnih vapnenaca. Bogato su zastupljene razne vrste rudista. Debljina ovih naslaga iznosi oko 700 m.

Eocenske naslage otkrivene su na nekoliko mjesta na poluotoku Pelješcu, među kojima je i istraživani teren, a sastoje se od lapora i kalkarenita. Ove naslage leže diskordantno na erodiranoj krednoj podlozi. Kalkareniti su klasificirani kao biokalkareniti u kojima je dominantan organski detritus uglat i poluzaobljen, te povezan mikro do srednjezrnatim kalcitom. Debljina im je oko 200 m (Korolija et al., 1968).



LEGENDA

| | | | |
|-------------------------------|---|--|---|
| E _{2,3} | Lapori i kalkareniti (Pol- Pelješac); foraminiferske mikrobreče, pješčenjaci, siltiti, šejlovi i lapori (kopneni dio) |  | Elementi pada sloja: normalan i prevrnut |
| E _{1,2} | Foraminiferski, bioakumulirani vapnenci s miliolidama, alveolinama i numulitima |  | Trase slojevitosti praćene na terenu i konstruirane |
| K ₂ ³ | Uslojeni vapnenci s lećama ili proslojcima dolomita. Slabo uslojeni, gromadasti vapnenci s kršjem rudista. |  | Os prevrnute antiklinale i sinklinale |
| K ₂ ² | Uslojeni vapnenci. Uslojeni vapnenci s lećama dolomita. |  | Rasjed bez oznake karaktera |
| K ₁ ²⁻⁴ | Vapnenci, dolomitični vapnenci i dolomiti |  | Mikrofauna; mikroflora |

Slika 2-3. Isječak lista Korčula Osnovne geološke karte SFRJ-a mjerila 1:100 000 s prikazanim istraživanim područjem (Korolija et al., 1968)

U geomorfološkom smislu, poluotok Pelješac svojom strukturnom građom predstavlja nastavak kopnenog područja od kojeg je odvojen Stonskim morem. Obzirom na te okolnosti Pelješac je izdvojen kao jedinstvena tektonska jedinica, naglašene ljuskave

građe. Izdužene strukture pružanja sjeverozapad-jugoistok (dinaridsko pružanje) izgrađuju cijeli poluotok. Kompresija je bila snažnog intenziteta, tako da su donjokredne naslage došle u tektonski kontakt s različitim stratigrafskim članovima gornje krede. U sjeveroistočnom i istočnom dijelu poluotoka ističu se dvije ljuske, koje izgrađuju područje Kanala Malog Stona i otoka Šipan i Lopud. Najveći dio terena sjeverno od Orebića, od uvale Rasoha prema istoku do Trpnja, izgrađuju kredne naslage, koje su znatno nastisnute na kredno-tercijarnu ljusku Orebića, a ova je kod Orebića i istočne strane zatona Žuljana natisnuta na tercijarne vapnence.

Intenzitet tektonskih poremećaja rastao je od sjeveroistoka prema jugozapadu, tako da je tektonska slika onog dijela uz južnu obalu kompliciranija, što je ilustrirano brojnim poprečnim i dijagonalno položenim rasjedima.

3. GEOELEKTRIČNA ISTRAŽIVANJA

Električne metode se temelje na mjerenjima električnih svojstava stijena. S obzirom da nemaju sve stijene ista električna svojstva, njihovim određivanjem i interpretacijom možemo pretpostaviti geološku građu i sastav nekog terena. Metode se mogu podijeliti na one koje opažaju već postojeća, prirodna električna polja i metode koje opažaju umjetna odnosno izazvana električna polja. Struja se uvodi u zemlju konduktivnim ili induktivnim načinom te se opažaju pojave nastale tim izazvanim poljem. Metode otpornosti dominiraju u ovoj grupi, a među njima je i električna tomografija koja je korištena u ovom radu. S obzirom da su litologija naslaga, njihovo stanje (kompaktnost, raspucalost, šupljikavost), te kakvoća vode glavni faktori o kojima ovise mjerene otpornosti, ove metode se najčešće koriste u plićim inženjerskogeološkim i hidrogeološkim istraživanjima (Šumanovac, 2012).

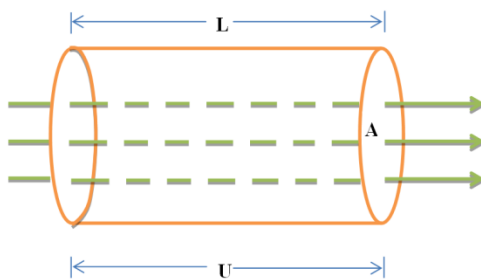
3.1. Električna otpornost

Električno svojstvo stijene koje je promatrano u ovoj metodi i na temelju kojeg je provedena interpretacija istraživanog podzemlja je električna otpornost.

Prva stepenica pri razmatranju električne otpornosti svakako je Ohmov zakon:

$$R = \frac{U}{I} \quad (3-1)$$

gdje je I jakost struje u vodljivom tijelu, U je razlika potencijala između dviju ploha konstantnog potencijala, a R je konstanta zvana otpor (eng. Resistance) između ploha.

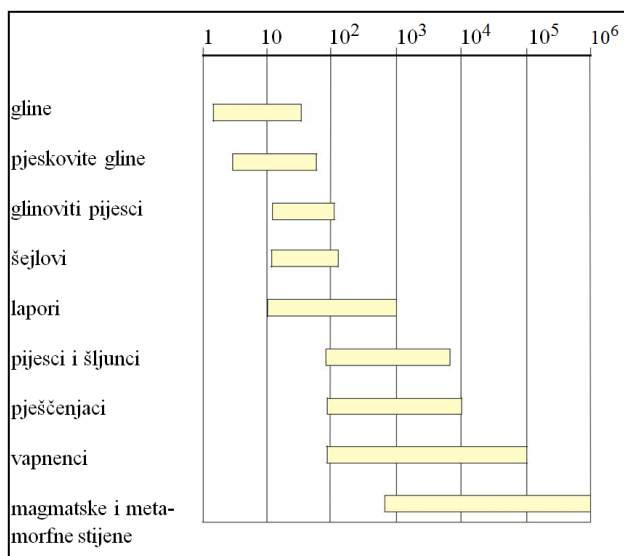


Slika 3-1. Definicija otpornosti

Specifični električni otpor nekog materijala definiran je kao otpor valjka s jediničnim presjekom i duljinom (slika 3-1.). Ako kroz valjak teče struja s usporednim linijama toka preko površine presjeka A , tada je njegova otpornost ρ definirana jednadžbom:

$$\rho = \frac{RA}{L} \quad (3-2)$$

gdje je R otpor mjeren između dviju ekvipotencijalnih ploha na udaljenosti L , a $A=1$ i $L=1$.



Slika 3-2. Približni rasponi otpornosti nekih stijena (Šumanovac, 1998)

Na slici 3-2. vidi se kako, unatoč različitim otpornosti za svaku stijenu, zbog širokih raspona otpornosti koju pojedinačne stijene imaju dolazi do preklapanja otpornosti u razmjerno širokim granicama. Glavni faktori tih raspona su količina vode koju stijena sadrži te njena mineralizacija i temperatura o kojima otpornost ovisi. Količina vode također ovisi o šupljikavosti i strukturi stijene. Tako će gline imati najmanje otpornosti, 20-ak Ωm , pijesci 80-200 Ωm , šljunci 100-300 Ωm , a ako su suhi i puno veće. U karbonatnim stijenama otpornosti se mogu mijenjati u vrlo širokim granicama, od nekoliko stotina do nekoliko tisuća, pa čak i stotinjak tisuća Ωm , ovisno o njihovom stanju, raspucalosti i kompaktnosti (Šumanovac, 2012).

3.2. Metode otpornosti

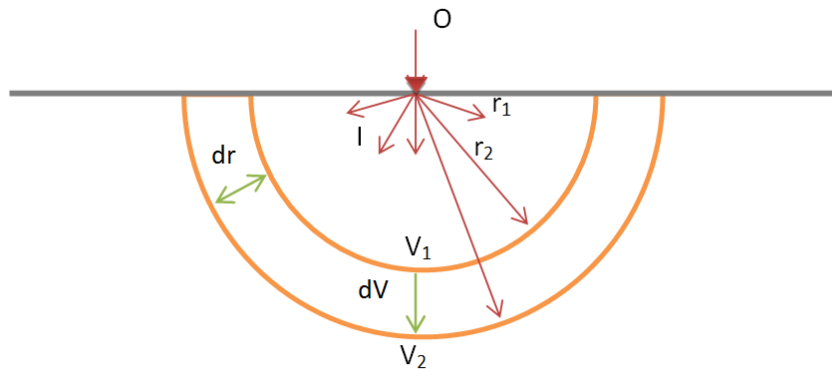
Električne otpornosti se na površini mjere najčešće pomoću četveroelektrodnih rasporeda, što znači da se na jednom paru elektroda mjeri jakost struje koja se uvodi u zemlju, a na drugom paru napon na površini nastao kao posljedica djelovanja električnog polja. Takvim mjerenjem odredi se raspodjela električnih otpornosti u podzemlju iz čega se izračunavaju prirodne otpornosti zahvaćenih stijena.

3.2.1. Teoretske osnove

Na temelju izraza (3-1) i (3-2) proizlazi da je napon U određen izrazom:

$$U = \rho I \frac{L}{A} \quad (3-3)$$

Ako u točki O postoji električni potencijal, s time da je drugi pol neizmjereno udaljen u homogenom materijalu struja će se rasprostirati u obliku polukugle na sve strane kao što je prikazano na slici 3-3.



Slika 3-3. Raspored struje i potencijala u homogenoj sredini oko izvora na površini

Na putu od polukugle polumjera r_1 , do polukugle polumjera r_2 , struja će prijeći put dr , a na površini polukugle $2r^2\pi$. U izraz (3-3) uvrstimo umjesto U sniženje potencijala dV , umjesto L razliku duljine vodiča dr , a umjesto A površinu $2r^2\pi$. Prema tome je:

$$dV = \rho I \frac{dr}{2r^2\pi} \quad . \quad (3-4)$$

Integracijom u granicama r_1 do r_2 dobivamo:

$$dV = \frac{\rho I}{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad . \quad (3-5)$$

Budući da se mjerenja izvode četveroelektrodnim rasporedom, gdje se preko elektroda A i B pušta struja u zemlju, a na elektrodama M i N se mjeri razlika potencijala prouzročena tom strujom (slika 3-4.), slijedi izraz:

$$dV = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{BM}} - \frac{1}{r_{AN}} + \frac{1}{r_{BN}} \right) \quad , \quad (3-6)$$

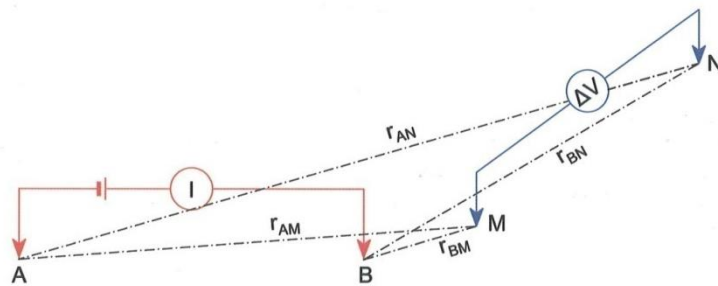
pri čemu su s r označene udaljenosti između pojedinih elektroda kao što je prikazano na slici 3-4. Iz ovoga slijedi izraz za računanje otpornosti:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad . \quad (3-7)$$

K je konstanta koja ovisi samo o geometrijskom rasporedu elektroda:

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{BM}} - \frac{1}{r_{AN}} + \frac{1}{r_{BN}}} \quad . \quad (3-8)$$

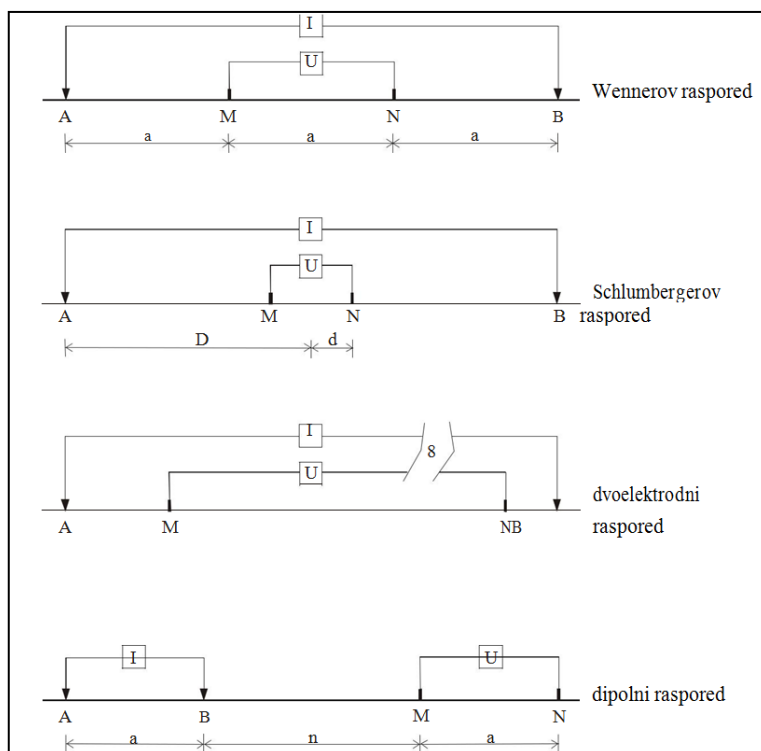
U slučaju da podzemlje nije električki homogeno, umjesto stvarnih dobiti ćemo prividnu otpornost koja se označava s ρ_a i koja na neki način predstavlja prosječnu vrijednost zahvaćene mase s obzirom da ovisi o otpornostima pojedinih stijena (Šumanovac, 2012).



Slika 3-4. Četveroelektrodni raspored

Na slici 3-4. vidi se jednostavna skica četveroelektrodnog rasporeda koji se koristi prilikom električnih ispitivanja. Mjerenje se može izvesti na dva osnovna načina. Povećanjem razmaka elektroda zahvaća se sve veća masa stijene na sve većoj dubini, time se oponaša bušenje i mjerenje na taj način naziva se električno sondiranje. Pomicanjem rasporeda duž nekog pravca, uz konstantan razmak elektroda i isti dubinski zahvat bolje se istražuju uzdužne, lateralne promjene otpornosti i takvo mjerenje naziva se električno profiliranje.

Postoji niz različitih elektrodnih rasporeda pomoću kojih se izvode mjerenja a na slici 3-5. prikazani su samo najčešće korišteni.



Slika 3-5. Primjeri najčešćih elektrodnih rasporeda

Raspored koji se prilikom istraživanja koristio je Wennerov koji će u kasnijem poglavlju biti detaljnije opisan.

3.3. Električna tomografija

Zadnjih desetljeća naglo se razvila metoda površinske električne tomografije. Razvoj metode je počeo s pojavom višeelektrodnih sustava (Griffiths i Turnbull, 1985; Griffiths et al., 1990), s elektrodama postavljenim na jednakoj udaljenosti, čime se dobiju jednoliko raspoređene pseudodubine.

3.3.1. Geometrija mjerenja

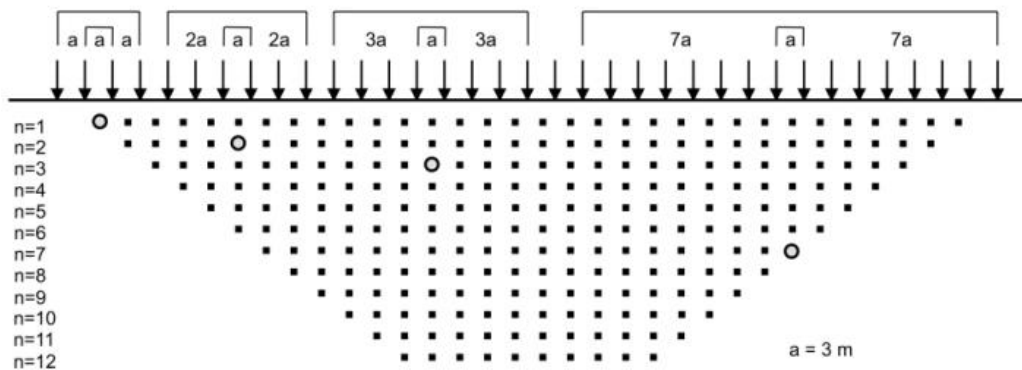
Mjerenje se sastoji od niza električnih profiliranja izvedenih za različite dubinske zahvate, a terenska mjerenja mogu se izvesti i višeelektrodnim sustavima.

Terensko mjerenje se izvodi pomoću elektroda uzemljenih na istim udaljenostima i spojenih na kabel, te pomoću prijelaznih uređaja na instrument za mjerenje otpornosti koji računalno upravljanim sustavima može potpuno samostalno izvesti mjerenja zadavanjem odgovarajućeg postupka mjerenja.

Kao što je spomenuto, na terenu se koristio Wennerov raspored koji ima isti razmak između svih elektroda. Najblići dubinski zahvat definiran je jediničnim razmakom elektroda a , a drugi zahvati su definirani umnoškom razmaka a s odgovarajućom konstantom. Za prvi dubinski zahvat ($n=1$), razmak elektroda je a te se cijeli elektrodni raspored pomiče za udaljenost a duž profila, dok se ne dosegne njegov kraj. Za drugi dubinski zahvat ($n=2$), udaljenost između elektroda je $2a$, ali je pomicanje elektrodnog sustava duž profila opet za iznos a . Na taj način se mjerenje nastavlja dok se ne postigne konačni dubinski zahvat (Šumanovac, 2012).

Geometrija sustava mjerenja definirana je jediničnim razmakom elektroda i brojem dubinskih zahvata, čime se određuje vertikalna i horizontalna rezolucija, koja ovisi o geološkom modelu i ciljnoj dubini istraživanja. Nominalna dubina istraživanja za Wennerov raspored jednaka je polovici maksimalne udaljenosti elektrode. Na primjer, ako je jedinični razmak elektroda od 3 m primijenjen na 12 dubinskih zahvata, efektivna dubina istraživanja je 18 m kako je prikazano na slici 3-6. S obzirom da je razlučivost obrnuto proporcionalna dubini, mjerenja se ne moraju izvoditi na svim mogućim

dubinskim zahvatima, kako bi se skratilo vrijeme mjerenja ili mjerenje proširilo za nove dubinske zahvate.

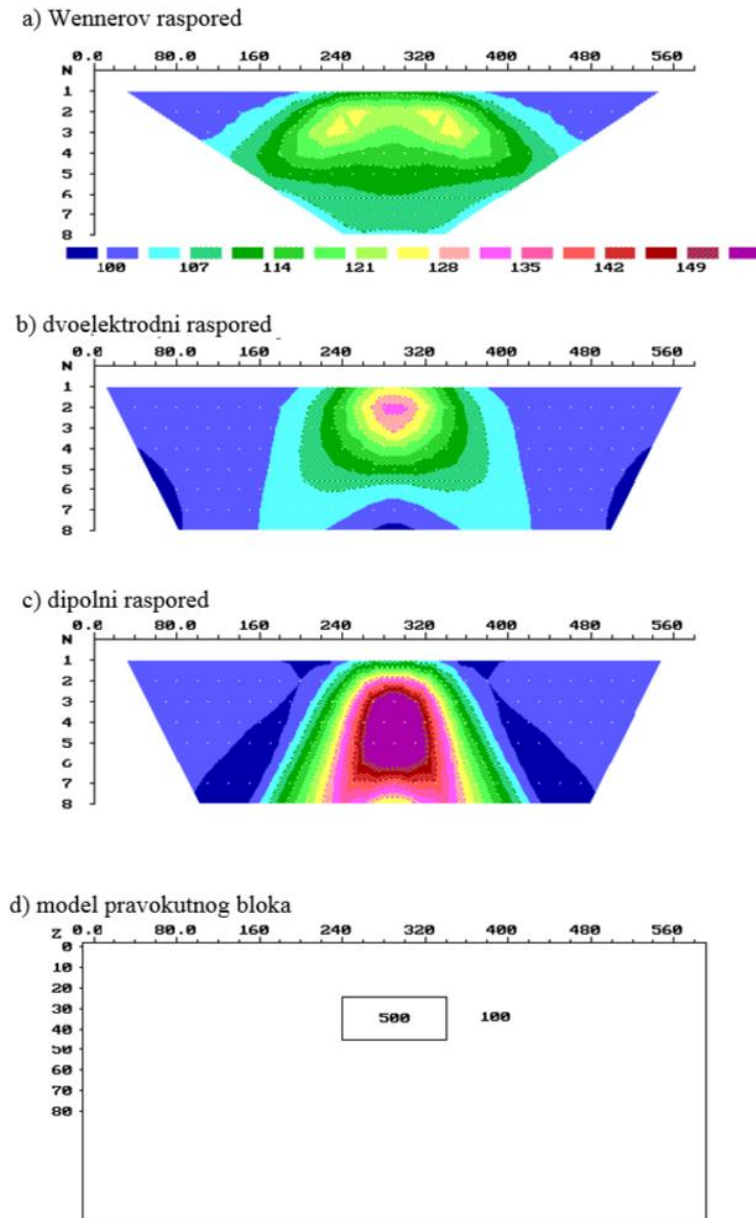


Slika 3-6. Geometrija mjerenja za dvodimenzionalnu električnu tomografiju uporabom Wennerova rasporeda

3.3.2. Tomografska inverzija

Podaci dobiveni mjerenjem prividnih otpornosti u okviru 2D-električne tomografije prikazuju se u obliku dvodimenzionalnog presjeka prividnih otpornosti - tzv. pseudosekcije (Hallov, 1957). Izgled pseudosekcije ovisi ne samo o geološkom modelu već i o elektrodnom rasporedu koji se koristio. Na slici 3-7 vidi se kako na temelju istog pretpostavljenog geološkog modela s pravokutnim blokom u sredini rasporeda koji ima otpornost $500 \Omega\text{m}$, okružen otpornošću od $100 \Omega\text{m}$, možemo dobiti tri različite teoretske pseudosekcije ovisno o rasporedu koji koristimo.

Zbog velikog broja podataka, za prikaz i inverziju pseudosekcija na temelju terenskih podataka koristi se neki od programa za obradu i interpretaciju podataka geoelektričnih mjerenja. Inverzijom (inverznim modeliranjem) obavlja se pretvaranje pseudosekcija u modele stvarnih otpornosti (Loke i Barker, 1995, 1996) koji omogućuju lakšu, precizniju i pouzdaniju geološku interpretaciju.



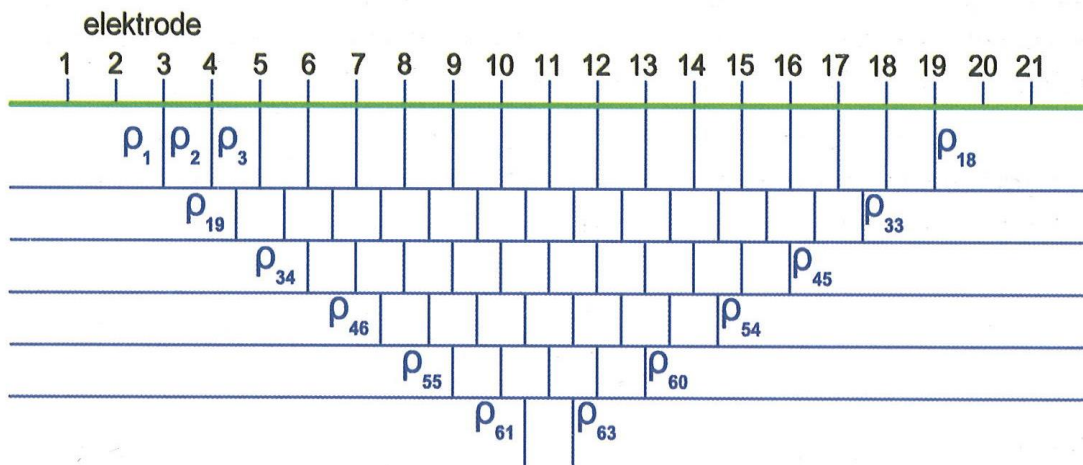
Slika 3-7. Utjecaj elektrodnog rasporeda na mjerenu pseudosekciju (Loke, 1997)

U ovom radu za inverziju je korišten program RES2DINV. Program automatski prikazuje pseudosekciju u boji ili u sivoj skali, koristeći linearnu interpolaciju među podacima. Vrijednosti otpornosti koje jako odskakuju od ostalih vrijednosti i predstavljaju greške u mjerenju mogu se uočiti na pseudosekciji i po potrebi odstraniti. Za interpretaciju podataka koristi se 2D model otpornosti koji je podijeljen u pravokutne blokove (slika 3-9). U RES2DINV programu se kao incijalni model koristi homogeno podzemlje. Program automatski dijeli podzemlje u blokove i koristi inverziju metodom najmanjih kvadrata (Loke i Barker 1995, 1996) za određivanje prikladne otpornosti za svaki blok. Inverzijom

se smanjuju razlike između mjerenih i računatih otpornosti. RES2DINV koristi iterativnu metodu gdje, počevši od inicijalnog modela, program pokušava naći poboljšani teorijski model čije će prividne otpornosti biti bliže mjerenim otpornostima. Odstupanja teorijskih prividnih otpornosti od mjerenih prividnih otpornosti izražena su RMS-greškom (eng. root-mean-squared), odnosno korijenom srednjeg kvadrata razlike između mjerenih i računatih otpornosti:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\rho_{im} - \rho_{it}}{\rho_{im}} \right)^2}, \quad (3-9)$$

gdje je RMS srednja kvadratna greška, ρ_{im} izmjerena vrijednost prividne otpornosti, ρ_{it} teorijska vrijednost prividne otpornosti i N broj točaka na odabranom presjeku. Inverzijom se pokušava smanjiti kvadrat razlike između mjerenih i računatih otpornosti. Ukoliko postoji RMS-greška veća od zadanog kriterija, inicijalni model se mijenja i ponovo se za poboljšani model računaju prividne otpornosti i uspoređuju s mjerenim prividnim otpornostima. Postupak se ponavlja sve dok se RMS greška ne smanji do neke zadane vrijednosti, odnosno dok se ne dobije zadovoljavajuće slaganje izračunatih i mjerenih prividnih otpornosti. Na opisani način se iz prividnih otpornosti stvara 2D model podzemlja.



Slika 3-8. Raspored blokova za računanje 2D modela

3.3. Instrumenti i mjerenje

Mjerenje se izvodi automatskim višeelektrodnim sustavom LIS (eng. Lund Imaging System) švedske tvrtke ABEM. Oprema takvog sustava sastoji se od:

- instrumenta za mjerenje ABEM Terrameter SAS 1000 (precizni miliampermetar i milivoltmetar u jednom kućištu), sa maksimalnim rasponom napona +/- 400 V i preciznosti bolje od 0,1%,
- akumulatora kao izvora struje,
- birača elektrodi ABEM Electrode Selector ES 10-64, uz priključni kabel za Terrameter (služi za automatsko određivanje rasporeda aktivnih i neaktivnih elektrodi do kraja mjerenja),
- kolutova s kablom duljine 210 m,
- šipki od nehrđajućeg čelika (potencijalne i strujne elektrode).

Više o navedenom sistemu može se pronaći na stranici http://www.guidelinegeo.com/wp-content/uploads/2016/03/Manual_Terrameter.pdf.



Slika 3-9. Sustav LIS

Postupak mjerenja sastoji se od:

- razmotavanja i spajanja kabela,

- zabijanja elektrodi u zemlju uz spojnice kabela, te spajanje elektrodi i spojnice uz pomoć elektrodnih štipaljki,

- priključivanja uređaja ABEM Terrameter SAS 1000 i ABEM Electrode Selector ES 10-64 na spoju dvaju središnjih kabela (na sredini postavljenog sustava), njihovog međusobnog priključivanja i spajanja na akumulator,

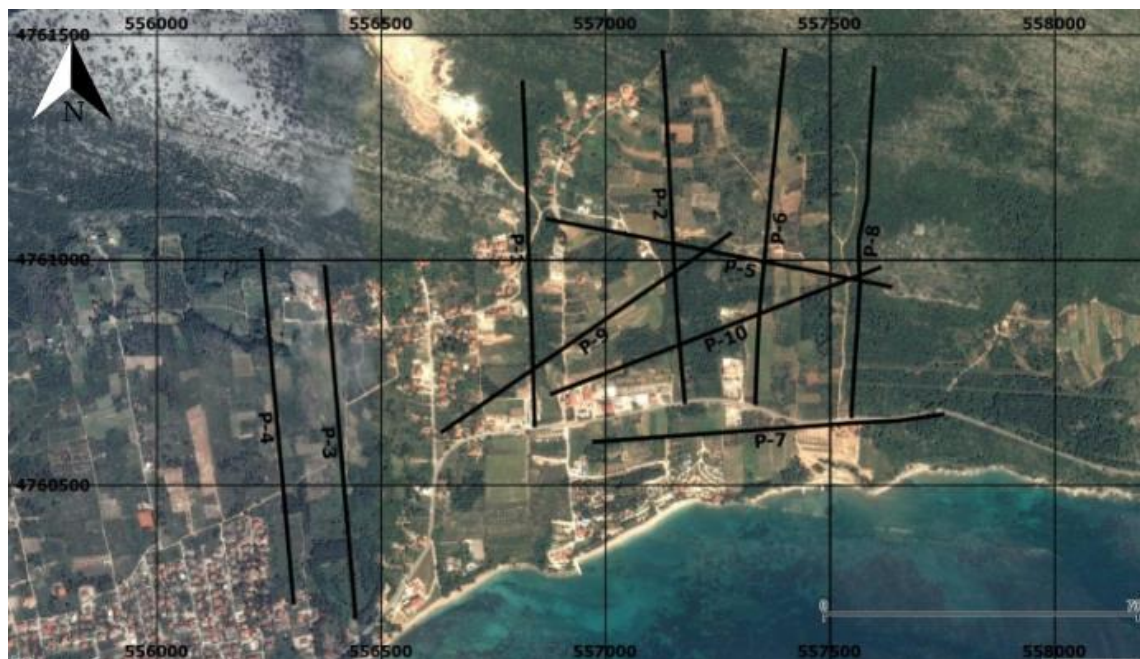
- namještanja željenih postavki nakon čega ES 10-64 provjerava jesu li sve elektrode ispravno priključene te se mjerenje započne induktivnim puštanjem struje jakosti 200 miliampera (mA) na strujne elektrode, te očitavanje napona u milivoltima (mV) i spremanjem očitavanja u Terrameter SAS 1000,

- raspremanja opreme.

S obzirom da je duljina svih četiri kabela, kada se međusobno spoje, oko 800 metara (za svaki kabel pretpostavljamo redukciju od 10 m zbog neravnog terena), u slučaju profila dužih od 800 m koristi se „kotrljajući“ način mjerenja. Nakon završetka prvog mjerenja prvi se kabel u rasporedu raspremi, skupa s elektrodama, te ga prenesemo iza zadnjeg kabela kako bi zauzeo zadnje mjesto. Uređaje prebacujemo na novo središte sustava, za dužinu jednog kabela, u smjeru napretka profila. Tijekom ovog ispitivanja svi profili bili su duljine do 800 metara stoga opisani način nije bio korišten.

4. TERENSKI POSTUPAK

Mjerenja su se izvela na 10 tomografskih profila označenih s P-1 – P-10, ukupne duljine od 8 km. Duljine profila iznosile su 800 metara. Njihov položaj prikazan je na slici 4-1.



Slika 4-1. Prostorna raspodjela istražnih profila na satelitskoj snimci mjera 1:8 000

(izvor: Google Earth)

Koristio se Wennerov elektrodni raspored s jediničnim razmakom elektroda od 10 m pa je efektivni dubinski zahvat iznosio 130 m na središtu profila. Koordinate na svakih 100 metara profila zabilježene su pomoću GPS-a tvrtke Garmin i prikazane u tablici 4-1. Profili su se postavljali i mjerili na način opisan u potpoglavlju 3.3.

Vrijedi spomenuti kako su terenski uvjeti prilikom ovog mjerenja izuzetno zahtjevni. Razlozi tome su težina opreme, zabijanje velikog broja elektroda u zemlju i njihovo vađenje van, izvanredne situacije poput puknuća kabela prolaskom traktora i ostalih problema koji se mogu javiti u naseljenim mjestima, teška prohodnost terena i pojava raslinja i gustih šuma na potezu zadanih profila te vrućina i sunce ukoliko se radi tokom ljeta.

Tablica 4-1. Koordinate elektroda na svakih 100 metara profila

| P-1 | | | P-2 | | | P-3 | | |
|-------------|--------|---------|-------------|--------|---------|-------------|--------|---------|
| duljina (m) | x(m) | y(m) | duljina (m) | x(m) | y(m) | duljina (m) | x(m) | y(m) |
| 0 | 556844 | 4760632 | 0 | 557177 | 4760684 | 0 | 556444 | 4760204 |
| 100 | 556840 | 4760728 | 100 | 557168 | 4760781 | 100 | 556435 | 4760301 |
| 200 | 556837 | 4760823 | 200 | 557160 | 4760878 | 200 | 556427 | 4760399 |
| 300 | 556833 | 4760918 | 300 | 557154 | 4760976 | 300 | 556418 | 4760496 |
| 400 | 556830 | 4761013 | 400 | 557149 | 4761073 | 400 | 556410 | 4760593 |
| 500 | 556827 | 4761109 | 500 | 557144 | 4761170 | 500 | 556401 | 4760691 |
| 600 | 556823 | 4761204 | 600 | 557139 | 4761267 | 600 | 556393 | 4760788 |
| 700 | 556820 | 4761300 | 700 | 557134 | 4761365 | 700 | 556384 | 4760885 |
| 800 | 556816 | 4761395 | 800 | 557128 | 4761462 | 800 | 556376 | 4760983 |
| P-4 | | | P-5 | | | P-6 | | |
| duljina (m) | x(m) | y(m) | duljina (m) | x(m) | y(m) | duljina (m) | x(m) | y(m) |
| 0 | 556306 | 4760238 | 0 | 556871 | 4761090 | 0 | 557334 | 4760681 |
| 100 | 556297 | 4760336 | 100 | 556966 | 4761072 | 100 | 557338 | 4760781 |
| 200 | 556288 | 4760434 | 200 | 557062 | 4761053 | 200 | 557343 | 4760881 |
| 300 | 556279 | 4760532 | 300 | 557157 | 4761034 | 300 | 557352 | 4760979 |
| 400 | 556270 | 4760630 | 400 | 557253 | 4761015 | 400 | 557362 | 4761076 |
| 500 | 556261 | 4760728 | 500 | 557348 | 4760997 | 500 | 557371 | 4761174 |
| 600 | 556252 | 4760826 | 600 | 557444 | 4760978 | 600 | 557381 | 4761271 |
| 700 | 556243 | 4760924 | 700 | 557539 | 4760959 | 700 | 557390 | 4761369 |
| 800 | 556234 | 4761022 | 800 | 557635 | 4760940 | 800 | 557400 | 4761466 |
| P-7 | | | P-8 | | | P-9 | | |
| duljina (m) | x(m) | y(m) | duljina (m) | x(m) | y(m) | duljina (m) | x(m) | y(m) |
| 0 | 556975 | 4760595 | 0 | 557548 | 4760652 | 0 | 556638 | 4760618 |
| 100 | 557072 | 4760602 | 100 | 557554 | 4760749 | 100 | 556718 | 4760673 |
| 200 | 557169 | 4760609 | 200 | 557561 | 4760846 | 200 | 556798 | 4760728 |
| 300 | 557266 | 4760616 | 300 | 557567 | 4760944 | 300 | 556878 | 4760783 |
| 400 | 557363 | 4760623 | 400 | 557564 | 4761042 | 400 | 556958 | 4760838 |
| 500 | 557460 | 4760630 | 500 | 557584 | 4761138 | 500 | 557038 | 4760893 |
| 600 | 557557 | 4760637 | 600 | 557587 | 4761236 | 600 | 557118 | 4760948 |
| 700 | 557654 | 4760642 | 700 | 557593 | 4761333 | 700 | 557199 | 4761003 |
| 800 | 557751 | 4760656 | 800 | 557599 | 4761426 | 800 | 557279 | 4761058 |
| P-10 | | | | | | | | |
| duljina (m) | x(m) | y(m) | | | | | | |
| 0 | 556881 | 4760702 | | | | | | |
| 100 | 556973 | 4760737 | | | | | | |
| 200 | 557064 | 4760772 | | | | | | |
| 300 | 557155 | 4760807 | | | | | | |
| 400 | 557246 | 4760842 | | | | | | |
| 500 | 557337 | 4760877 | | | | | | |
| 600 | 557428 | 4760912 | | | | | | |
| 700 | 557519 | 4760947 | | | | | | |
| 800 | 557611 | 4760982 | | | | | | |



Slika 4-2. Vađenje opreme prije mjerenja

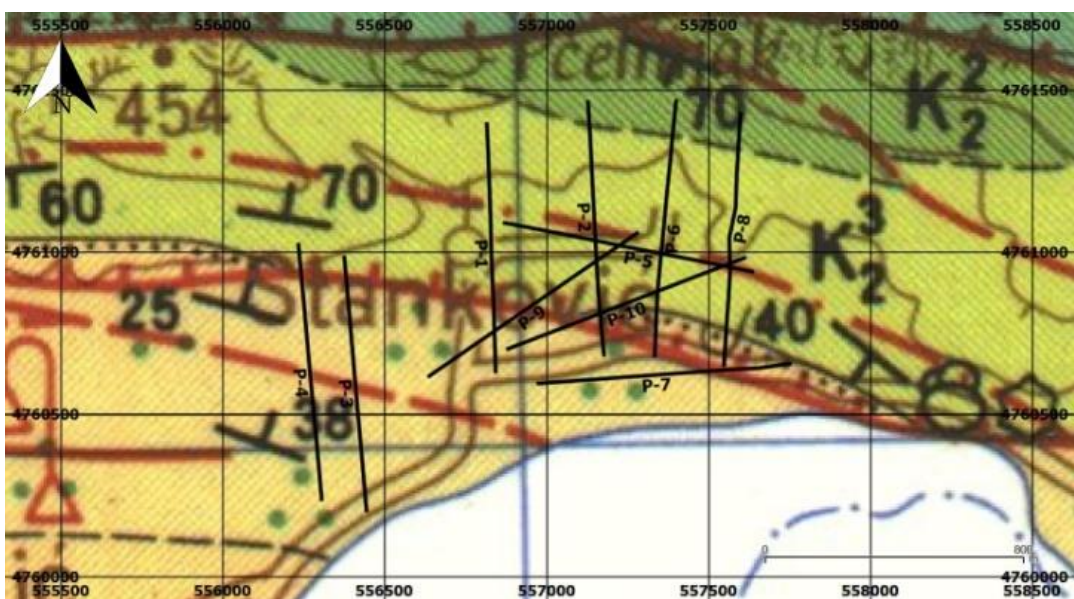


Slika 4-3. Raslinje na potezu profila (primjer teških terenskih uvjeta)

5. REZULTATI

Nakon obavljenog terenskog postupka slijedi obrada prikupljenih podataka. Podaci dobiveni na terenu dobiveni su u obliku dvodimenzionalnih prikaza prividnih otpornosti odnosno pseudosekcija i potrebno ih je dodatno obraditi kako bi dobili inverzne modele. Prvo je na temelju topografske karte uređena topografija mjenjenih profila. Inverzni profili dobiveni su iz pseudosekcija prema postupku opisanom u potpoglavlju 3.3.2. Kako je tomografska inverzija iterativni postupak tako se za svaki od profila izvelo i više iteracija. Peta iteracija po redu uzeta je kao zadovoljavajuća za svaki profil.

Za lakši opis profila i značenja veličine prikazanih otpornosti potrebno je uzeti u obzir prijašnja geološka istraživanja. Zato su na slici 5-1. prikazani položaji mjenjenih profila na isječku Osnovne geološke karte mjerila 1:100 000 (Korolija et al. 1968) za istraživano područje. Detaljnija geologija samog područja opisana je u poglavlju 2.2. Potrebno je primijetiti kako se profili, prema Osnovnoj geološkoj karti, prostiru nad laporima i kalkarenitima (vapnenačkim pješčenjacima) eocenske starosti i vapnencima gornjokredne starosti. Ove dvije jedinice odvojene su transgresivnom granicom koja se u središnjem dijelu područja gubi pod reversnim rasjedom i detaljnije su opisane u drugom poglavlju rada. Flišne naslage u pravilu imaju niže otpornosti od vapnenaca (slika 3-2.). Ova karta će pri opisu služiti kao okvirni pregled, s obzirom na to da se temelji na regionalnom površinskom geološkom kartiranju.



Slika 5-1. Prostorna raspodjela mjenjenih profila na geološkoj karti

Geološke interpretacije tomografskih profila P-1 – P-10 prikazane su na priložima 1-10. Otpornosti na profilima kreću se u rasponu od 20 Ωm do preko 2500 Ωm i mogu se podijeliti u 2 grupe koje predstavljaju dvije dominantne jedinice. Grupa najmanjih otpornosti (<100 Ωm) u ovom slučaju pripada eocenskim laporima i označena je nijansama plave boje. Kompaktni gornjokredni vapnenci okarakterizirani su grupom najvećih otpornosti (> 1500 Ωm) koja je označena crvenom i ljubičastom bojom.

Promatranjem položaja i geometrije tih dviju grupa iz dobivenih otpornosti te njihovom korelacijom može se konstatirati kako je odnos eocenskih lapora i gornjokrednih vapnenaca ovih dviju jedinica u potpunosti definiran rasjedom. Položaj tog rasjeda na površini i u podzemlju ključni je dio interpretacije. Detaljniji opis profila slijedi u nastavku.

Na prilogu 1 prikazani su inverzni profil otpornosti i geološki profil P-1. Na inverznom profilu P-1 vidimo dva tijela velikih otpornosti koje pripadaju kompaktnim gornjokrednim vapnencima. Prvo tijelo se na površini prostire od 150 do 250 metara, a drugo od 400 m do kraja profila. Ova dva tijela odvojena su tijelom manjih otpornosti koje u ovom slučaju predstavlja zonu razlomljenih vapnenaca. Ova zona razlomljenih vapnenaca je još jedna indikacija prisutnosti rasjeda. Ispod navedenih tijela nalazi se tijelo malih otpornosti koje predstavlja eocenske lapore. Na samom početku profila vidi se tijelo većih otpornosti koje predstavlja karbonatske naslage u eocenskim laporima. Točan uvid na geometriju interpretiranih naslaga i rasjeda vidi se na geološkom profilu P-1.

Na prilogu 2 prikazani su inverzni i geološki profil P-2. Na inverznom profilu P-2 se od početka do kraja profila proteže tijelo velikih otpornosti koje predstavlja gornjokredni kompaktni vapnenac s nekoliko tijela manjih otpornosti za koja se može pretpostaviti kako se radi o površinskim anomalijama. Na 330 m udaljenosti može se primijetiti smanjenje otpornosti koje bi, koreliramo li profil P-2 s profilom P-1, moglo predstavljati trag razlomljene zone koja se pojavlja kod profila P-1. Ispod spomenutog tijela nalazi se tijelo malih otpornosti koje pripada eocenskim laporima. Točan uvid na geometriju interpretiranih naslaga i rasjeda vidi se na geološkom profilu P-2.

Profili P-3 i P-4, prikazani na priložima 3 i 4, većim djelom leže na laporima i kalkarenitima eocenske starosti te tek svojim sjevernim krajem ulaze u područje gornjokrednih vapnenaca. Otpornosti dobivene ovim profilima su uglavnom male i predstavljaju eocenske lapore. Na profilu P-3 očitavaju se dva tijela većih otpornosti na udaljenostima od 80 do 285 metara okvirne dubine do 20 metara i od 470 do 610 metara

okvirne dubine do 10 m. Ove otpornosti predstavljaju karbonate koji leže u eocenskim laporima. Na 720 metara na površini počinje tijelo velikih otpornosti i predstavlja gornjokredne vapnence. Na profilu P-4 primjetno je tijelo većih otpornosti koje se proteže od početka profila do 570 m, s dijelovima iznimno većih otpornosti te se radi o karbonatima u eocenu. Tek na samom kraju profila vidi se trag naglog povećanja otpornosti kao indikacija da se u nastavku nalaze gornjokredni vapnenci. Točan uvid na geometriju interpretiranih naslaga i rasjeda vidi se na geološkim profilima P-3 i P-4.

Prema prijašnjim geološkim istraživanjima koji se odnose na geološko kartiranje profil P-5 u potpunosti leži na gornjokrednim vapnencima. Vidimo da u profilu dominiraju velike otpornosti koje pripadaju spomenutim vapnencima ispod kojih leži eocenski lapor znatno manjih otpornosti. Na udaljenosti od 210 do 260 metara vidi se lateralno tijelo manjih otpornosti koje najvjerojatnije potječe od razlomljene zone u gornjokrednim vapnencima. Točan uvid u geometriju interpretiranih naslaga i rasjeda vidi se na geološkim profilima P-3 i P-4.

Profili P-6 i P-8 pokazuju sličan odnos i potvrđuju navedene pretpostavke s obzirom da se protežu približno paralelno s profilima P-1 i P-2. Osim tijela velikih i malih otpornosti, na početku inverznog profila P-6 vidi se zona smanjenih otpornosti koja je interpretirana kao razlomljena zona u gornjokrednim vapnencima. Točna interpretacija inverznog profila P-6 vidi se na geološkom profilu P-6 (prilog 6). Ovakva interpretacija drukčija je od interpretacije temeljene na prijašnjem geološkom kartiranju tokom kojeg se spomenuta razlomljena zona svrstala u eocenske lapore i kalkarenite.

Razlog odabiru drukčije interpretacije su i otpornosti izmjerene na profilu P-8 koji od početka profila pokazuje velike otpornosti karakteristične za gornjokredni vapnenac navučen preko malih otpornosti koje pripadaju eocenskim laporima. Na prilogu 8 vidi se geološka interpretacija inverznog profila P-8.

Profil P-7 prema prijašnjem geološkom kartiranju u potpunosti leži iznad eocenskog lapora. No na profilu su primjetna dva tijela velikih otpornosti. Prvo tijelo proteže se od 450 do 560 metara i predstavlja gornjokredni vapnenac vrlo visoke otpornosti odvojen rasjedom. Drugo tijelo koje počinje na 590 metara također predstavlja gornjokredni vapnenac, što ponovno potvrđuje korekciju Osnovne geološke karte (Korolija et al. 1968) kako se iznad rasjeda u tom dijelu ne nalaze više eocenski lapori (slika 5-1). Ovakav raspored otpornosti i litostratigrafskih jedinica na profilu vjerojatno potječe od pružanja rasjeda na površini koje sječe profil na više mjesta. Točan uvid u geometriju interpretiranih naslaga i rasjeda vidi se na geološkom profilu P-7 (prilog 7).

Na prilogu 9 prikazani su inverzni i geološki profil P-9. Na inverznom profilu P-9 opet uočavamo tijelo velike otpornosti (gornjokredni vapnenac) navučeno preko tijela malih otpornosti (eocenski lapor). U ovom slučaju je granicu između ta dva tijela teže definirati zbog prividnog prelijevanja otpornosti na pseudosekciji, no korelacijom profila sa susjednim profilima granica između tih naslaga i njihova geometrija interpretirani su kako je prikazano na geološkom profilu P-9.

Na inverznom profilu P-10 kojeg vidimo na prilogu 10 primjetno je tijelo velikih otpornosti koje pripadaju gornjokrednim vapnencima. To tijelo proteže se na površini od 100 metara do kraja profila. Ispod tog tijela leži tijelo malih otpornosti koje pripadaju eocenskom laporu. Točan uvid u geometriju interpretiranih naslaga i rasjeda vidi se na geološkom profilu P-10.

Ako se pažljivo promotri vidi se kako se raspoređuje otpornosti na inverznim profilima poklapaju te kako ih je lako korelirati što potvrđuje točnost dobivenih podataka.

6. DISKUSIJA

Prijašnjim geološkim istraživanjima koja se odnose na geološko kartiranje definirane su dvije dominantne jedinice na istraživanom terenu, a to su gornjokredni vapnenci i eocenski fliš. Ovakva interpretacija može se koristiti za odredbu jedinica u grupe otpornosti dobivene ovim ispitivanjem. No, za razliku od površinskog geološkog kartiranja provedenog u regionalnom mjerilu, ispitivanje korišteno u radu provedeno je u lokalnom mjerilu sa puno gušćim rasporedom profila što jamči veću preciznost i razlučivost. Stoga je za očekivati kako je raspored i položaj pouzdaniji od rasporeda i položaja jedinica na Osnovnoj geološkoj karti (Korolija et al. 1968) čiji je temelj geološko kartiranje.

Na temelju navedene konstatacije korigiran je isječak spomenute karte te povučen karakterističan profil preko korigiranog isječka (prilog 11). Vidi se kako je na korigiranoj karti pružanje rasjeda na površini drukčije i kako transgresivne granice uopće nema. Osim površinskih razlika može se primijetiti kako je i geometrija naslaga i rasjeda među njima u podzemlju drukčija nego je interpretirano prijašnjim kartiranjem. S obzirom na to da se mlađe naslage nalaze na starijima, može se zaključiti kako je kontakt među njima isključivo tektonski.

Na temelju ovakvog istraživanja vidi se kako je električna tomografija vrlo pouzdana metoda za hidrogeološke namjene u kršu. Ukoliko postoje naslage čije se otpornosti razlikuju te je njihova geometrija u podzemlju nepoznata, ova metoda daje pouzdane rezultate dovoljne rezolucije za daljnje istraživanje. Pouzdaniji rezultati mogu se dobiti bušenjem, ali takvi rezultati daju točkaste podatke. Stoga je prije bušenja potrebno snimiti cijelo područje, a geoelektrika je idealan odabir za tip istraživanja.

7. ZAKLJUČAK

Na području koje obuhvaća naselja Orebić i Stanković provedeno je istraživanje u svrhu određivanja hidrogeološkog potencijala terena. Primijenjena je geofizička metoda električne tomografije kako bi se na temelju otpornosti dobivenih tom metodom dobio bolji uvid u geološku građu terena.

Na profilima se vide naslage velikih otpornosti koje sa sjevera naliježu na naslage manjih otpornosti. Velike otpornosti pripadaju gornjokrednim vapnencima, a male eocenskom laporu. Odnos tih dviju naslaga definiran je reversnim rasjedom. Osim vapnenaca i lapora primijetne su i zone većih otpornosti okružene manjima, koje pripadaju karbonatima u laporu i zone manjih otpornosti okružene većima, karakteristične za razlomljenu zonu u vapnencima.

Na temelju geometrije interpretiranih naslaga na profilima i korelacijom tih profila ističu se razlike u geološkoj građi koja je dotad bila definirana geološkim kartiranjem. Korigiran je isječak Osnovne geološke karte za istraživano područje (Korolija et al., 1968) na način da je promijenjena granica na površini između dviju dominantnih litoloških jedinica. Osim površinskog korigiran je i podzemni kontakt između tih dviju jedinica koji je u potpunosti definiran rasjedom. Prema površinskom kartiranju, kretanje tog rasjeda u podzemlju pretpostavljeno je pod kutem od 45 °. Na temelju ovog ispitivanja vidi se kako to nije slučaj već je taj rasjed neravan i u nekim djelovima približno horizontalan. Ovakva geometrija naslaga i rasjeda tipičan je primjer navlake gornjokrednih vapnenaca na eocenske lapore koja je rezultat kompresijske tektonike u Dinaridima. Točna geometrija rasjeda vidi se na priložima.

Ovim istraživanjem naglašena je pouzdanost i objektivnost podataka dobivenih električnom tomografijom u odnosu na podatke koji su dotad postojali i dobiveni su površinskim geološkim kartiranjem. Ovime se ne umanjuje važnost geološkog kartiranja, već ukazuje na potrebu za preciznijim geofizičkim ispitivanjima prilikom nekog projekta koji zahtjeva detaljniji uvid u geološku građu terena.

8. LITERATURA

ABEM Instruction Manual, 10.8.2017., URL: http://www.guidelinegeo.com/wp-content/uploads/2016/03/Manual_Terrameter.pdf

Korolija, B., Borović, I., Grimani, I., Marinčić, S., 1968. List Korčula KK 33-47, Osnovna geološka karta 1:100 000, Institut za geološka istraživanja Zagreb, Zagreb

Korolija, B., Borović, I., Grimani, I., Marinčić, S., Jagačić, T., Magaš, N., Milanović, M., 1968. Tumač za list Korčula KK 33-47, Osnovna geološka karta 1:100 000, Institut za geološka istraživanja Zagreb, Zagreb

Google^{HR}, Google Earth, 8.8.2017., URL: <https://earth.google.com/web>

Griffiths, D.H., Barker, R.D., 1993. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. *Journal of Applied Geophysics*, 29, str. 211.-226.

Griffiths, D.H., Turnbull, J., 1985. A multi-electrode array for resistivity surveying. *First break*, 3(7), str. 16-20.

Griffiths, D.H., Turnbull, J., Olayinka, A.I., 1990. Two-dimensional resistivity mapping with a computer-controlled array. *First Break*, 8(4), str. 121-129.

Hallof, P., G., 1957. On the interpretation of resistivity and induced polarization results. PhD thesis, M.I.T, Department of Geology and Geophysics

Loke, M., H., 1997. Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. Copyright by M.H. Loke, <http://www.goelectrical.com>.

Loke, M., H., Barker, R., D. 1996. Rapid least-square inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi Newton method. *Geophysical Prospecting*, 44, 131-152.

Loke, M., H., Barker, R., D., 1995. Least-squares deconvolution od apparent resistivity pseudosections. *Geophysics*, 60, 1682-1690.

Šumanovac, F., 1998. Geofizička istraživanja. Geoelektrične i seizmičke metode. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

Šumanovac, F., 2005. Electrical tomography in the exploration of construction material deposits. 67th Conference, European Association of Geoscientists and Engineers (EAGE), paper p113, Madrid

Šumanovac, F., 2007. Geofizička istraživanja podzemnih voda. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

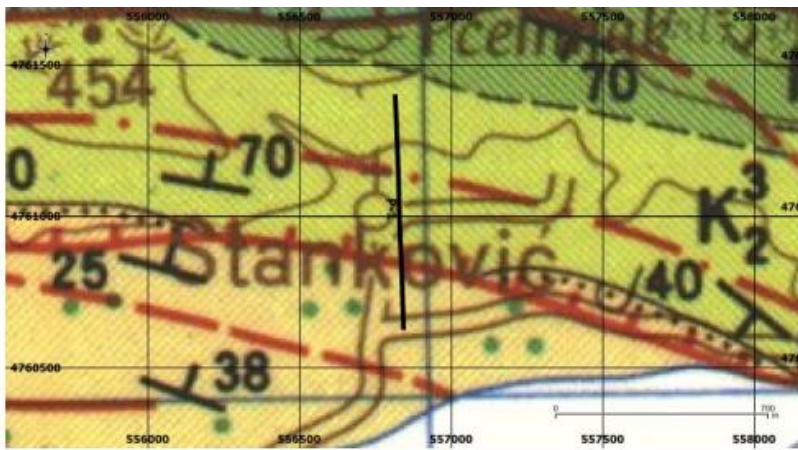
Šumanovac, F., 2012. Osnove geofizičkih istraživanja. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

Šumanovac, F., Weisser, M., 2001. Evaluation of resistivity and seismic methods for hydrogeological mapping in karst terains. *Journal of Applied Geophysics*, 47, str. 123.-28.

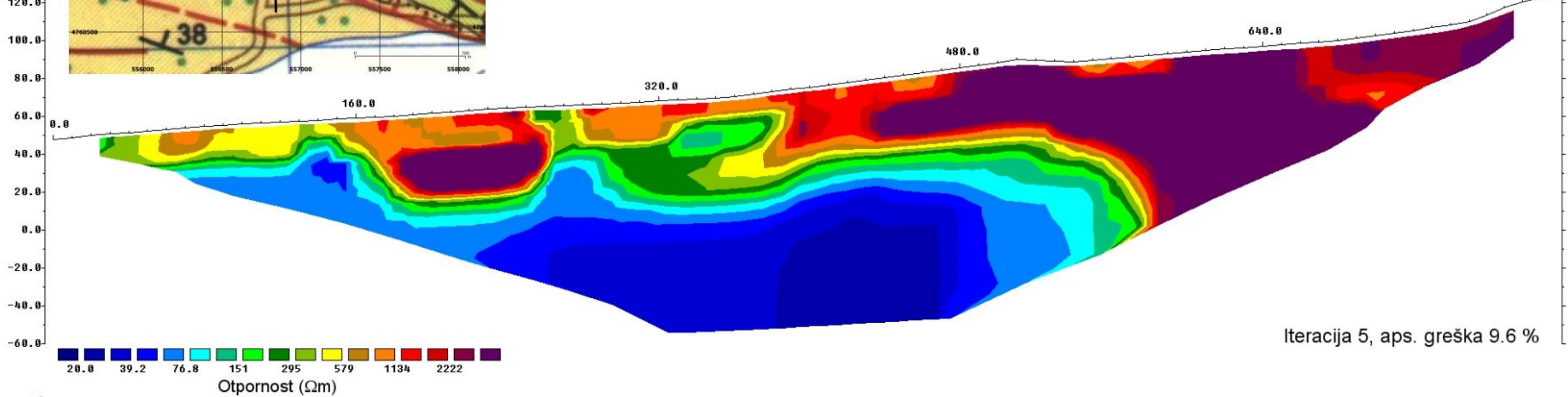
PRILOZI

Visina (m)

120.0
100.0
80.0
60.0
40.0
20.0
0.0
-20.0
-40.0
-60.0



INVERZNI PROFIL OTPORNOSTI P-1



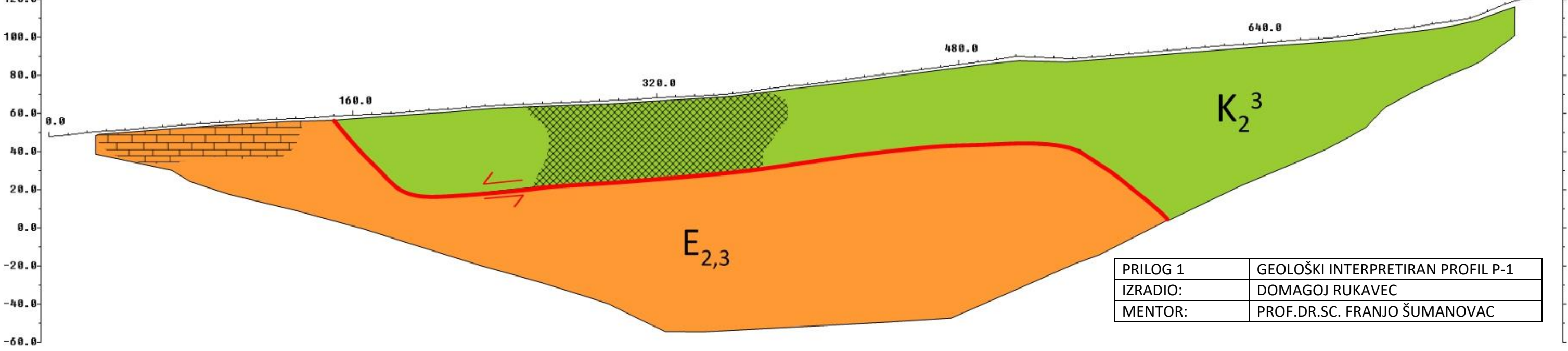
Iteracija 5, aps. greška 9.6 %

- PARAKLAZA REVERSNOG RASJEDA
- E_{2,3} EOCENSKI LAPORI I KALKARENITI
- EOCENSKI KARBONATI
- K₂³ GORNJOKREDNI USLOJENI VAPNENCI SA LEĆAMA ILI PROSLOJCIMA DOLOMITA
- RAZLOMLJENA ZONA U GORNJOKREDNIM VAPNENCIMA

Visina (m)

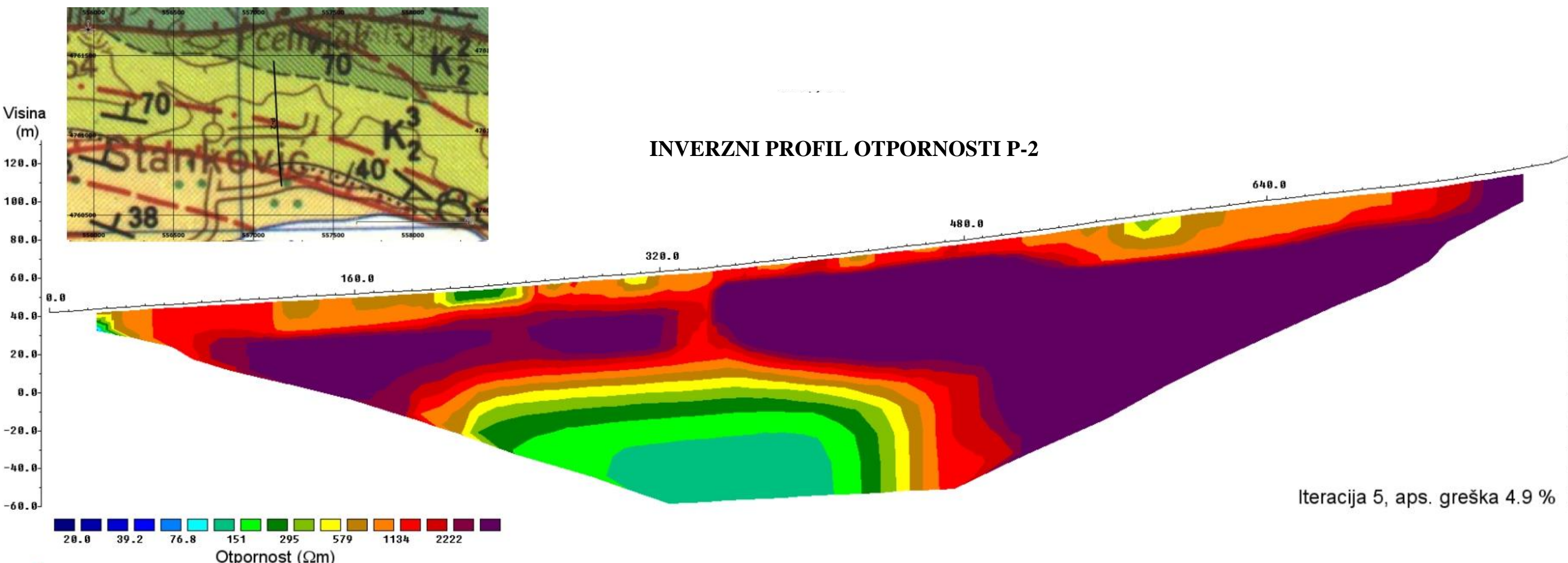
120.0
100.0
80.0
60.0
40.0
20.0
0.0
-20.0
-40.0
-60.0

GEOLOŠKI PROFIL P-1



| | |
|----------|-----------------------------------|
| PRILOG 1 | GEOLOŠKI INTERPRETIRAN PROFIL P-1 |
| IZRADIO: | DOMAGOJ RUKAVEC |
| MENTOR: | PROF.DR.SC. FRANJO ŠUMANOVAC |

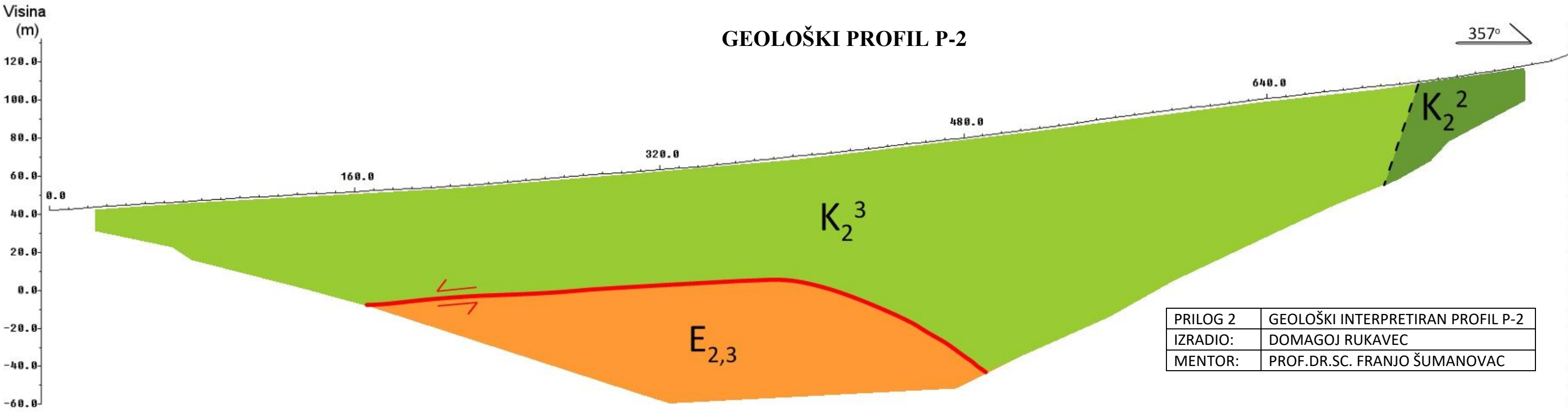
INVERZNI PROFIL OTPORNOSTI P-2



Iteracija 5, aps. greška 4.9 %

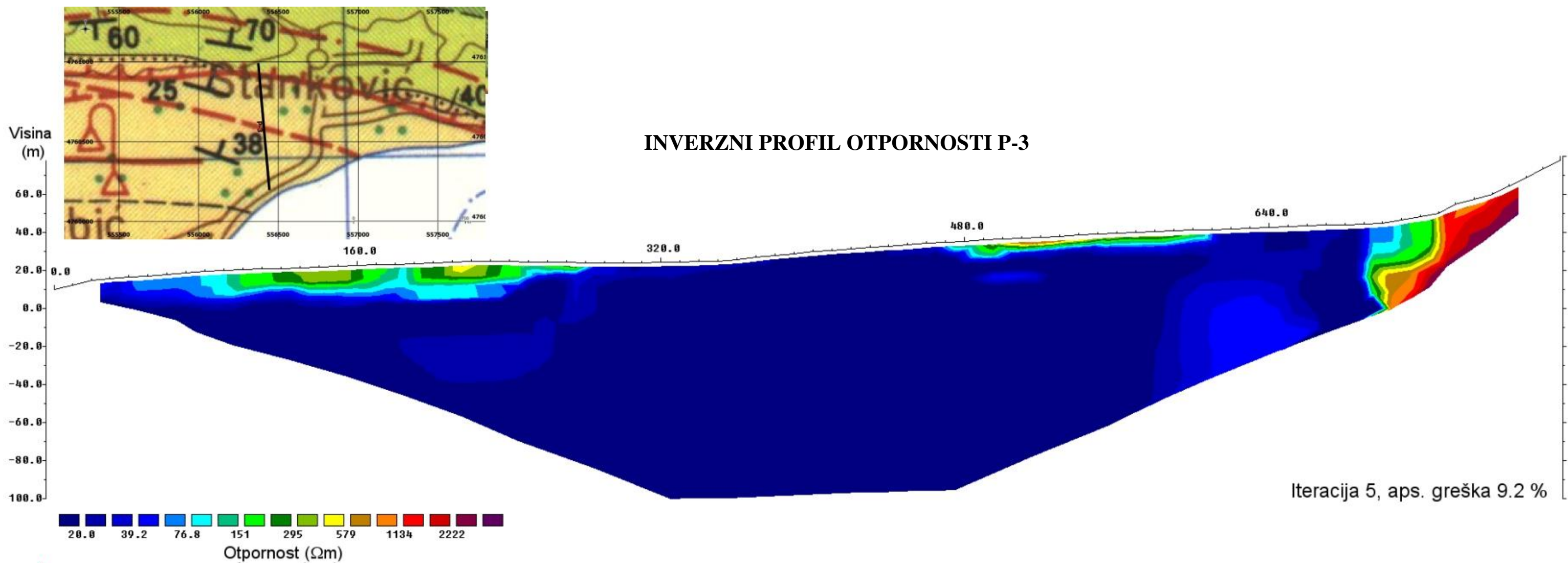
- PARAKLAZA REVERSNOG RASJEDA
- PRETPOSTAVLJENA GEOLOŠKA GRANICA
- EOCENSKI LAPORI I KALKARENITI
- GORNJOKREDNI USLOJENI VAPNENCI
- GORNJOKREDNI USLOJENI VAPNENCI SA LEĆAMA ILI PROSLOJCIMA DOLOMITA

GEOLOŠKI PROFIL P-2



| | |
|----------|-----------------------------------|
| PRILOG 2 | GEOLOŠKI INTERPRETIRAN PROFIL P-2 |
| IZRADIO: | DOMAGOJ RUKAVEC |
| MENTOR: | PROF.DR.SC. FRANJO ŠUMANOVAC |

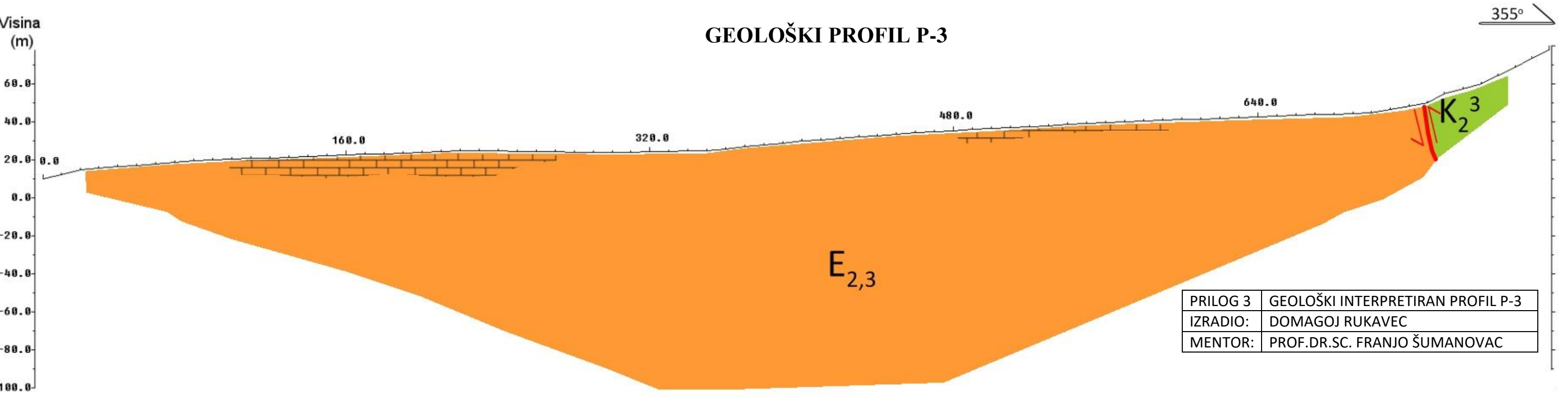
INVERZNI PROFIL OTPORNOSTI P-3



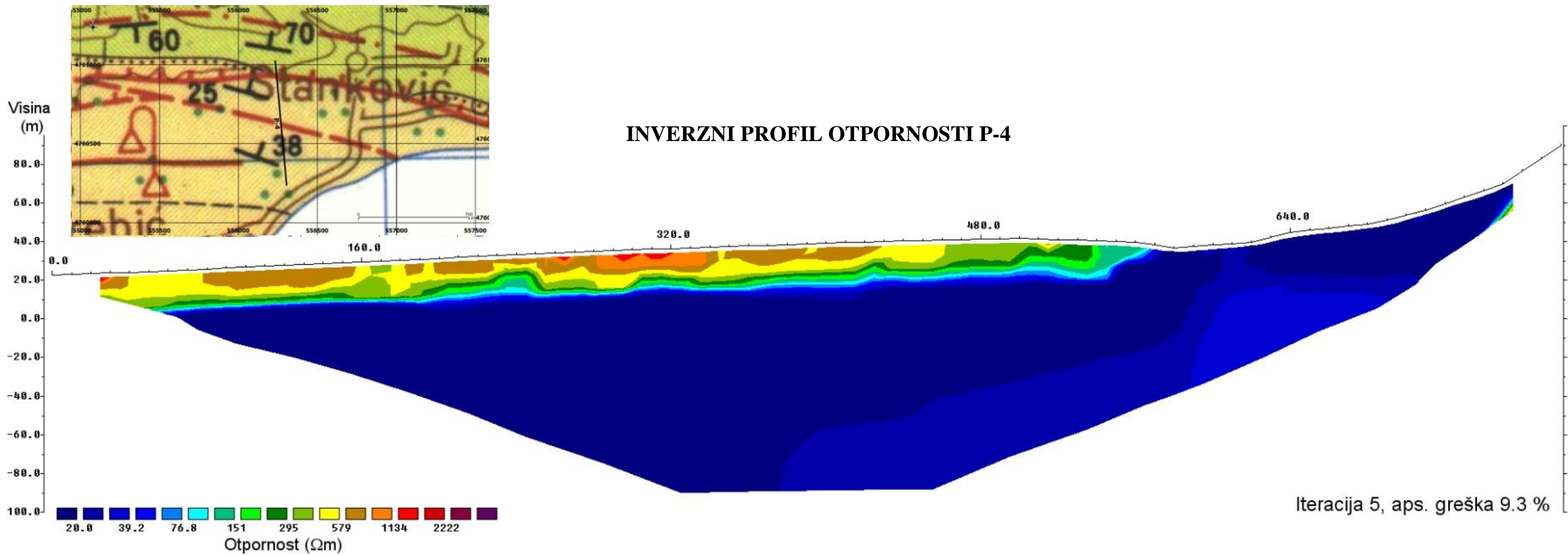
Iteracija 5, aps. greška 9.2 %

- PARAKLAZA REVERSNOG RASJEDA
- E_{2,3} EOCENSKI LAPORI I KALKARENITI
- EOCENSKI KARBONATI
- K₂³ GORNJOKREDNI USLOJENI VAPNENCI SA LEĆAMA ILI PROSLOJCIMA DOLOMITA

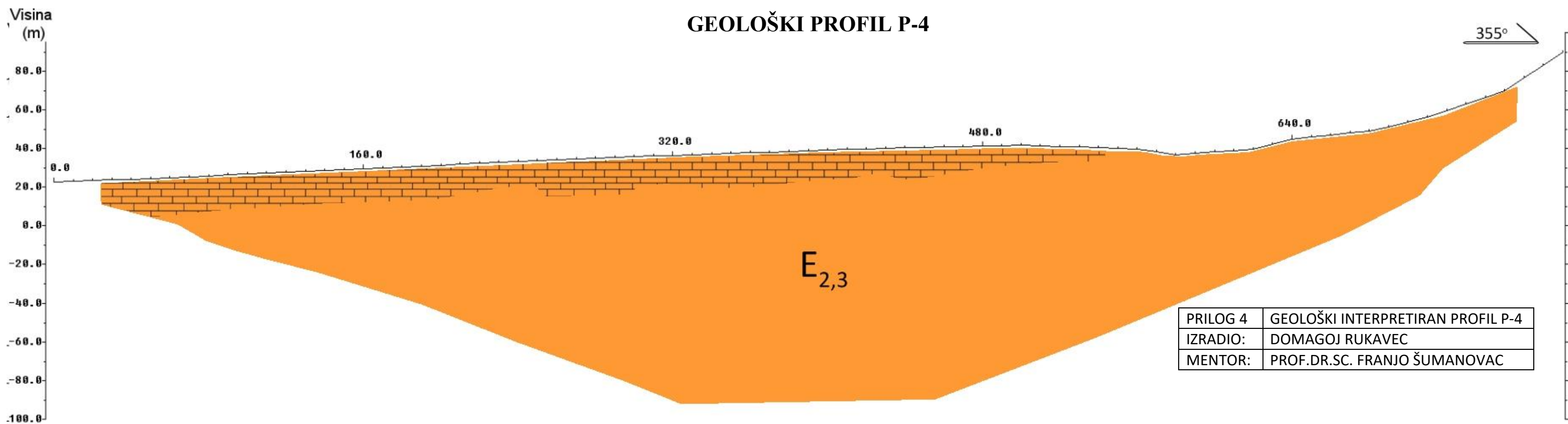
GEOLOŠKI PROFIL P-3

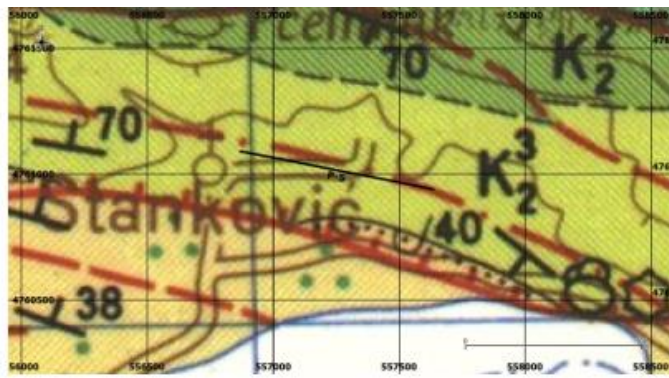


| | |
|----------|-----------------------------------|
| PRILOG 3 | GEOLOŠKI INTERPRETIRAN PROFIL P-3 |
| IZRADIO: | DOMAGOJ RUKAVEC |
| MENTOR: | PROF.DR.SC. FRANJO ŠUMANOVAC |

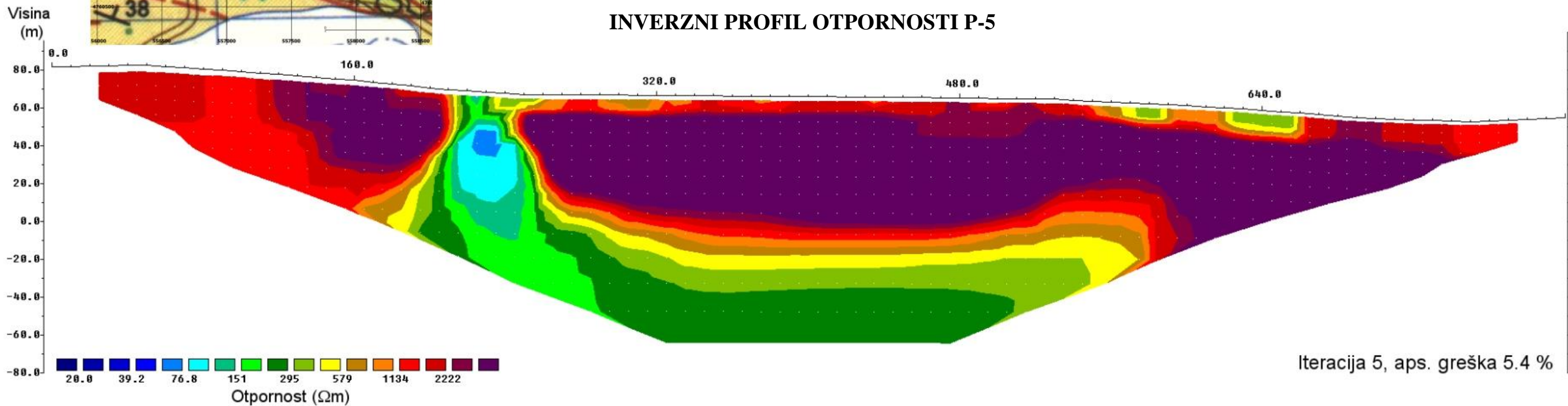


$E_{2,3}$ EOCENSKI LAPORI I KALKARENITI
 EOCENSKI KARBONATI



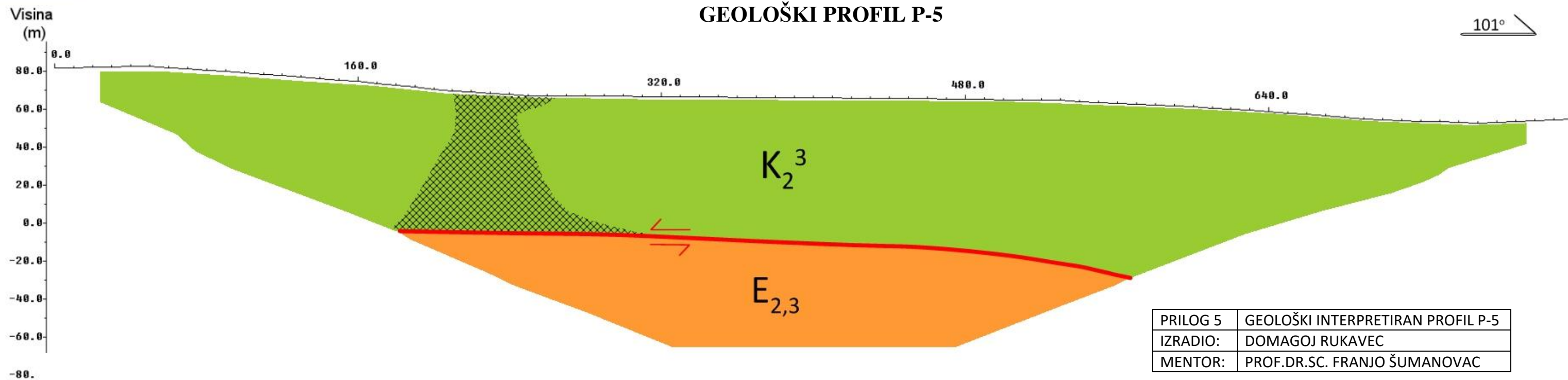


INVERZNI PROFIL OTPORNOSTI P-5

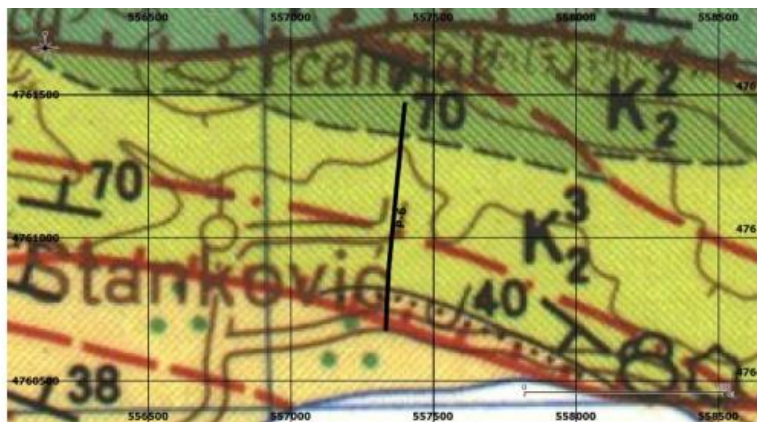


- PARAKLAZA REVERSNOG RASJEDA
- EOCENSKI LAPORI I KALKARENITI
- GORNJOKREDNI USLOJENI VAPNENCI SA LEĆAMA ILI PROSLOJCIMA DOLOMITA
- RAZLOMLJENA ZONA U GORNJOKREDNIM VAPNENCIMA

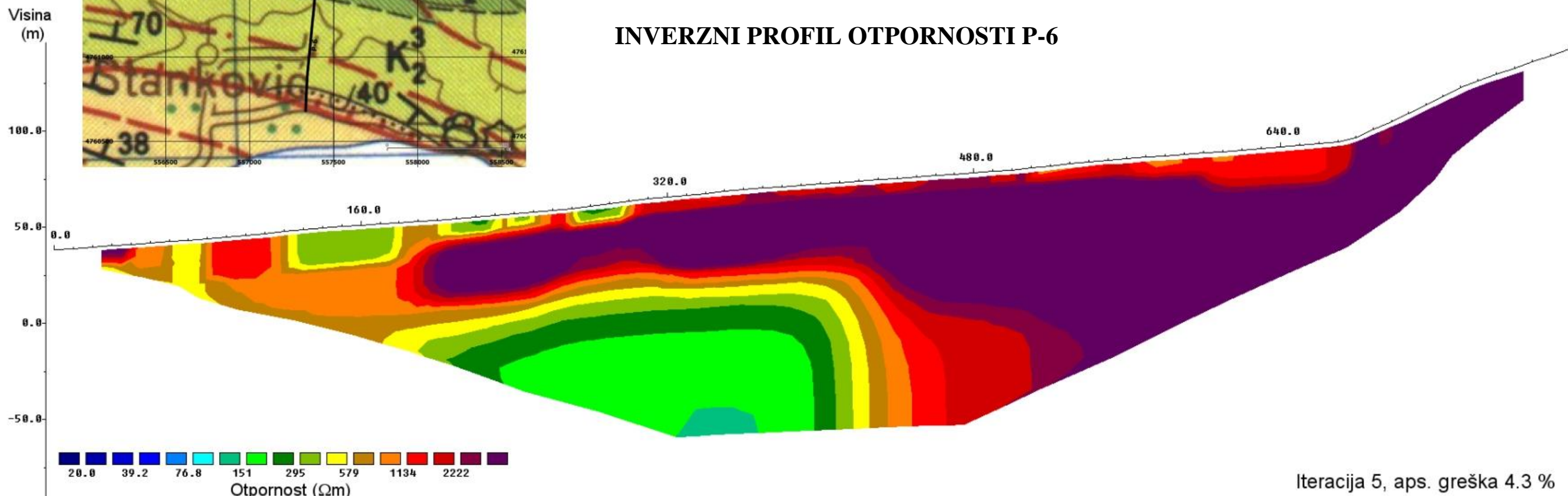
GEOLOŠKI PROFIL P-5



| | |
|----------|-----------------------------------|
| PRILOG 5 | GEOLOŠKI INTERPRETIRAN PROFIL P-5 |
| IZRADIO: | DOMAGOJ RUKAVEC |
| MENTOR: | PROF.DR.SC. FRANJO ŠUMANOVAC |



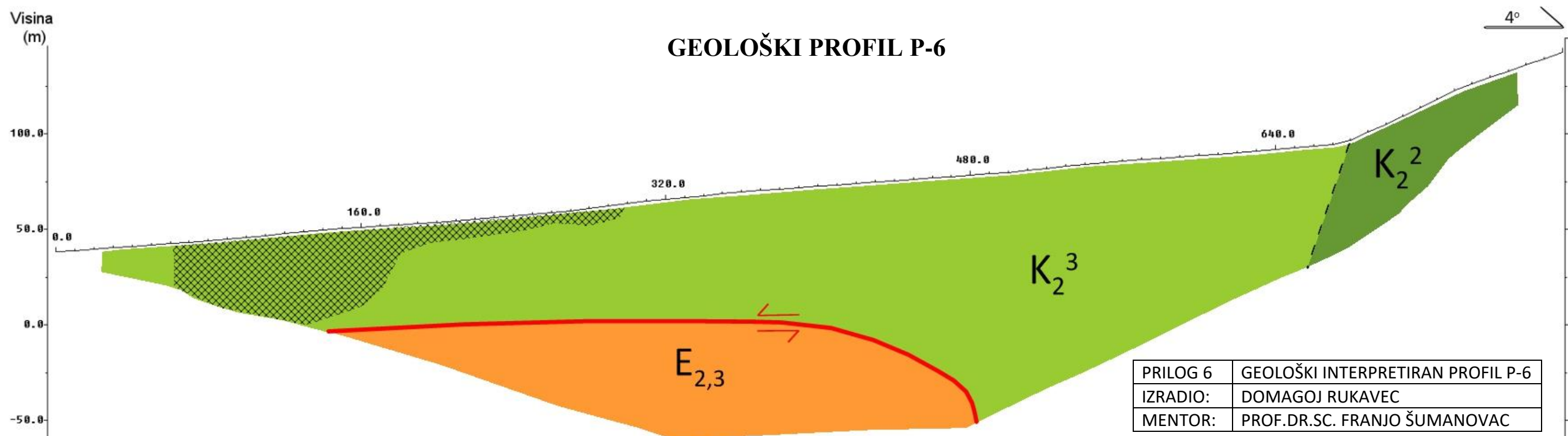
INVERZNI PROFIL OTPORNOSTI P-6



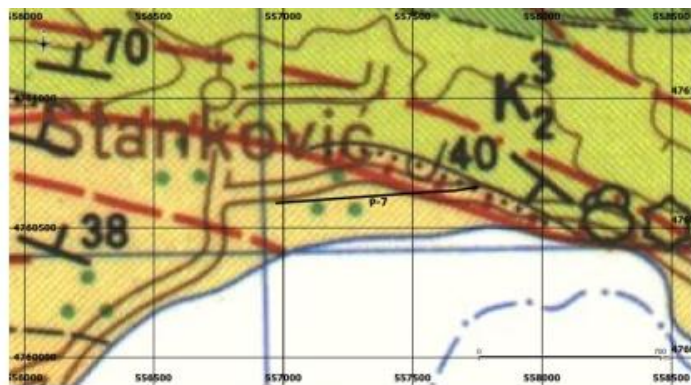
Iteracija 5, aps. greška 4.3 %

- PARAKLAZA REVERSNOG RASJEDA
- PRETPOSTAVLJENA GEOLOŠKA GRANICA
- EOCENSKI LAPORI I KALKARENITI
- GORNJOKREDNI USLOJENI VAPNENCI
- GORNJOKREDNI USLOJENI VAPNENCI SA LEĆAMA ILI PROSLOJCIMA DOLOMITA
- RAZLOMLJENA ZONA U GORNJOKREDNIM VAPNENCIMA

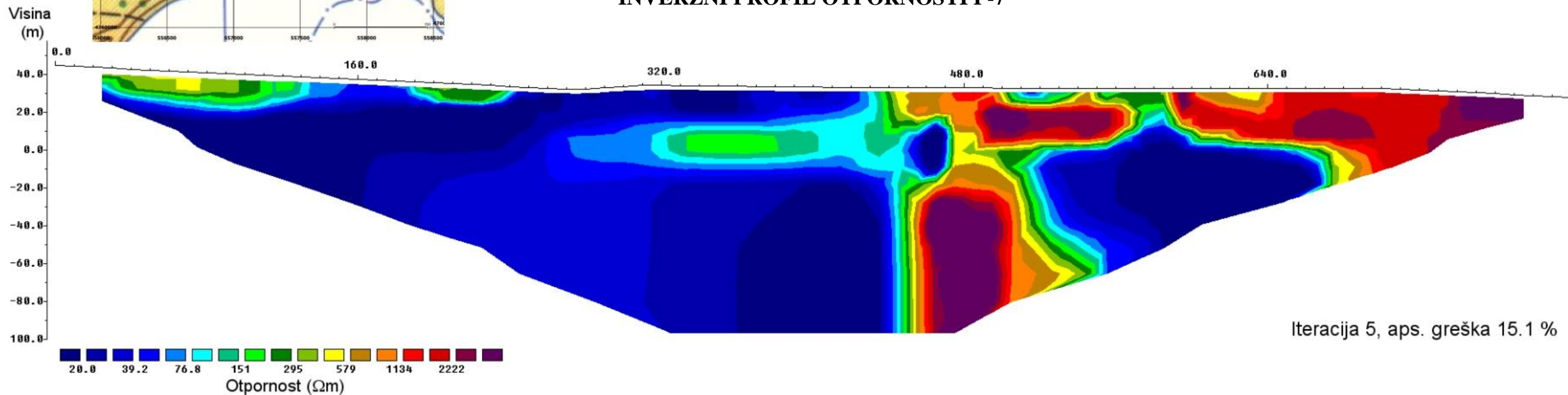
GEOLOŠKI PROFIL P-6



| | |
|----------|-----------------------------------|
| PRILOG 6 | GEOLOŠKI INTERPRETIRAN PROFIL P-6 |
| IZRADIO: | DOMAGOJ RUKAVEC |
| MENTOR: | PROF.DR.SC. FRANJO ŠUMANOVAC |

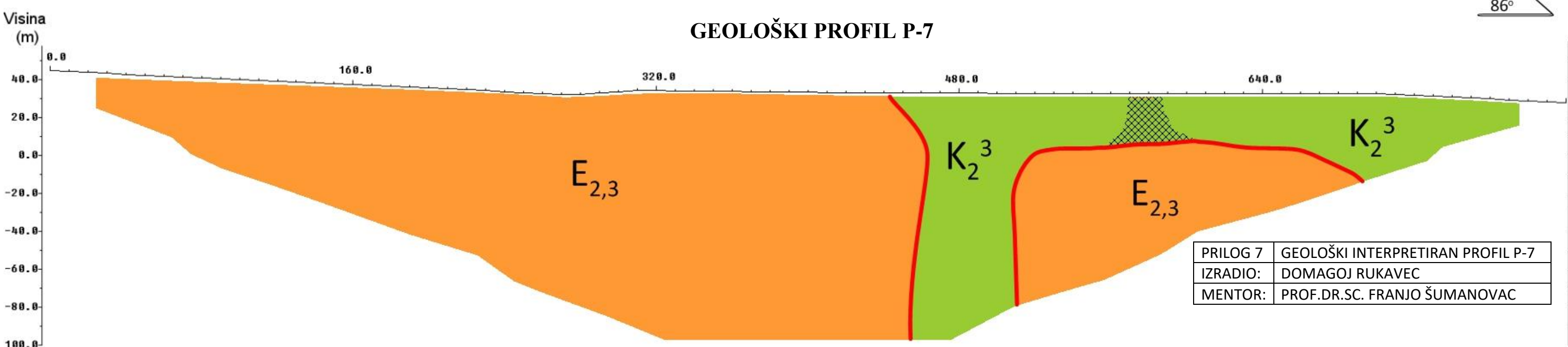


INVERZNI PROFIL OTPORNOSTI P-7

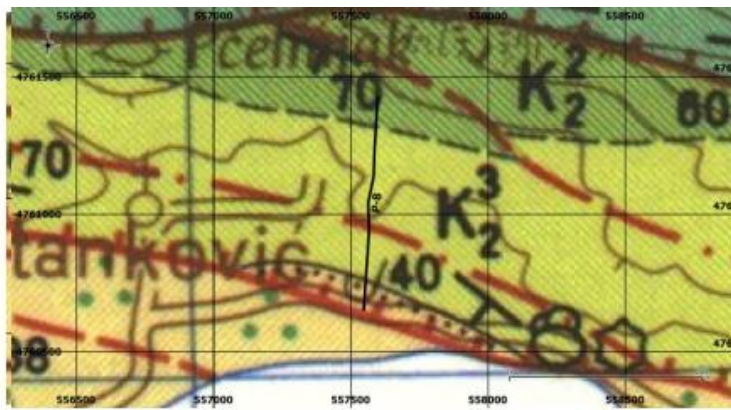


- PARAKLAZA REVERSNOG RASJEDA
- E_{2,3} EOCENSKI LAPORI I KALKARENITI
- K₂³ GORNJOKREDNI USLOJENI VAPNENCI SA LEĆAMA ILI PROSLOJCIMA DOLOMITA
- RAZLOMLIJENA ZONA U GORNJOKREDNIM VAPNENCIMA

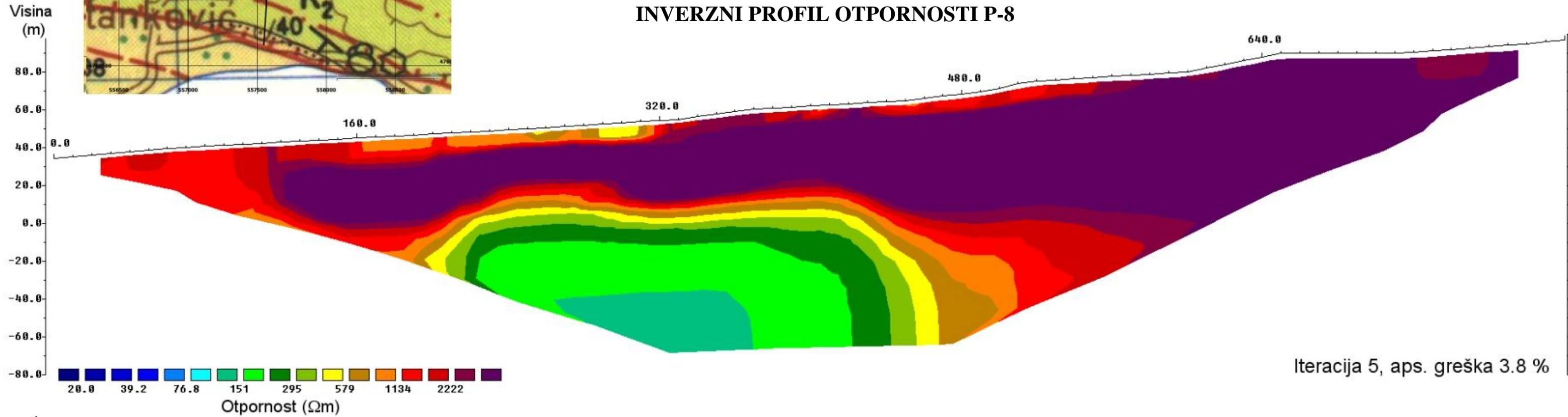
GEOLOŠKI PROFIL P-7



| | |
|----------|-----------------------------------|
| PRILOG 7 | GEOLOŠKI INTERPRETIRAN PROFIL P-7 |
| IZRADIO: | DOMAGOJ RUKAVEC |
| MENTOR: | PROF.DR.SC. FRANJO ŠUMANOVAC |



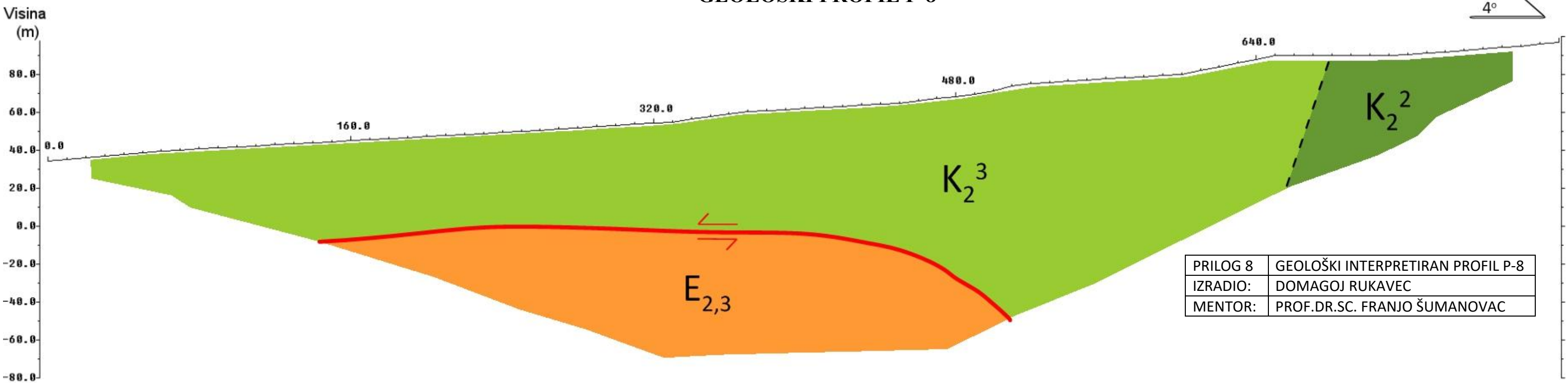
INVERZNI PROFIL OTPORNOSTI P-8



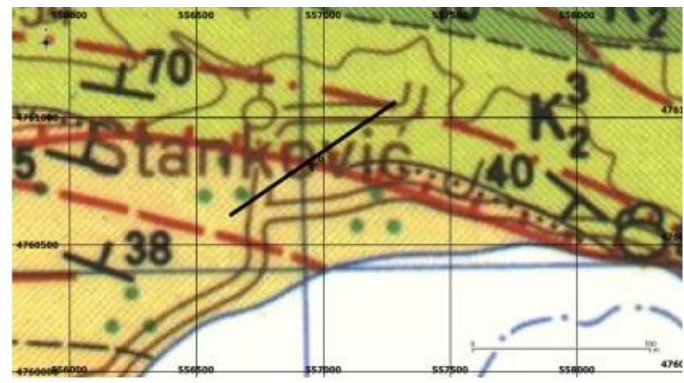
Iteracija 5, aps. greška 3.8 %

- PARAKLAZA REVERSNOG RASJEDA
- EOCENSKI LAPORI I KALKARENITI
- GORNJOKREDNI USLOJENI VAPNENCI SA LEĆAMA ILI PROSLOJCIMA DOLOMITA
- PRETPOSTAVLJENA GEOLOŠKA GRANICA
- GORNJOKREDNI USLOJENI VAPNENCI

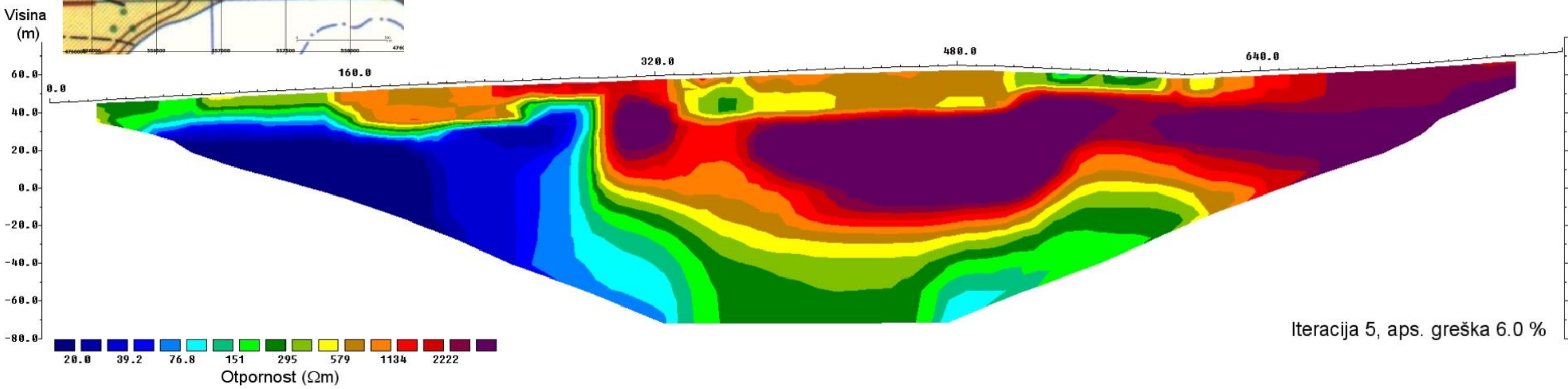
GEOLOŠKI PROFIL P-8



| | |
|----------|-----------------------------------|
| PRILOG 8 | GEOLOŠKI INTERPRETIRAN PROFIL P-8 |
| IZRADIO: | DOMAGOJ RUKAVEC |
| MENTOR: | PROF.DR.SC. FRANJO ŠUMANOVAC |



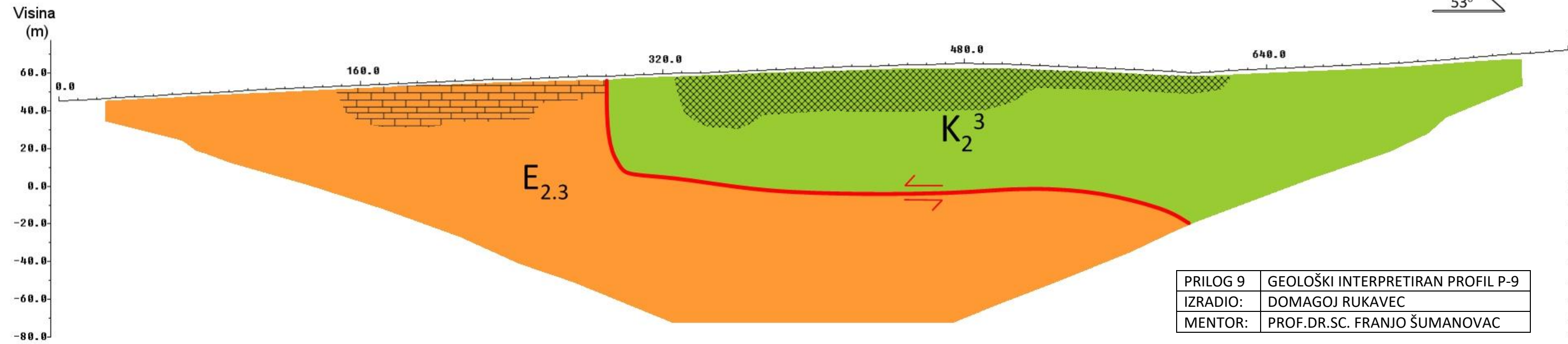
INVERZNI PROFIL OTPORNOSTI P-9



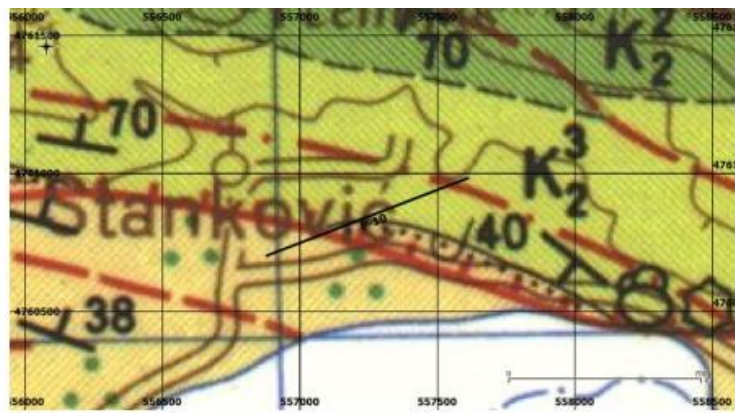
Iteracija 5, aps. greška 6.0 %

- PARAKLAZA REVERSNOG RASJEDA
- EOCENSKI LAPORI I KALKARENITI EOCENSKI KARBONATI
- GORNJOKREDNI USLOJENI VAPNENCI SA LEĆAMA ILI PROSLOJCIMA DOLOMITA RAZLOMLJENA ZONA U GORNJOKREDNIM VAPNENCIMA

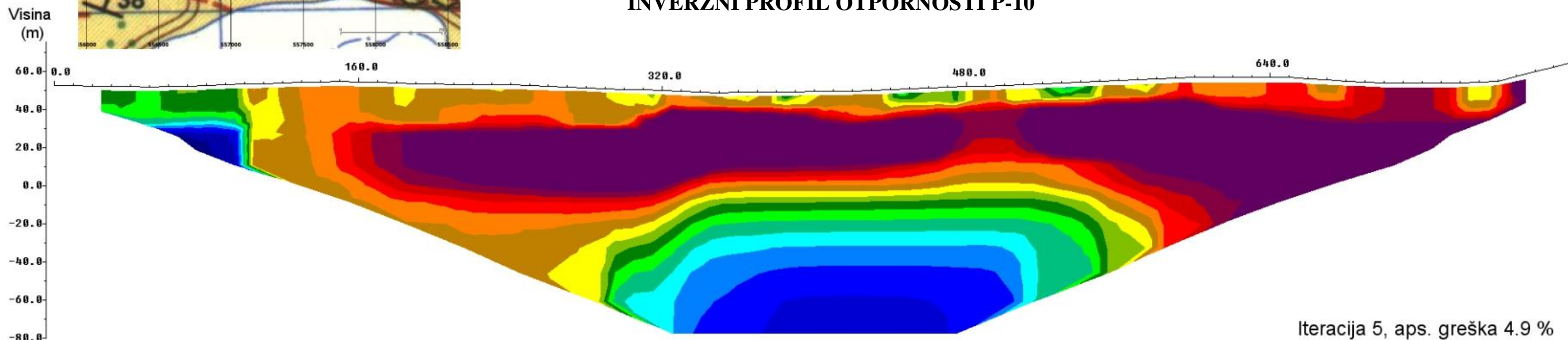
GEOLOŠKI PROFIL P-9



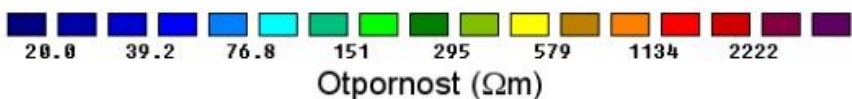
| | |
|----------|-----------------------------------|
| PRILOG 9 | GEOLOŠKI INTERPRETIRAN PROFIL P-9 |
| IZRADIO: | DOMAGOJ RUKAVEC |
| MENTOR: | PROF.DR.SC. FRANJO ŠUMANOVAC |



INVERZNI PROFIL OTPORNOSTI P-10

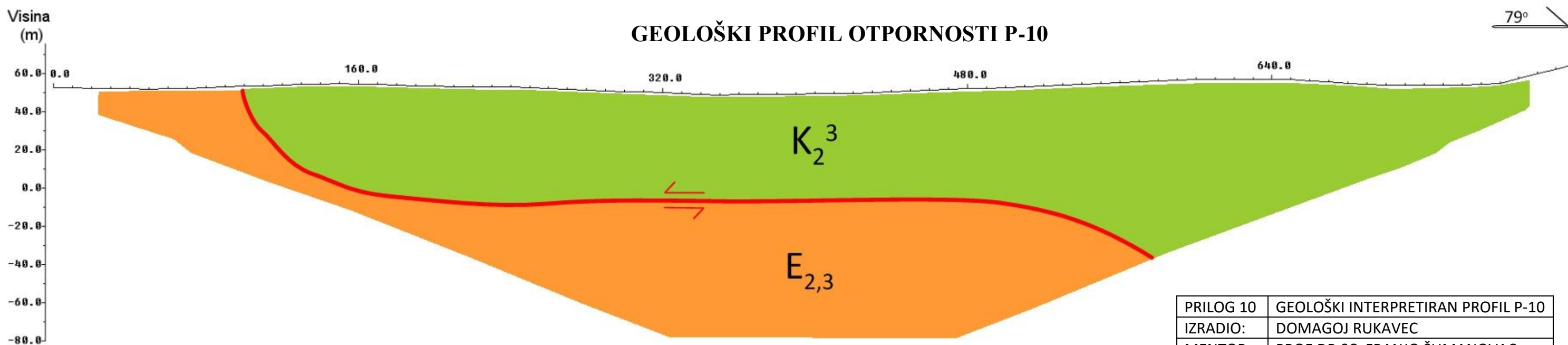


Iteracija 5, aps. greška 4.9 %



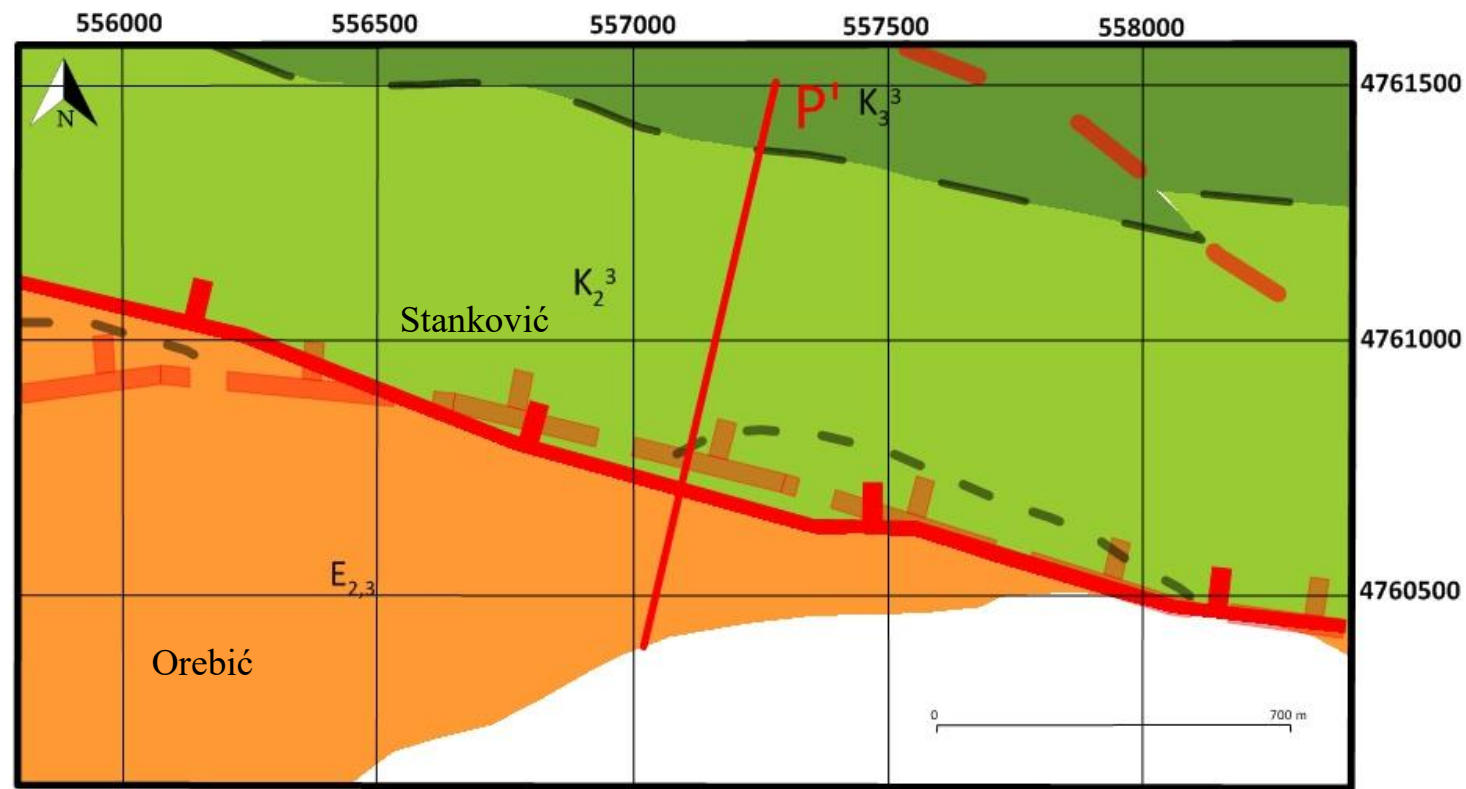
- PARAKLAZA REVERSNOG RASJEDA
- EOCENSKI LAPORI I KALKARENITI
- GORNJOKREDNI USLOJENI VAPNENCI SA LEĆAMA ILI PROSLOJCI MA DOJOMITA

GEOLOŠKI PROFIL OTPORNOSTI P-10



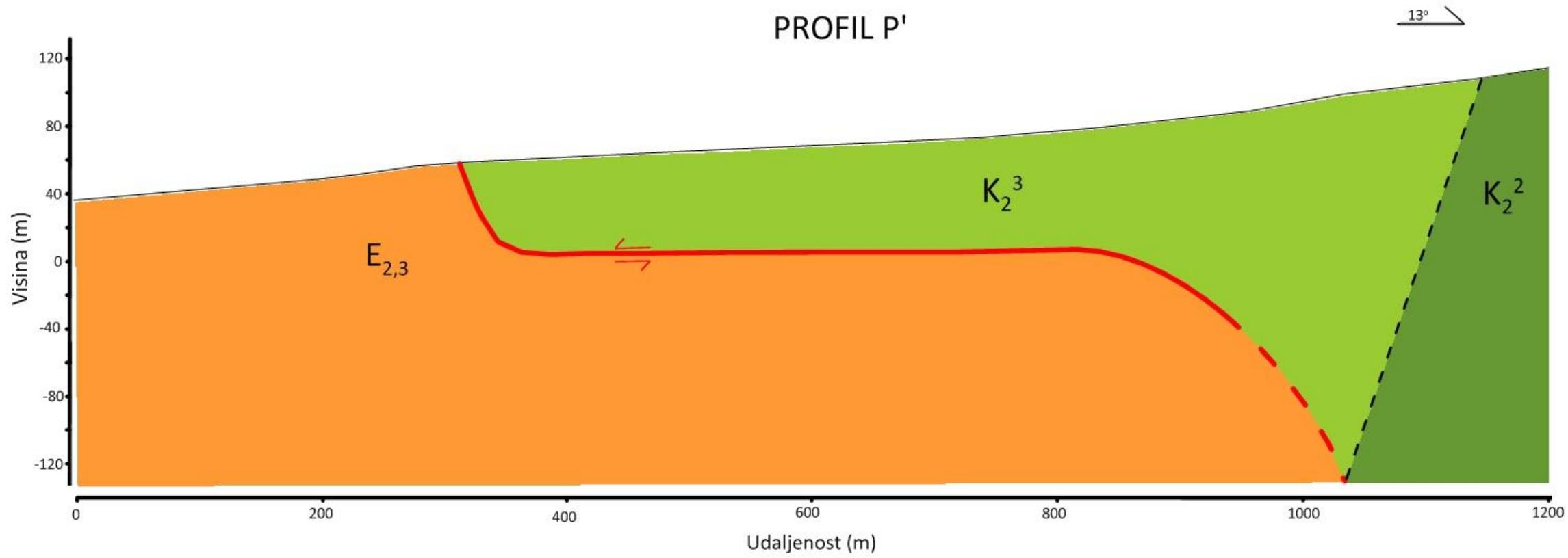
| | |
|-----------|------------------------------------|
| PRILOG 10 | GEOLOŠKI INTERPRETIRAN PROFIL P-10 |
| IZRADIO: | DOMAGOJ RUKAVEC |
| MENTOR: | PROF.DR.SC. FRANJO ŠUMANOVAC |

KORIGIRANA KARTA



- E_{2,3} EOCENSKI LAPORI I KALKARENITI
- K₂³ GORNJOKREDNI USLOJENI VAPNENCI SA LEĆAMA ILI PROSLOJCIMA DOLOMITA
- K₂² GORNJOKREDNI USLOJENI VAPNENCI
- REVERSNI RASJED
- PRETPOSTAVLJENA GEOLOŠKA GRANICA (OGK)
- TRANSGRESIVNA GRANICA (OGK)
- REVERSNI RASJED (OGK)
- PARAKLAZA REVERSNOG RASJEDA
- PRETPOSTAVLJENA GEOLOŠKA GRANICA

PROFIL P'



| | |
|-----------|--|
| PRILOG 11 | KORIGIRANA KARTA I KARAKTERISTIČAN PROFIL P' |
| IZRADIO: | DOMAGOJ RUKAVEC |
| MENTOR: | PROF.DR.SC. FRANJO ŠUMANOVAC |