

Elektrometrijska istraživanja na arheološkom lokalitetu Đurovača

Željko Bojić



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Elektrometrijska istraživanja na arheološkom lokalitetu Đurovača | Željko Bojić | | 2023 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0007523>

Univerzitet u Beogradu
Rudarsko-geološki fakultet



ZAVRŠNI RAD

Osnovne akademske studije

Elektrometrijska istraživanja na arheološkom lokalitetu Đurovača

Kandidat:

Željko Bojić G110/15

Mentor:

Prof. dr Ivana Vasiljević

Beograd, avgust, 2023.

Komisija:

1. dr Ivana Vasiljević, vanredni profesor, mentor

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

2. dr Snežana Ignjatović, vanredni profesor

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

3. dr Dejan Vučković, docent

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Datum odbrane: _____

REZIME

U radu je predstavljena obrada i interpretacija podataka dobijenih geofizičkim merenjima izvedenim u maju 2019. godine na arheološkom lokalitetu Đurovača. Ideja je bila predstavljanje rezultata obrade i modelovanja podataka dobijenih postupkom specifične električne otpornosti, tehnikama profilisanja i kartiranja. Analiza je urađena na osnovu 2D raspodele specifične električne otpornosti duž profila, kao i karata raspodele specifične električne otpornosti na tri različita nivoa dubine, u cilju utvrđivanja eventualnog postojanja arheoloških objekata na istražnom području.

Ključne reči: *postupak specifične električne otpornosti, tehnike profilisanja i kartiranja, arheološka istraživanja, Đurovača*

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. TEORIJSKE OSNOVE	2
2.1. Električna svojstva minerala i stena	3
2.2. Tok električne struje	6
2.3. Elektrodni dispozitivi	8
3. PRIMENA ELEKTROMETRIJE U ARHEOLOGIJ	13
3.1. Arheološka i geofizička istraživanja na lokalitetu Vinča-Belo Brdo	14
3.2. Primena postupka specifične električne otpornosti u detektovanju temelja ruševina	16
3.3. Elektrometrijsko profilisanje unutrašnjosti velike humke Kastas u Amfipolisu (Grčka)	20
4. ELEKTROMETRIJSKA ISTRAŽIVANJA NA LOKALITETU ĐUROVAČA	24
5. ZAKLJUČAK	34
LITERATURA	35

1. UVOD

Cilj uvođenja geofizičke prospekcije u arheologiju jesu ekonomično i efikasno dobijanje rezultata. Elektrometrijska metoda se primenjuje u arheološkim istraživanjima na našim prostorima još od šezdesetih godina prošlog veka. Rapidan razvoj računarske tehnike, kao i razvoj instrumentacije poslednjih godina su doveli do široke primene ove metode.

Primenom postupka specifične električne otpornosti veoma uspešno se mogu detektovati različiti veštački objekti u arheološkim istraživanjima. Rezultati zavise od cilja istraživanja, izbora elektrodnih dispozitiva i njihovih dimenzija, zahvata po dubini i drugih faktora.

U ovom radu prikazani su obrada podataka i rezultati istraživanja na arheološkom lokalitetu Đurovača, kao i neke osnovne teorijske postavke elektrometrijske metode i praktični primeri vezani za primenu postupka specifične električne otpornosti u arheologiji. Elektrometrijska istraživanja na arheološkom lokalitetu Đurovača su imala za cilj utvrđivanje potencijalnih grobnica koje se, prema literaturi, nalaze na istražnom području.

2. TEORIJSKE OSNOVE

Elektrometrija je geofizička metoda koja se bavi se proučavanjem prirodno i veštački izazvanih električnih polja, a čija se praktična primena, najčešće, zasniva na proučavanju i merenju efekata prouzrokovanih prirodnim ili veštačkim tokom električne struje na površini ili ispod površine Zemlje.

S obzirom na postojanje geoloških struktura ispod površine Zemlje, dolazi do deformisanja električnog polja, u poređenju sa električnim poljem koje bi bilo uspostavljeno u homogenoj i izotropnoj sredini. Analizom anomalija električnog polja mogu se doneti zaključci o geološkoj građi i karakteristikama geološke sredine.

Elektrometrijska metoda se može primeniti kroz veliki broj postupaka, u zavisnosti od toga da li se radi o merenju spontanog ili indukovanog električnog polja. Postupak kojim se izučava električno polje koje je nastalo u spontanom režimu naziva se **postupak sopstvenog potencijala (SP)**, dok se jedan od mnogobrojnih postupaka kojim se proučava električno polje nastalo u indukovanom režimu naziva **postupak specifične električne otpornosti (SEO)**.

Počeci primene elektrometrije u komercijalne svrhe se vezuju za period iz 19. veka, kada su prva elektrometrijska istraživanja izvedena postupkom sopstvenog potencijala za potrebe proširenja rudnika Kornvol u Engleskoj (Sretković, 2021).

Poput ostalih geofizičkih metoda, elektrometrija ima veliku primenu u mnogim delatnostima. Najčešće se primenjuje za potrebe geotehničkih istraživanja, hidrogeoloških istraživanja, istraživanja ležišta mineralnih sirovina, građevinarstva, ekologije i arheologije, kao i za detekciju i ispitivanje podzemnih instalacija.

2.1. Električna svojstva minerala i stena

Elektrometrijska istraživanja podrazumevaju merenje efekata koji su prouzrokovani protokom električne struje kroz realni fizički kompleks. Merenje se može izvršiti na više načina kako bi se dobili različiti rezultati. U osnovi, velike varijacije u električnoj provodnosti, kao jednoj od najvažnijih svojstava minerala i stena, zapravo čine merenja mogućim (Telford i dr., 1990).

Specifična električna provodnost je svojstvo materijala da provodi električnu struju. Označava se grčkim slovom σ , a jedinica je Simens po metru [S/m].

Električna struja se kroz minerale i stene može prostirati na tri načina, odnosno razlikujemo sledeće vrste provodnosti: elektronska (omska), elektrolitička (jonska) i dielektrička provodnost.

Elektronska provodnost je uobičajen tip provodnosti električne struje i odvija se u metalima. Javlja se kod metaličnih mineralnih sirovina. U metalima su nosioci naelektrisanja elektroni, koji se slobodno kreću u kristalnoj rešetki. U poređenju sa stenama i tlom, provodnost električne struje u metalima je veoma visoka.

Elektrolitičku provodnost karakterišu joni koji prenose električnu struju relativno sporo i najčešći je vid provodnosti u Zemljinoj kori. Ovde je glavni faktor prenosa naelektrisanja voda sa rastvorenim mineralnim solima, odnosno jonima i ova vrsta provodnosti zavisi od mnogih faktora vezanih za pojavu podzemnih voda i to: poroznosti, permeabilnosti, temperature, pritiska, saliniteta pornih fluida, zasićenosti pornim fluidima i sadržaja gline.

Dielektrička provodnost se odvija u slabim provodnicima ili izolatorima, koji ne sadrže slobodne elektrone. Dielektrici su materijali sa jakim jonskim i kovalentnim vezama. Pošto sadrže naelektrisane čestice, kada se unesu u električno polje dolazi do usmeravanja naelektrisanja u pravcu polja, odnosno dolazi do polarizacije i dielektrici se ponašaju kao električni dipol.

Recipročna vrednost električne provodnosti naziva se električna otpornost, koja se definiše kao svojstvo stenskog materijala da pruža otpor protoku električne struje.

Obeležava se grčkim slovom ρ , jedinica je om-metar [Ωm], a u praksi je nazivamo **specifična električna otpornost (SEO):**

$$\rho = \frac{1}{\sigma} . \quad (1)$$

Postupak specifične električne otpornosti razvijen je početkom 20. veka, ali se sa njegovom širom primenom krenulo 70-ih godina prošlog veka, zahvaljujući računarima na kojima se vrši analiza i obrada podataka (Reynolds, 1997). Ovaj postupak se uspešno primenjuje za detekciju izdani u hidrogeologiji i monitoring zagađenosti podzemnih voda, detekciju raseda, utvrđivanje stepena ispucalosti stenske mase, prisustvo kaverni, u arheološkim istraživanjima za kartiranje područja na kojima se nalaze ostaci starih građevina i predmeta, kao i u mnogim drugim oblastima.

Od svih fizičkih svojstava minerala i stena, specifična električna otpornost pokazuje najveće varijacije. Specifična električna otpornost minerala i stena ima opseg od $1.6 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$ za samородno srebro do $10^{16} \Omega\text{m}$ za čist sumpor, mada se minerali u ovom obliku obično javljaju u malim količinama i ne utiču značajno na merene vrednosti specifične električne otpornosti.

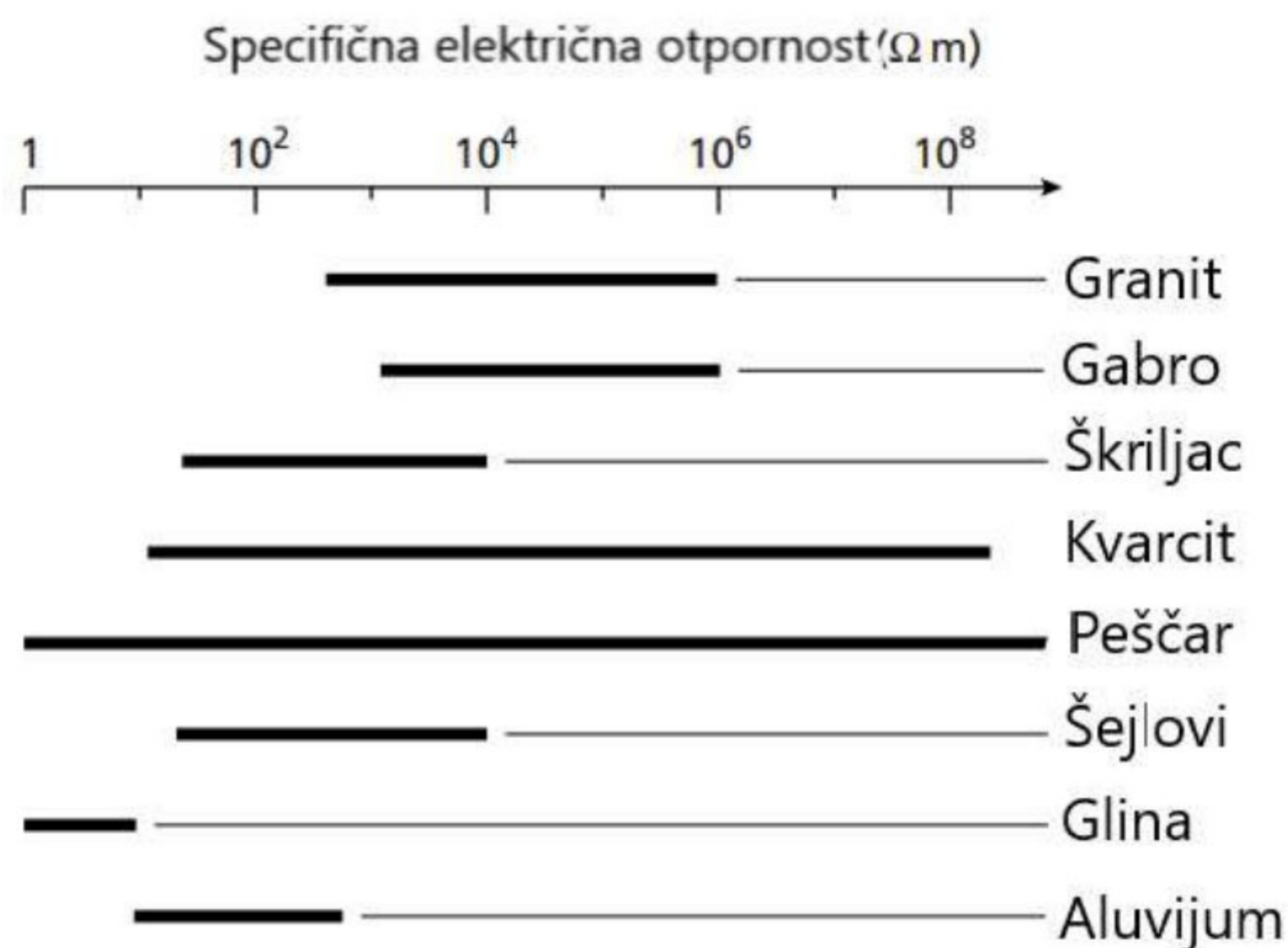
Provodnikom se obično naziva materijal specifične električne otpornosti manje od $10^{-5} \Omega\text{m}$, dok se oni čije su vrednosti veće od $10^7 \Omega\text{m}$ nazivaju izolatorima. Između ovih granica nalaze se materijali koji se nazivaju poluprovodnici.

Grafit i metali su provodnici i sadrže veliki broj slobodnih elektrona čija je i pokretljivost velika. Poluprovodnici, takođe, prenose električnu struju putem slobodnih elektrona, ali ih imaju mnogo manje. Izolatori se odlikuju jonskom vezom tako da valentni elektroni nisu slobodni da se kreću. Nosioци naelektrisanja su joni koji moraju da prevaziđu veće granice potencijala nego što postoje u provodnicima ili poluprovodnicima (Telford i dr., 1990).

Dalja razlika između provodnika i poluprovodnika je u ponašanju pri temperaturnim varijacijama. Provodnici imaju najveću provodnost na temperaturi od oko 0°K. Poluprovodnici se ponašaju kao izolatori na niskim temperaturama. Minerale i stene možemo prema provodnosti klasifikovati na dobre, srednje i loše u sledećim opsezima:

- minerali i stene specifične električne otpornosti od 10^{-8} do oko $1 \Omega\text{m}$
- minerali i stene specifične električne otpornosti od 1 do $10^7 \Omega\text{m}$
- minerali i stene specifične električne otpornosti preko $10^7 \Omega\text{m}$.

Prvu grupu čine grafit, metali i neki sulfidi. Većina oksida i poroznih stena koje sadrže vodu su srednje provodnosti. Uobičajeni minerali koji izgrađuju stene, silikati, fosfati, nitrati, sulfati, borati i karbonati su loši provodnici. Neke od vrednosti specifične električne otpornosti stena date su na slici 1.



Slika 1. Približan opseg vrednosti SEO za uobičajene vrste stena (Kearey i dr., 2002)

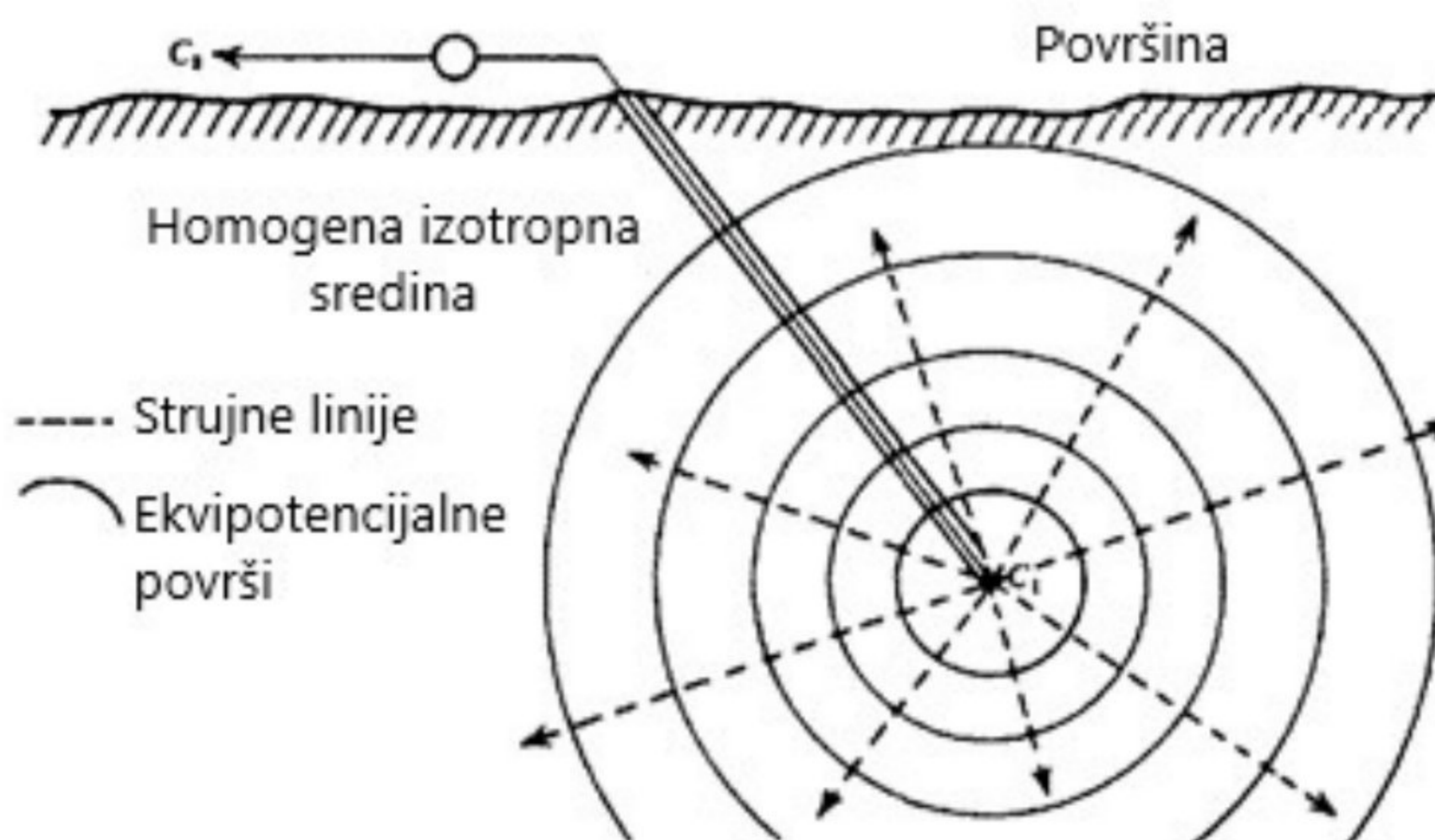
Na osnovu slike 1, može se zaključiti da postoje preklapanja u opsegu SEO između različitih tipova stena i, stoga, identifikacija nekih vrsta stena se ne može izvesti samo na osnovu vrednosti specifične električne otpornosti.

2.2. Tok električne struje

U teoriji, kada se govori o uspostavljanju toka električne struje ispod površine Zemlje, razlikujemo dva slučaja: tačkasti izvor u punom prostoru i tačkasti izvor na površini poluprostora.

Prvi slučaj je vezan za tačkasti izvor električne struje koji se nalazi ispod površine homogene i izotropne sredine. Tok električne struje se uspostavlja preko druge elektrode koja je na površi i u svakom slučaju na dovoljno velikoj udaljenosti da se njen uticaj može zanemariti.

Ekvipotencijalne površi, koje su upravne na strujne linije, imaju sferni oblik. Takav slučaj prikazan je na slici 2.



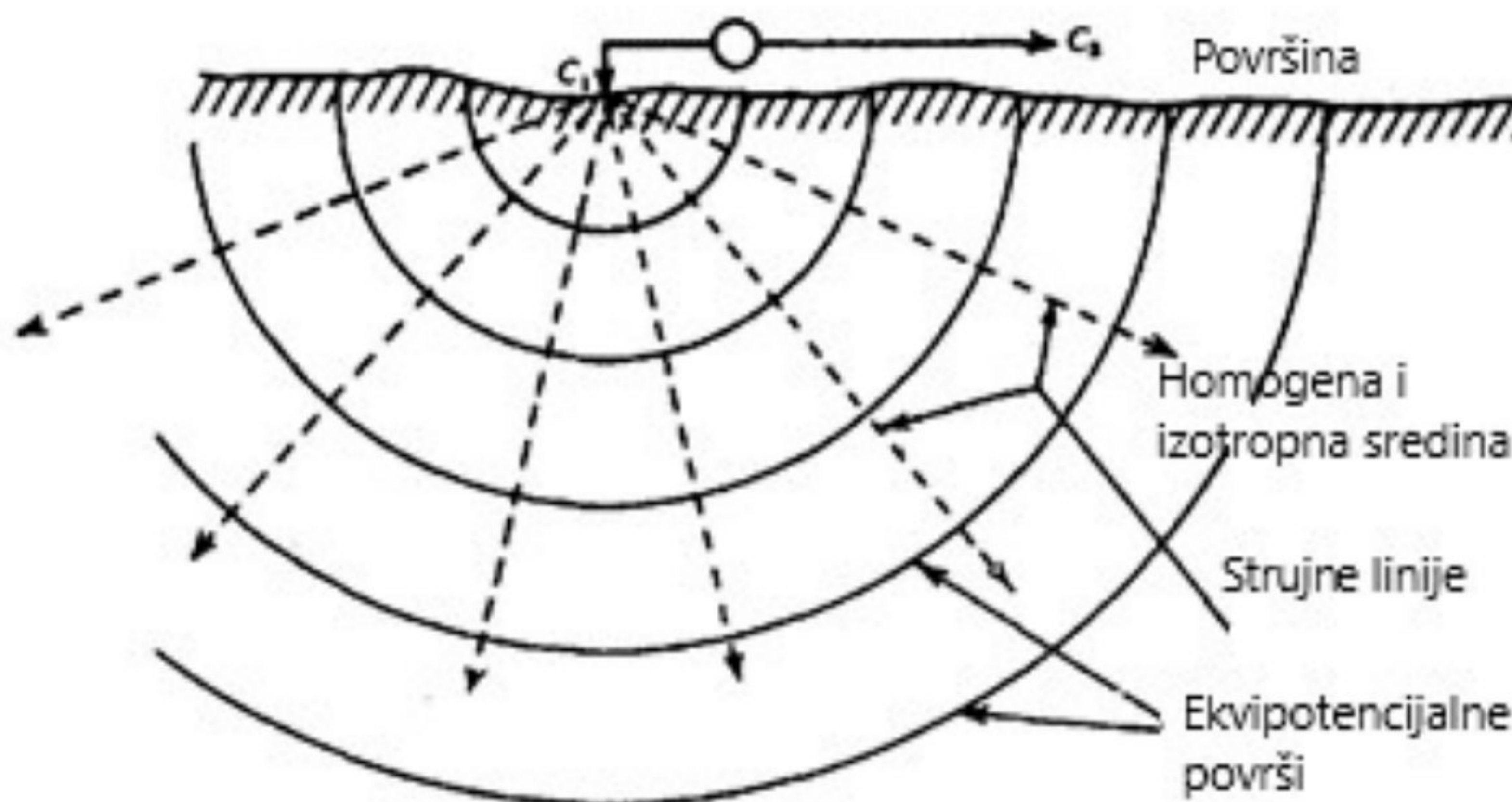
Slika 2. Tačkasti izvor jednosmerne struje u homogenoj i izotropnoj sredini (Telford i dr., 1990)

Fluks električnih linija sila orijentisan je u svim pravcima radijalno od tačke izvora. Električni potencijal (V) u bilo kojoj tački homogenog izotropnog prostora dat je jednačinom:

$$V = \frac{I\rho}{4\pi r} \quad , \quad (2)$$

gde je I jačina struje, ρ je specifična električna otpornost, a r predstavlja rastojanje od izvora do tačke posmatranja.

Drugi slučaj je vezan za izvor koji se nalazi na površi homogene i izotropne sredine. U ovom slučaju struja protiče kroz poluprostor. Tačkasti izvor na površini homogene i izotropne sredine prikazan je na slici 3.



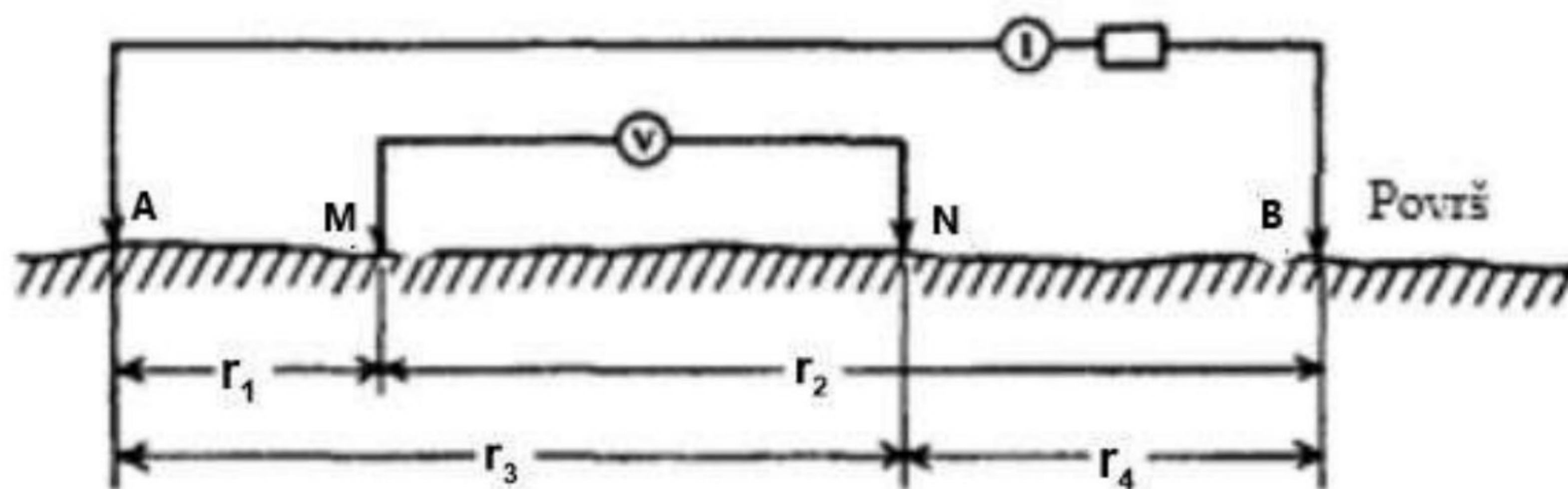
Slika 3. Tačkasti izvor jednosmerne struje na površini poluprostora (Telford i dr., 1990)

S obzirom da se u ovom slučaju električna struja prenosi kroz poluprostor, električni potencijal (V) u tački posmatranja opisan je jednačinom:

$$V = \frac{I\rho}{2\pi r} \quad , \quad (3)$$

gde je, kao i u prethodnom slučaju, I jačina struje, ρ je specifična električna otpornost, a r rastojanje od izvora do tačke posmatranja.

Do sada su razmotrena dva slučaja kada je jedna elektroda bila na dovoljno velikom rastojanju od druge, a u sledećem slučaju elektrode su na konačnom rastojanju (Slika 4).



Slika 4. Dve strujne i dve potencijalne elektrode na površini terena (Telford i dr., 1990)

Kada su dve strujne elektrode, A i B, na konačnom rastojanju, potencijal u bilo kojoj tački na površi biće pod uticajem obe strujne elektrode. Kako u ovom slučaju imamo četiri elektrode, dve strujne i dve potencijalne, možemo izmeriti razliku potencijala (ΔV) između potencijalnih elektroda M i N po formuli:

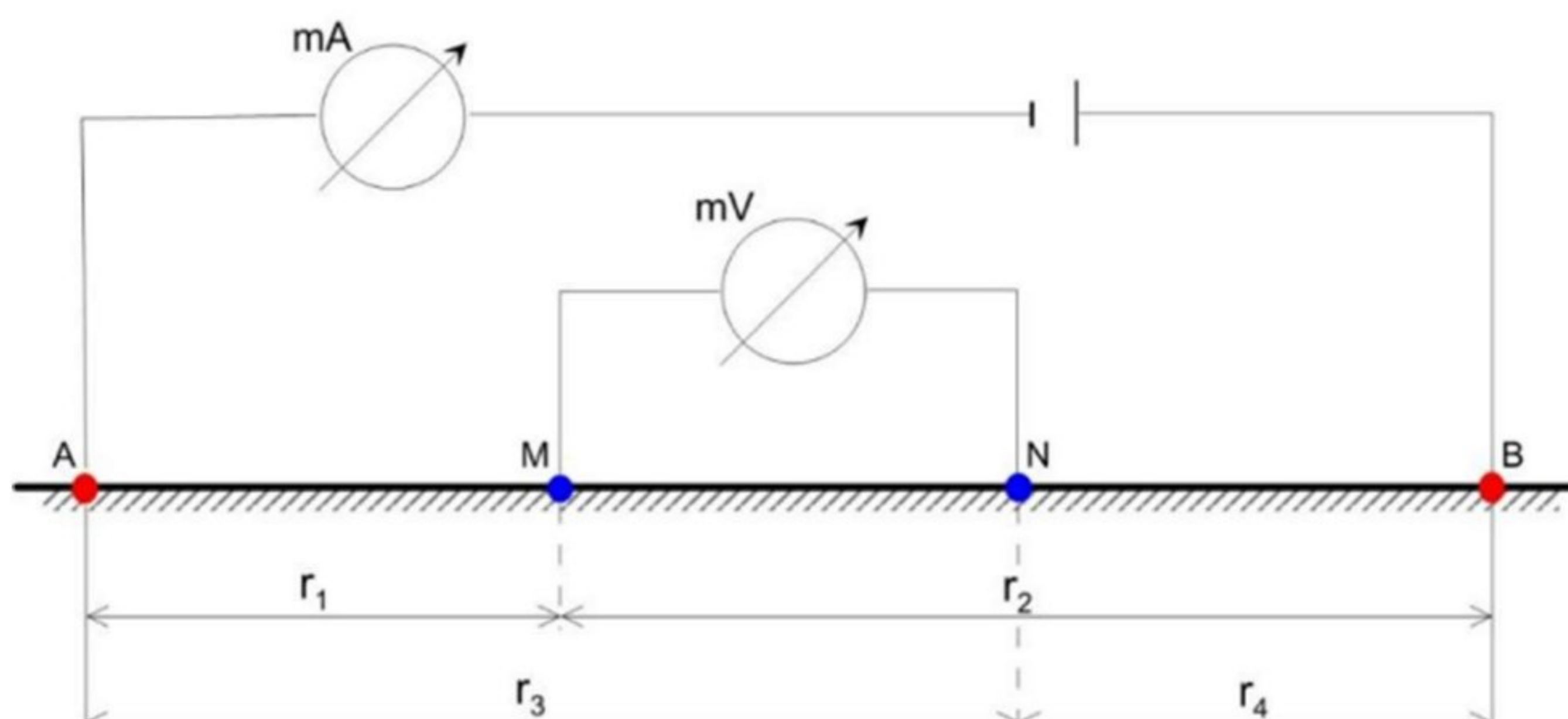
$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right] , \quad (4)$$

pri čemu su I jačina struje, ρ specifična električna otpornost, a r_1 , r_2 , r_3 i r_4 su rastojanja između strujnih i potencijalnih elektroda (slika 4).

2.3. Elektroдни dispozitivi

U elektrometriji razlikujemo prividnu i istinitu specifičnu električnu otpornost. Prividna SEO dobija se merenjima na terenu, a ona je jednaka istinitoj samo u idealnim uslovima, odnosno homogenoj i izotropnoj sredini, što gotovo nikada nije slučaj. Na vrednost prividne izmerene specifične električne otpornosti može uticati, između ostalog, i geometrija elektrodnog dispozitiva, koja se izražava geometrijskim faktorom K .

U prethodnom poglavlju dat je izraz (4) za računanje razlike potencijala. Na slici 5 dat je grafički prikaz strujnih i potencijalnih elektroda, pri čemu su strujne elektrode označene sa A i B, a potencijalne elektrode sa M i N.



Slika 5. Grafički prikaz strujnih i potencijalnih elektroda (Sretković, 2021)

Radi lakšeg izračunavanja, ako zamenimo da su $r_1=AM$, $r_2=MB$, $r_3=AN$ i $r_4=NB$ i uvrstimo ih u izraz 4, možemo izraziti specifičnu električnu otpornost (ρ) kao:

$$\rho = \frac{2\pi\Delta V_{MN}}{I} \left\{ \left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} \right] - \left[\frac{1}{AN} - \frac{1}{NB} \right] \right\}^{-1}, \quad (5)$$

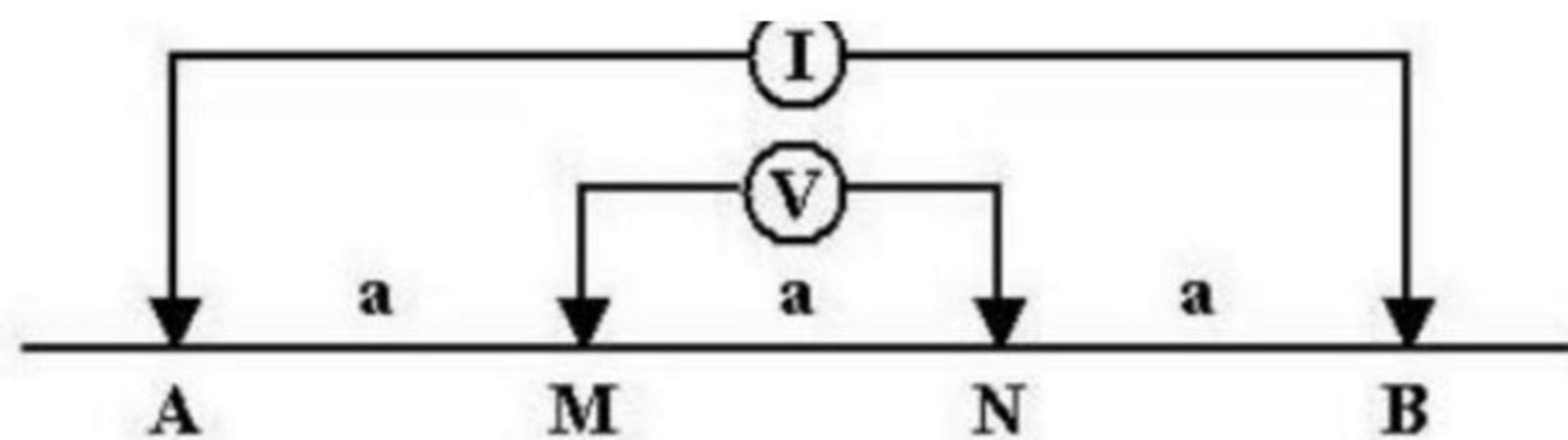
gde su I jačina struje i ΔV_{MN} razlika potencijala između tačaka M i N .

Ovaj izraz se sastoji iz dva izraza, jednog za proračun električnog otpora u omima [Ω] i izraza koji opisuje geometrijski raspored elektroda, odnosno geometrijski faktor K :

$$K = 2\pi \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{NB} \right)^{-1}. \quad (6)$$

Geometrijski faktor K se izražava u metrima.

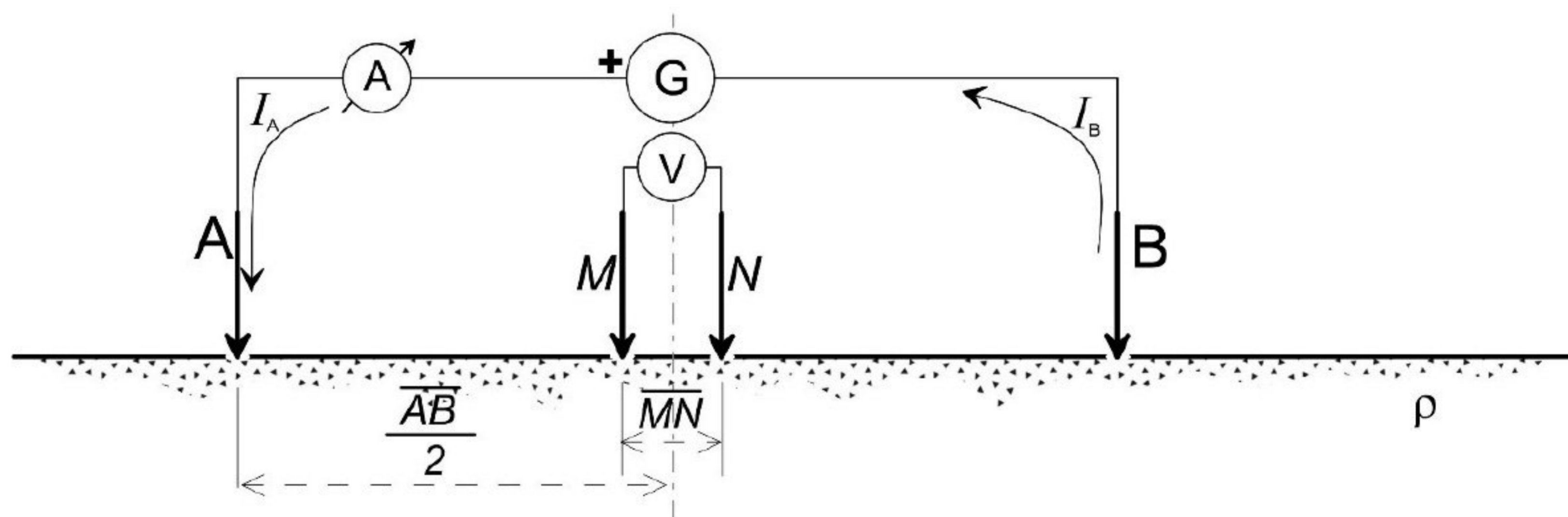
U uporebi je više elektrodnih dispozitiva među kojima su Venerov, Šlumberžeov, dipol-dipol, pol-pol i mnogi drugi. Venerov i Šlumberžeov dispozitiv su najčešće u upotrebi. Grafički prikaz Venerovog dispozitiva dat je na slici 6.



Slika 6. Grafički prikaz Venerovog dispozitiva (Sretković, 2021)

U slučaju Venerovog dispozitiva susedne elektrode su na jednakim rastojanjima obeleženim sa a . Strujne elektrode obeležene su sa A i B a potencijalne sa M i N. Pri istraživanjima po dubini centar dispozitiva je fiksiran, ali se vrši stalno povećanje rastojanja a između elektroda. Ako se vrše ispitivanja bočnih promena specifične električne otpornosti, tada se ceo dispozitiv pomera po pravcu profila, ali rastojanje između elektroda ostaje nepromenjeno.

Grafički prikaz Šlumberžeovog dispozitiva dat je na slici 7.

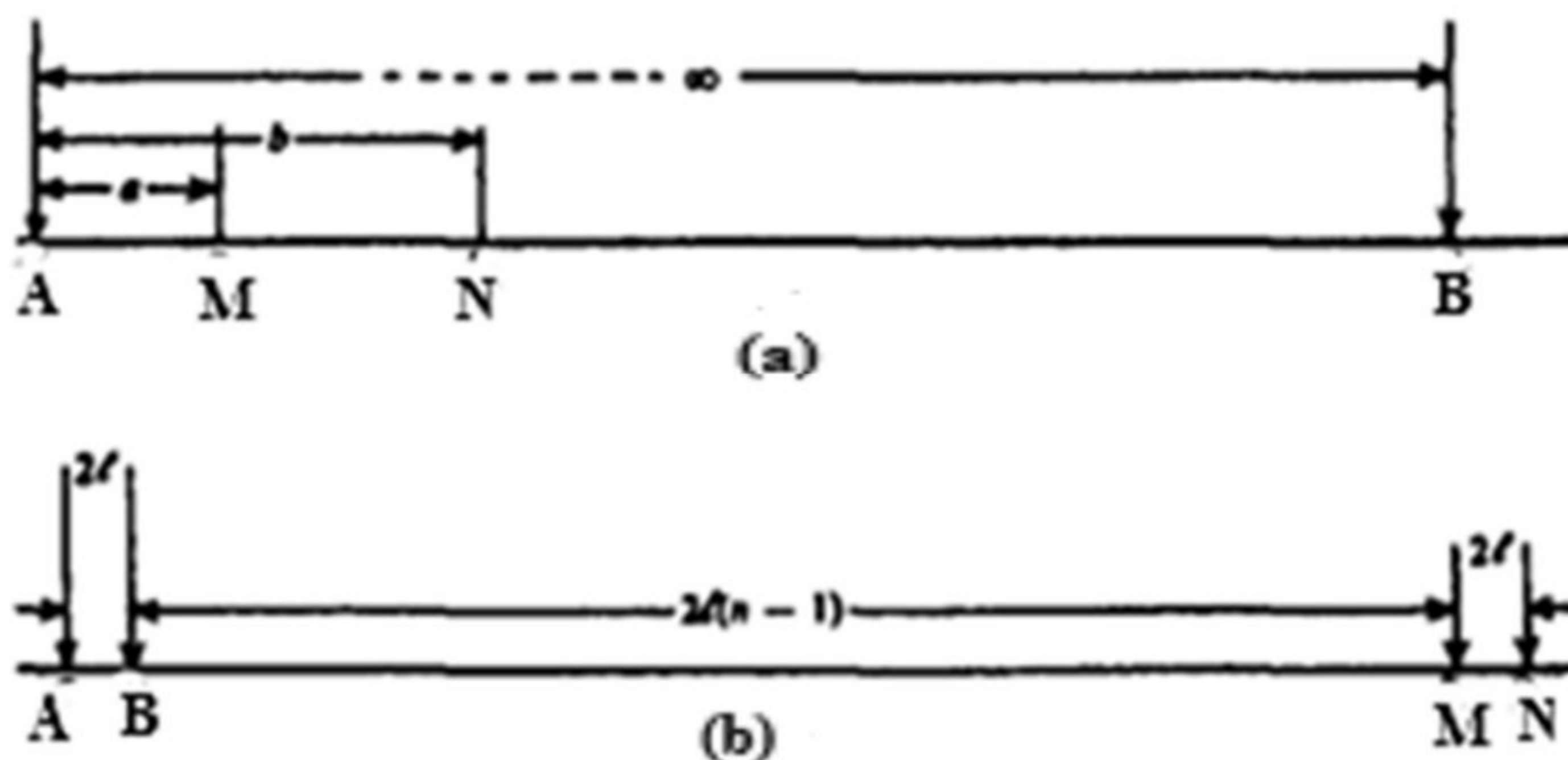


Slika 7. Grafički prikaz Šlumberžeovog dispozitiva (Vučković, 2021)

Kod Šlumberžeovog dispozitiva, rastojanje a između potencijalnih elektroda MN je mnogo manje nego rastojanje AB između strujnih elektroda. Ovaj dispozitiv se primenjuje pri istraživanju promena vrednosti specifične električne otpornosti sa dubinom, odnosno u geoelektričnom sondiranju. Potencijalne elektrode su fiksne, a pomeraju se strujne.

U upotrebi su još pol-pol, pol-dipol, dipol-dipol i mnogi drugi dispozitivi. Dipol-dipol dispozitiv se široko primenjivao od strane ruskih geofizičara još od 1950-ih godina i u Kanadi, posebno za potrebe merenja postupkom izazvane polarizacije u istraživanju ležišta mineralnih sirovina (Reynolds, 1997).

Izgled pol-dipol i dipol-dipol dispozitiva prikazan je na slici 8.

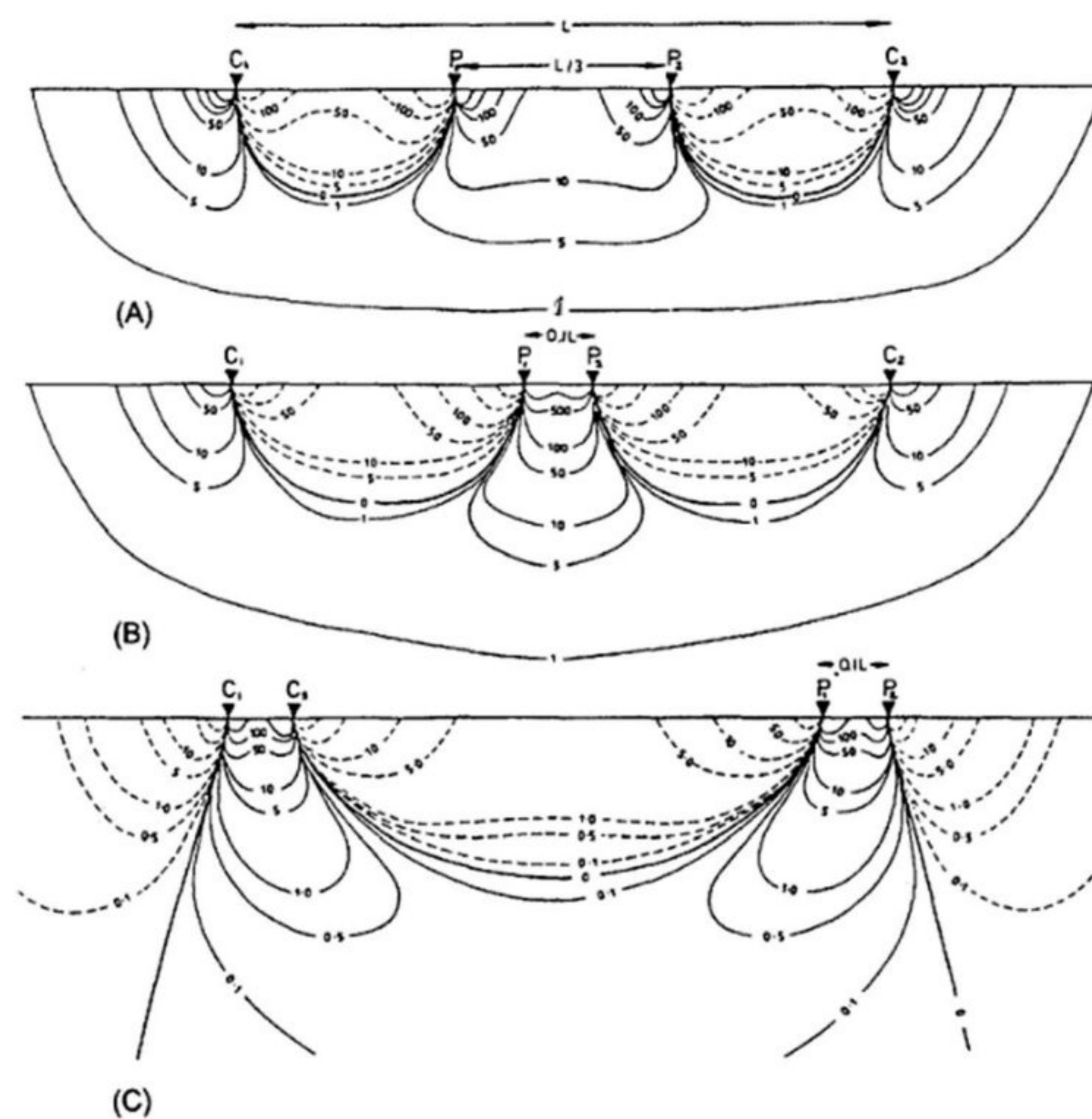


Slika 8. Pol-dipol (a) i dipol-dipol (b) dispozitivi (Telford i dr., 1990)

Kod pol-dipol dispozitiva strujna elektroda B je u beskonačnosti, odnosno na dovoljno velikom rastojanju od ostale tri elektrode. Dipol-dipol dispozitiv takav je da je rastojanje između strujnih elektroda malo i jednako je rastojanju između dve potencijalne elektrode, dok je rastojanje između strujnih i potencijalnih elektroda znatno veće.

Različiti tipovi dispozitiva imaju svoje prednosti i nedostatke. Faktori koji utiču na izbor tipa dispozitiva su u prvom redu cilj istraživanja, dimenzije dispozitiva, zahvat po dubini, osetljivost na bočne nehomogenosti i uticaj površi sa padom na rezultate merenja (Reynolds, 1997).

Različiti su i odzivi u potpovršini svakog od dispozitiva, a neki od njih su prikazani na slici 9.



Slika 9. Grafički prikaz odziva različitih tipova dispozitiva: (A) Venerov, (B) Šlumberžeov i (C) dipol-dipol dispozitiv (Reynolds, 1997)

3. PRIMENA ELEKTROMETRIJE U ARHEOLOGIJI

Klasični postupci u arheološkim istraživanjima, poput otkopavanja i čišćenja, nekad su zahtevali veliko angažovanje ljudi. Danas je to drugačije. Geofizičke metode se primenjuju u arheologiji od 1946. godine intenzivno, naročito elektromagnetometrija, magnetometrija i elektrometrija (Wynn, 1986). Jedan od najzastupljenijih postupaka jeste postupak specifične električne otpornosti. Geofizičke metode u arheologiji dovele su do znatno bržih istraživanja, kao i mogućnosti trodimenzionog sagledavanja lokaliteta. Nagli razvoj računarske tehnologije omogućio je da se smanje dimenzije terenskih geofizičkih instrumenata, što je omogućilo efikasnija i ekonomičnija terenska istraživanja. Pojavom personalnog računara i specijalizovanih softvera, obrada podataka postala je neuporedivo brža, a rezultati geofizičkih istraživanja mogli su se predstavljati kao dvodimenzioni i trodimenzioni modeli, što je bio veoma važan i ozbiljan iskorak u pogledu efikasnosti i saradnje geofizičara sa ostalim naukama.

Geofizičkim ispitivanjima mogu se detektovati razne šupljine u strukturama poput piramida ili antičkih utvrđenja i kartirati zakopani kameni temelji.

Elektrometrijska metoda se primenjuje u arheologiji od 1940-ih godina i od tada ima široku primenu (Wynn, 1986). Minerali koji sačinjavaju geološke formacije, kao i bilo koji drugi prirodni ili veštački materijali koji se nalaze u okviru ispitivanog poluprostora, poseduju različita električna svojstva. Postupak specifične električne otpornosti primenjuje se najčešće za lociranje različitih građevinskih i drugih arheoloških objekata, a značajan je i u detektovanju promena ukupne poroznosti izazvane zakopanim ostacima ruševina.

U ovom poglavlju prikazani su primeri praktične primene elektrometrijske metode u arheološkim istraživanjima.

3.1. Arheološka i geofizička istraživanja na lokalitetu Vinča-Belo Brdo

Komparativna arheološka i geofizička istraživanja, koja su vršena na nalazištu Vinča-Belo Brdo, imala su za cilj ispitivanja dubine arheoloških objekata na tom arheološkom području primenom postupka specifične električne otpornosti, tehnikom profilisanja (Tasić i dr., 2008). Cilj ovih istraživanja bio je poređenje dobijenih rezultata arheoloških ispitivanja sa rezultatima dobijenim primenom postupka specifične električne otpornosti, odnosno da se za svaki sloj zemljišta, koji je bio produkt ili ljudskog delovanja ili prirodnih činilaca (aluvijalni i eolski nanosi), odrede vrednosti specifične električne otpornosti. U periodu od 1999. do 2000. godine izvršena su probna elektrometrijska merenja, tehnikom sondiranja, a 2001. godine rađena su istraživanja tehnikom profilisanja. U ovom radu prikazani su rezultati dobijeni tehnikom profilisanja.

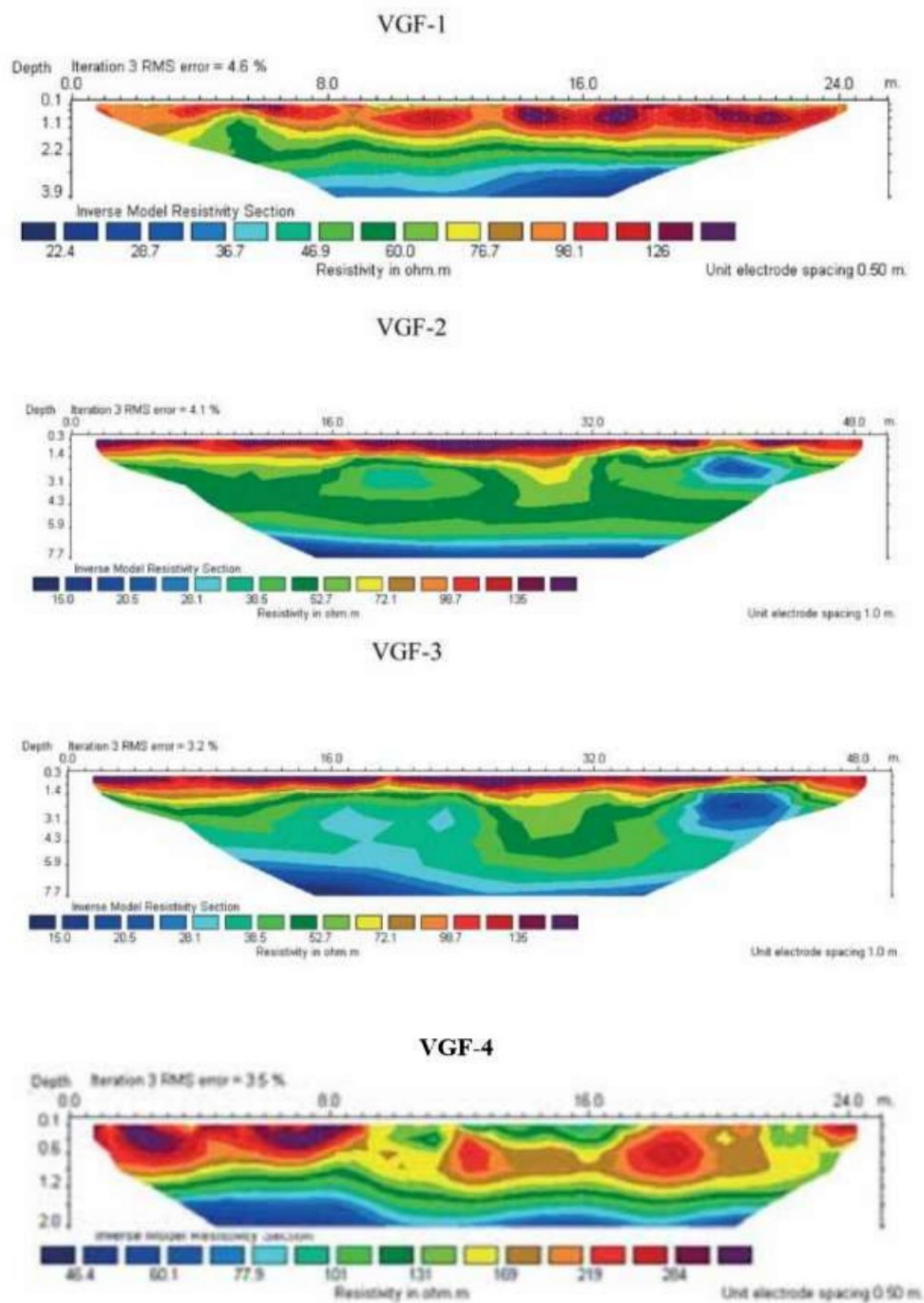
Izgled lokaliteta Belo Brdo i pozicije elektrometrijskih profila prikazani su na slici 10.



Slika 10. Pozicije elektrometrijskih profila na lokalitetu Belo Brdo (Tasić i dr., 2008)

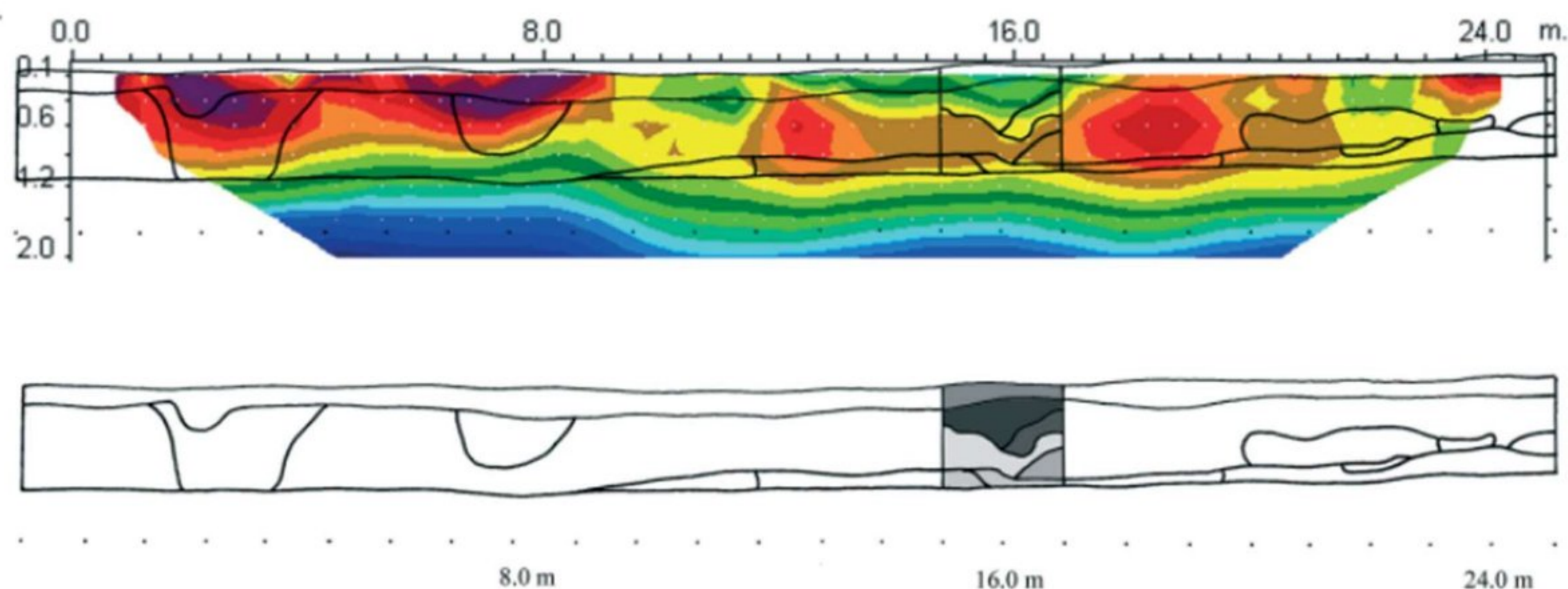
Elektrometrijska istraživanja na arheološkom lokalitetu Đurovača

Profili sa oznakama VGF-2 i VGF-3 imali su dužinu od po 50 m, sa dubinskim zahvatom 8 m, a profili sa oznakama VGF-1 i VGF-4 imali su dužinu od po 25 m. Dubinski zahvat na profilu VGF-4 iznosio je 2 m, a kod profila VGF-1 iznosio je 4m. Rezultati istraživanja duž profila prikazani su na slici 11.



Slika 11. Rezultati istraživanja duž četiri elektrometrijska profila (Tasić i dr., 2008)

Rezultati koji su dobijeni postupkom specifične električne otpornosti, naročito na elektrometrijskom profilu VGF-4, jasno odgovaraju rezultatima koji su dobijeni arheološkim istraživanjima. Preklopljeni arheološki i elektrometrijski profil prikazan je na slici 12.



Slika 12. Preklopljeni arheološki i elektrometrijski profil (Tasić i dr., 2008)

Srednjovekovna grobnica, razni predmeti i ostaci ruševina detektovani su elektrometrijskom metodom i uspešno su izdvojene različite strukture i tipovi zemljišta.

Primena elektrometrije u ovim arheološkim istraživanjima doprinela je brzom rešavanju problema i kvalitetnim rezultatima. Sa aspekta arheologije, značajno je ne samo da se pronalaze objekti, već i da može da se gradi strategija iskopavanja.

3.2. Primena postupka specifične električne otpornosti u detektovanju temelja ruševina

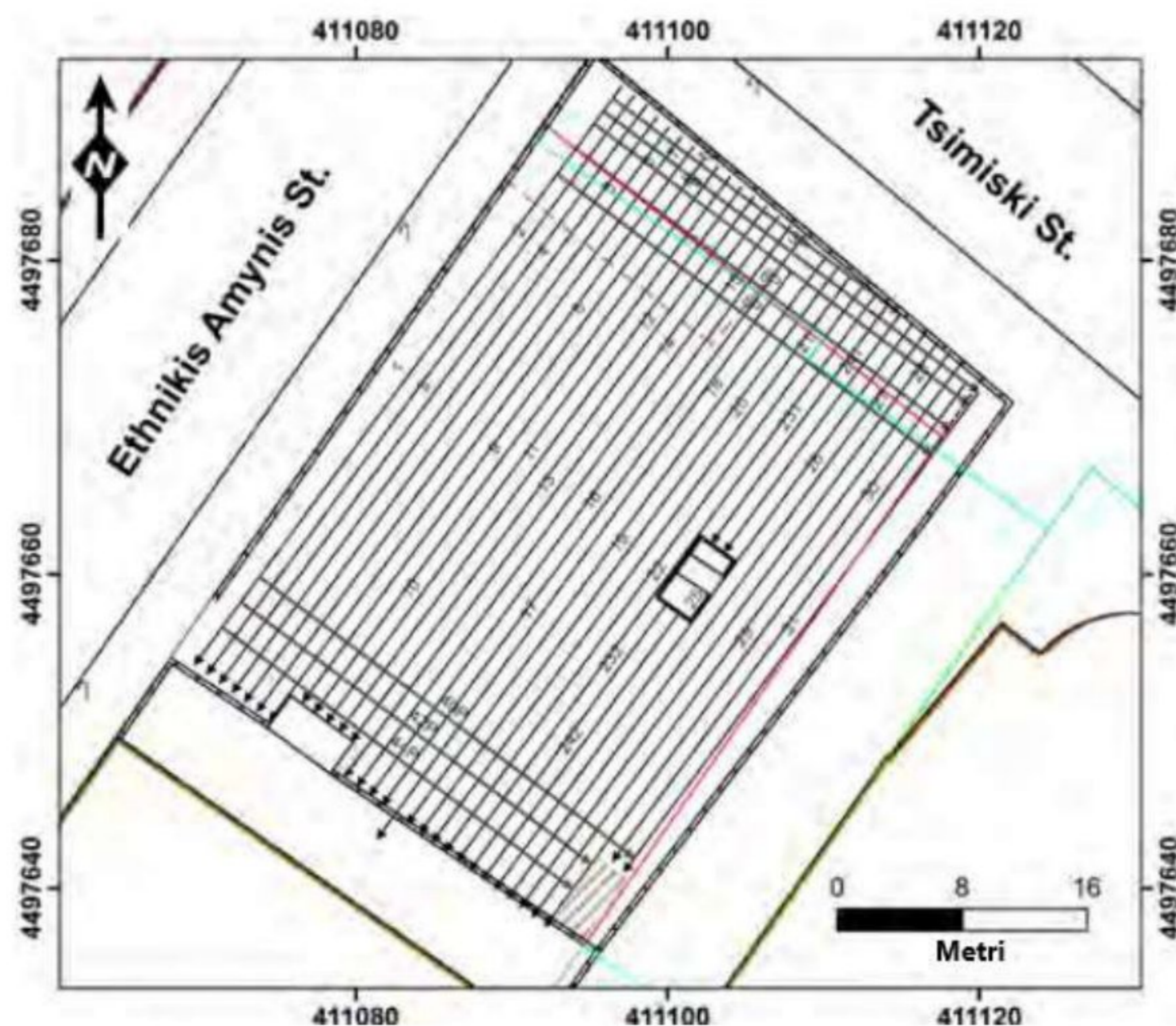
Istraživanja primenom postupka specifične električne otpornosti, tehnikom profilisanja, izvršena su u centru Soluna za potrebe ispitivanja mogućih zakopanih temelja ruševina (Vargemezis i dr., 2013).

Geofizičke metode su, zbog prirode lokaliteta, bile pogodne za istraživanje, pošto su nedestruktivne, a razlog tome je što su istraživanja vršena u centru Soluna na mestu parkinga u urbanom delu grada.

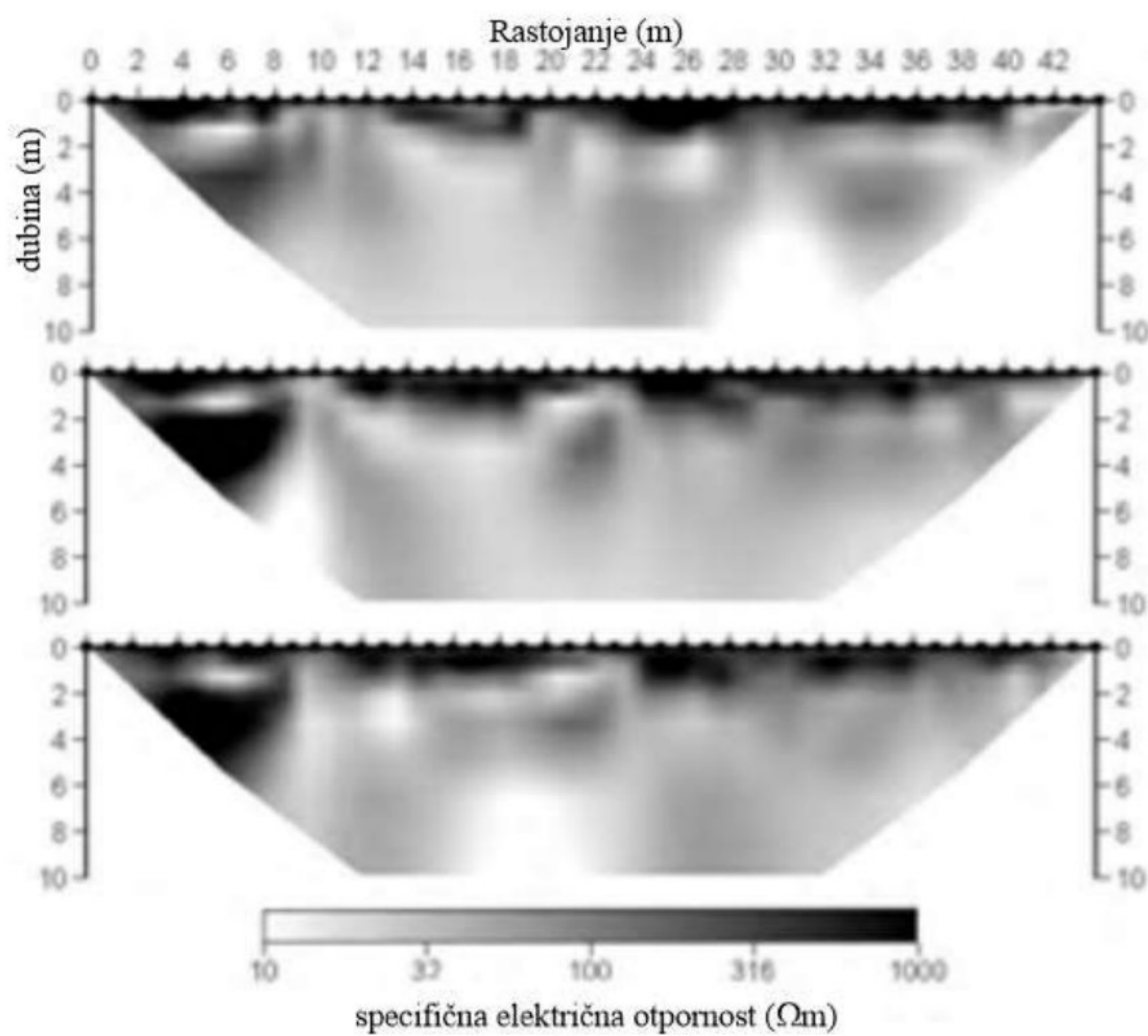
Cilj je bio ispitivanje geološke strukture u potpovršini i mogućih ruševina. Jedan od ciljeva bio je i dobijanje indirektnih informacija o bliskopovršinskim i dubljim delovima istražnog područja i o samoj litologiji potpovršine. Prema geološkim podacima, područje se sastoji iz ispune urbano-istorijskog porekla debljine 2-4 m koja leži preko formacije debljine 4-6 m, koju čine aluvijalni sedimenti (najčešće peskovite gline, zaglinjeni pesak sa krečnjačkim telima i šutom). Karakteristične formacije crvene gline očekivane su na dubini od 5-7 m.

U cilju obrade i 3D prikaza podataka izvedena su merenja duž guste mreže profila. Pozicije profila prikazane su na slici 13. Izveden je ukupno 31 profil po pravcu severoistok - jugozapad i osam profila upravnih na njih koji se nalaze paralelno ulici Cimiski. Rastojanje između profila bilo je 1 m. Pune crne linije predstavljaju profile, a strelice njihovu orijentaciju. Profili dobijeni inverznim modelovanjem prikazani su na slici 14.

Na slici 14 se uočava da postoje horizontalni slojevi, koji se sastoje od zona visoke specifične električne otpornosti, koja je očekivana i na lokacijama temelja građevina. Te zone se značajno razlikuju od podinskog sloja gline. Sloj koji odgovara nasutom materijalu odlikuje se izrazitim varijacijama u specifičnoj električnoj otpornosti zbog svoje heterogenosti.

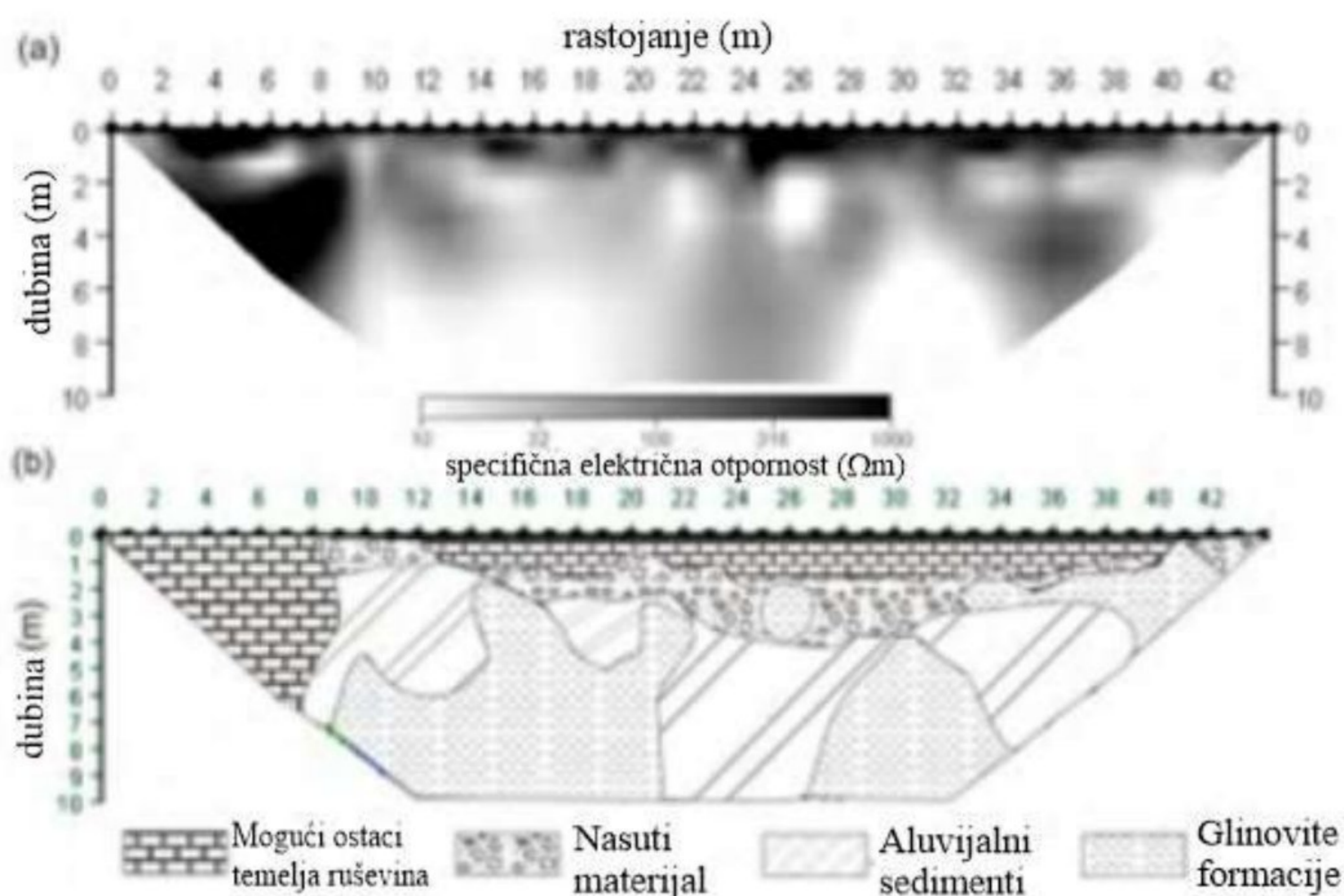


Slika 13. Pozicije elektrometrijskih profila (Vargomezis i dr., 2013)



Slika 14. Primeri elektrometrijskih profila dobijenih inverznim modelovanjem (Vargomezis i dr., 2013)

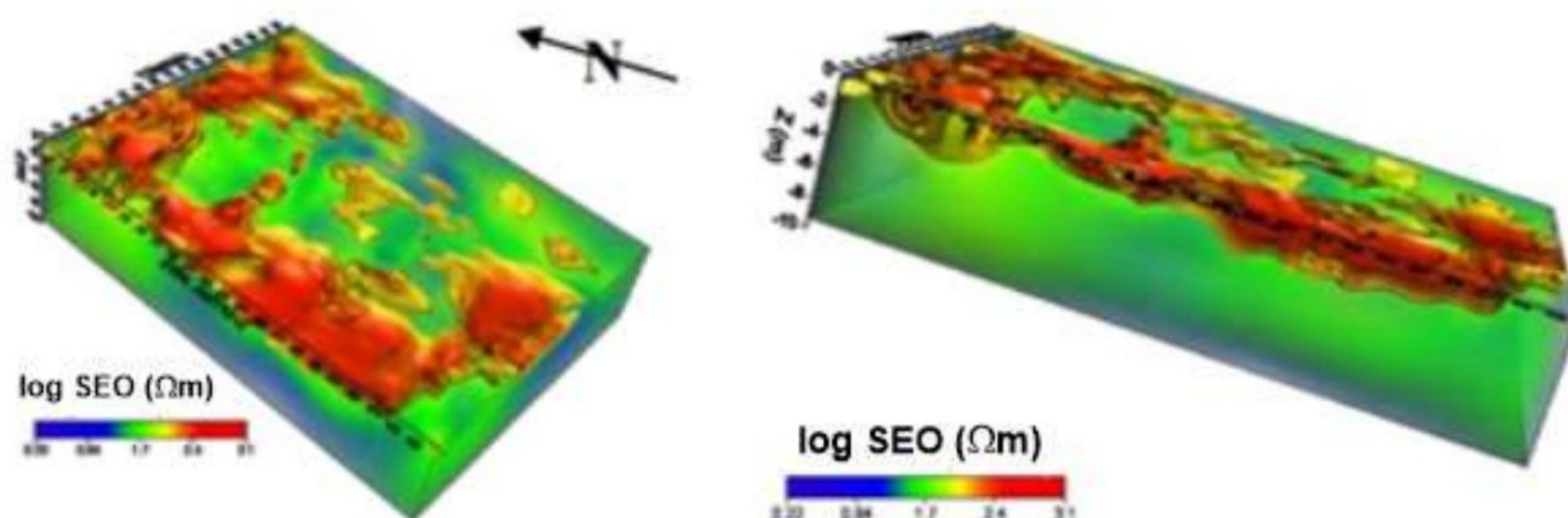
Prema elektrometrijskom profilu urađena je i geološka interpretacija koja je data na slici 15.



Slika 15. Interpretirani elektrometrijski profil (Vargemezis i dr, 2013)

Ostaci ruševina uzrokuju karakterističnu elektrometrijsku anomaliju koja je bitno drugačija od one uzrokovane okolnim formacijama. Debljina sloja koja se sastoji iz nasutog materijala varira i vrednosti SEO ovog sloja variraju u opsegu od oko 100 Ωm do oko 1000 Ωm, jer se sastoji iz različitih materijala poput agregata i blokova cementa. Ti ostaci temelja se uglavnom nalaze na dubini od oko 5 m, a ispod njih su geološke formacije koje se sastoje iz pretežno glinovitnog materijala, čije vrednosti SEO iznose približno 10 Ωm, i materijala koji čine aluvijalni sedimenti, pesak i šljunak, čija je SEO u opsegu 80 – 100 Ωm.

Na slici 16 dat je 3D prikaz raspodele SEO na ispitivanom prostoru. Visoke vrednosti SEO oslikavaju ostatke ruševina realistički, nasuprot niskim vrednostima koje odgovaraju okolnim geološkim formacijama.



Slika 16. 3D prikaz raspodele SEO na ispitivanom prostoru (Vargemezis i dr., 2013)

Primenom postupka specifične električne otpornosti, tehnikom profilisanja i kartiranja, bilo je moguće detektovati lokaciju temelja ruševina (stare zgrade). Prema geološko-geofizičkim istraživanjima nalazište je locirano uz nekadašnje korito reke koje se proteže uz ulicu Ethnikis Aminis, jako blizu njenog priobalnog toka. Istraživanja ukazuju i na usecanje toka reke u formaciju crvenih glina, što se odlikovalo niskim vrednostima SEO. Interpretacija i korelacija dobijenih rezultata geofizičkih istraživanja sa geološkim podacima ukazuju na nedostatak arheoloških ostataka antičkih objekata na ispitivanom području. To se može objasniti postojanjem nekadašnjeg korita reke, koje se graniči sa zidinama antičkog grada koje su se nalazile uz istražno područje.

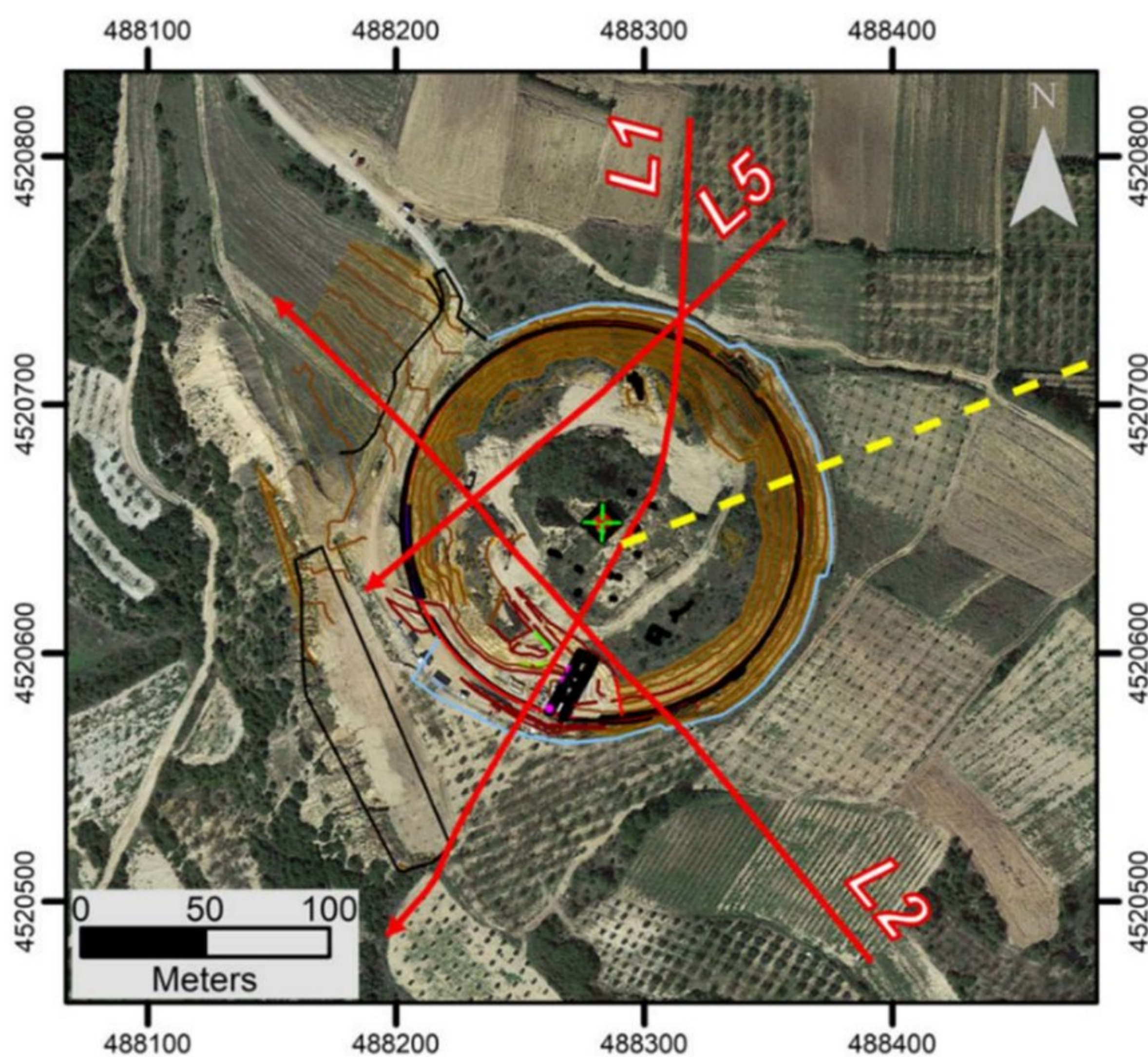
3.3. Elektrometrijsko profilisanje unutrašnjosti velike humke Kastas u Amfipolisu (Grčka)

Humke ili tumulusi su spomenici antropogenog porekla koji se sastoje od zemljanih i kamenih nasipa koji formiraju oblik uzvišenja kružnog oblika, a retko su eliptičnog ili izduženog oblika (Tsokas i dr., 2018). Mogu se naći širom sveta i ovi spomenici svedoče o pogrebnim običajima mnogobrojnih različitih civilizacija, a mogu predstavljati posed, memorijalno mesto, turističku atrakciju, kao i kulturno-istorijska ili arheološka nalazišta.

Grobovi koji pripadaju periodima gvođenog doba i arhaika pronađeni su na vrhu tumulusa Kastan, ispod debljeg sloja materijala koji je transportovan još tokom helenističkog doba. Prirodni materijal kojim su prekrivene grobnice sastoji se iz naizmeničnih slojeva sivkastog rastresitog i vezanog peska sa oblucima. Između njih pronađene su glinovite formacije debljine 20-30 cm.

Zadatak je bio otkrivanje jedne ili više skrivenih grobnica ili drugih konstrukcija povezanih sa grobnicama. Krajnji cilj bio je naknadno iskopavanje do tih struktura, ostavljajući netaknutim delove tumulusa. U ovom slučaju, primenjen je postupak SEO, tehnikom profilisanja. Istraživanja su izvedena postupkom elektrometrijskog profilisanja, a osim tehnike profilisanja, izvedena su posebna 3D merenja na nepravilnoj mreži zbog veličine tumulusa (Tsokas i dr., 2018).

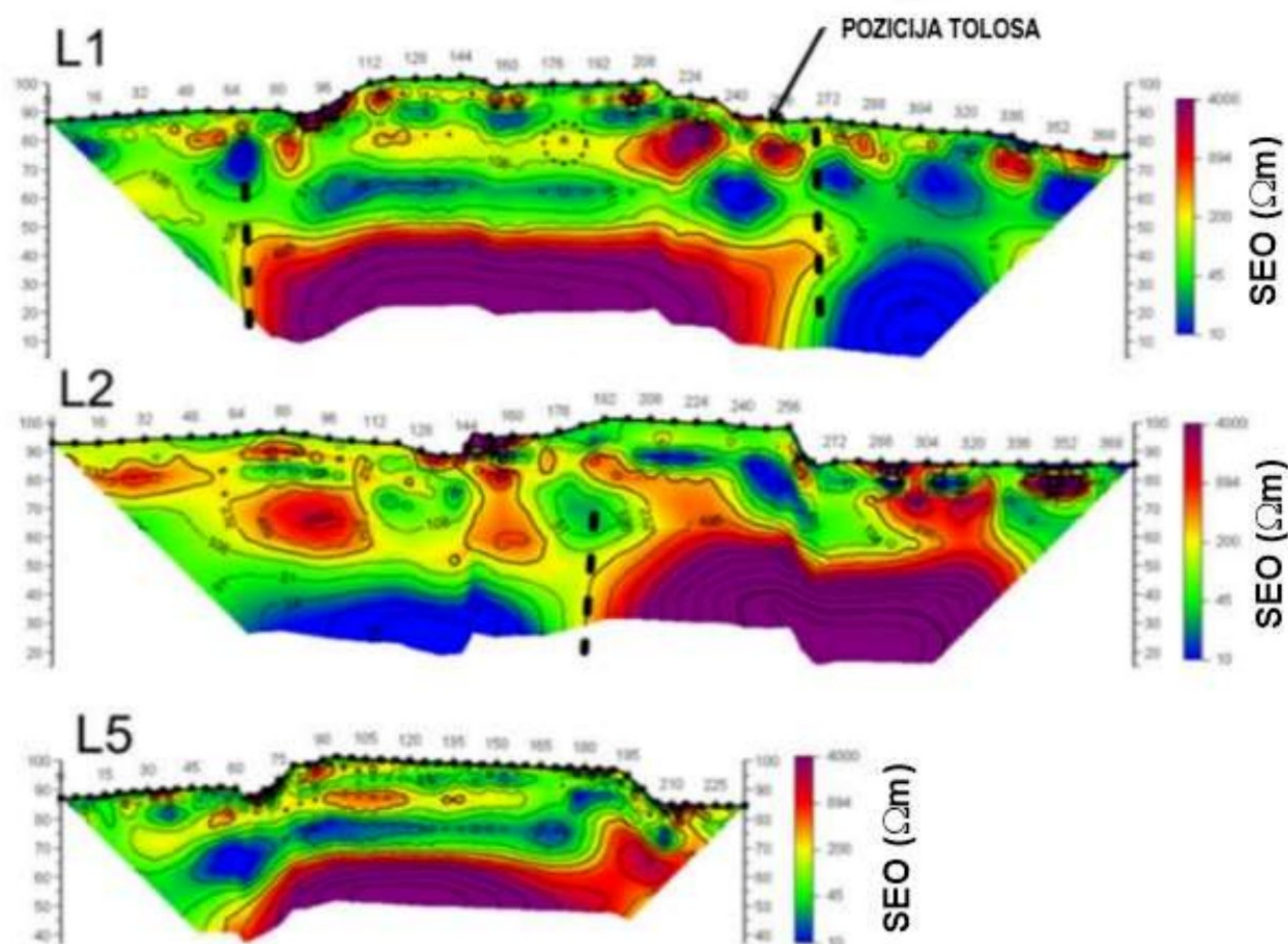
Istraživanje je započelo merenjem duž tri dugačka elektrometrijska profila, kako bi se procenila geološka i tektonska građa područja. Prikaz profila dat je na slici 17.



Slika 17. Prikaz profila na području humke (Tsokas i dr., 2018)

Međuelektrodno rastojanje iznosilo je 8 m za profile L1 i L2, a 5 m za profil L5 i za sva tri profila korišćen je set od 48 elektroda. Primenjeni su dipol-dipol dispozitiv i multi-gradijent dispozitiv. Rezultati merenja su obrađeni zajedno, kao jedan skup podataka. Visoka rezolucija dobijena je primenom multi-gradijent dispozitiva, a veća dubina istraživanja primenom dipol-dipol dispozitiva. Žuta isprekidana linija na slici 17 predstavlja rased kartiran ranijim istraživanjima. Koordinate svake elektrode snimljene su GPS sistemom (eng. Global Positioning System).

Raspodela SEO duž profila L1, L2 i L5 prikazana je na slici 18.



Slika 18. Raspodela SEO duž profila L1, L2 i L5 (Tsokas i dr., 2018)

Primena postupka specifične električne otpornosti, tehnikom profilisanja, se pokazala kao izuzetno koristan alat za istraživanje unutrašnjosti struktura u ovom slučaju.

Rezultati prikazuju sva tri profila na kojima su označene crnim isprekidanim linijama pozicije raseda, a na profilu L1 data je i pozicija tolosa¹. Visoke vrednosti SEO u bliskopovršinskim delovima najverovatnije potiču od nehomogenosti sedimenata.

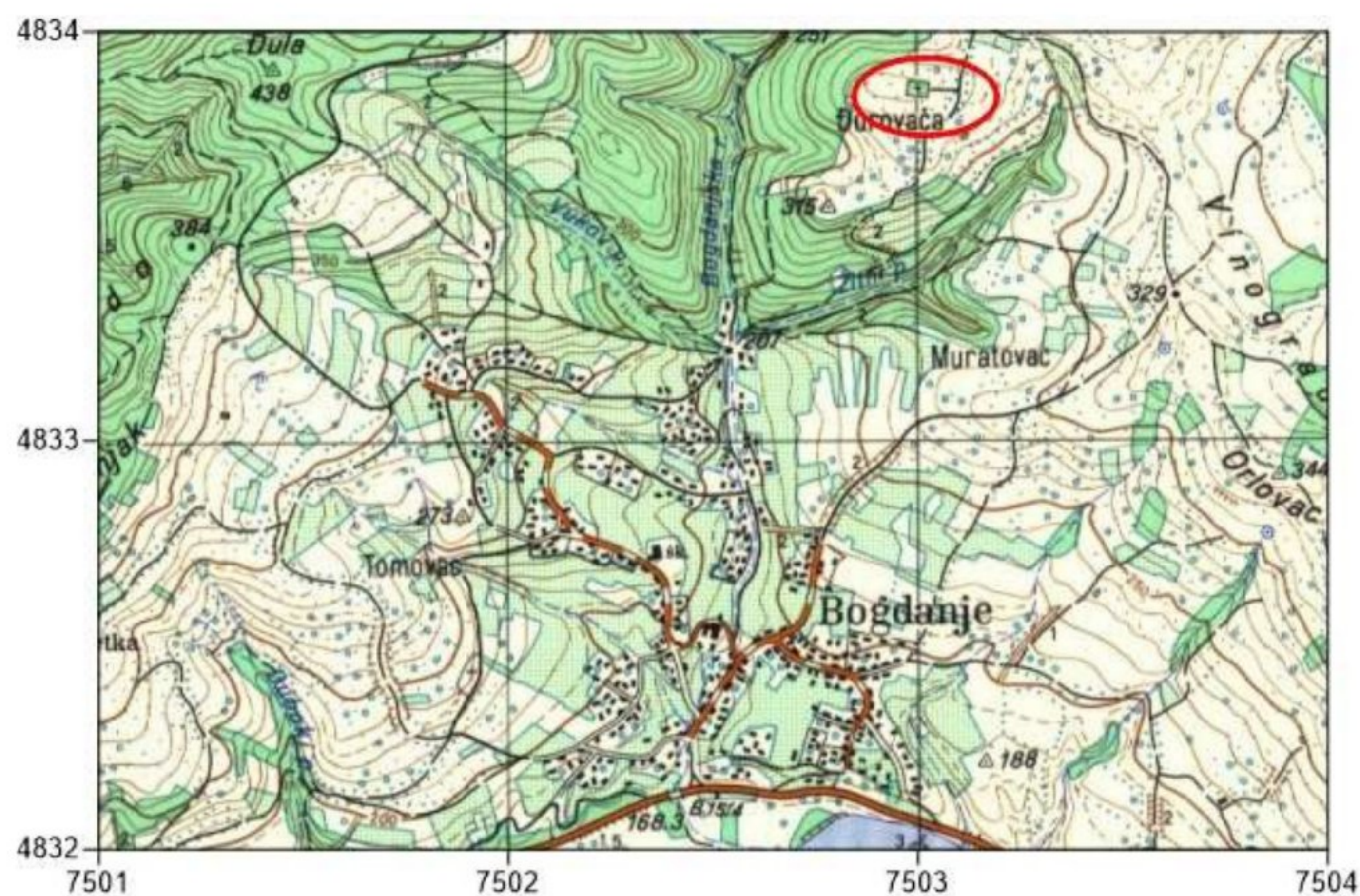
S obzirom na međuelektrodno rastojanje, bilo je malo verovatno da postoji veza blisko-površinskih anomalija visokih vrednosti SEO sa zakopanim ostacima struktura, jer bi morali da budu velikih dimenzija da bi proizvedu detektabilne vrednosti specifične električne otpornosti. Geološka građa područja se odlikuje izrazitom nehomogenošću, koja se ogleda i u lateralnom kontrastu SEO i dovodi do izraženih bliskopovršinskih anomalija SEO. Na srednjim dubinama vide se varijacije koje su posledica, verovatno, ranije pomenutih alteracija peska, glina i oblutaka. Visoke vrednosti specifične električne otpornosti na dubljim nivoima se mogu povezati sa laporovitim krečnjacima, koji su prisutni na ovom području, međutim to ne može da bude utvrđeno bez istražnog bušenja.

¹ Tolos (lat. tolus) – u starogrčkoj arhitekturi kružna građevina kupastog ili zasvođenog krova

4. ELEKTROMETRIJSKA ISTRAŽIVANJA NA LOKALITETU ĐUROVAČA

U radu je prikazana praktična primena elektrometrijske metode na arheološkom lokalitetu Đurovača. Đurovača se nalazi u ataru sela Bogdanje, na oko 10 km od Trstenika, na levoj strani Zapadne Morave. Istražni prostor nalazi se u samoj blizini ostataka crkve (Đurić i dr., 2020).

Topografska karta šireg područja lokaliteta Đurovača data je na slici 19, a crvenim krugom obeležen je istražni prostor.

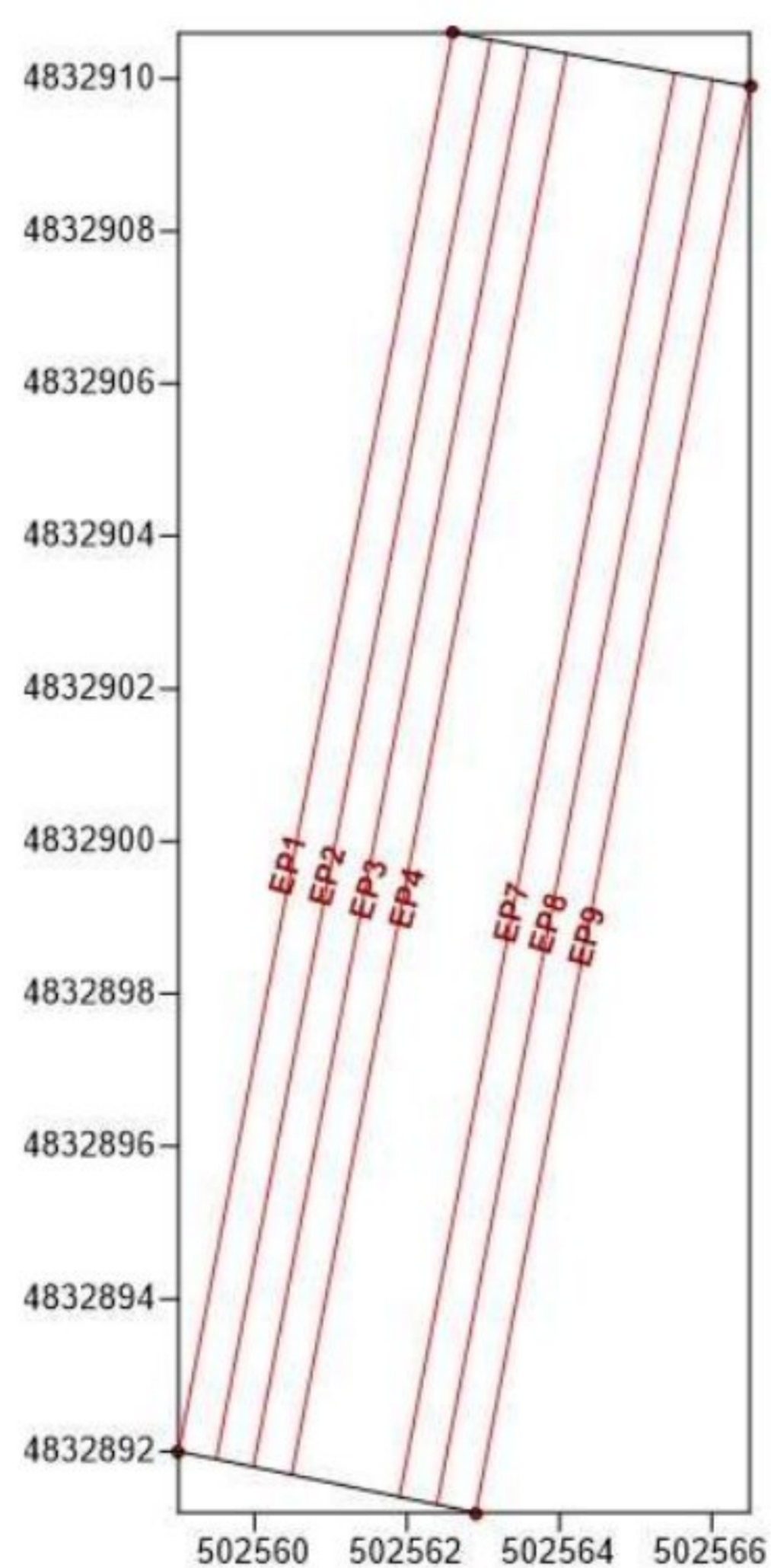


Slika 19. Topografska karta šireg područja

Na slici 20 prikazan je satelitski snimak istražnog područja Đurovača. Na satelitskom snimku označen je poligon koji predstavlja istražno područje. Sa uveličanog snimka vidi se da se poligon nalazi u šumarku, u kojem se nalazi i crkva. Poligon je prikazan na slici 21.



Slika 20. Satelitski snimak istražnog područja



Slika 21. Izgled poligona sa elektrometrijskim profilima

Unutar poligona merenja su izvedena duž ukupno devet elektrometrijskih profila, ali su dva profila odbačena, zbog neadekvatnih rezultata (prisustvo velikih smetnji na podacima merenja). Zbog toga postoji praznina između četvrtog i sedmog profila. Položaj preostalih sedam profila prikazan je na slici 21.

Koordinate temena poligona date su u Tabeli 1.

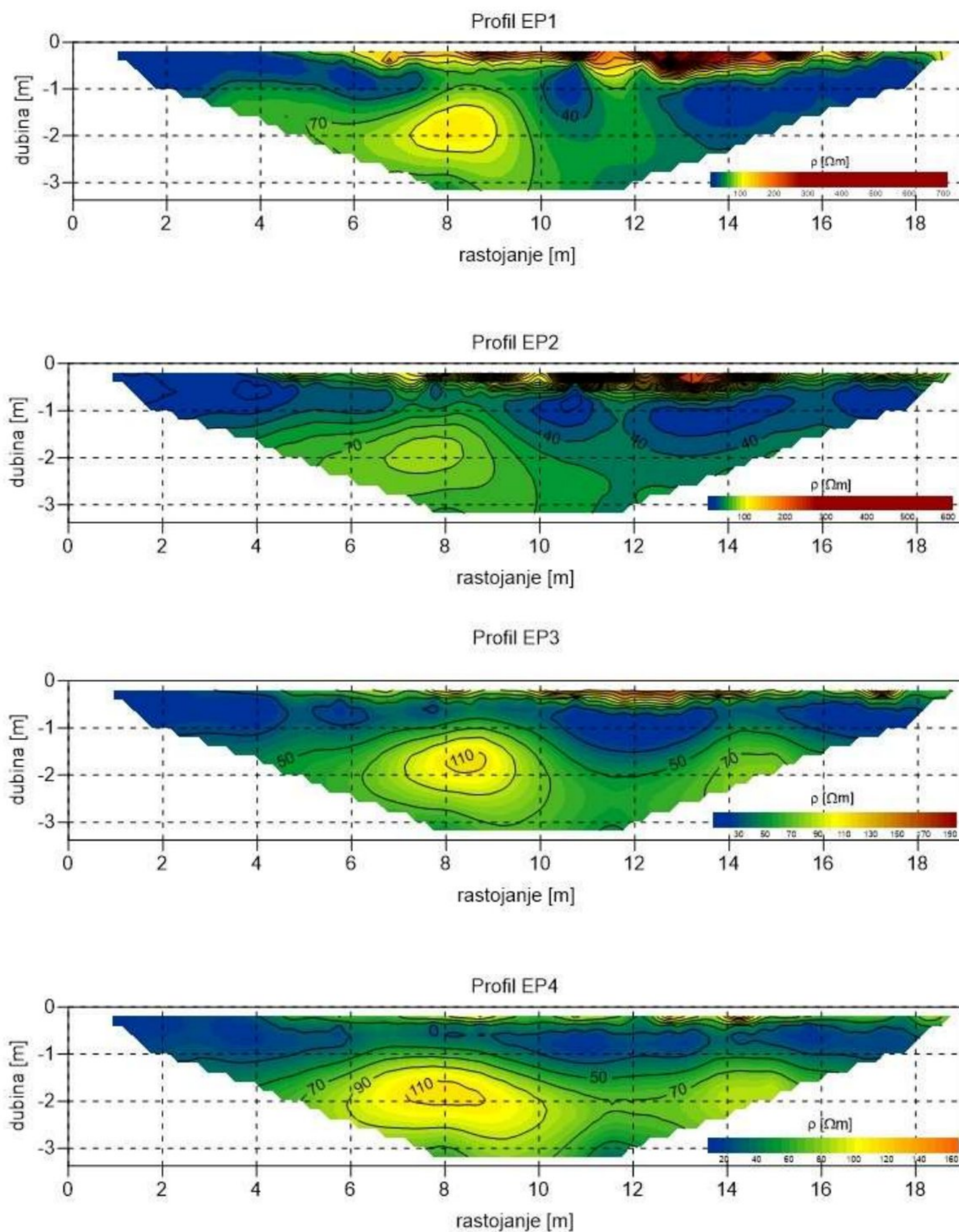
Tabela 1. Koordinate temena poligona

	X	Y
A	502559	4832892
B	502562,9	4832891,2
C	502566,5	4832909,9
D	502562,6	4832910,6

Obrada elektrometrijskih podataka izvršena je u programu Res2DInv. Kao početni korak u obradi, otklonjene su negativne vrednosti specifične električne otpornosti i vrednosti sa merenim previsokim odstupanjima od prosečnih vrednosti SEO. Obrada podataka i modelovanje je izvedeno na sedam profila: EP1, EP2, EP3, EP4, EP7, EP8 i EP9. Nakon definisanja određenih parametara u podešavanjima, urađeno je inverzno modelovanje metodom konačnih elemenata. Na osnovu uvezenih podataka, prikazuju se modeli prividne merene specifične električne otpornosti.

Pokretanjem procesa inverzije program automatski računa istinite specifične električne otpornosti, kao i srednju kvadratnu grešku, na osnovu razlika između izračunatih i izmerenih vrednosti specifične električne otpornosti. Treba imati u vidu da nekada model sa najmanjom srednjom kvadratnom greškom nije i najreprezentativniji, jer mogu da se jave velike varijacije u raspodeli SEO, koje nisu u saglasnosti sa geologijom terena.

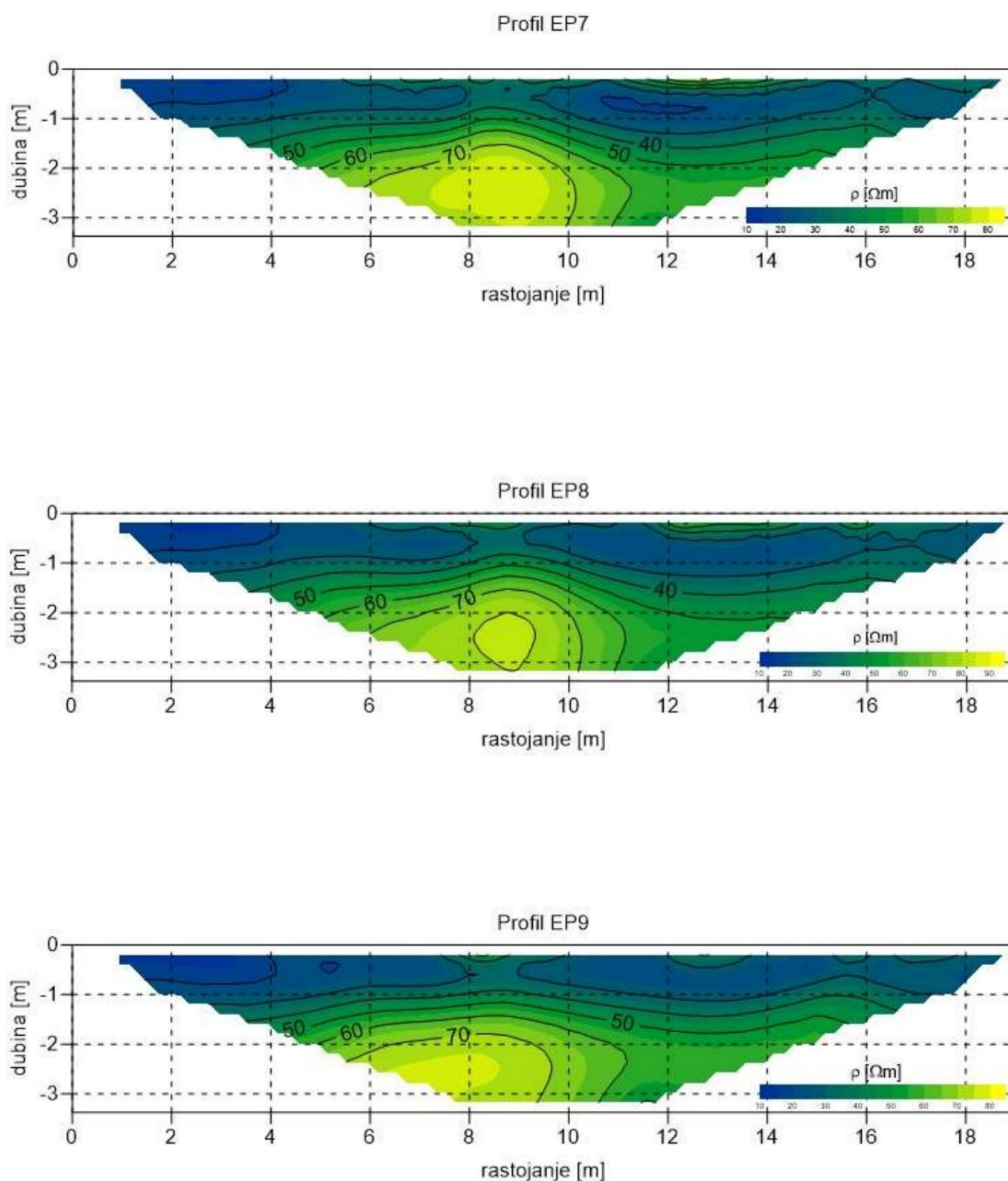
Dobijeni modeli su nakon toga prikazani u programu GS Surfer. 2D modeli raspodele specifične električne otpornosti, merene Venerovim i Šlumberžeovim dispozitivima, prikazani su na slikama 22-25. Modeli 2D raspodele SEO, na profilima EP1 – EP4, na osnovu podataka dobijenih merenjem Venerovim dispozitivom, prikazani su na slici 22.



Slika 22. 2D raspodela SEO duž elektrometrijskih profila EP1 - EP4 – Venerov dispozitiv

Ono što se može primetiti na osnovu profila EP1 i EP2 jesu visoke vrednosti SEO koje su prisutne blizu površine. Te vrednosti na profilu EP1, čiji je opseg 220-700 Ωm i na profilu EP2, gde je opseg 230-600 Ωm , mogu predstavljati nekakav veštački materijal

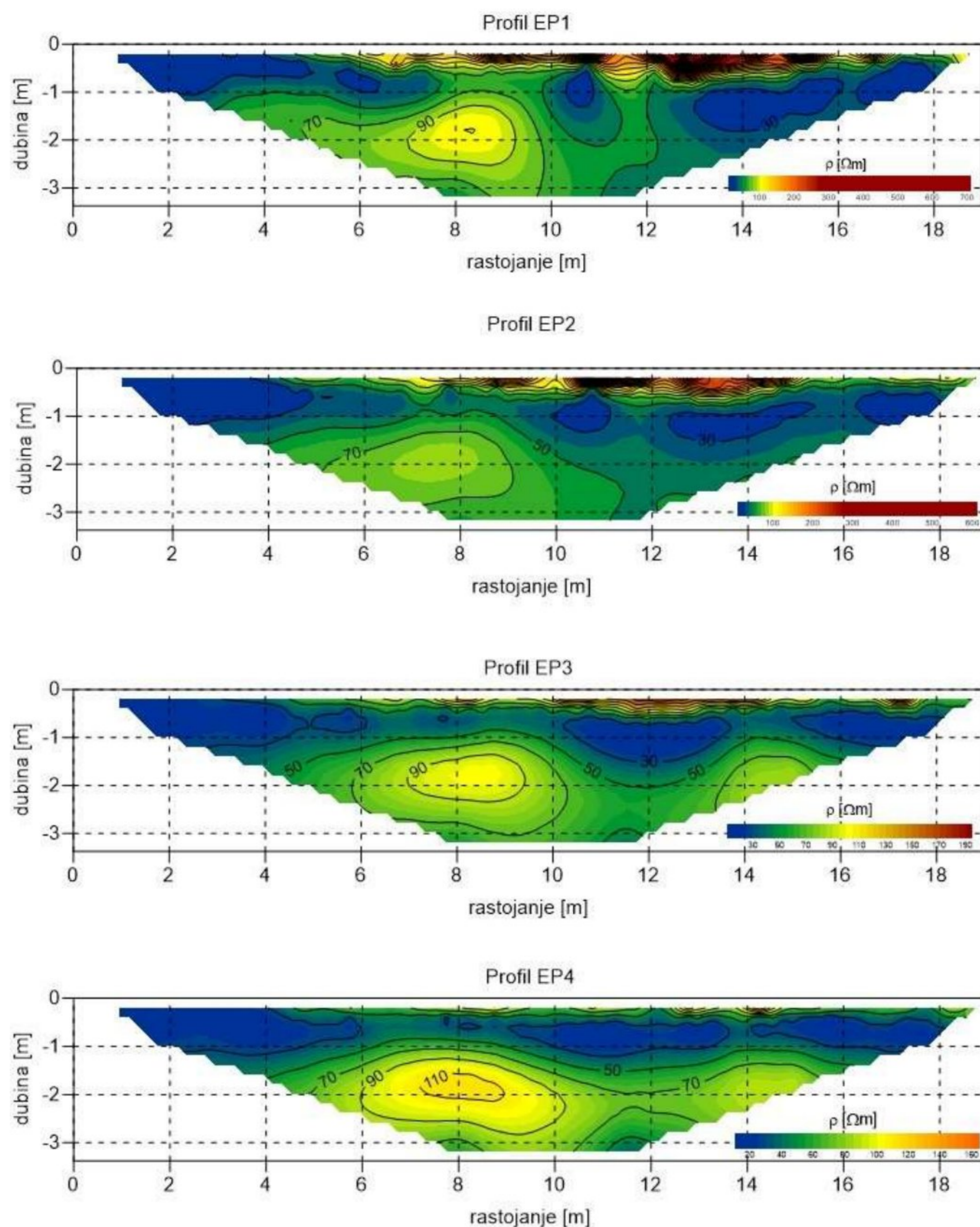
na površini terena. Na profilima EP3 i EP4 primetan je niži opseg SEO sa maksimalnim vrednostima od $190 \Omega\text{m}$ na profilu EP3 i $160 \Omega\text{m}$ na profilu EP4. Modeli 2D raspodele SEO, na osnovu podataka dobijenih merenjem Venerovim dispozitivom na profilima EP7 – EP9, prikazani su na slici 23.



Slika 23. 2D raspodela SEO duž elektrometrijskih profila EP7 - EP9 – Venerov dispozitiv

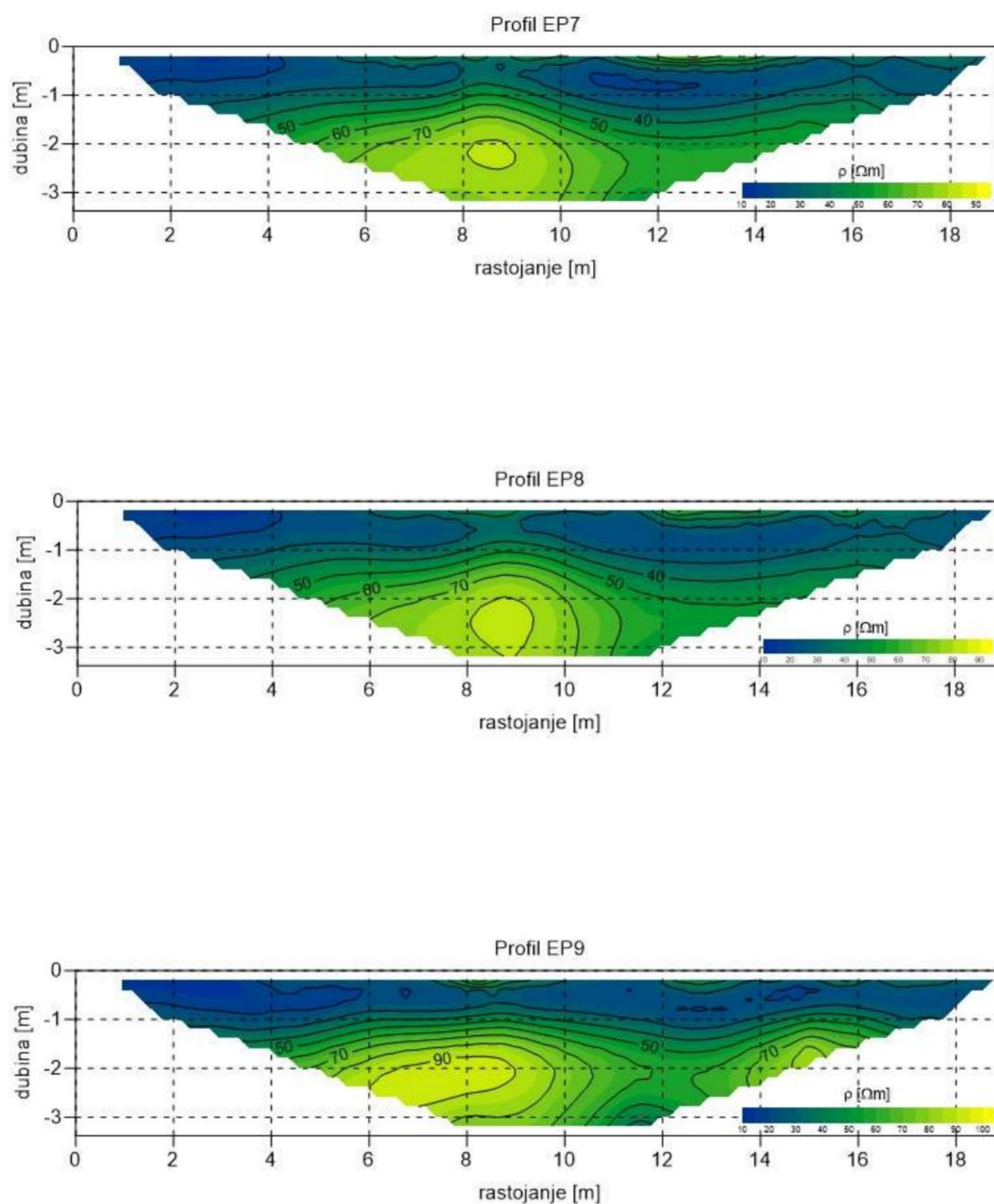
Na prikazanim profilima uočavaju se znatno niže vrednosti SEO u odnosu na prethodna četiri profila. Maksimalne vrednosti SEO na ova tri profila iznose 80 Ωm za profile EP7 i EP9 i 90 Ωm za profil EP8.

Na slici 24 prikazani su modeli 2D raspodele SEO, na profilima EP1 – EP4, na osnovu podataka dobijenih merenjem Šlumberžeovim dispozitivom.



Slika 24. 2D raspodela SEO duž profila EP1 – EP4 – Šlumberžeov dispozitiv

Na osnovu slike 24 uočava se da profili mereni Šlumberžeovim dispozitivom imaju sličnu raspodelu vrednosti SEO poput profila merenih Venerovim dispozitivom. Na prva dva profila prisutne su visoke vrednosti SEO što je, kako je prethodno napisano, posledica rastresitog tla i veštačkog materijala na površini terena. Modeli 2D raspodele SEO, na profilima EP7 – EP9, na kojima su merenja izvršena Šlumberžeovim dispozitivom, prikazani su na slici 25.

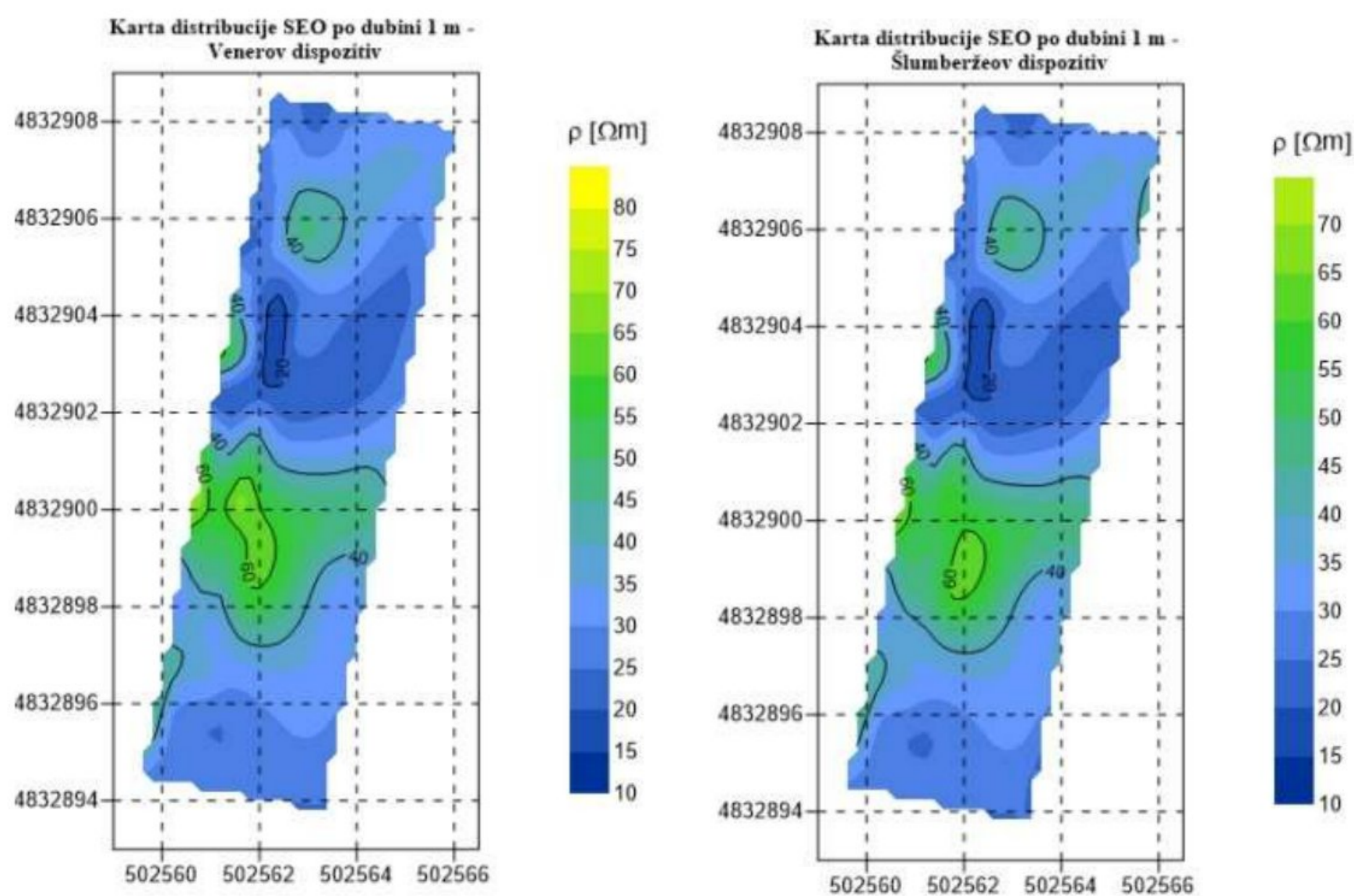


Slika 25. 2D raspodela SEO duž profila EP7 – EP9 – Šlumberžeov dispozitiv

Slično kao i kod elektrometrijskih profila EP7, EP8 i EP9 merenih Venerovim dispozitivom, i u ovom slučaju se ne zapažaju bitnije promene. Maksimalna vrednost specifične električne otpornosti je oko 100 Ωm na elektrometrijskom profilu EP9, gde je, u odnosu na profil EP9 meren Venerovim dispozitivom, izraženija anomalija na nivou od 2 m dubine.

Kao finalni vid prikaza rezultata obrade, izrađene su karte raspodele specifične električne otpornosti za tri nivoa po dubini: nivo 1 m, nivo 1.6 m i nivo 2.2 m. Karte su izrađene za podatke dobijene merenjima Venerovim i Šlumberžeovim mernim dispozitivom.

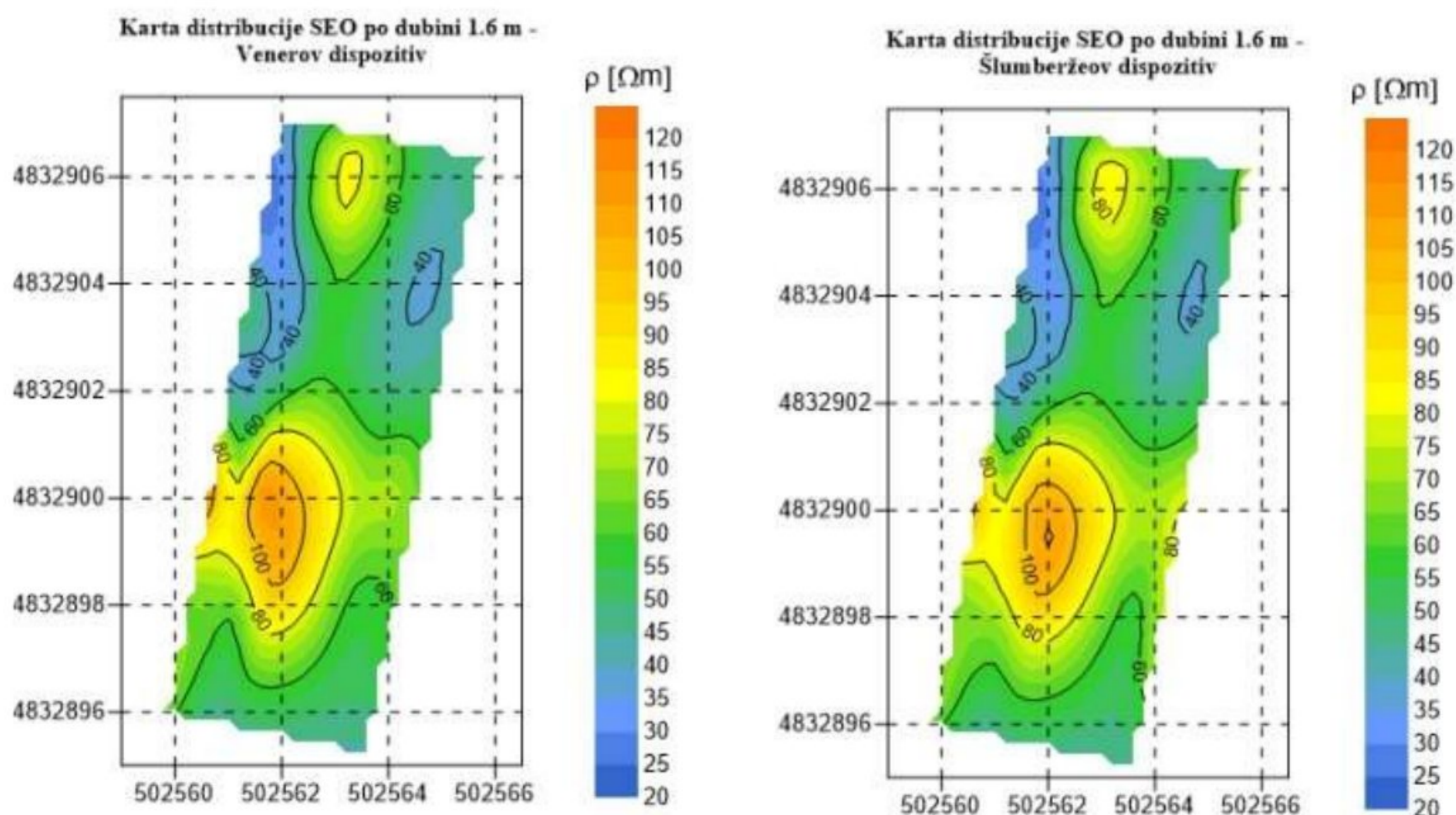
Na slici 26 prikazane su karte raspodele SEO na dubini od 1 m za Venerov i Šlumberžeov dispozitiv.



Slika 26. Karte raspodele SEO na dubini 1 m – Venerov i Šlumberžeov dispozitiv

Na osnovu slike 26, na nivou od 1 m zapažaju se niske vrednosti specifične električne otpornosti, a u centralnom delu karte vrednost SEO dostiže 70 Ωm . Oba dispozitiva dala su slične rezultate i suštinska razlika se ne zapaža.

Na slici 27 prikazan je izgled karte raspodele SEO na dubini od 1.6m za Venerov i Šlumberžeov dispozitiv.



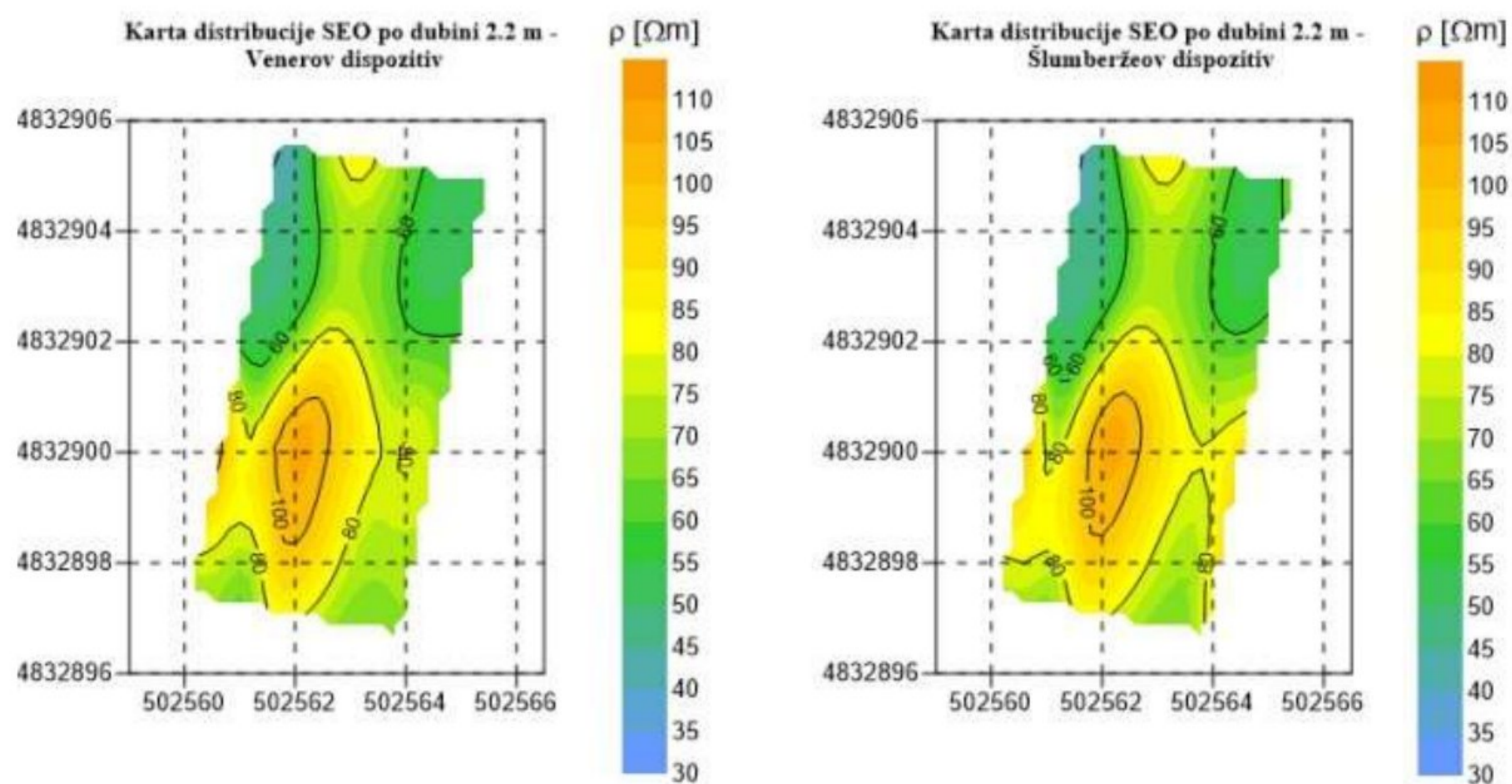
Slika 27. Karte raspodele SEO na dubini 1.6 m za Venerov i Šlumberžeov dispozitiv

Na slici 27 može se videti da vrednosti specifične električne otpornosti rastu sa povećanjem dubine. Na dubini od 1.6 m može se uočiti anomalija u središnjem delu karte, čija vrednost specifične električne otpornosti iznosi 120 Ωm , kao i nešto manje izražena anomalija u severnom delu karte, čija vrednost SEO iznosi oko 80 Ωm .

Pored prethodne dve, izrađena je karta raspodele SEO za treći nivo na dubini od 2.2 m. Njen izgled prikazan je na slici 28.

Za treći nivo na dubini od 2.2 m dobijene su karte raspodele specifične električne otpornosti u nešto manjem obimu, što je posledica manjeg broja podataka duž profila sa

porastom dubine. U središnjem delu karte nalazi se anomalija čija je vrednost specifične električne otpornosti 110 Ωm .



Slika 28. Karta raspodele SEO na dubini od 2.2 m za Venerov i Šlumberžev dispozitiv

5. ZAKLJUČAK

Primena postupka specifične električne otpornosti, tehnikom profilisanja i kartiranja, neizostavan je deo geofizičke prospekcije u arheološkim istraživanjima. Daljim napretkom i usavršavanjem postupaka, njihova primena može biti još efikasnija i pouzdanija u cilju kvalitetnije saradnje arheologije i geofizike.

Na osnovu dobijenih elektrometrijskih podataka izrađene su karte raspodele specifične električne otpornosti na tri nivoa po dubini. Karte su prikazane komparativno, za sva tri nivoa po dubini i oba merna dispozitiva, Venerov i Šlumberžeov. Merenje različitim dispozitivima omogućilo je da se uradi kvalitetnija analiza podataka, kao i da se izvrši upoređivanje dobijenih rezultata.

Ono što se može vizuelno konstatovati, na osnovu rezultata istraživanja koji su prikazani na kartama raspodele SEO za tri različita nivoa po dubini, jeste da vrednosti specifične električne otpornosti rastu sa dubinom i da na sve tri karte raspodele SEO postoje anomalnijske zone. S obzirom na karakter, dubinu i dimenzije anomalnijskih zona, može se reći da postoje indicije da su u pitanju potencijalni arheološki objekti. Preporuka arheolozima za dalja istraživanja je da se na lokaciji izvedu otkopavanja arheoloških sondi, u zonama centara anomalija. Na taj način će rezultati dobijeni geofizičkim istraživanjima biti direktno provereni na samom terenu.

LITERATURA

1. Đurić D., Vukčević J., Vučković D., Vasiljević I., Cvetkov V., 2020. Terenska nastava iz geofizike: Arheološki lokaliteti na području Trstenika, Aktuelna interdisciplinarna istraživanja tehnologije u arheologiji jugoistočne Evrope: zbornik radova/ Prvi skup Sekcije za arheometriju, arheotehnologiju, geoarheologiju i eksperimentalnu arheologiju Srpskog arheološkog društva, Beograd, str. 30-36.
2. Kearey P., Brooks M., Hill I., 2002. An Introduction to Geophysical Exploration, Third edition, Blackwell Science Ltd, Oxford, str. 183-207.
3. Reynolds J. M., 1997. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics, John Wiley & Sons Ltd, Baffins Lane, Chichester, West Sussex, England, str. 415-553.
4. Sretković B., 2021. Elektrometrija, prezentacije, Rudarsko – geološki fakultet, Beograd
5. Tasić N., Vukadinović M., Kapuran A., 2008. Komparativna arheološka i geofizička ispitivanja na lokalitetu Vinča – Belo Brdo metodom geoelektričnog skeniranja, Arheologija i prirodne nauke Vol. 3, Centar za nove tehnologije Viminacium, Arheološki institut Beograd, Beograd, str. 7-18.
6. Telford W. M., Geldart L. P., Sheriff R. E., 1990. Applied Geophysics, Second Edition, Press Syndicate of the University of Cambridge, The Pitt Building, Trumpington street, Cambridge, str. 283-292, 522-577.
7. Tsokas G. N., Tsourlos P. I., Kim Jung-Ho, Yi Myeong-Jong, Vargemezis G., Lefantzis M., Fikos E., Peristeri K., 2018. ERT Imaging of the interior of the huge tumulus of Kastanitsi in Amphipolis (northern Greece), Archeological prospection, 25 (4), str. 347-361. <https://doi.org/10.1002/arp.1718>

8. Vargemezis G., Fikos I., Diamanti N., Stampolidis A., 2013. Ground Penetrating Radar and electrical resistivity tomography for locating buried foundations: A case study in the city centre of Thessaloniki, Greece, Bulletin of the Geological Society of Greece, 47 (3), str. 1355-1365. <https://doi.org/10.12681/bgsg.10946>
9. Vučković D., 2021. Osnovi geofizike B - praktikum. Univerzitet u Beogradu - Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.
10. Wynn J., 1986. A review of geophysical methods used in Archaeology, Geoarchaeology: An international journal Vol.1, No.3, str. 245-257.
https://www.academia.edu/7832970/A_Review_of_Geophysical_Methods_Used_in_Archaeology.

ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ ЗАВРШНОГ РАДА

Име и презиме студента _____ Жељко Бојић

Број индекса _____ Г 110/15

Изјављујем

да је завршни рад под насловом

_____ Електрометријска истраживања на археолошком локалитету Ђуровача

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да завршни рад у целини ни у деловима није био предложен за стицање друге дипломе на студијским програмима Рударско-геолошког факултета или других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

У Београду, _____ 23.08.2023.

Потпис студента

ИЗЈАВА
О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ
ЗАВРШНОГ РАДА

Име (име родитеља) и презиме студента _____ Жељко (Слободан) Бојић _____
Број индекса _____ Г 110/15 _____
Студијски програм _____ Геофизика _____
Наслов рада _____
_____ Електрометријска истраживања на археолошком локалитету
_____ Ђуровача _____
Ментор _____ проф. др Ивана Васиљевић _____

Изјављујем да је штампана верзија мог завршног рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради одлагања у Дигиталном репозиторијуму Рударско-геолошког факултета.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити у електронском каталогу и у публикацијама Рударско-геолошког факултета.

У Београду, _____ 23.08.2023. _____

Потпис студента

ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ ЗАВРШНОГ РАДА

Овлашћујем библиотеку Рударско-геолошког факултета да у Дигитални репозиторијум унесе мој завршни рад под насловом:

Електрометријска истраживања на археолошком локалитету Ђуровача

који је моје ауторско дело.

Завршни рад са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Мој завршни рад одложен у Дигиталном репозиторијуму Рударско-геолошког факултета је (*заокружити једну од две опције*):

I. редуковано доступан кроз наслов завршног рада и резиме рада са кључним речима;

II. јавно доступан у отвореном приступу, тако да га могу користити сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се уз сагласност ментора одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)

2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)

3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)

5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)

6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Заокружите само једну од шест понуђених лиценци. Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве.)

У Београду, 23.08.2023.

Потпис ментора

Потпис студента

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
 2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
 3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
 4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
 5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
 6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.
-

Библиотека Рударско-геолошког факултета

ПОТВРДА

О ПРЕДАЈИ ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ ЗАВРШНОГ РАДА

Потврђује се да је студент Жељко (Слободан) Бојић,
(име (име родитеља) презиме)

бр. индекса Г 110 / 15 предао/ла електронску верзију завршног рада на
основним/мастер академским студијама под насловом:

Електрометријска истраживања на археолошком локалитету Ђуровача

који је урађен под менторством проф. др Иване Васиљевић
(име, презиме и звање)

за Дигитални репозиторијум завршних радова РГФ-а.

Потврда се издаје за потребе Одељења за студентска и наставна питања и не може се
користити у друге сврхе.

У Београду, 23.08.2023.

Библиотекар
