

# Geoelektrično sondiranje na području Dobrovca

---

**Kišur, Marko**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:099027>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-02**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Preddiplomski studij naftnog rudarstva

**GEOELEKTRIČNO SONDIRANJE NA PODRUČJU DOBROVCA**

Završni rad

Marko Kišur

G4537

Zagreb, 2024



KLASA: 602-01/24-01/105  
URBROJ: 251-70-14-24-1  
U Zagrebu, 12.09.2024.

Kišur Marko, student

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/24-01/105, URBROJ: 251-70-14-24-1 od 25.06.2024. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

### GEOELEKTRIČNO SONDIRANJE NA PODRUČJU DOBROVCA

Za mentora ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Prof.dr.sc. Franjo Šumanovac nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i komentoricu Doc.dr.sc. Josipa Kapuralić.

Mentor:

(potpis)

Prof.dr.sc. Franjo Šumanovac

(titula, ime i prezime)

Predsjednica povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Ana Maričić

(titula, ime i prezime)

(potpis)

Doc.dr.sc. Josipa Kapuralić

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje  
Pašić

(titula, ime i prezime)

## GEOELEKTRIČNO SONDIRANJE NA PODRUČJU DOBROVCA

Marko Kišur

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za geofizička istraživanja i rudarska mjerenja  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

### Sažetak

U ovom završnom radu napravljena je interpretacija podataka električnog sondiranja na lokalitetu Dobrovac u programu IPI2win. Dobrovac se nalazi u Požeško-slavonskoj županiji. Projekt je bio financiran od strane Hrvatskih voda. Cilj istraživanja su bila hidrogeološka istraživanja u svrhu izdvajanja potencijalnih vodonosnih slojeva šljunaka i pijesaka. Prema prijašnjim geološkim istraživanjima na ovom istražnom području utvrđeni su slojevi šljunaka, pijesaka i glina kvartarnih starosti

Ključne riječi: geoelektrično sondiranje, hidrogeološka istraživanja  
Završni rad sadrži: 17 stranice, 2 tablica, 5 slika, 10 priloga, i 15 reference.  
Jezik izvornika: Hrvatski  
Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb  
Mentori: Prof. dr. sc. Franjo Šumanovac RGNF  
Pomagao pri izradi/komentor: Doc. dr. sc. Josipa Kapuralić RGNF  
Ocjenjivači: Prof. dr. sc. Franjo Šumanovac RGNF  
Doc. dr. sc. Josipa Kapuralić RGNF  
Doc. dr. sc. Ivan Medved RGNF  
Doc. dr. sc. Ivica Pavičić RGNF  
Izv. prof. dr. sc. Anamarija Grbeš Babić RGNF

## **SADRŽAJ:**

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA .....</b>	<b>2</b>
<b>3. GEOGRAFSKI POLOŽAJ .....</b>	<b>3</b>
<b>4. REGIONALNI GEOLOŠKI ODNOSI .....</b>	<b>4</b>
<b>5. GEOELEKTRIČNE METODE .....</b>	<b>5</b>
<b>5.1. Električna otpornost stijena .....</b>	<b>6</b>
<b>5.2. Geoelektrično sondiranje .....</b>	<b>7</b>
<b>5.3. Schlumbergerov elektrodni raspored .....</b>	<b>8</b>
<b>6. TERENSKA ISTRAŽIVANJA.....</b>	<b>9</b>
<b>7. OBRADA I INETERPRETACIJA PODATAKA .....</b>	<b>11</b>
<b>8. PRIKAZ REZULTATA ISTRAŽIVANJA.....</b>	<b>12</b>
<b>9. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>15</b>
<b>10. LITERATURA .....</b>	<b>16</b>

## **POPIS SLIKA:**

Slika 3-1. Satelitska snimka istraživanog područja (A(Istočna hrvatska) i B(naselje Dobrovac)).....	3
Slika 5-1. Plitka geofizička istraživanja (Abidin, 2010) .....	5
Slika 5-2. Geoelektrično sondiranje (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)).....	7
Slika 5-3. Schlumbergerov elektrodni raspored (Lemacha, 2017).....	8
Slika 6-1. Uređaj za mjerenje (Terrametar SAS 1000).....	9

## **POPIS TABLICA:**

Tablica 5-1. Tablica vodljivosti i otpornosti stijena i vode.....	6
Tablica 6-1. Geografske koordinate sonde.....	10

## **POPIS PRILOGA:**

Prilog 1: Interpretirana geoelektrična sonda GS-1 i pridruženi litološki stup

Prilog 2: Interpretirana geoelektrična sonda GS-2 i pridruženi litološki stup

Prilog 3: Interpretirana geoelektrična sonda GS-3 i pridruženi litološki stup

Prilog 4: Interpretirana geoelektrična sonda GS-4 i pridruženi litološki stup

Prilog 5: Interpretirana geoelektrična sonda GS-5 i pridruženi litološki stup

Prilog 6: Interpretirana geoelektrična sonda GS-6 i pridruženi litološki stup

Prilog 7: Interpretirana geoelektrična sonda GS-7 i pridruženi litološki stup

Prilog 8: Interpretirana geoelektrična sonda GS-8 i pridruženi litološki stup

Prilog 9: Geoelektrčni profil P-1

Prilog 10: Položajna karta



## 1. UVOD

Istraživani teren nalazi se na području Dobrovca koji je smješten u Požeško-slavonskoj županiji. U srpnju, 2001. god. izvršena su geofizička istraživanja od strane Zavoda za geofizička istraživanja i rudarska mjerenja Rudarsko-geološkog-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Cilj ovog istraživanja su bila hidrogeološka istraživanja čija je svrha bila izdvajanje potencijalnih vodonosnih slojeva šljunaka i pijesaka. Određivanje debljina i vrste slojeva dobiveno je metodom električnog sondiranja koja se koristila Schlumbergerovim elektrodnim rasporedom. Na dobivenim mjerenim podacima prije početka interpretacije odrađeno je izgladivanje krivulja električnih otpornosti nakon čega su podaci interpretirani koristeći se metodom Hummelovih pomoćnih krivulja za dvosloj i trosloj. U ovom završnom radu odrađena je ponovna interpretacija mjerenih podataka uz pomoć računalnog programa IPI2win zbog preglednijeg grafičkog prikaza interpretiranih krivulja. Geoelektričnim sondiranjem postignuta je dubina istraživanja do 185 m i otpornosti u rasponu od 3 do 372  $\Omega$ m. Naslage koje su zahvaćene ovim geoelektričnim istraživanjem su pretežno kvartarnih i pliocenskih starosti.

## **2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA**

U drugoj polovici 20. stoljeća započinju detaljnija geološka istraživanja na lokalitetu Dobrovac.

Ivan Blašković, Josip Tišljar, Ivan Dragičević i Josipa Velić (1984) u svojem znanstvenom radu o razvoju sedimentacijskih okoliša miocenskih naslaga na zapadnim odroncima Psunja opisuju pakete naslaga pronađene na lokalitetu Dobrovac. U znanstvenom radu su opisane krupnozrnate naslage šljunka i pijeska te sitnozrnate naslage gline.

D.Jamičić (1989) autor je osnovne geološke karte Kraljevine Jugoslavije M 1:100 000 lista Daruvar L33-95. Pomoću geoloških stupova i geoloških profila prikazani su relativni odnosi debljina slojeva na lokalitetu Dobrovac.

### 3. GEOGRAFSKI POLOŽAJ

Naselje Dobrovac (slika 3-1) smješteno je u zapadnom dijelu Požeško-slavonske županije i sastavni je dio grada Lipika. Grad Lipik zauzima površinu od 212 km<sup>2</sup> i ima administrativno područje koje se sastoji od 26 naselja. Dobrovac je okružen sa sjeverne strane gradom Daruvarom, s zapada gradom Kutinom, s istoka planinom Psunj i sa juga općinom Okučanima. Dobrovac je manje naselje sa površinom od 4.6 km<sup>2</sup> i ima 304 stanovnika.



Slika 3-1. Satelitska snimka istraživanog područja (A(Istočna hrvatska) i B(naselje Dobrovac))

## 4. REGIONALNI GEOLOŠKI ODNOSI

Naselje Dobrovac smješteno je u podnožju planine Psunj. Psunj je smješten uz južni rub bivšeg Panonskog bazena, u zoni konvergentne granice Unutarnjih Dinarida i mega-bloka Tisije (Lazić, 2019).

Panonski bazen sastavni je dio bivšeg Paratetisa, dno nekadašnjega mora na prostoru današnje Panonske nizine koje je ispunjeno paleogenskim i neogenskim naslagama. Njegov nastanak je bio za vrijeme miocena. U doba nastanka Panonski bazen je bio spojen sa susjednim oceanskim prostorima (Mediterranom i Indijskim oceanom), što je utjecalo na žive organizme i taložne procese. U debelom taložnom geološkom slijedu naslaga najstariji sedimenti imaju morska obilježja, a mlađe (pliocenske) naslage pokazuju znatnu raznolikost s obzirom na taložne uvjete. Prema dobro očuvanoj fosiliziranoj flori i fauni može se zaključiti da je prije 10 milijuna godina došlo do važnih promjena u ekosustavu. U to doba Panonski bazen je bio u potpunosti izoliran od oceanskih djelovanja, što se može zamijetiti u vrsti naslaga: povećan je broj sitnozrnih kopnenih čestica istaloženih u slatkovodnoj sredini, a promjene ekosustava najbolje se uočavaju kod mekušaca. U početku Panonski bazen bio je tipičan dio Paratetisa, ali se tijekom neogena prostorno smanjio i time odvojio od susjednih svjetskih mora. Glavna posljedica izolacije bila je promjena saliniteta vode i životnih uvjeta organizama koji su bili prisiljeni prilagodbi na nove uvjete. Današnja Panonska nizina je dio bivšeg Panonskog bazena. U kojem su istaložene velike količine sedimentata. Istaloženi sediment je bogat organskom tvari što je utjecalo povoljno za stvaranje nafte i zemnog plina (Hrvatska enciklopedija).

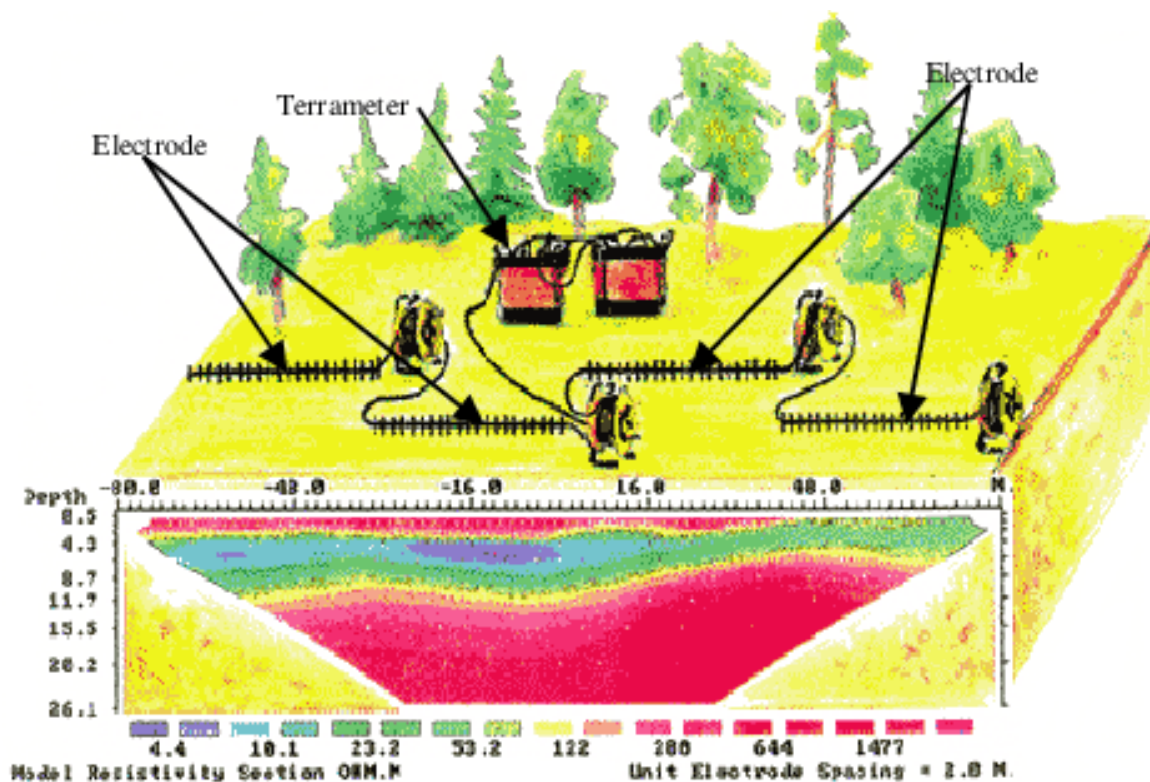
Psunj je planina koja se nalazi na jugozapadnom rubu Požeške kotline i pruža se u smjeru sjeveroistok- jugozapad. Najviši vrh Psunja je Brezovo polje (985m). Planina Psunj je nastala kao posljedica sudaranja Afričke i Euroazijske ploče tektonske ploče za vrijeme mezozoika i njeno formiranje se nastavilo tijekom Tercijara. Središnji dio Psunja izgrađena je od grafitične metagrauvake, metapješčenjaka i metakonglomerata devonske starosti debljine oko 100m. Središnji dio je okružen starijim vulkanskim (gabrom) i metamorfnim (mramor, grafitni škriljavci, klorit-sericitni škriljavci amfibolski škriljavci, granat-staurolitni gnajsevi) stijenama prekambrijske starosti debljine oko 2000m. Podnožje planine Psunj obilježeno je mlađim miocenskim (lapori, laporitni vapnenci, glinoviti lapori...) pliocenskim (pješčenjaci, pjeskoviti lapori, šljunci, pijesci, ugljen...) i kvartarnim (šljunci, pijesci i gline) naslagama koji zbog svoje debljine otežavaju interpretaciju terena (Jamičić, 1989).

## 5. GEOELEKTRIČNE METODE

Geoelektrične metode su jedne od glavnih metoda u geofizičkim istraživanjima. Temelje se na mjerenjima električnih svojstva stijena. Svaka vrsta stijene ima određena električna svojstva koja variraju s obzirom na stanje stijene i količinu vlage u stijeni. Interpretacijom podataka dobivenih geoelektričnim istraživanjima mogu se odrediti debljine i vrste slojeva a samim time dobiti saznanja o geološkoj građi i sastavu ispitivanog terena.

Geoelektrična istraživanja dijele se na metode koje se koriste već postojećim prirodnim električnim poljima (telurska metoda, magnetotelurska metoda i dr.) i metode koje se koriste umjetno izazvanim električnim poljima (metoda otpornosti, metoda inducirane polarizacije i dr.) (Šumanovac, 2012).

Zbog značajno većeg broja podataka koji se dobiva u plićim istraživanjima, geoelektrične metode (slika 5-1) su vodeće geofizičke metode koje se koriste prilikom plitkih istraživanja potencijalnih nakupina vode i vodonosnih slojeva. Glavni nedostatak geoelektričnih metoda je razmjerno brzo smanjivanje rezolucije s dubinom.



Slika 5-1. Plitka geofizička istraživanja (Abidin, 2010)

## 5.1. Električna otpornost stijena

Električna otpornost ili inverzna specifična vodljivost jedan je od parametara kojim se geoelektrične metode služe kako bih determinirale vrstu i debljinu stijene u podzemlju. Različite vrste stijena karakterizirane su različitim vrijednostima otpornosti koje se izražavaju u  $\Omega\text{m}$ . Na promijene u otpornosti utječu više čimbenika kao što su količina vode u stijeni, mineralni sastav stijene, mineralizacija i temperatura stijene (Šumanovac, 2012). Klastične stijene zbog svoje teksture i sadržaja vode u većini slučajeva imaju manje otpornosti nego magnatske i metamorfne stijene. Zbog tih čimbenika otpornost stijena nije određena s jednom fiksnom vrijednošću nego rasponom vrijednosti (tablica 5-1) koje predstavljaju raspon otpornosti stijene s obzirom na njeno stanje. Stijene u čijem se sastavu nalaze više vrsta stijena kao npr. naslage pijeska i gline imaju raspon otpornost između čistih glina i pješčenjaka.

S obzirom na to da stijene imaju raspon otpornosti za točniju determinaciju litologije ispitivanog terena potrebno je imati saznanja o mogućim vrstama stijene koje se mogu zateći na ispitivanom terenu.

**Tablica 5-1.** Tablica vodljivosti i otpornosti stijena i vode (Glover,2015)

Stijena	Vodljivost ( $\text{S m}^{-1}$ )	Otpornost( $\Omega\text{m}$ )
Granit	0,001-0,00001	1000-100000
Gabro	0,001-0,00001	1000-100000
Bazalt	0,1-0,0001	10-100000
Andezit	0,001-0,00001	1000-100000
Pijesak i šljunak	0,05-0,002	20-5000
Piješčenjak	0,1-0,001	50-1000
Vapnenac	0,002-0,00001	5000-100000
Dolomit	0,001-0,0002	1000-50000
Konglomerat	0,01-0,0001	100-10000
Ugljen	0,1-0,001	10-1000
Škriljavci	0,001-1	50-1000
Gline	0,05-0,01	20-100
Grafit	100-0,01	0,01-100
Masivni sulfidi	1000-1	0,001-1
Slana voda	10-1	0,1-1
Bočata voda	1-0,1	1-10
Slatkovodna voda	0,1-0,01	10-100
Permafrost	0,02-0,00001	500-100000
Morski led	0,05-0,001	20-1000



## 5.2. Geoelektrično sondiranje

Geoelektrično sondiranje (slika 5-2) je geofizička metoda kojom se uzastopnim povećavanjem udaljenosti između strujnih elektroda povećava dubina istraživanja. Ovom metodom se mjere otpornosti i debljine stijena u podzemlju.

Geoelektrično sondiranje se najčešće koristi Schlumbergerovim elektrodnim rasporedom. Schlumbergerov raspored je četveroelektrodni raspored koji se sastoji od dvije potencijalne elektrode (M i N) i dvije strujne elektrode (A i B). Strujnim elektrodama (A i B) dovodimo struju u podzemlje, puštanjem struje u podzemlje dolazi do stvaranja električnog potencijala koji se može registrirati pomoću potencijalnih elektroda (M i N).

Tijekom izvođenja geoelektričnog sondiranja potrebno je simetrično udaljavati strujne elektrode od potencijalnih. Povećanje udaljenosti između strujnih i potencijalnih elektroda dovodi do povećanja dubine prodiranja struje u zemlju.

Prividne otpornosti stijena se računaju po formuli (5-2):

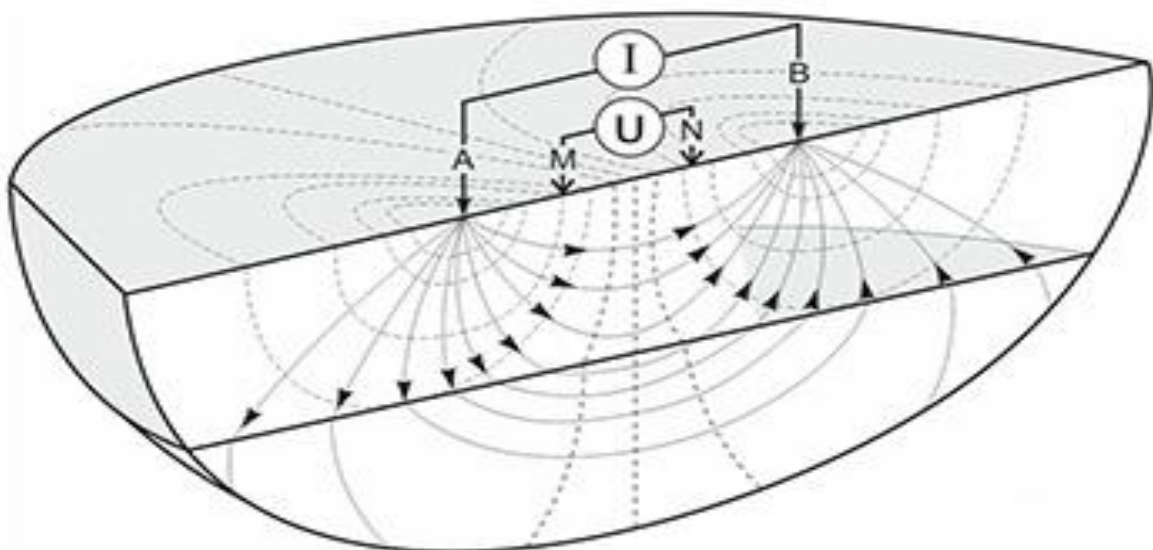
$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (5-2)$$

gdje su:  $\rho$  - (prividna otpornost) mjeri se u ohm-metrima ( $\Omega \cdot m$ ).

$K$  - (faktor ovisan o konfiguraciji elektroda)

$\Delta V$  - (razlika potencijala) mjeri se u voltima (V).

$I$  - (jakost struje) mjeri su u amperima (A).



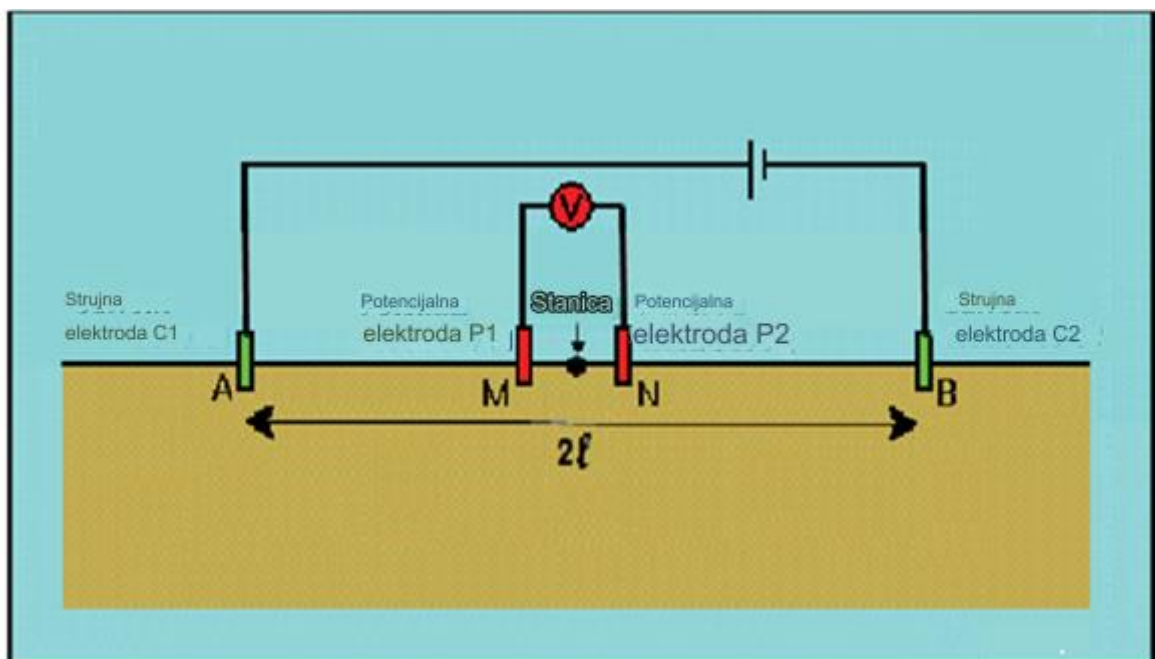
**Slika 5-2.** Geoelektrično sondiranje (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR))

### 5.3. Schlumbergerov elektrodni raspored

Schlumbergerov elektrodni raspored (slika 5-3) je najpoznatiji i najkorišteniji elektrodni raspored koji se koristi u geoelektričnim istraživanjima.

Kod Schlumbergerovog rasporeda, za svako mjerenje, strujne elektrode A i B pomiču se prema van kako bi se povećala udaljenost između njih tijekom istraživanja, dok elektrode potencijala M i N ostaju fiksne sve dok izmjereni napon ne postane previše malen za mjerenje. U tom trenutku, elektrode potencijala M i N pomiču se prema van na novu udaljenost. Prema pravilu, razdaljina između elektroda M i N trebala bi biti jednaka ili manja od jedne petine udaljenosti između elektroda A i B na početku mjerenja. Ovaj omjer može se povećati do jedne desetine ili jedne petnaestine, ovisno o jačini signala.

Schlumbergerov raspored je najbolji elektrodni raspored za geoelektrična istraživanja, jer je iz praktičnih razloga znatno manje radno zahtjevan od Wennerovog elektrodnog rasporeda. Schlumbergerov raspored ima prednost jer većinu vremena treba pomicati samo vanjske elektrode A i B. Obično su potrebne samo tri osobe za uspješno izvođenje geoelektričnih istraživanja pomoću Schlumbergerovog elektrodnog rasporeda. Dvije osobe nalaze se na krajevima Schlumbergerovog elektrodnog rasporeda te su zadužene za pomicanje strujnih elektrodi (A i B), a u središtu na mjestu stanice (slika 4) nalazi se jedna osoba koja je zadužena za potencijalne elektrode (M i N) i uređaj za mjerenje.



Slika 5-3. Schlumbergerov elektrodni raspored (Lemacha, 2017)



## 6. TERENSKA ISTRAŽIVANJA

Prvi korak svakog terenskog istraživanja je prikupljanje potrebnih geoloških i topografskih karata ispitivanog terena, proučavanje prijašnjih istraživanja provedenih na ispitivanom terenu i proučavanje odgovarajuće literature vezane za ispitivani teren. Prilikom izvođenja geoelektričnih istraživanja potrebni su nam kabeli za prijenos struje, instrumenti za mjerenje, izvor struje i elektrode. Na lokalitetu Dobrovac korišten je uređaj Terrametar SAS 1000 (slika 6-1), proizveden od švedske kompanije ABEM koji ujedinjuje miliampermetar i milivoltmetar. Potencijalne i strujne elektrode izrađene su od nehrđajućeg čelika. Tijekom mjerenja sa instrumentom Terrametar SAS 1000 u podzemlje se pušta izmjenična struja. Zbog takvog načina mjerenja dolazi do boljih očitavanja napona i smanjenjem djelovanja nepoželjnih prirodnih šumova.



Slika 6-1. Uređaj za mjerenje (Terrametar SAS 1000)

Prije početka mjerenja na lokaciji svake sonde potrebno je očitati koordinate pomoću GPS uređaja (tablica 6-1). U tablici 2 koordinate sonde prikazane su uz pomoć HTRS96 sustava.

**Tablica 6-1.** Geografske koordinate sonde.

Sonda	East(m)	North(m)
GS-1	547844	5032636
GS-2	547752	5032224
GS-3	547623	5032745
GS-4	548043	5033745
GS-5	549046	5032751
GS-6	548183	5032912
GS-7	548347	5033353
GS-8	548655	5033878

## **7. OBRADA I INETERPRETACIJA PODATAKA**

Prilikom obrade podataka potrebno je imati izračunate prividne otpornosti koje se unose u dijagrame dvostrukog logaritamskog mjerila, pomoću kojih se dobivaju krivulje električnih otpornosti. Tijekom mjerenja može doći do raznih problema kao što su pogrešno postavljene elektrode ili neravnine na ispitivanom terenu koje mogu negativno utjecati na točnost mjerenih podataka. Zbog takvih situacija prije interpretacije električnih krivulja potrebno je obaviti izgladivanje krivulja električnih otpornosti na mjestima na kojima dolazi do naglih promjena nagiba ili prekida krivulje.

Interpretacija izgladenih krivulja odvija se ručno uz pomoć Hummelove metode pomoćnih krivulja. Hummelova metoda koristi teoretske krivulje dvosloja i pomoćne krivulje za interpretaciju trosloja. U stvarnim terenskim istraživanjima najuobičajenije se susrećemo s četveroslojnim i višeslojnim sredinama. Interpretacija krivulja višeslojnog podzemlja odvija se pomoću teoretske krivulje dvosloja ili trosloja i pomoćne krivulje.

Nakon ručne interpretacije krivulja električnih otpornosti odvija se računalna interpretacija zbog preglednijeg grafičkog prikaza interpretiranih krivulja. U ovom završnom radu izrađena je računalna interpretacija pomoću programa IPI2win. IPI2win je besplatni softver za analizu podataka geoelektričnog sondiranja. Program pruža mogućnost analize više točaka mjerenja. Korištenje programa se može opisati u nekoliko koraka. Prvi korak je unos mjerenih podataka, drugi korak je ispravljanje pogrešaka u podacima, treći korak je dodavanje podatkovnih točaka, posljednji korak je stvaranje presjeka(Kurniawan, 2009).

## 8. PRIKAZ REZULTATA ISTRAŽIVANJA

Ovim završnim radom odrađena je računalna interpretacije podataka geoelektričnog sondiranja na lokalitetu Dobrovac. Interpretacija je obavljena na 8 od 15 mjerenih sondi pomoću program a IPI2win. Sonde GS-1, GS-2, GS-3, GS-4, GS-6, GS-7 i GS-8 nalaze se na zapadnom dijelu terena koji je ujedno i granica naselja Dobrovac i naselja Kukunjevac. Sonda GS-5 nalazi se u središtu naselja Dobrovac. Za izradu geoelektričnog profila korištene su podaci dobiveni od sonda GS-6, GS-7 i GS-8.

Istraživano područje sastoji se od naslaga pliocenske i kvartarne starosti. Najstarije naslage koje susrećemo na terenu su gline pliocenske starosti koje se nalaze na dubinama većim od 185 metara. Tijekom geofizičkih mjerenja na sondi GS-5 registrirane su naslage otpornosti  $1906\Omega\text{m}$ . Takve velike otpornosti mogu biti rezultat magmatskih ili metamorfnih naslaga, međutim zbog nedostatka podataka ne može se s sigurnošću utvrditi stvarna vrsta stijene.

Prilikom interpretacije potrebno je uzeti u obzir djelovanje površinske trošne zone na mjerenja. Na gotovo svim sondama obuhvaćenim u ovom završnom radu može se uočiti tanki površinski sloj promjenjive otpornosti. Površinska trošna zona sastavljena je od klasta raznih dimenzija, humusnog materijala i ispunjenih pora fluidom. Zbog takvog sastava trošne zone njena interpretacija na temelju otpornosti je vrlo kompleksna. Zbog kompleksnosti interpretacije trošna zona se izdvaja na temelju debljine koja se kreće u granicama od 0 do 3 metara.

Tijekom mjerenja sondom GS-1 zahvaćena je najveća dubina istraživanja do oko 190m (prilog 1). Debljina površinske trošne zone iznosi 0,38m i sastoji se od šljunka i pijeska. Ispod površinske trošne zone nalazi se sloj gline s debljinom 9,9m i otpornosti  $24,12\Omega\text{m}$ . Povećanjem dubine istraživanja nailazimo na sloj pijeska sa šljunkom debljine 7,979m i otpornosti  $129,3\Omega\text{m}$ , ispod kojeg se nalazi veliki paket naslaga gline i silta s debljinom od 170,6m i otpornosti  $35,17\Omega\text{m}$ . Najdublja naslaga zahvaćena sa GS-1 je naslaga gline čija se krovina nalazi na dubini od 188,86m i ima relativno malu otpornost od  $3,814\Omega\text{m}$ .

Sonda GS-2 nalazi se na južnom dijelu istraživanog terena (prilog 10) i zahvaća dubinu istraživanja oko 59m (prilog 2). Površinska trošna zona sastavljena je pretežno od pijeska i šljunka s debljinom od 0,38m i otpornosti  $372,1\Omega\text{m}$ . Ispod površinske trošne zone nalazi se tanki sloj gline s pijeskom koji ima debljinu 1m i otpornost  $59,74\Omega\text{m}$ . Na dubini

od 1,38m počinju deblje naslage gline i silta koje imaju debljinu 12,44m i otpornost 41,3Ωm. Ispod naslage gline i silta nalazi se sloj gline čija je debljina 14,42m i otpornost 17,46Ωm. Na dubini od 28,24m počinje sloj gline s pijeskom koji ima najveću debljinu (30,76m) i otpornost (72,9Ωm) u sondi GS-2. Najdublji sloj mjereno u sondi GS-2 je sloj gline čija se krovina nalazi na 59m dubine i imaju otpornost 25,7Ωm.

Sonda GS-3 smještena je na jugozapadnom dijelu istraživanog terena i nalazi se nedaleko od sonde GS-1 (prilog 10). Sondom je zahvaćena dubina istraživanja oko 120m (prilog 3). Površinska trošna zona sastavljena je pretežno od pijeska i šljunka s debljinom od 0,65m i otpornosti 83,25Ωm. Ispod trošne zone nalaze se 2 tanka sloja; sloj gline s pijeskom (debljine 1.84m i otpornosti 45,47Ωm) i sloj gline (debljine 3,6m i otpornosti 16,96Ωm). S povećanjem dubine istraživanja nailazimo na naslage pijeska sa šljunkom debljine 7,15m i otpornosti 94,18Ωm. Ispod naslage pijeska sa šljunkom nalaze se dva paketa naslaga znatno većih debljina; naslage gline i silta (debljine 55m i otpornosti 27,79Ωm) i naslage gline s pijeskom (debljine 51,22m i otpornosti 54,95Ωm). Najdublji sloj mjere u sondi GS-3 je sloj gline čija se krovina nalazi na 120m dubine i ima otpornost 22,53Ωm.

Sonda GS-4 nalazi se na sjeverozapadnom dijelu istraživanog terena (prilog 10). Sondom GS-4 je zahvaćena relativno mala dubina istraživanja oko 50m (prilog 4). Površinska trošna zona sastoji se od krupnozrnatog materijala (pijeska i šljunka) ima debljinu od 0,8m te otpornost od 117,8Ωm. Ispod površinske trošne nalazi se tanki sloj sitnozrnatog materijala (gline i silta) sa debljinom od 3,46m i otpornosti 40,58Ωm. Povećanjem dubine istraživanja nailazimo na naslage gline s najvećom mjerenom debljinom u sondi GS-4 (22,27m) i otpornosti 15,73Ωm. Ispod naslage gline nalaze se naslage pijeska debljine 15,73m i otpornosti 81,52Ωm. Najdublje naslage mjerene u sondi GS-4 su naslage sitnozrnatog materijala (gline i silta) čija se krovina nalazi na dubini od 42,26m i ima otpornost 37,2Ωm.

Sonda GS-5 nalazi se na istočnom dijelu istraživanog terena u samom središtu mjesta Dobrovac (prilog 10). Sondom je zahvaćena dubina istraživanja oko 58m (prilog 5). Površinska trošna zona sastoji se od sitno zrnatog materijala (gline i pijeska) ima debljinu od 1,2m i otpornost 47,7Ωm. Ispod površinske trošne zone nalaze se naslage sitnozrnatog materijala (gline i silta) debljine 11,15m i otpornosti 28,81Ωm. Povećanjem dubine istraživanja nailazimo na naslage krupnozrnatog materijala (pijeska i šljunka) debljine 17,76m i otpornosti 94,33Ωm. Ispod krupnozrnatih naslaga nalazi se paket glinenih naslaga

debljine 27,59m i otpornosti 3,101 $\Omega$ m. Najdublje naslage mjere u sondi GS-4 su naslage gline i silta i imaju otpornost 26,02 $\Omega$ m i nalaze se na dubini od 65m. Zbog nedostatka podataka na sondi GS-5 onemogućena je točna interpretacija posljednjeg sloja velike otpornosti.

Sonde GS-6, GS-7 i GS-8 korištene su izradi geoelektričnog profila (prilog 9). Sonde GS-6 i GS-7 nalaze se u samom središtu istraživanog terena (prilog 6 i 7), a sonda GS-8 se nalazi na sjevernom dijelu istraživanog terena (prilog 8). Sondama je zahvaćena dubina istraživanja od 36m (GS-8) do 151m (GS-7) (prilog 6,7 i 8). Debljine površinske trošne zone kod sonde nalazi se u granicama od 0,15 (GS-6) do 0,66 (GS-8) i imaju otpornosti od 21,4 $\Omega$ m (GS-6) do 230,6 $\Omega$ m (GS-8).

Sondom GS-6 obuhvaćene su naslage gline s pijeskom koje imaju debljinu 3,2m i otpornost 49,7 $\Omega$ m. Ispod njih se nalaze sitnozrnate naslage (gline i silta) debljine 9,45m i otpornosti 29,13 $\Omega$ m. Povećanjem dubine istraživanja nailazimo na naslage gline sa pijeskom debljine 58,21m i otpornosti 62,73 $\Omega$ m. Najdublje naslage mjerene u sondi GS-6 su naslage sitnozrnatog materijala (gline i silta) čija se krovina nalazi na dubini od 71m i ima otpornost 30,62 $\Omega$ m.

Sondom GS-7 obuhvaćene su naslage sitnozrnatog materijala (gline i silta) debljine 4,3m i otpornosti 40,23 $\Omega$ m. Ispod naslage sitnozrnatog materijala nalazi se tanki sloj gline debljine 3,38m i otpornosti 12,52 $\Omega$ m. Povećanjem dubine istraživanja nailazimo na dva paketa naslaga znatno većih debljina; naslage gline i silta (debljine 63,94m i otpornosti 44,3 $\Omega$ m) i naslage pijeska (debljine 79,48m i otpornosti 96,37 $\Omega$ m). U samom dnu sonde GS-7 nalazi se sloj gline čija se krovina nalazi na 151m i ima otpornost 1,045 $\Omega$ m.

Najpliće naslage obuhvaćene sondom GS-8 su naslage gline i pijeska debljine 2,66m i otpornosti 65,68 $\Omega$ m. Ispod naslaga pijeska i gline nalaze se naslage gline i silta debljine 14,48m i otpornosti 31,01 $\Omega$ m. Dubljim istraživanjima utvrđen je sloj pijeska debljine 18,07m i otpornosti 133,7 $\Omega$ m. . Najdublje naslage mjerene u sondi GS-8 su naslage sitnozrnatog materijala (gline i silta) čija se krovina nalazi na dubini od 36m i ima otpornost 34,58 $\Omega$ m.

Za svaku sondu interpretiranu u ovom završnom radu napravljen je litološki stup radi lakše grafičkog prikaza podataka. Za sonde GS-6, GS-7 i GS-8 također je napravljen geološki profil duljine 1100m koji se proteže jugozapad-sjeveroistok (prilog 9).

## 9. ZAKLJUČAK

Na lokalitetu Dobrovac izvedena su geoelektrična istraživanja u svrhu hidrogeoloških istraživanja. Korištena je metoda geoelektričnog sondiranja sa Schlumbergerovim elektrodnim rasporedom. Mjereni podaci interpretirani su računalno uz pomoć programa IPI2win radi boljeg grafičkog prikaza krivulja električnih otpornosti.

Istraživani teren sastoji se pretežno od sedimentnih naslaga (šljunka, pijeska, silta i gline) i njihovih kombinacija (gline s pijeskom, pijeska sa šljunkom i dr.). Starost naslaga na istraživanom terenu datirana je od pliocena do kvartara. Otpornosti mjerenih slojeva kreću od 1 do  $372\Omega\text{m}$  i imaju debljine od 1 do 171m.

Na istraživanom terenu uz pomoć metode geoelektričnog sondiranja utvrđeni su debeli paketi krupnozrnatih naslaga (pijeska i šljunka) velikih otpornosti koji zbog svoje velike poroznosti spadaju u potencijalna vodonosne slojeve. Iznad i ispod krupnozrnatih sedimentnih naslaga nalazi se sitnozrnati materija (glina i silt) relativno male otpornosti koji zbog svojeg niskog stupnja poroznosti ne propušta vodu nego ju zadržava u krupnozrnatim naslagama. Ovim geofizičkim istraživanjem dobiveni su pozitivni podaci koju upućuju na potrebu za još detaljnih hidrološka istraživanja na lokalitetu Dobrovac.



## 10. LITERATURA

Abidin, Z., Hazreek, M.T.B., Faizal, M.K., Fahmy, A., (2010). Application of Geoelectrical Method in Subsurface Profile Forensic Study. In Proceedings of MUCET2010 Malaysian Technical Universities Conference on Engineering and Technology June 28-29, 2010, Bayview Hotel, Melaka, Malaysia

Blašković, I. (1984): Razvoj sedimentacijskih okoliša miocenskih naslaga na zapadnim obroncima Psunja (Sjeverna Hrvatska).

Glover, P.W.J., 11.04 - Geophysical Properties of the Near Surface Earth: Electrical Properties, Editor(s): Gerald Schubert, Treatise on Geophysics (Second Edition), Elsevier, (2015), Pages 89-137, ISBN 9780444538031,

Jamičić, D. (1989): Osnovna geološka karta SFRJ I :100.000. List Daruvar L33-95.- Geološki zavod, Zagreb (1975-1988); Savezni geološki institut, Beograd.

Kurniawan, A. (2009): Basic IPI2win Tutorial.

Lazić, J. (2019): Kapacitet kationske zamjene vodotočnih sedimenata drenažnog sustava Psunja. Diplomski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

Lemacha, H., Ghafiri, A., Bakiz, A., Soufi, A., EL Moutaki S (2017) Geotechnical and Geophysical Study of Ain Harrouda New City (Morocco). J Geol Geophys 6: 312. doi: 10.4172/2381-8719.1000312

Šumanovac, F. (2012): Osnove geofizičkih istraživanja, udžbenici sveučilišta u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

### WEB izvori

Geoelektrično sondiranje (15.8.2024)

[https://www.bgr.bund.de/EN/Themen/GG\\_Geophysik/Bodengeophysik/Geoelektrik/geoelektrik\\_node\\_en.html](https://www.bgr.bund.de/EN/Themen/GG_Geophysik/Bodengeophysik/Geoelektrik/geoelektrik_node_en.html)

Hrvatska enciklopedija, Panonski bazen, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013. – 2024. (15.8.2024)

<https://www.enciklopedija.hr/clanak/panonski-bazen>

Računalni program IPI2win (version 3.0.1)(15.8.2024)

<http://geophys01.geol.msu.ru/ipi2win.htm>

Satelitska snimka istraživanog područja (A(Istočna hrvatska) i B(naselje Dobrovac)) (15.8.2024)

<https://www.google.com/intl/en/earth/>

Satelitska snimka istraživanog područja(15.8.2024)

<https://geoportal.dgu.hr/>



Schlumbergerov elektrodni raspored (15.8.2024)

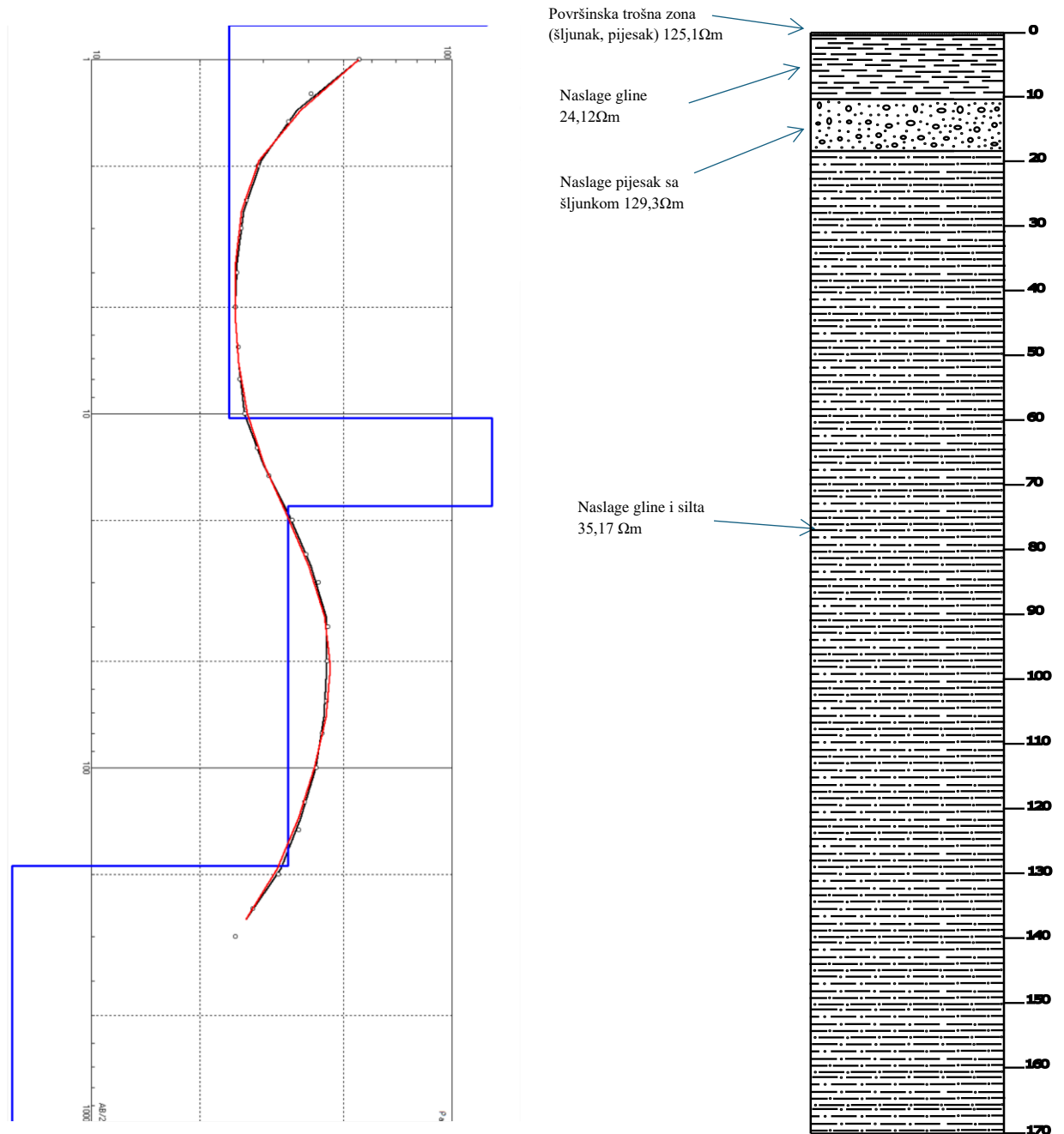
<https://www.longdom.org/open-access/geotechnical-and-geophysical-study-of-ain-harrouda-new-city-morocco-2381-8719-1000312.pdf>

Plitka geofizička istraživanja(15.8.2024)

[https://www.researchgate.net/figure/Field-arrangement-for-ABEM-Lund-System-Geoelectrical-Method\\_fig2\\_216175317](https://www.researchgate.net/figure/Field-arrangement-for-ABEM-Lund-System-Geoelectrical-Method_fig2_216175317)

## **PRILOZI**

# Dobrovac GS-1



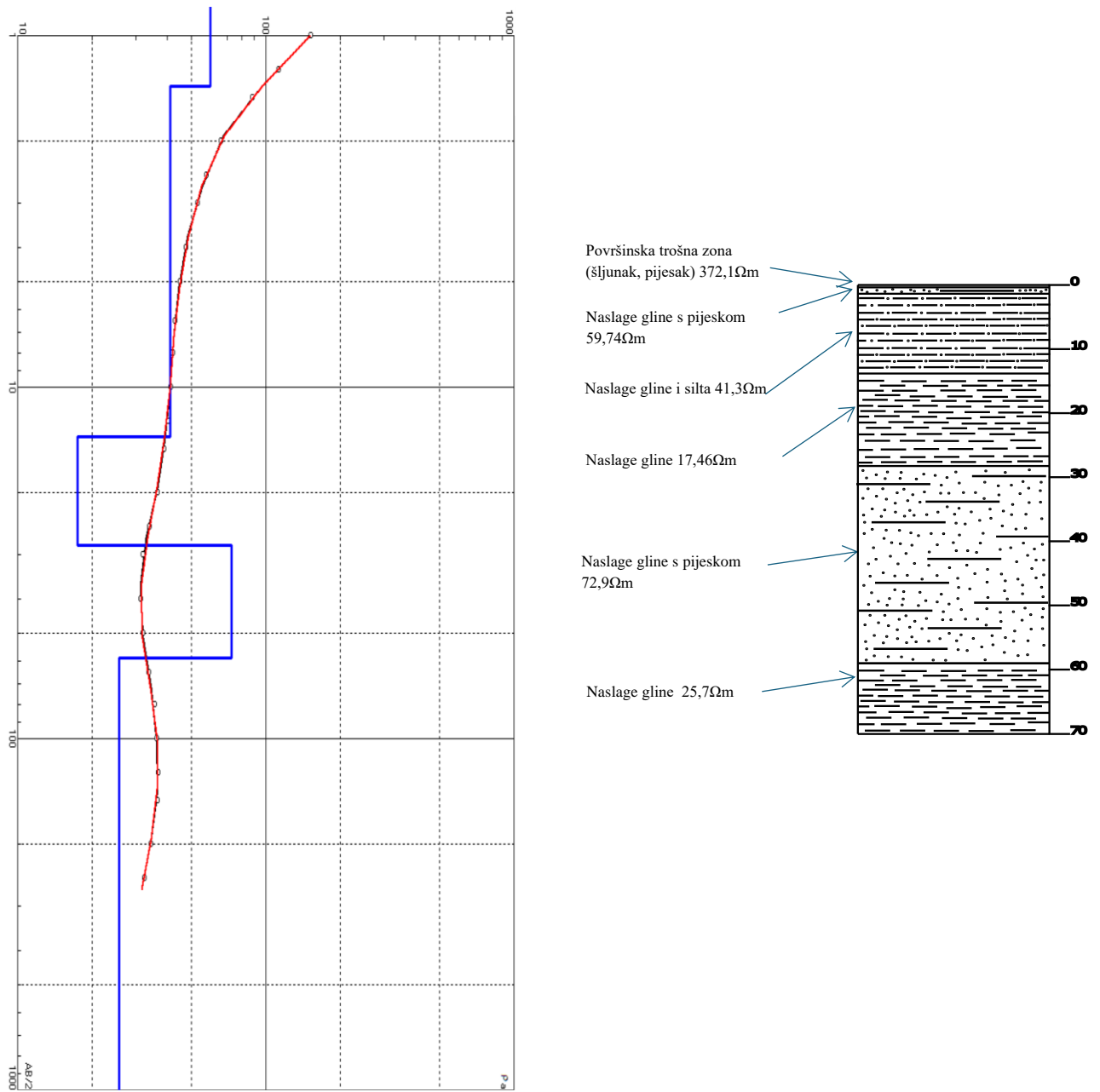
## Interpretirani podaci

Otpornost ( $\Omega\text{m}$ )	Debljina sloja (m)
125,1	0,38
24,12	9,90
129,3	7,979
35,17	170,6
3,814	

	Mjerena krivulja
	Teoretska krivulja
	Interpretirani podaci




Sveučilište u Zagrebu Rudarsko-geološko naftni fakultet	Završni rad	
Geoelektrično sondiranje na području Dobrovac	Mjerilo: dvostruko logaritamsko Litološki stup M 1:1000	
Mentor: Prof. dr. sc. Franjo Šumanovac, dipl. ing.	rujan 2024	Prilog 1
Interpretirana geoelektrična sonda GS-1		

## Dobrovac GS-2



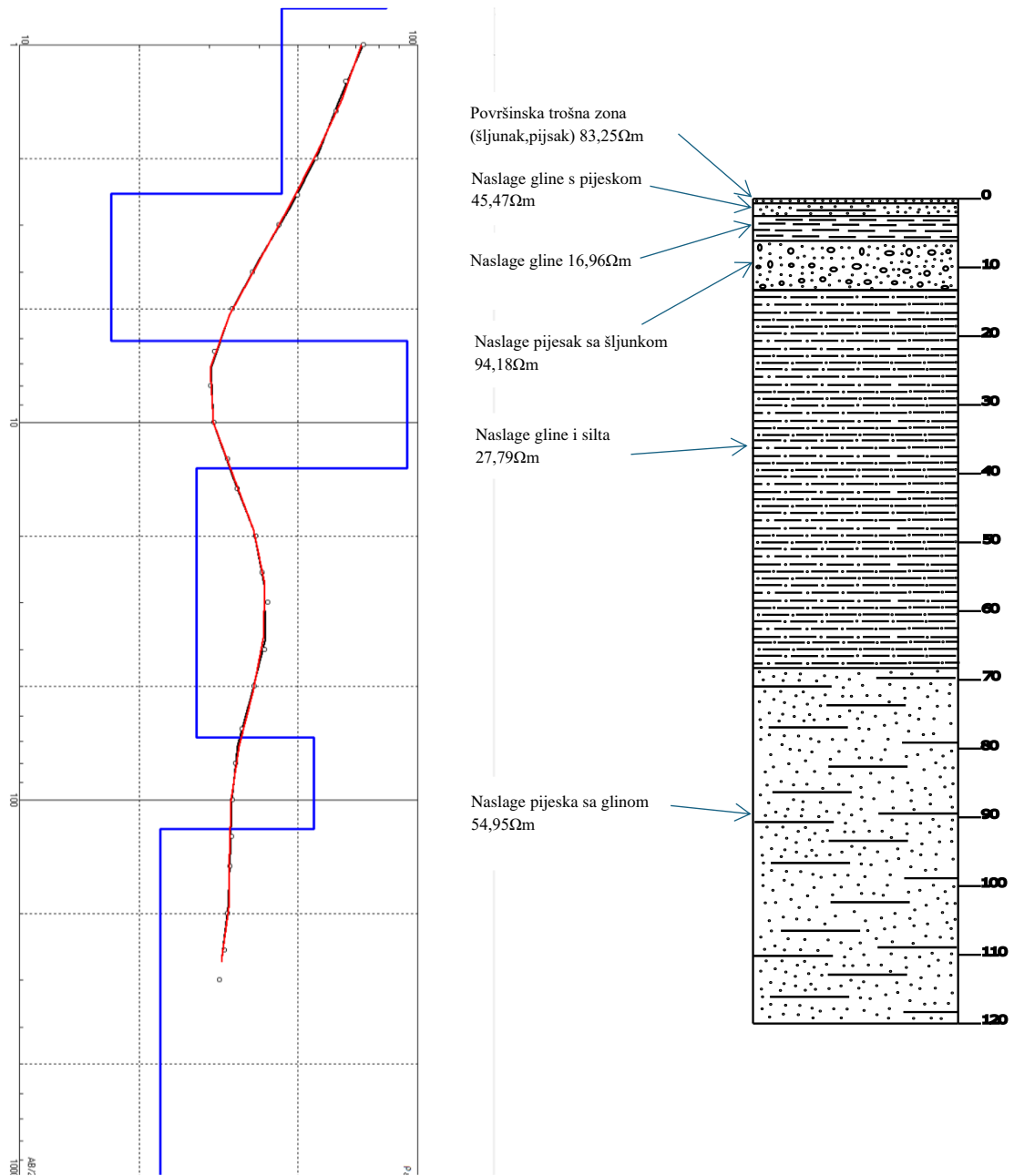
### Interpretirani podaci

Otpornost ( $\Omega\text{m}$ )	Debljina sloja (m)
372,1	0,38
59,74	1
41,3	12,44
17,46	14,42
72,9	30,76
25,7	

 Mjerena krivulja
 Teoretska krivulja
 Interpretirani podaci

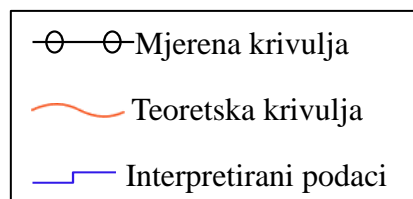
Sveučilište u Zagrebu Rudarsko-geološko naftni fakultet	Završni rad	
Geoelektrično sondiranje na području Dobrovac	Mjerilo: dvostruko logaritamsko Litološki stup M 1:1000	
Mentor: Prof. dr. sc. Franjo Šumanovac, dipl. ing.	rujan 2024	Prilog 2
Interpretirana geoelektrična sonda GS-2		

## Dobrovac GS-3



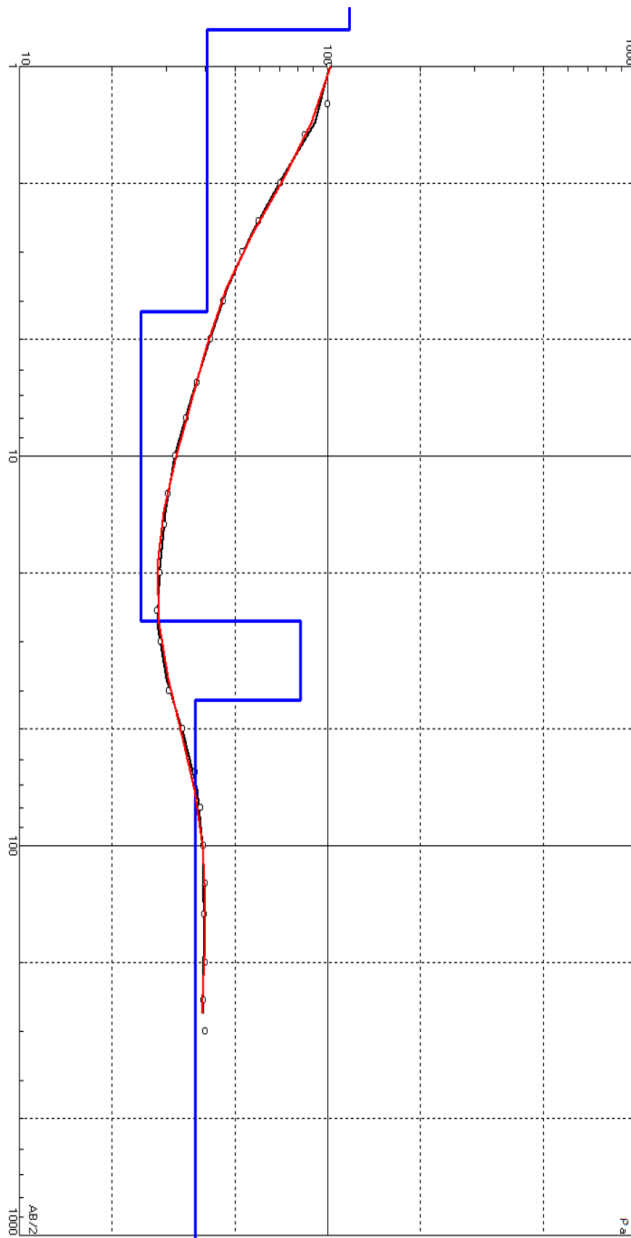
### Interpretirani podaci

Otpornost (Ωm)	Debljina sloja (m)
83,25	0,65
45,47	1,84
16,96	3,6
94,18	7,15
27,79	55
54,95	51,22
22,53	



Sveučilište u Zagrebu Rudarsko-geološko naftni fakultet	Završni rad	
Geoelektrično sondiranje na području Dobrovac	Mjerilo: dvostruko logaritamsko Litološki stup M 1:1000	
Mentor: Prof. dr. sc. Franjo Šumanovac, dipl. ing.	rujan 2024	Prilog 3
Interpretirana geoelektrična sonda GS-3		

# Dobrovac GS-4



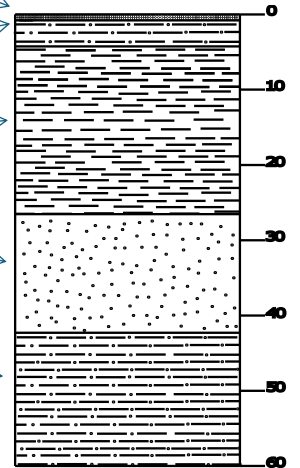
Površinska trošna zona  
(šljunak, pijesak) 117,8Ωm

Naslage gline i silta  
40,58Ωm

Naslage gline 24,76Ωm

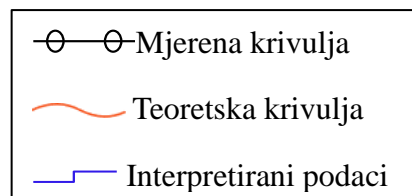
Naslage pijeska 81,52Ωm

Naslage gline 37,2Ωm



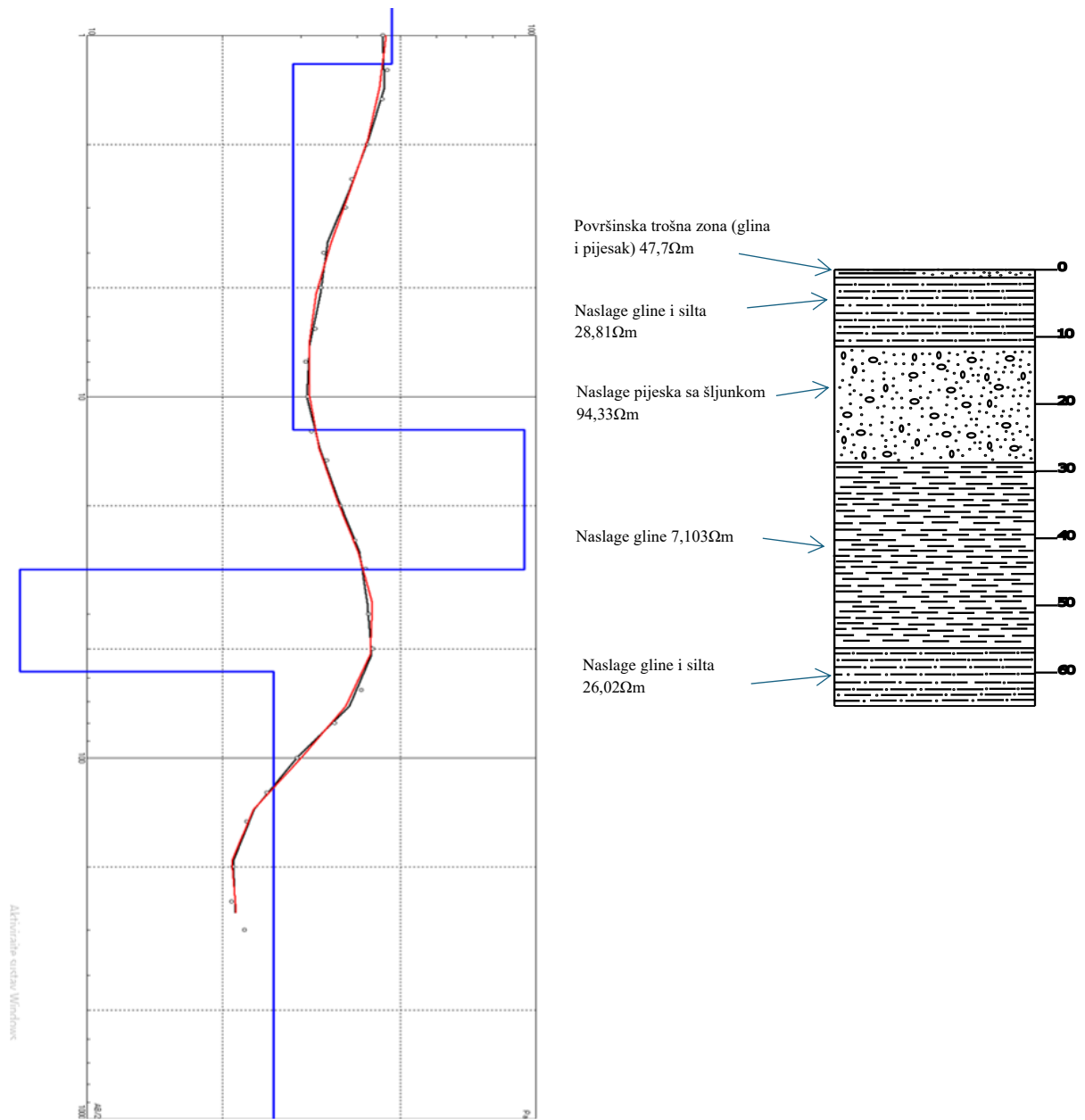
## Interpretirani podaci

Otpornost (Ωm)	Debljina sloja (m)
117,8	0,8
40,58	3,46
24,76	22,27
81,52	15,73
37,2	



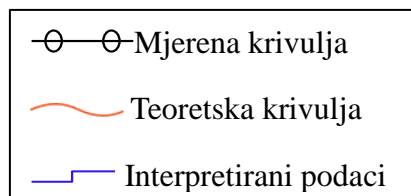
Sveučilište u Zagrebu Rudarsko-geološko naftni fakultet	Završni rad	
Geoelektrično sondiranje na području Dobrovac	Mjerilo: dvostruko logaritamsko Litološki stup M 1:1000	
Mentor: Prof. dr. sc. Franjo Šumanovac, dipl. ing.	rujan 2024	Prilog 4
Interpretirana geoelektrična sonda GS-4		

## Dobrovac GS-5



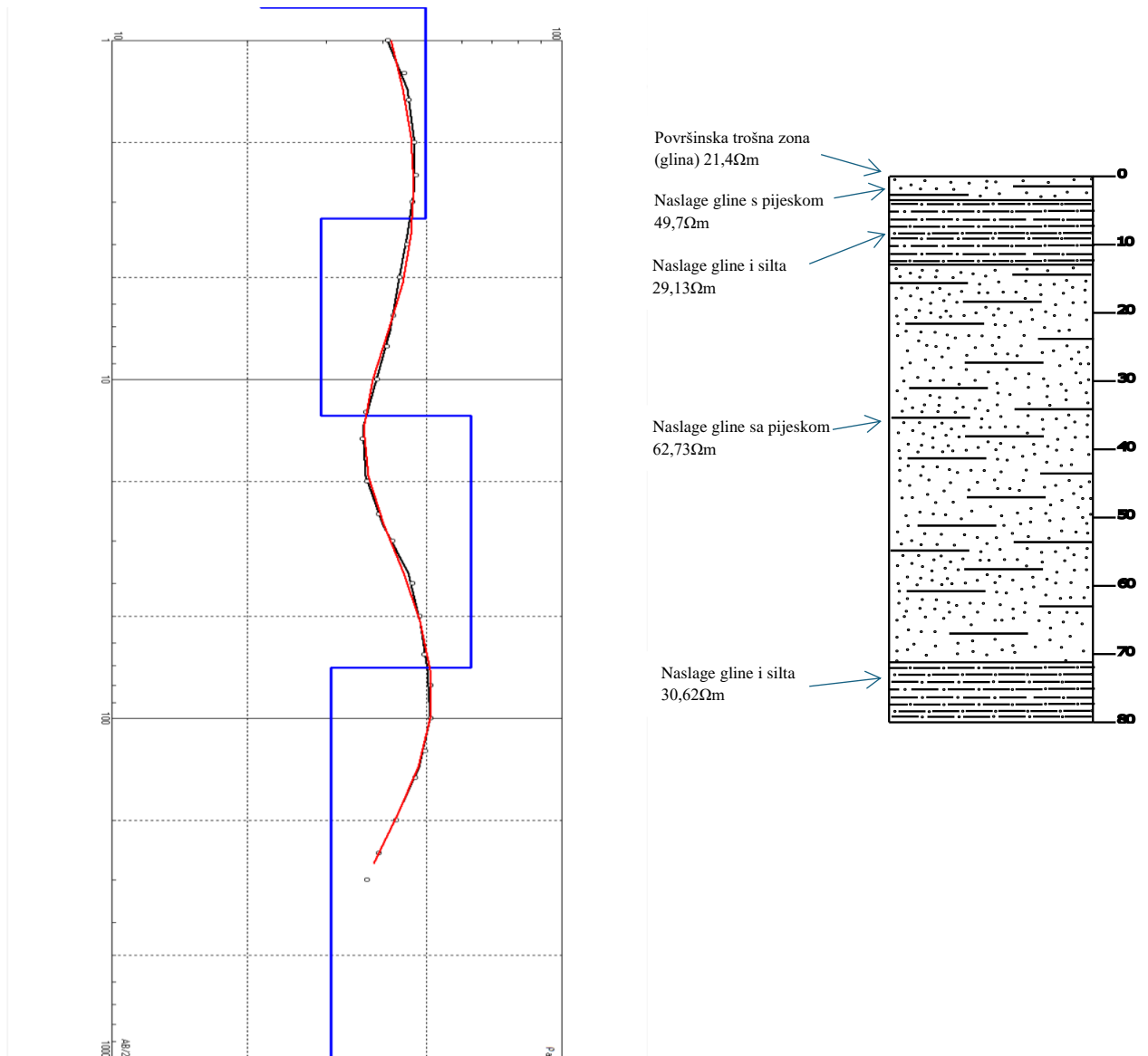
### Interpretirani podaci

Otpornost ( $\Omega$ m)	Debljina sloja (m)
47,7	1,2
28,81	11,15
94,33	17,76
7,103	27,59
26,02	



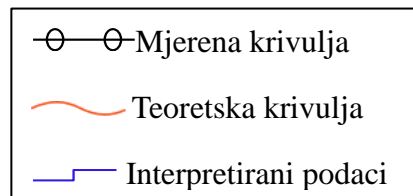
Sveučilište u Zagrebu Rudarsko-geološko naftni fakultet	Završni rad	
Geoelektrično sondiranje na području Dobrovac	Mjerilo: dvostruko logaritamsko Litološki stup M 1:1000	
Mentor: Prof. dr. sc. Franjo Šumanovac, dipl. ing.	rujan 2024	Prilog 5
Interpretirana geoelektrična sonda GS-5		

## Dobrovac GS-6



### Interpretirani podaci

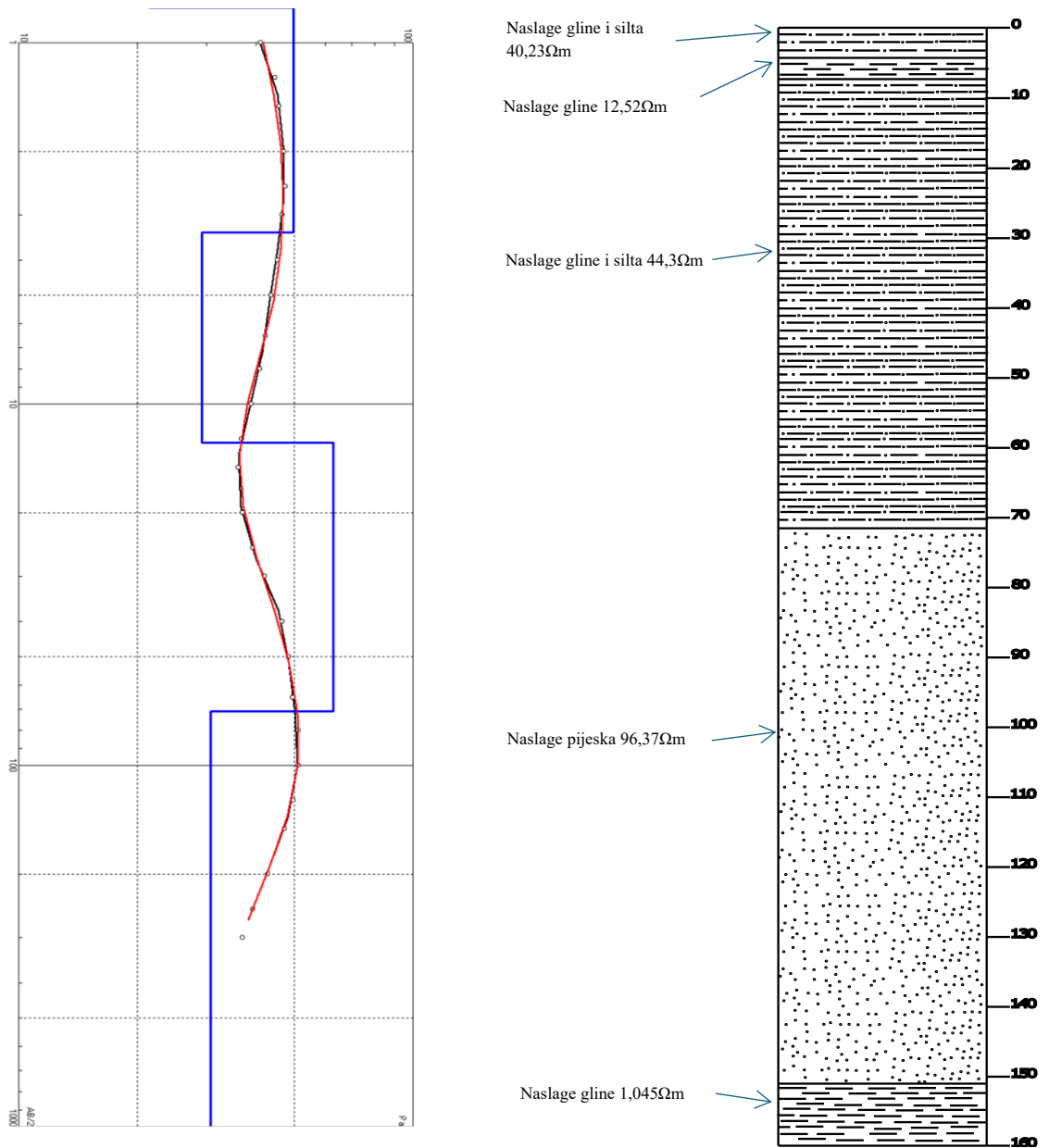
Otpornost ( $\Omega\text{m}$ )	Debljina sloja (m)
21,4	0,15
49,7	3,2
29,13	9,454
62,73	58,21
30,62	



Sveučilište u Zagrebu Rudarsko-geološko naftni fakultet	Završni rad	
Geoelektrično sondiranje na području Dobrovac	Mjerilo: dvostruko logaritamsko Litološki stup M 1:1000	
Mentor: Prof. dr. sc. Franjo Šumanovac, dipl. ing.	rujan 2024	Prilog 6
Interpretirana geoelektrična sonda GS-6		

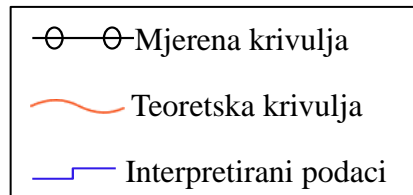


## Dobrovac GS-7



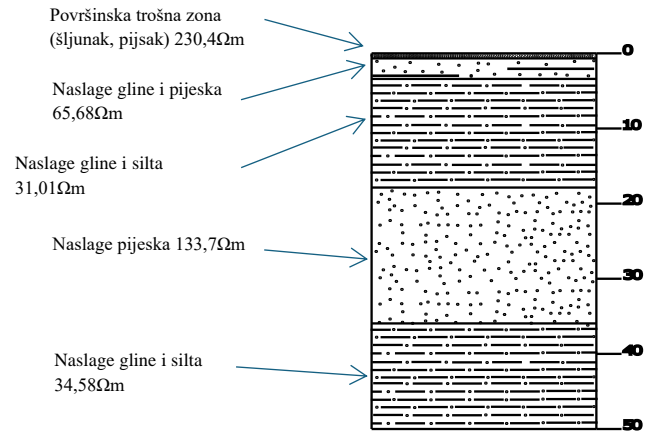
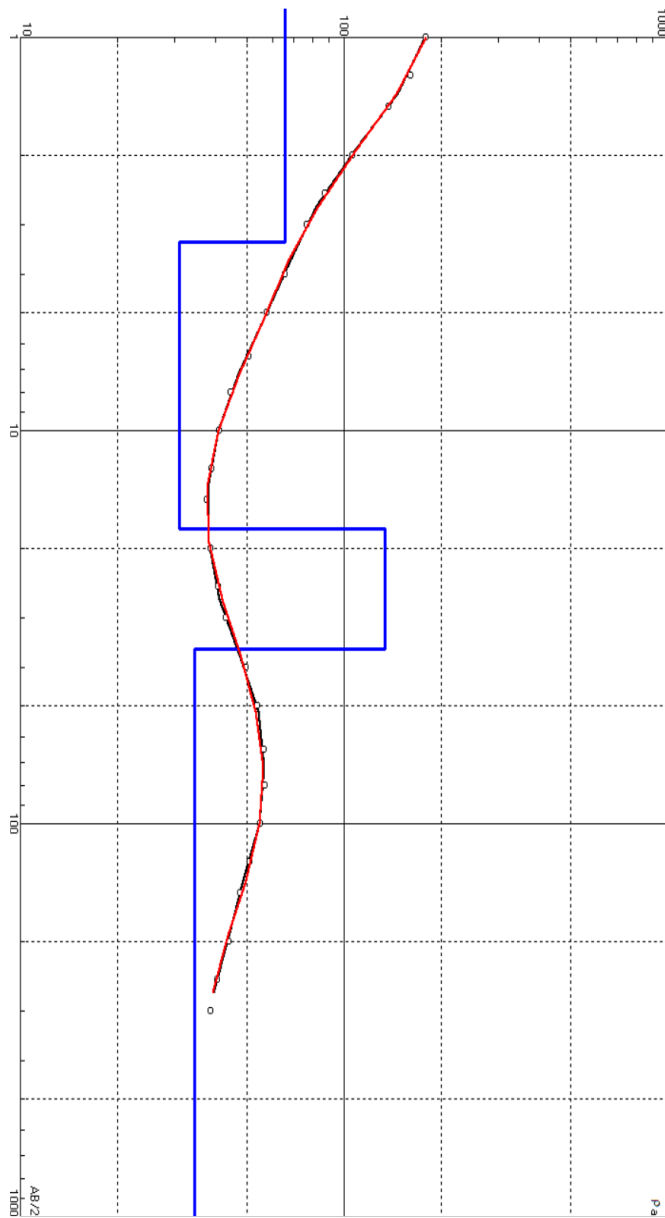
### Interpretirani podaci

Otpornost (Ωm)	Debljina sloja (m)
40,23	4,3
12,52	3,38
44,3	63,94
96,37	79,48
1,045	



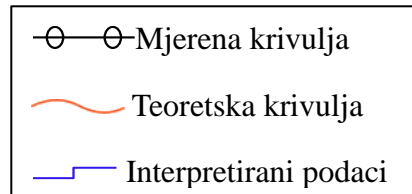
Sveučilište u Zagrebu Rudarsko-geološko naftni fakultet	Završni rad	
Geoelektrično sondiranje na području Dobrovac	Mjerilo: dvostruko logaritamsko Litoški stup M 1:1000	
Mentor: Prof. dr. sc. Franjo Šumanovac, dipl. ing.	rujan 2024	Prilog 7
Interpretirana geoelektrična sonda GS-7		

## Dobrovac GS-8



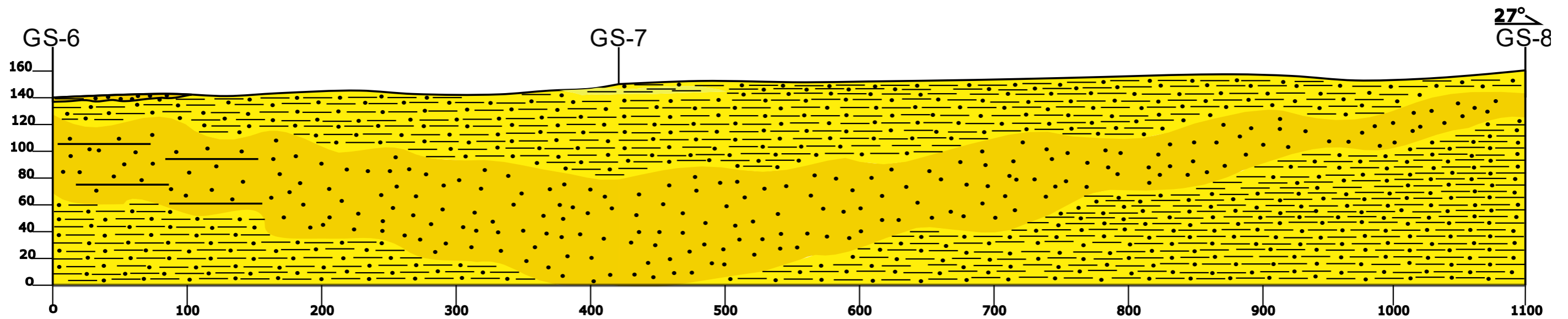
### Interpretirani podaci

Otpornost ( $\Omega\text{m}$ )	Debljina sloja (m)
230,4	0,66
65,68	2,66
31,01	14,48
133,7	18,07
34,58	



Sveučilište u Zagrebu Rudarsko-geološko naftni fakultet	Završni rad	
Geoelektrično sondiranje na području Dobrovac	Mjerilo: dvostruko logaritamsko Litoški stup M 1:1000	
Mentor: Prof. dr. sc. Franjo Šumanovac, dipl. ing.	rujan 2024	Prilog 8
Interpretirana geoelektrična sonda GS-8		

## Goelektrični profil P-1



**Legenda:**

- •
•

Naslage gline s pijeskom
- •
•

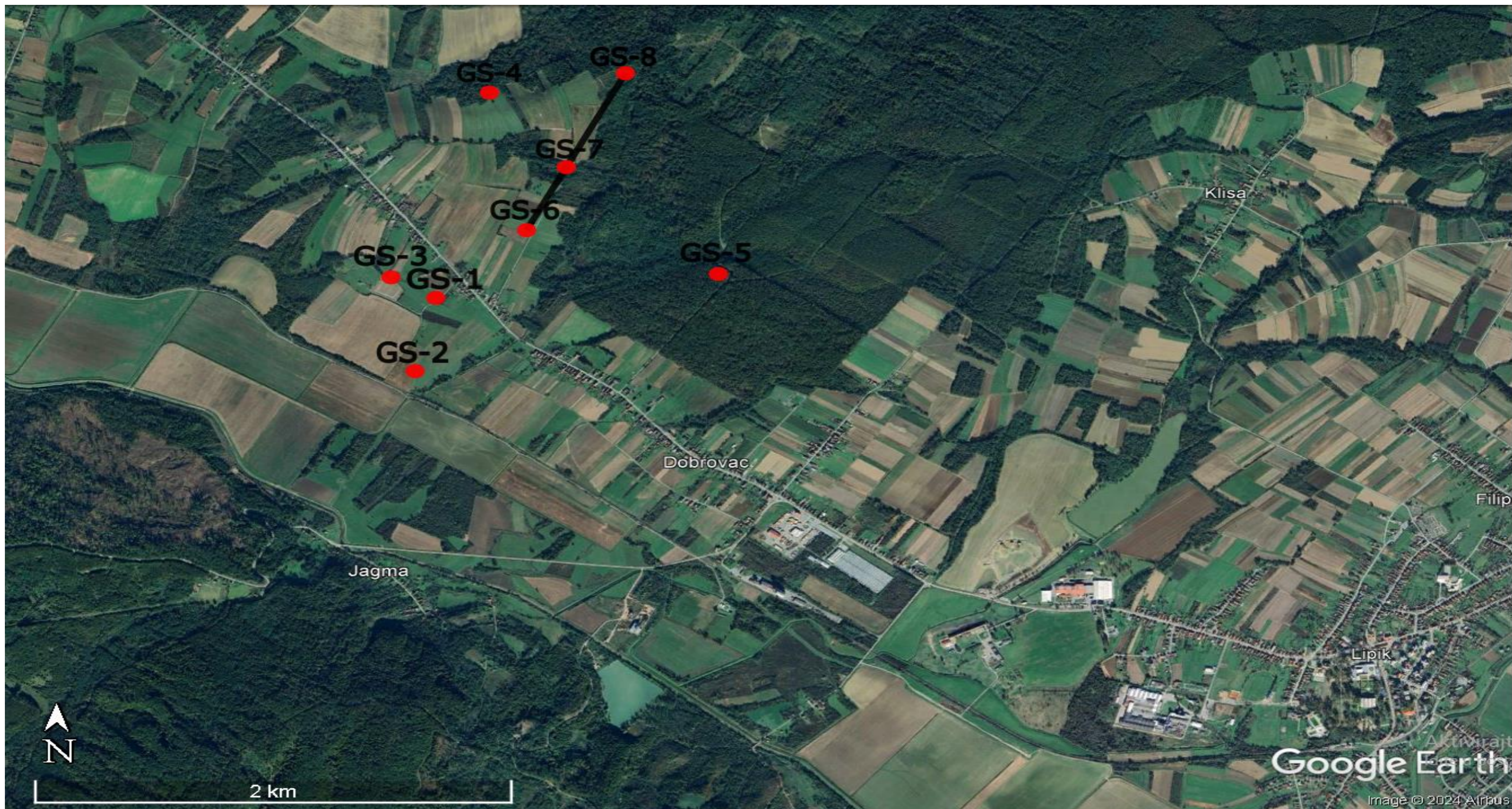
Naslage pijeska
- —
—

Naslage gline
- —
—

Naslage gline i silta

Sveučilište u Zagrebu Rudarsko-geološko naftni fakultet	Završni rad	
Goelektrično sondiranje na području Dobrovac	Mjerilo M 1:3000	
Mentor: Prof. dr. sc. Franjo Šumanovac, dipl. ing.	rujan 2024	Prilog 9
Goelektrični profil P-1		





Legenda:

- Geoelektrična sonda
- Linija geoelektričnog profila

Sveučilište u Zagrebu Rudarsko-geološko naftni fakultet	Završni rad	
Geoelektrično sondiranje na području Dobrovac	Mjerilo M 1:25000	
Mentor: Prof. dr. sc. Franjo Šumanovac, dipl. ing.	rujan 2024	Prilog 10
Položajna karta		