



Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
HR-10002 Zagreb, Pierottijeva 6, p.p. 390

Geofizička istraživanja na području odlagališta otpada Prudinec-Jakuševac

Prof. dr. sc. Franjo Šumanovac, dipl. ing. geol.



Zagreb, 2024. god.



Izvoditelj: SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Zavod za geofizička istraživanja i rudarska mjerenja
Pierottijeva 6
10.000 ZAGREB

Tel. (01) 5535 749

Fax. (01) 5535 743

Naručitelj: OPĆINSKI SUD U NOVOM ZAGREBU
Turinina 3
10.000 ZAGREB

Voditelj geofizičkih istraživanja:

Prof. dr. sc. Franjo Šumanovac, dipl. ing. geol.

U istraživanjima su sudjelovali:

Ana Brcković, mag. geol. ing.,

Ivana Mladinović, studentica,

Saša Kolar, tehničar.

Dekan:

Izv. prof. dr. sc. Vladislav Brkić

Zagreb, 22. studenog 2024.



SADRŽAJ:

1. Uvod	3
2. Električna tomografija	4
3. Terenska mjerenja i geometrija snimanja	5
4. Obrada i interpretacija podataka	7
5. Prikaz rezultata	8
6. Zaključak	12
7. Literatura	13

Popis priloga:

1. Položajna karta – Jakuševac
- 2.1-2.5 Interpretirani modeli otpornosti tomografskih profila – TP-1 do TP-5
3. Usporedni prikaz svih tomografskih profila, TP-1 do TP-5



1. Uvod

Geofizička istraživanja na području odlagališta otpada Prudinec-Jakuševac izvedena su u okviru „Programa geotehničkih istražnih radova na odlagalištu Prudinec–Jakuševac“, a u postupku „OSIGURANJA DOKAZA radi utvrđivanja okolnosti i uzroka nastanka štetnog događaja“, to jest odrona na odlagalištu koji su se dogodili 4. 12. 2023. i 11. 11. 2023.. Naručitelj istraživanja je Općinski sud u Novom Zagrebu po sudskom vještaku mr. sc. Željki Lebi, dipl. ing. građ., a istraživanja su izvedena prema ponudi Sveučilišta u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, broj 303-02/24-01/29 od 16. 4. 2024..

Osnovni cilj istraživanja je odrediti stanje materijala na odlagalištu, te stanje okolnih naslaga, s posebnim naglaskom na detekciju zavodnjenosti unutar odlaganih materijala.

Za geofizička istraživanja odabrana je metoda električne tomografije koja se temelji na mjerenjima otpornosti naslaga i materijala na odlagalištu. Na temelju mjerenih otpornosti te interpretacijom mjerenih podataka mogu se odrediti vrste naslaga i njihovo stanje. Na mjerene otpornosti osobito djeluje voda u naslagama koja smanjuje otpornosti pa se ovom metodom vrlo učinkovito mogu razlikovati suhe i vlažne, zavodnjene naslage. Isto tako, se mogu razlikovati nasuti i odloženi suhi materijali od onih koji su ispunjeni vodom. Suhi materijali će imati znatno veće otpornosti od materijala ispunjenih vodom.

Terenska mjerenja su izvedena u srpnju, kolovozu i listopadu 2024. godine, a izmjereno je pet tomografskih profila postavljenih približno okomito na pružanje odlagališta. Položaji tomografskih profila definirani su u dogovoru sa sudskim vještakom mr. sc. Željkom Lebom, dipl. ing. građ., a pripremu profila za mjerenja vodio je Ivan Dolibašić, mag. ing. aedif..

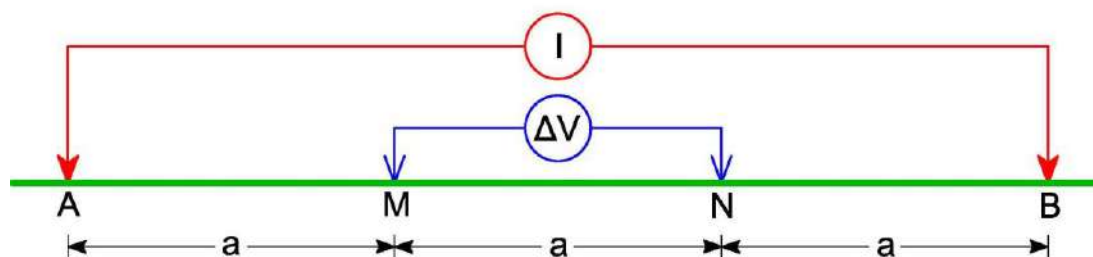
2. Električna tomografija

Geoelektrična istraživanja osnivaju se na mjerenju električnih svojstava stijena, na temelju kojih se dobivaju podaci o litološkom sastavu, stanju stijena (raspucalosti, kompaktnosti, i dr.), te o zasićenju vodom i njenoj mineralizaciji. Geoelektrične metode istraživanja su brojne, a ponajčešće se koriste metode koje se temelje na opažanjima otpornosti stijena, kojima pripada i primijenjena metoda.

Mjerenja se najčešće obavljaju četveroelektrodnim rasporedima, 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, slika 1. Prividna otpornost zahvaćenih stijena ρ_a izračuna se formulom:

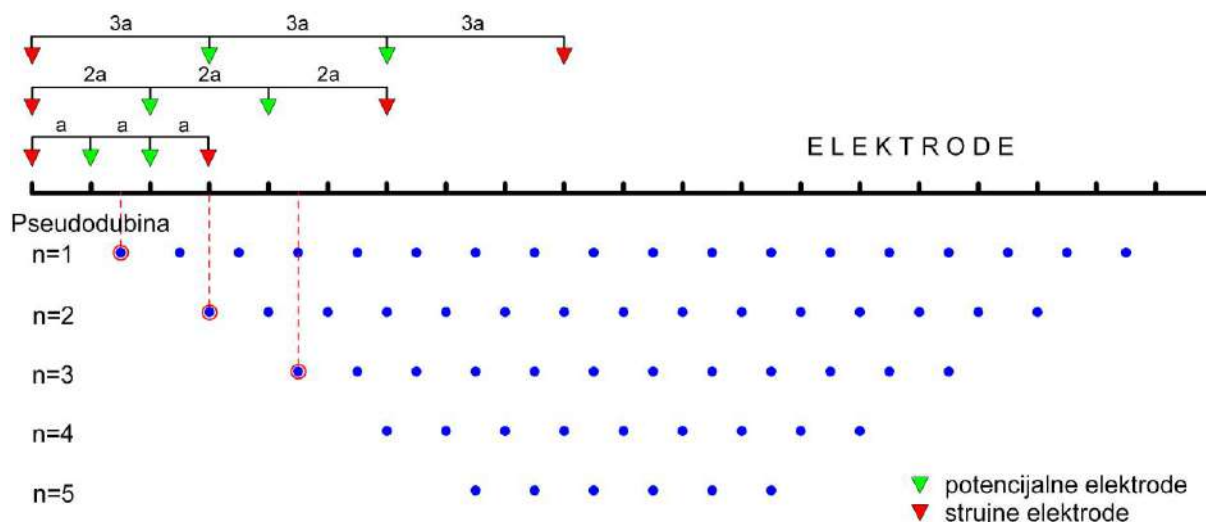
$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I}$$

gdje je ΔV napon mjeren na potencijalnim elektrodama, I jakost struje puštene u zemlju, a K konstanta koja se izračuna na temelju geometrijskog rasporeda elektroda.



Slika 1. Wennerov raspored elektroda, A i B strujne elektrode, M i N potencijalne elektrode.

Uzastopnim povećavanjem razmaka strujnih elektroda zahvaća se sve veća masa stijena na sve većoj dubini, dok središte sustava mjerenja ostaje isto. Na taj način se oponaša bušenje, te se metoda istraživanja naziva električnim sondiranjem, a istražuju se promjene otpornosti po dubini. Ako se razmak elektroda drži konstantnim, a cijeli elektrodni raspored pomiče duž nekog pravca, dubinski zahvat ostaje uvijek isti, ali se mijenja središte sustava (točka mjerenja). Ovakvo mjerenje naziva se električnim profiliranjem i njime se istražuju uzdužne, lateralne promjene otpornosti.



Slika 2. Geometrija mjerenja za dvodimenzionalnu električnu tomografiju uporabom Wennerovog rasporeda elektroda s jednako udaljenim elektrodama, za slučaj 20 elektroda i 5 dubinskih zahvata. Pseudodubina za nanošenje prividnih otpornosti definirana je s n , koji je umnožak jedinične udaljenosti elektroda (Šumanovac, 2007).

U metodi 2D-električne tomografije mjerenja se izvode za niz različitih dubinskih zahvata (slika 2) i unose u profil čime se dobiva dvodimenzionalni presjek otpornosti podzemlja, koje su u slučaju nehomogenog podzemlja prividne otpornosti, odnosno “pseudosekcija”. Ove mjerene prividne otpornosti često daju “zamagljenu” sliku koju je razmjerno teško geološki interpretirati. Ako se provede inverzija, ponajčešće metodom modeliranja i postupnog približavanja ili iteracije, dobije se model stvarnih otpornosti koji se može lakše i pouzdanije geološki interpretirati. Primijenjene su metode inverzije mjerenih podataka, koje su objavljene u geofizičkim časopisima (Loke i Barker, 1995; 1996).

Električna 2D-tomografija često se primjenjuje u plitkim geotehničkim i inženjersko-geološkim istraživanjima, a u dubljim hidrogeološkim istraživanjima smatra se temeljnom geofizičkom metodom istraživanja (Šumanovac, 2007; 2021).

3. Terenska mjerenja i geometrija snimanja

Terenska mjerenja električnom tomografijom izvedena su na 5 tomografskih profila, prilog 1. Profili su numerirani prema redoslijedu mjerenja, a označeni su kao TP-1 do TP-5. Svi profili su postavljeni smjerom sjeverozapad-jugoistok, to jest poprečno na pružanje odlagališta, kako bi se dobio presjek strukture odlagališta. Duljine profila TP-3, TP-4 i TP-5 su 800 m, dok je profil TP-



1 duljine 700 m, a TP-2 duljine 740 m zbog ograničenja uslijed potencijalnog prelaska preko sajmišne ceste.

Budući da se mjerenja temelje na puštanju istosmjerne struje u podzemlje, kao veliki problem identificirana je završna plastična folija na odlagalištu koja je zatrpana sa nasipom, zemljom i glinom. Prvi profil, TP-1, postavljen je po dijelu odlagališta na kojem još nije postavljena završna plastična folija, odnosno uz rub postavljene folije. No, ostali profili su se morali postaviti na dijelu odlagališta sa završnom plastičnom folijom. Ona onemogućuje prolaz struje u podzemlje te je bilo potrebno elektrode za puštanje struje i mjerenje napona postaviti ispod nje (slika 1), to jest trebalo ju je probiti elektrodama kako bi mjerenje odražavalo cijelu strukturu odlagališta. Zato je bilo potrebno skinuti materijal iznad folije kako bi se mogla ispravno postaviti oprema za mjerenja. Na profilu TP-2 su svakih 10 m kopane rupe kako bi se došlo do folije te postavile elektrode. Međutim, te rupe su bile nejednake dubine, zbog različite debljine nasipa iznad folije, pa je prigodom postavljanja tomografskih profila došlo do redukcije u razmacima elektroda koji su trebali biti 10 m. Zato je predloženo da se duž ostalih profila (TP3, TP-4 i TP-5; prilog 1) kopaju uski kanali (slika na naslovnici) koji su omogućili bolji razmještaj elektroda i preciznije mjerene podatke.

Kako bi se postigli veći dubinski zahvati na odlagalištu te odredile karakteristike naslaga ispod odlagališta, bilo je potrebno profile produljiti na polje koje se nalazi jugozapadno od odlagališta (TP-1, TP-2 i TP-3). Na sjeveroistočnom rubu se nalazi asfaltirani plato sa hrpama komposta i sajmišna cesta koja je bila prepreka za postavljanje profila u tom dijelu zbog vrlo intenzivnog prometa. Međutim, preliminarni rezultati su ukazivali da bi trebalo zahvatiti i prirodne naslage sjeveroistočno od odlagališta, preko sajmišne ceste do rijeke Save. Organizacija i izvedba takvih mjerenja (profili TP-4 i TP-5, prilog 1), tražila je obavještanje gradskih službi, uključivanje policije za regulaciju prometa na sajmišnoj cesti i postavljanje posebne opreme za polaganje kabela preko ceste. Zbog toga su mjerenje na profilima TP-4 i TP-5 izvedena tek u listopadu 2024.

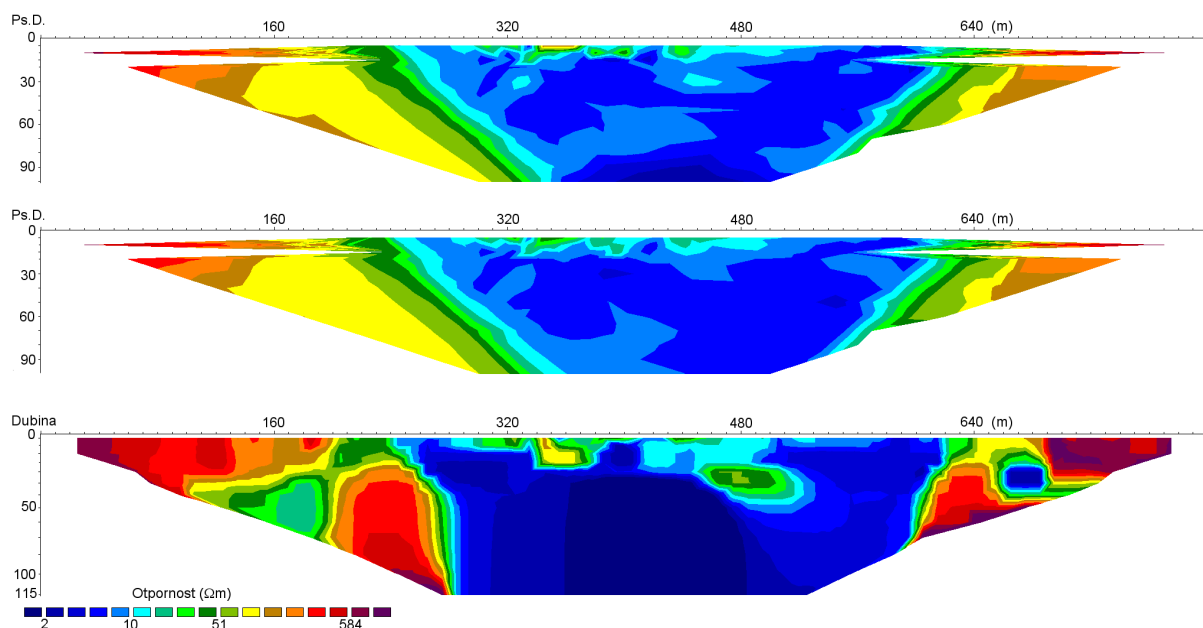
Oštećenja uzrokovana probijanjem folije su rupe promjera 12 mm, koje je nakon završetka mjerenja sanirala ista tvrtka koja je izvodila iskop i njegovo saniranje.



Sva mjerenja su izvedena Wennerovim rasporedom elektroda s jediničnim razmakom elektroda od 10 m pa su postignuti efektivni dubinski zahvati od 80 m. Wennerov raspored je odabran jer je najmanje osjetljiv na šumove čija je razina bila razmjerno visoka zbog infrastrukture na odlagalištu (cijevi, bušotine, itd.) i vrlo šarolike strukture otpada, a posebno prisustva metalnih predmeta. U mjerenjima je korišten instrument Terrameter SAS 1000 i automatski multielektrodni sustav LIS (eng. Lund Imaging System), švedske tvrtke ABEM.

4. Obrada i interpretacija podataka

Podaci 2D-električnih mjerenja obrađeni su i interpretirani prema ponajčešće korištenoj inverznoj metodi Lokea i Barkera (1995, 1996). Na konačni izgled interpretiranog modela otpornosti utječe reljef terena pa su profili dodatno obrađeni uzimajući u obzir nadmorske visine očitane s geodetske snimke odlagališta, te digitalnog modela reljefa i topografske karte u mjerilu 1:5.000 za okolno područje izvan odlagališta (prilozi 2.1-2.5).



Slika 3. Primjer inverzije mjerenih podataka na tomografskom profilu TP-5. Inverzni model otpornosti (dolje) daje teoretsku pseudosekciju (u sredini) koja se korelira s mjerenom pseudosekcijom (gore) po kriteriju apsolutne greške. Apsolutna greška za šestu iteraciju iznosi 13.2 %. (Ps.D.-pseudo-dubina u metrima).

Primijenjena je metoda inverzije koja naglašava velike razlike u otpornostima stijena te daje „oštriju” sliku (eng. Robust Inversion) kako bi se jasnije izrazile granice između različitih



materijala i naslaga. Interpretirani model otpornosti je model stvarnih otpornosti koji zadovoljava mjerene prividne otpornosti (slika 3). Odstupanja između mjerenih prividnih otpornosti i teoretskih prividnih otpornosti, izračunatih iz interpretiranog modela otpornosti, izražavaju se apsolutnom greškom u postocima. Apsolutne greške za šestu iteraciju su u rasponu 5.6-13.2 % (prilozi 2.1-2.5). Manji šumovi se nalaze na profilima TP-1 do TP-3 (apsolutne greške 5.6-8.9 %), dok se veći šumovi nalaze na profilima TP-4 i TP-5 (13.1 i 13.2 %), što se može objasniti djelovanjem instalacija i bušotina u neposrednoj blizini (slika na naslovnici).

5. Prikaz rezultata

Na području istraživanja odlagališta Prudinec-Jakuševac na površini se nalaze aluvijalne kvartarne naslage: gline, šljunci i pijesci koje djelomice pripadaju savskim terasama (Basch, 1981). U podlozi se mogu očekivati pliokvartarni klastiti.

Klastične naslage uzrokovat će općenito manje otpornosti. Otpornosti glina su oko 20 Ωm , dok s povećanjem količine pjeskovite, šljunčane i kalcitne komponente dolazi do povećanja otpornosti. Tako će zavodnjeni pijesci imati otpornosti od 100-tinjak Ωm , a šljunci i više stotina Ωm . Dakle, s povećanjem granulacije zrna povećava se otpornost naslaga pa se posredno može povezati otpornost s propusnošću pjeskovito-šljunčanih naslaga.

Odlagani materijali su vrlo heterogeni pa se mogu očekivati veliki rasponi otpornosti, od malih, ispod razine glinovitih naslaga, do vrlo velikih. Međutim, prisustvo vode, koja je medij za transport iona, može uzrokovati ujednačavanje otpornosti i njihovo značajnije smanjenje, tim više što se u odlagalištu mogu nalaziti razni topivi kemijski spojevi koji će dodatno smanjiti otpornosti.

Na temelju interpretiranih otpornosti te prijašnjih iskustava na terenima sa sličnim litološkim odnosima, mogu se izdvojiti tri grupe naslaga koje su istaknute na interpretiranim modelima otpornosti tomografskih profila (prilozi 2.1-2.5):

- **nasip, smeće, glinovite naslage** - manje od 23 Ωm ;
- **prijelazne naslage** – 23-115 Ωm - glinoviti pijesci, glinoviti šljunci, sitnozrni pijesci, gline s proslojcima pijesaka;



- **pjeskovito-šljunčane naslage** - veće od 115 Ωm – pijesci, pjeskoviti šljunci, šljunci.

Na tomografskom profilu TP-1, gdje nema završne folije, jasno se uočavaju velike otpornosti pri površini na položajima nakon 500 m, veće od 300 Ωm , koje potječu od prirodnih naslaga na tom području, paketa šljunaka koji se naziva Zagrebačkim vodonosnikom te pokazuje veliku propusnost, prilog 2.1, (Šumanovac 2021). Debljine šljunaka su do 30 m. Ovo područje se nalazi jugozapadno od odlagališta, izvan ograde pa se može očekivati da odlagano smeće nije značajnije utjecalo na naslage. Ispod šljunaka su otpornosti 30-tak Ωm , to jest na razini glina i pjeskovitih glina.

Na jugozapadnoj granici odlagališta, na položajima 410-470 m, vidi se blok vrlo velikih otpornosti koji se pruža do dna profila. Premda su otpornosti na razini šljunčanih naslaga, teško je zamisliti njihovo pojavljivanje u takvom obliku, budući da se oni pojavljuju općenito u vidu slojeva. Zato se ova anomalija otpornosti interpretira kao deformacija uzrokovana instalacijama (cijevima, bušotinama) unutar odlagališta. Ona može, isto tako, biti uzrokovana lateralnim kontaktom šljunaka i smeća s vrlo velikom razlikom u otpornostima, koja u procesu interpretacije, inverzije mjerenih podataka, proizvede takvu anomaliju.

Na početku profila, na položajima do 90 m, otpornosti su 20-tak Ωm , pa se mogu očekivati dominantno glinovite naslage sa zemljom, vrlo slabo propusne. Na drugom kraju padine odlagališta, na položajima 445-500 m otpornosti su u rasponu 23-250 Ωm pa se mogu očekivati glinovite i djelomice šljunčane naslage.

Na području samog odlagališta, na položajima 90-445 m, otpornosti su vrlo male, manje od 10 Ωm . Ponešto veće otpornosti nalaze se samo u ograničenom bloku na položajima 303-340 m, a na dubinama oko 25 m. Veći blok s malo povećanim otpornostima (do 23 Ωm) nalazi se uglavnom ispod podnog „nepropusnog“ tampona, na položajima 145-243 m, to jest bivše prirodne razine površine. Jasno se uočava da su na području odlagališta, od površine do podnog nepropusnog tampona otpornosti ujednačene i vrlo male što govori o saturiranosti smeća vodom s otopljenim tvarima i kemikalijama, koja je jako smanjila otpornosti odlaganih materijala.

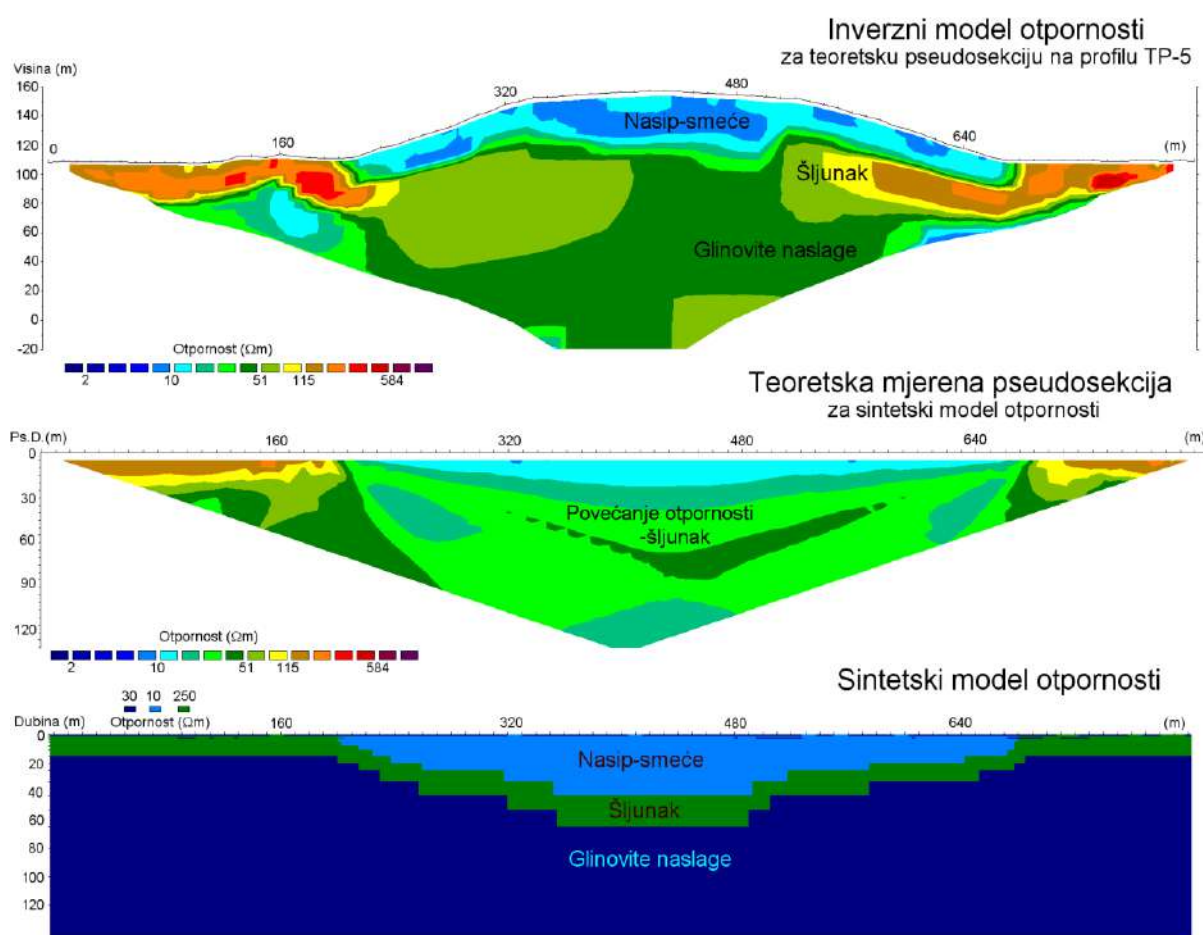


Na profilima TP-2 i TP-3 uočavaju se sve glavne pojave kao na profilu TP-1 (prilozi 2.2 i 2.3). Na krajevima profila, jugozapadno od odlagališta, uočavaju se velike otpornosti uz površinu koje potječu od šljunčanog paketa čije se debljine procjenjuju na 20-30 m. Na počecima profila, sjeveroistočnom rubu odlagališta, malim su djelom zahvaćene glinovite i šljunčane naslage na profilu TP-3. Blok malo većih otpornosti ispod podnog tampona (položaji 143-242 m) proteže se na profilu TP-2 s otpornostima oko 15 Ω m. Na profilu TP-3 (položaji 183-280 m) otpornosti tog bloka se povećavaju do 50-tak Ω m, a blok se širi na područje iznad podnog tampona te približava površini. Mali blok ponešto većih otpornosti unutar smeća nalazi se na profilu TP-2 na položajima 362-400 m (na dubini oko 25 m) te na profilu TP-3 na vrlo sličnim položajima (360-400 m). Na oba profila na jugozapadnom rubu odlagališta, položajima oko 490 m, uočava se deformacija uzrokovana instalacijama i kontaktom šljunaka i smeća (prilozi 2.2 i 2.3).

Profili TP-4 i TP-5 su zahvatili prirodne naslage na oba kraja profila, sjeverozapadnom prema rijeci Savi i jugozapadnom, na poljima izvan ograde (prilozi 2.4 i 2.5). Time su postignuti najveći dubinski zahvati upravo u središtu profila, to jest na području samog odlagališta kako bi se pokušalo doprijeti do naslaga ispod podnog tampona odlagališta. Na oba kraja profila nalaze se velike otpornosti koje potječu od paketa šljunčanih naslaga, to jest Zagrebačkog vodonosnika čije se debljine procjenjuju na 20-30 m. Na području samog odlagališta dominiraju vrlo male otpornosti (manje od 10 Ω m), ali se, isto tako, uočava niz blokova većih otpornosti koji nisu zamijećeni na prijašnjim profilima. Dominira blok vrlo velikih otpornosti (većih od 1000 Ω m) na profilu TP-4 u njegovom središnjem dijelu, na položajima 385-460 m. Premda se profili TP-3 i TP-5 nalaze vrlo blizu, taj se blok na njima ne očituje neposredno, pa može potjecati od nekih materijala vrlo velikih otpornosti, ali i biti deformacija uzrokovana instalacijama na odlagalištu. Na oba profila uz površinu na položajima 265-360 m pruža se zona većih otpornosti (20-100 Ω m), koja zadebljava na položajima oko 350 m. Osim toga, na profilu TP-5 nalazi se izolirani blok većih otpornosti, na položajima 445-510 m, a na dubinama 30-65 m. Naznake istog bloka nalaze se i na profilu TP-4, ali sa znatno manjim otpornostima.

Posebno je pitanje, zašto se ispod podnog tampona i nepropusne folije, ispod bivše prirodne površine, na svim profilima i dalje nalaze vrlo male otpornosti, manje od 10 Ω m, to jest na razini otpornosti smeća? Šljunci su, na temelju interpretiranih otpornosti utvrđeni na oba kraja, sjeverozapadno od odlagališta, prema Savi na profilima TP-4 i TP-5, te jugozapadno od

odlagališta, na poljima izvan ograde na svim profilima. Prema tome, može se pretpostaviti kako se trebaju nalaziti ispod samog odlagališta. No, na inverznim modelima otpornosti nema indikacija o njihovom postojanju. Prvi je problem, da li se šljunci uopće mogu iskazati na inverznim modelima? Budući da se ispod odlagališta nalaze na većim dubinama, od 50-tak m, eventualno se zbog smanjenja rezolucije metode istraživanja s dubinom neće jasno vidjeti. Ovaj problem je riješen modeliranjem. Načinjen je sintetski, teoretski model otpornosti u kojem je pretpostavljeno pružanje paketa šljunaka ispod odlagališta, te izvedena ista inverzija kao u slučaju mjerenih podataka (slika 4).



Slika 4. Sintetski model koji pretpostavlja prostiranje paketa šljunaka ispod odlagališta (dolje). Inverzni model otpornosti (gore) jasno pokazuje kako se šljunci očituju povećanjem otpornosti ispod odlagališta, što se ne vidi na mjerenim tomografskim profilima (prilog 3). Kod inverzije je dodan slučajni šum u iznosu od 10 % koji se redovito pojavljuje u mjerenim podacima. Povećanje otpornosti se čak zamjećuje i kod teoretske mjerene pseudosekcije (u sredini).

Inverzni model otpornosti pokazuje vrlo male otpornosti u području odlagališta, ali i značajno povećanje otpornosti ispod odlaganog smeća kao indikaciju postojanja šljunčanog paketa. Prema



tome, zaključak je da metoda postiže dovoljnu rezoluciju za detektiranje šljunčane podloge. S druge strane, takvo povećanje otpornosti se ne uočava niti na jednom inverznom modelu otpornosti stvarno mjerenih profila (prilog 3). Ova pojava se može objasniti činjenicom o postojanju podne nepropusne folije, koja onemogućuje prodiranje struje ispod te se mjerene i interpretirane otpornosti ispod nje zapravo odnose na otpornosti u području odlaganog smeća. U ovom slučaju svakako treba napomenuti da se očekuje kako je folija kompaktna i neoštećena.

6. Zaključak

Profili električne tomografije postavljeni su na području odlagališta otpada Prudinec-Jakuševac kako bi se odredili dvodimenzionalni inverzni modeli otpornosti kao objektivna slika odnosa u podzemlju. Na temelju dosadašnjih iskustava, a prema otpornostima na interpretiranim inverznim modelima, izvedena je prognozna litološka korelacija pri čemu su definirane tri grupe naslaga: smeće i nasuti materijali, prijelazne naslage i pjeskovito-šljunčane naslage (prilozi 2.1-2.5).

Na svim tomografskim profilima jasno se ističu prirodne naslage izvan odlagališta. U površinskom dijelu otpornosti su velike, veće od 200-tinjak Ωm što ukazuje na prisustvo paketa šljunaka velikih propusnosti koji se nazivaju Zagrebačkim vodonosnikom, iz kojeg se Zagreb i okolica opskrbljuju pitkom vodom. Njegova se debljina u ovom području procjenjuje na 20-30 m. Ispod šljunaka se nalaze naslage malih otpornosti, 20-tak Ωm , koje pripadaju glinovito-prašastim naslagama.

Na brdu odlagališta otpada otpornosti su vrlo male, do 10-tak Ωm , i na profilima TP-1 do TP-3 općenito ujednačene što govori o zasićenosti smeća vodom koja je jako smanjila i ujednačila otpornosti materijala, koji vjerojatno pokazuju vrlo velike razlike u otpornostima. Ove otpornosti su čak manje od glinovitih naslaga koje karakteriziraju najmanje otpornosti u okviru prirodnih naslaga. Takvo anomalno smanjenje otpornosti vjerojatno je uzrokovano vodom s otopljenim mineralnim tvarima te kemikalijama koje se vjerojatno nalaze u smeću. Otpornosti su razvedenije na profilima TP-4 i TP-5 koji se nalaze dalje od stabiliziranog ruba (prilog 1), to jest pojavljuje se niz blokova većih otpornosti. Ovo ukazuje na promjenu saturiranosti vodom, te na promjenu sastava odlaganog smeća. Općenito se može reći kako

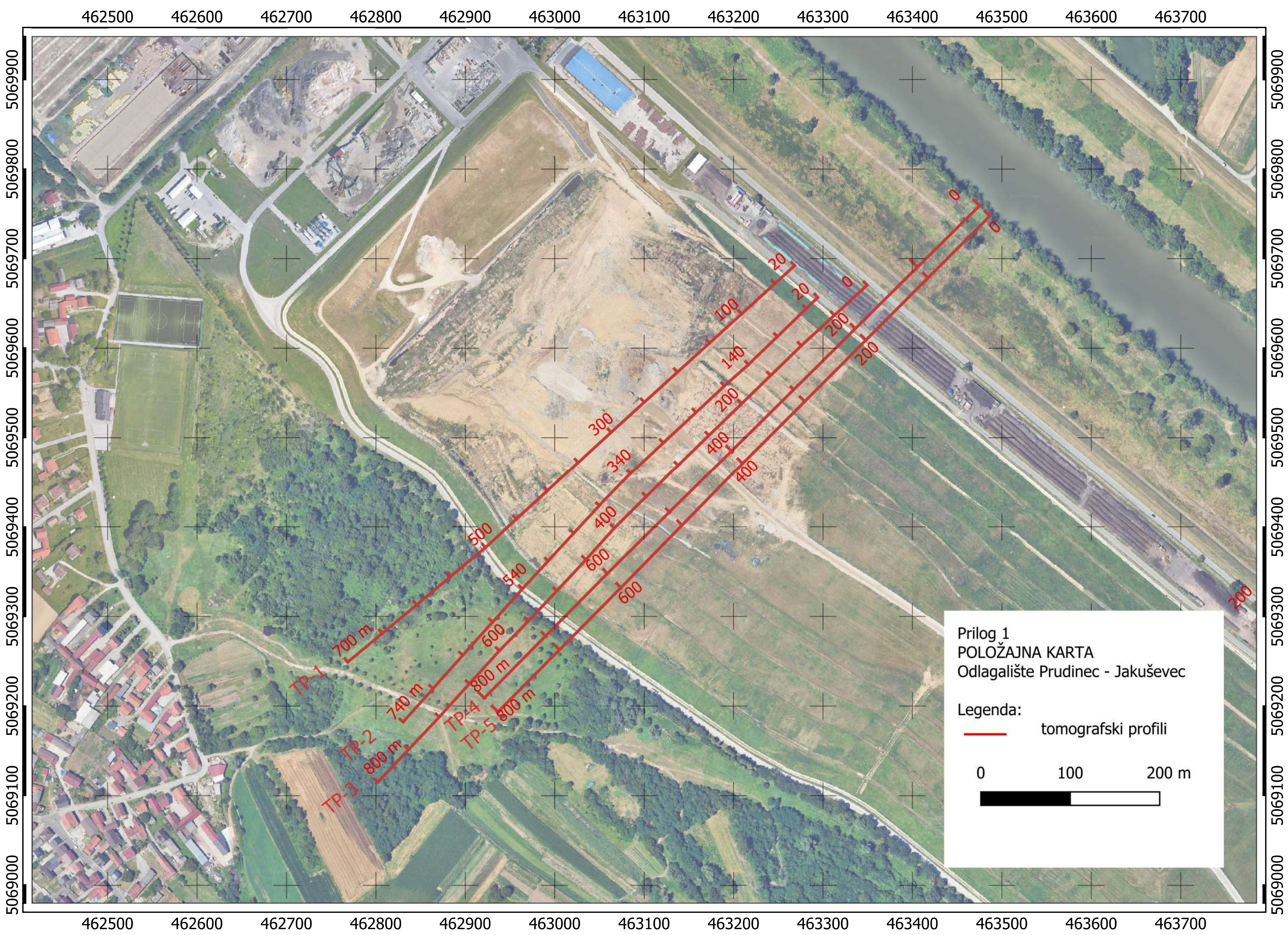


razvedene otpornosti ukazuju da nije došlo do jednoznačne zasićenosti smeća vodom već ona varira po pojedinom tomografskom profilu.

Na kraju treba napomenuti da geofizički podaci uvijek dobro definiraju relativne odnose na području istraživanja te omogućuju izdvajanje povoljnih i nepovoljnih zona. Međutim, detaljno i konkretno značenje otpornosti dobiva se tek kalibracijom s geološkim podacima, napose iz istraživačkih bušotina (Šumanovac, 2007 i 2021), budući da iste otpornosti na interpretiranim modelima otpornosti mogu potjecati od različitih vrsta stijena i materijala te njihovog stanja.

7. Literatura

- Basch, O.**, (1981): *Osnovna geološka karta SFRJ, list Ivanić Grad, L33-81*. Geološki zavod Zagreb, 1969-1976, Rudarsko-geološki fakultet Beograd.
- Loke, M.H. & Barker, R.D.** (1995): *Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudo-sections*. Geophysics, 1682-1690.
- Loke, M.H. & Barker, R.D.** (1996): *Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudo-sections by a quasi-Newton method*. Geophysical Prospecting, 44, 131-152.
- Šumanovac, F.** (2007): *Geofizička istraživanja podzemnih voda*. Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultete i Pauk Cerna.
- Šumanovac, F.** (2021): *Geofizička istraživanja na području zagrebačkih zdenaca*. Fond struč. dok. Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta.



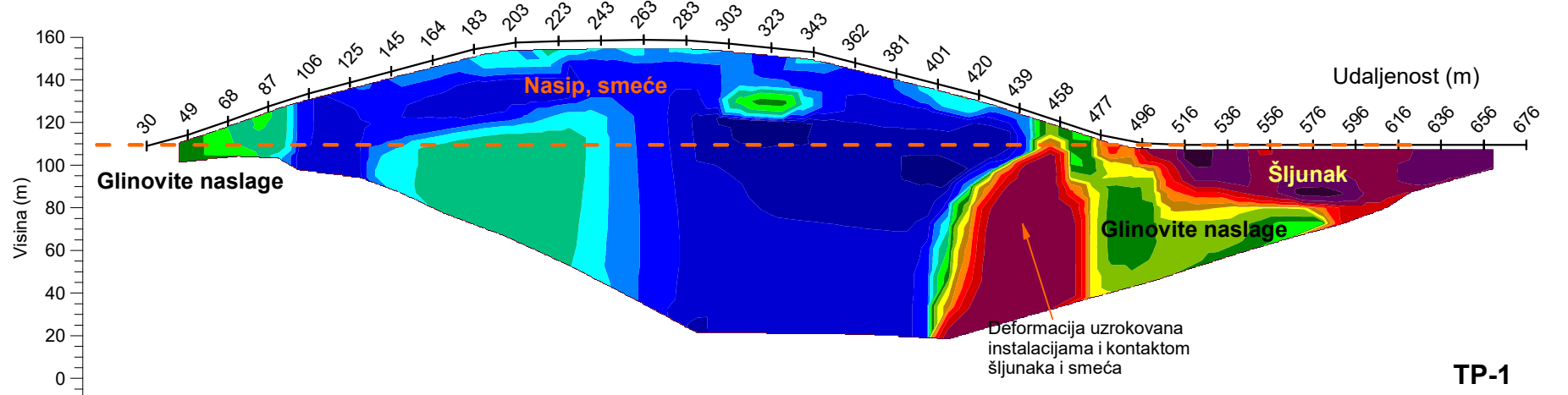
Prilog 1
POLOŽAJNA KARTA
Odlagalište Prudinec - Jakuševac

Legenda:

— tomografski profili

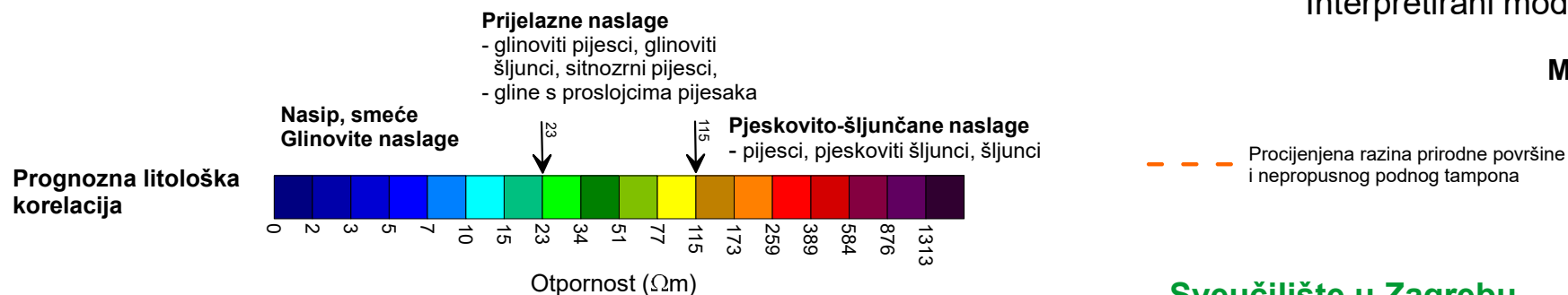
0 100 200 m

Jakuševac TP-1



Interpretirani model otpornosti

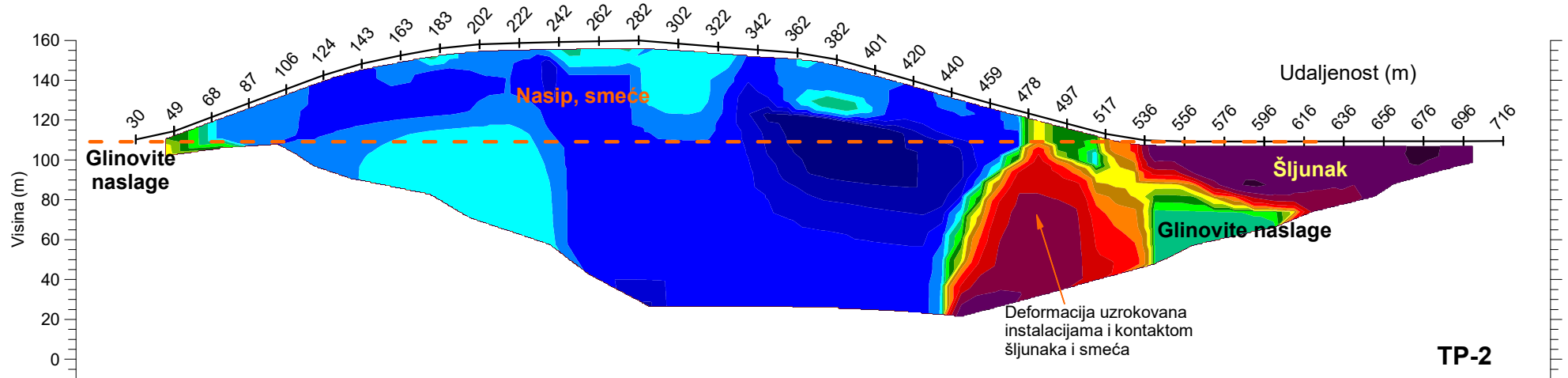
M 1 : 3000



Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

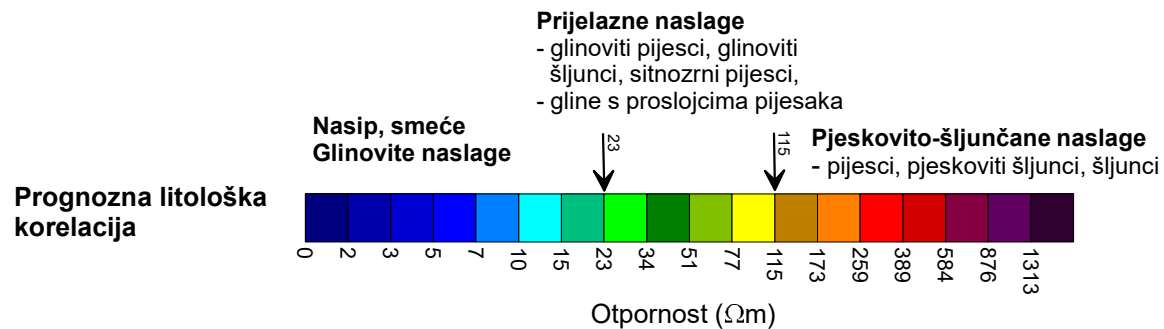
Iterpretacija: prof. dr. sc. Franjo Šumanovac, dipl. ing.

Jakuševac TP-2



Interpretirani model otpornosti

M 1 : 3000

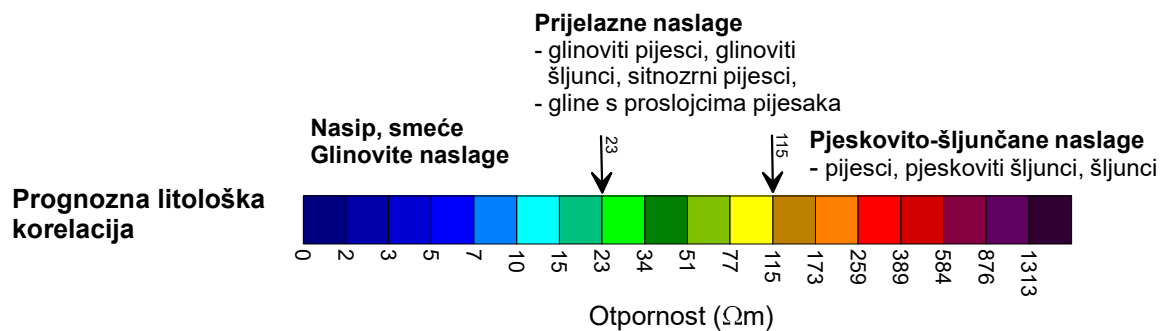
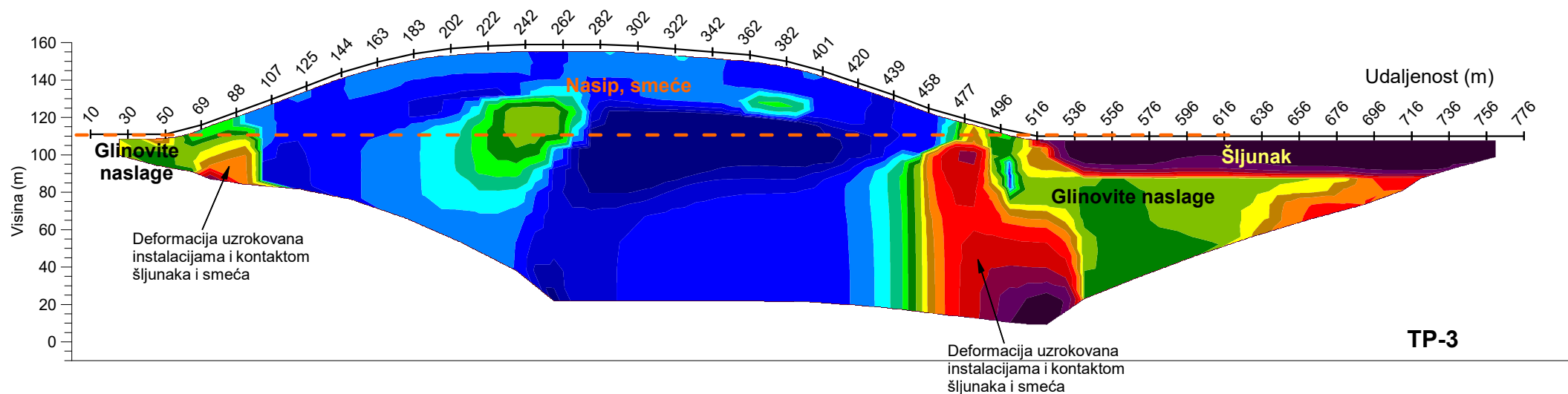


--- Procijenjena razina prirodne površine i nepropusnog podnog tampona

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Iterpretacija: prof. dr. sc. Franjo Šumanovac, dipl. ing.

Jakuševac TP-3



Interpretirani model otpornosti

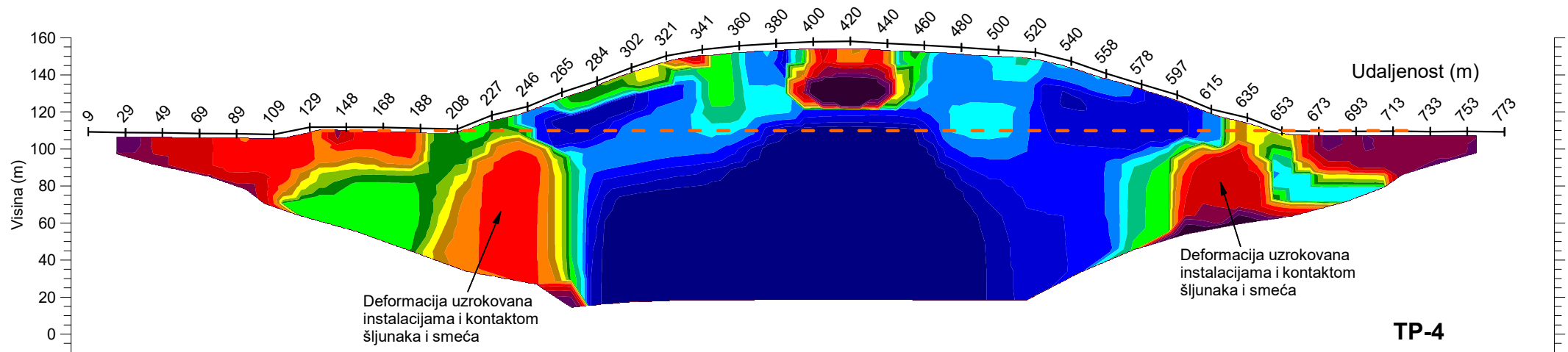
M 1 : 3000

--- Procijenjena razina prirodne površine i nepropusnog podnog tampona

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Iterpretacija: prof. dr. sc. Franjo Šumanovac, dipl. ing.

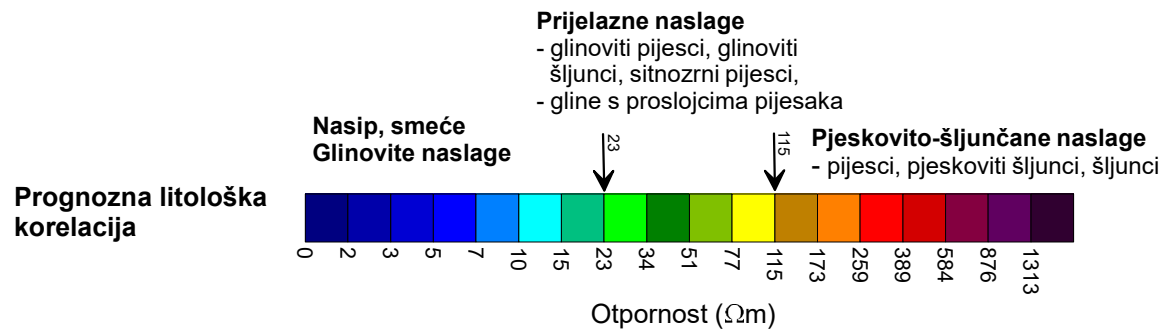
Jakuševac TP-4



TP-4

Interpretirani model otpornosti

M 1 : 3000

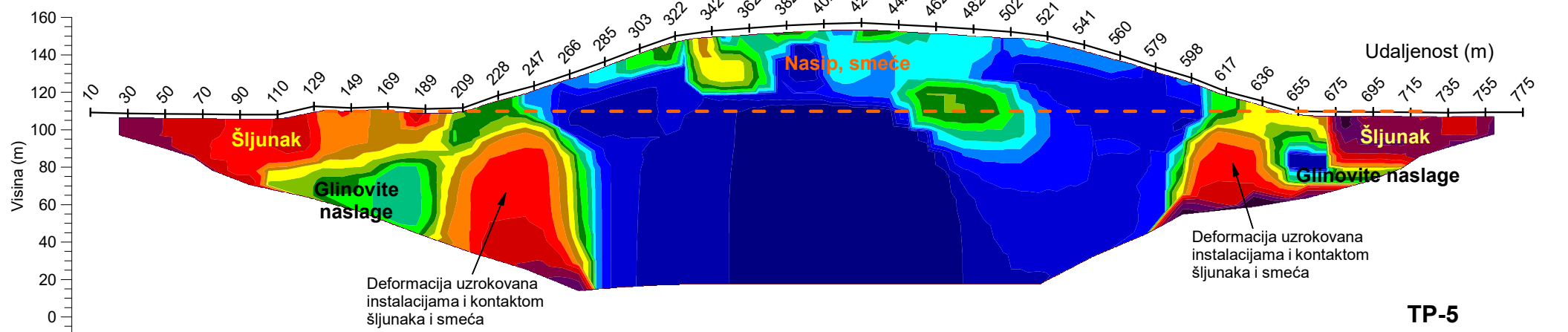


--- Procijenjena razina prirodne površine i nepropusnog podnog tampona

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

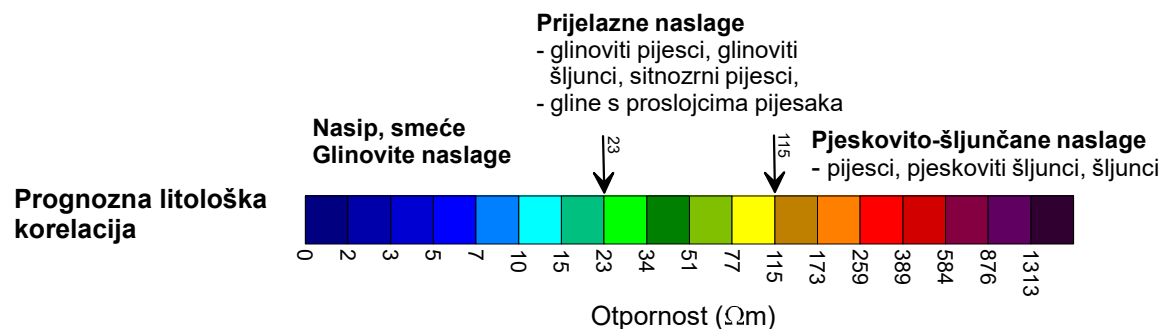
Iterpretacija: prof. dr. sc. Franjo Šumanovac, dipl. ing.

Jakuševac TP-5



Interpretirani model otpornosti

M 1 : 3000

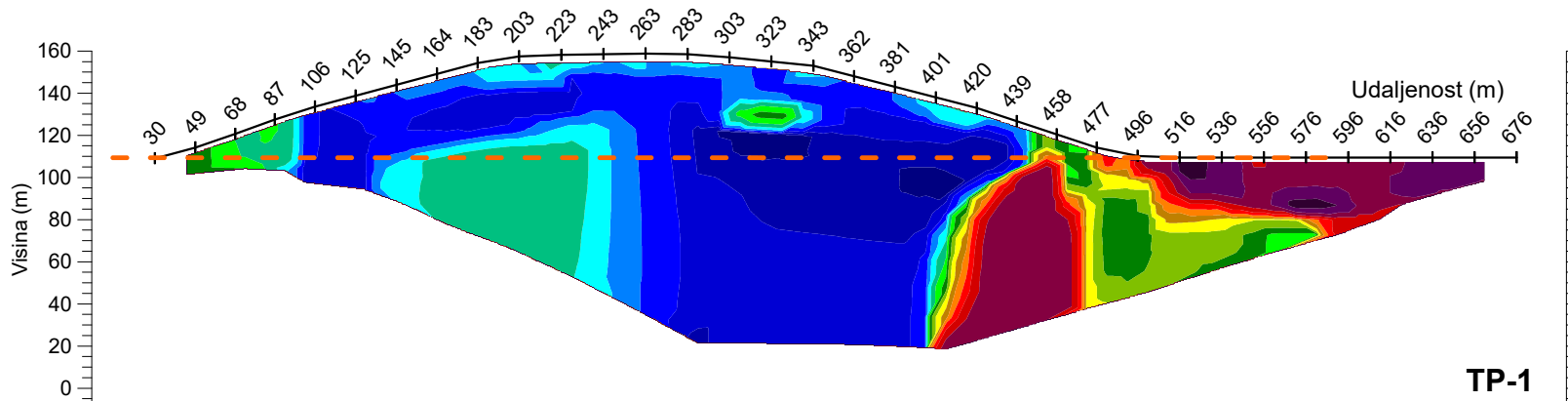
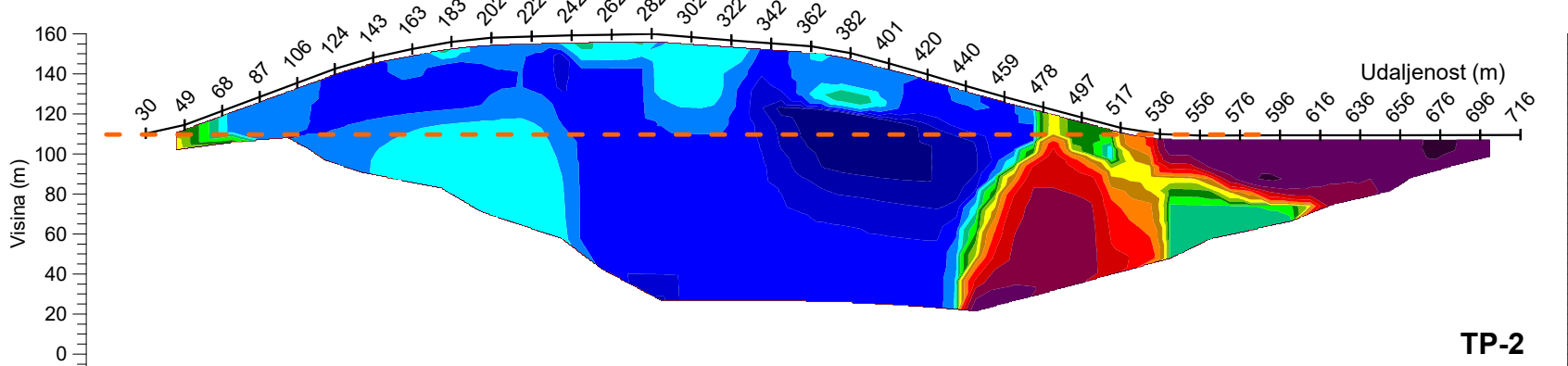
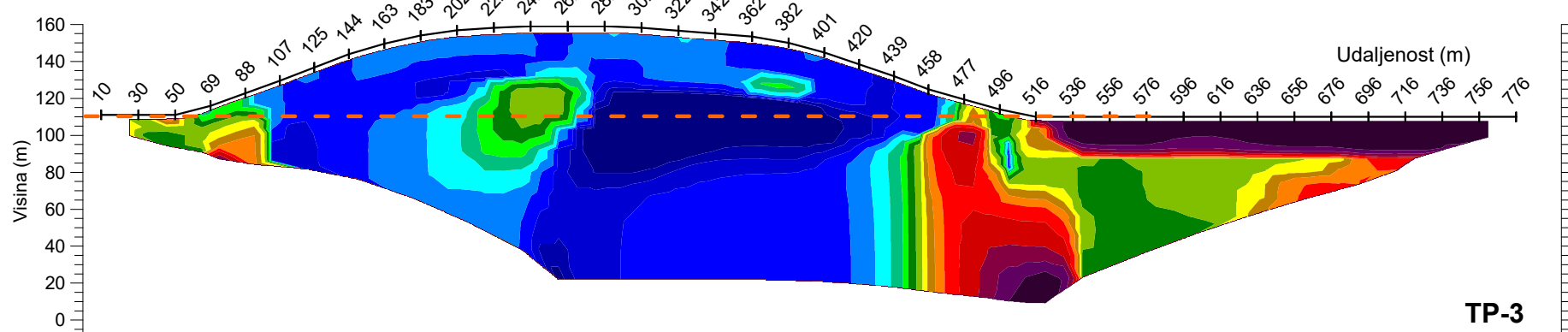
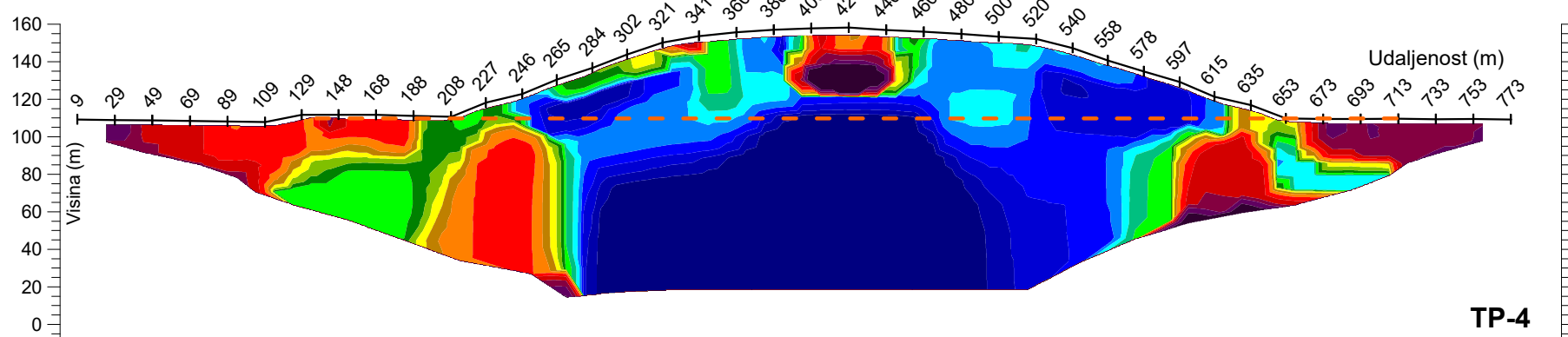
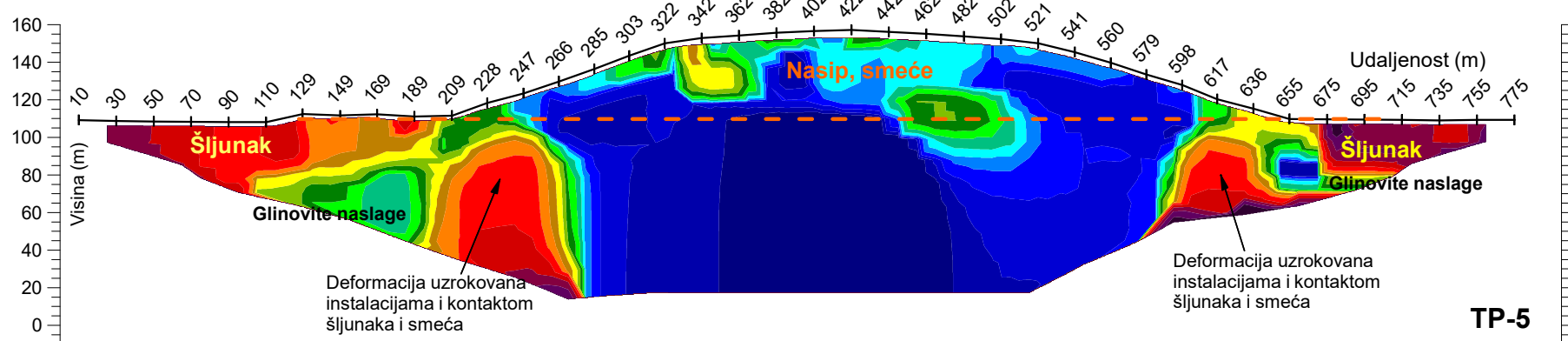


--- Procijenjena razina prirodne površine i nepropusnog podnog tampona

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Iterpretacija: prof. dr. sc. Franjo Šumanovac, dipl. ing.

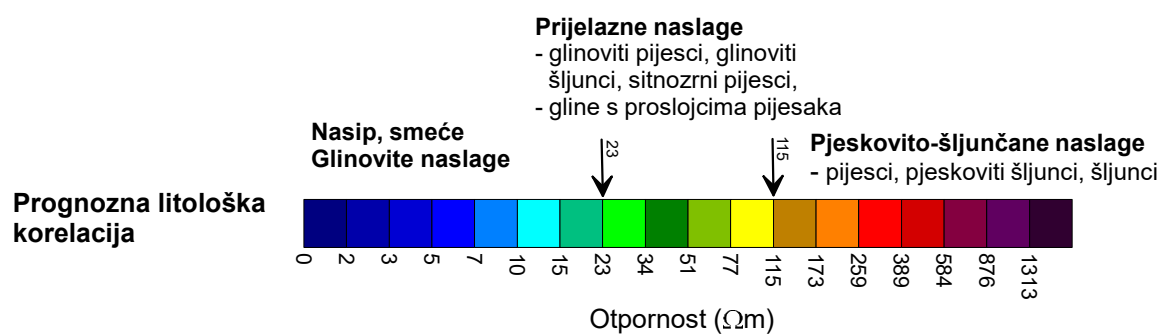
Usporedni prikaz svih tomografskih profila TP-1 do TP-5



--- Procijenjena razina prirodne površine
i nepropusnog podnog tampona

Interpretirani modeli otpornosti

M 1 : 3500



Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Iterpretacija: prof. dr. sc. Franjo Šumanovac, dipl. ing.