

# IZVJEŠTAJ

o izvedenom mjerenju saliniteta za traser  
testove u novom Hydrolabu u Žrnovnici pomoću  
tomografije električne otpornosti (ERT)



Zagreb, travanj 2025.

---

**Naručitelj:** Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Ulica Matice Hrvatske 15, 21 000 Split

**Izradio:** Terra Compacta d.o.o., Psunjska 3, 10000 Zagreb  
OIB: 10303379215

**Projekt:** Implementacijom suvremene znanstveno-istraživačke infrastrukture na FGAG do pametne specijalizacije u zelenoj i energetski učinkovitoj gradnji (KK.01.1.1.02.0027)

**Broj T.D.:** 05-25.TC

**Predmet:** IZVJEŠTAJ O SNIMANJU GEOELEKTRIČNE TOMOGRAFIJE ZA TRASER TESTOVE – LIPANJ 2024. I OŽUJAK 2025.

**POPIS SUDIONIKA NA IZVEDBI ISTRAŽIVANJA:**

**TERENSKI RADOVI :**

Mr.sc. Božo Padovan, dipl. inž. fiz.  
Marko Maričić, dipl. inž. geol.  
Josip Mikšić, mag. ing. geol.

**OBRADA PODATAKA I INTERPRETACIJA:**

Mr.sc. Božo Padovan, dipl. inž. fiz.  
Josip Mikšić, mag. ing. geol.

m.p.

Direktor:

Mr.sc. Božo Padovan, dipl. inž. fiz.

## Sadržaj

|     |                                            |    |
|-----|--------------------------------------------|----|
| 1   | UVOD .....                                 | 4  |
| 2   | O PRIMIJENJENIM GEOFIZIČKIM METODAMA ..... | 5  |
| 2.1 | GEOELEKTRIČNA METODA .....                 | 5  |
| 3   | OPIS IZVEDENIH RADOVA I OPREME .....       | 12 |
| 3.1 | PARAMETRI MJERENJA .....                   | 16 |
| 4   | OBRADA I INTERPRETACIJA PODATAKA .....     | 19 |
| 5   | ZAKLJUČAK .....                            | 50 |
| 6   | LITERATURA .....                           | 51 |

## 1 UVOD

U sklopu projekta „Implementacijom suvremene znanstveno-istraživačke infrastrukture na FGAG do pametne specijalizacije u zelenoj i energetski učinkovitoj gradnji (KK.01.1.1.02.0027)“, a u suradnji s Fakultetom građevinarstva, arhitekture i geodezije, Sveučilište u Splitu, izvedena su mjerenja saliniteta za traser testove pomoću tomografije električne otpornosti – kampanja 3 (lipanj 2024.) i 4 (ožujak 2025.). Mjerenja su izvedena na testnom poligonu, bazenu, veličine 4 x 2 x 2 m u novom Hydrolabu u Žrnovnici. U kampanji 3 izvedena su tri testa (Test-2105, Test-2205 i Test-2305), prvi u trajanju tri sata, drugi četiri i po, treći četiri sata, tijekom kojih je u bazen puštan traser (zaslanjena voda) različite koncentracije soli te je sniman niz 3D mjerenja električne otpornosti. Prva dva testa snimana su rasporedom od 30 elektrode i elektrodama zabijenim u tlo, a treći test je izveden s 42 elektrode i položenim inox pločicama umjesto elektroda. U kampanji 4 izvedena su, također, tri testa (C1, C2 i C3). Test C1 u trajanju od sedam sati i gušćim rasporedom elektroda u zoni infiltracije, test C2 u trajanju od osam i po sati te C3 u trajanju od pet sati, s rasporedom elektroda kao i testovi 2105 i 2205 iz prethodne kampanje.

Cilj svih mjerenja je bio dinamičko praćenje kretanja trasera s obzirom na njegov očekivani utjecaj na električnu otpornost unutar bazena.

U ovom izvještaju opisane su teorijske osnove primijenjene metode, procedure mjerenja u laboratoriju te obrada mjerenih rezultata.



**Slika 1** Karta s označenom pozicijom laboratorija u Žrnovnici (slika preuzeta s Google Eartha).

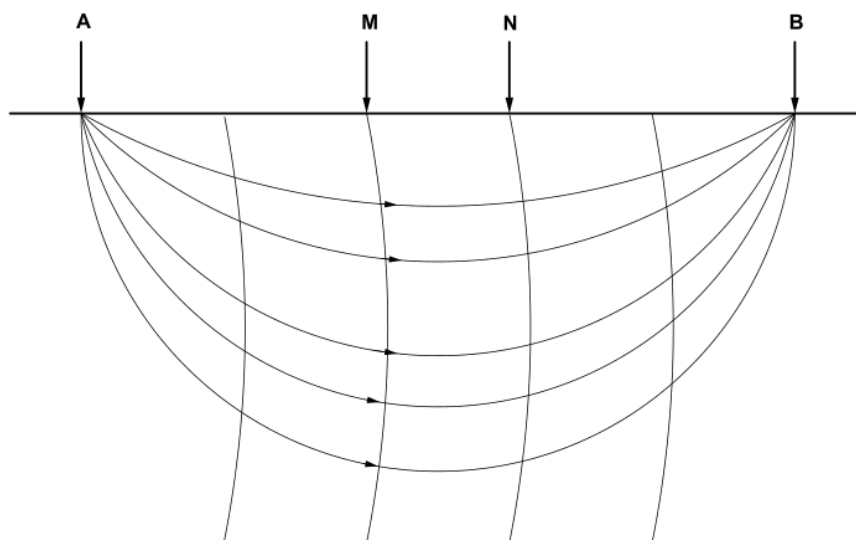
## 2 O PRIMIJENJENIM GEOFIZIČKIM METODAMA

### 2.1 GEOELEKTRIČNA METODA

Geoelektrične metode temelje se na mjerenju površinskih efekata i anomalija dobivenih tokom struje u podzemlju. Metoda mjerenja otpornosti je najčešće korištena geoelektrična metoda.

Podaci dobiveni mjerenjem otpornosti koriste se za prognozu litološke građe terena, utvrđivanje rasjednih ili pukotinskih zona te karaktera pukotina i ispuna u pukotinama, kao i utvrđivanju razlike u provodljivosti naslaga.

Za homogeno izotropno podzemlje, struja koja se pušta u zemlju širi između strujnih elektroda kako je prikazano na slici 2. Izolinije okomite na smjer struje predstavljaju ekvipotencijalne plohe. Da je podzemlje tako homogeno, izmjerena otpornost bi bila stvarna otpornost. Međutim, podzemlje nikad nije homogeno, pa se izmjerena otpornost naziva prividnom otpornošću.



**Slika 2** Širenje struje u homogenom izotropnom podzemlju.

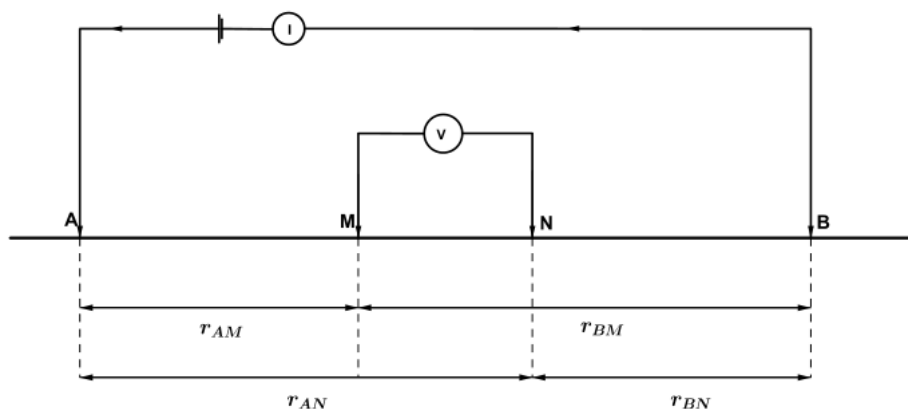
Iz poznate jakosti struje koja je puštena u zemlju  $I$  te izmjerene razlike potencijala (napona) na potencijalnim elektrodama  $V$ , može se izračunati veličina zvana impedancija:

$$Z = \frac{V}{I}. \quad (2.1)$$

Iznos impedancije ovisi o duljini puta te o presjeku putanje koju je struja prelazila. Zbog toga se u praksi koristi električna otpornost, koja je mjera koliko je otporan volumen materijala na protok struje, normalizirana na duljinu putovanja struje te presjek površine kroz koji struja protiče. Prividna otpornost se računa prema jednadžbi:

$$\rho_a = \frac{V}{I} \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{BM}} - \frac{1}{r_{AN}} + \frac{1}{r_{BN}}\right)} = K \frac{V}{I}, \quad (2.2)$$

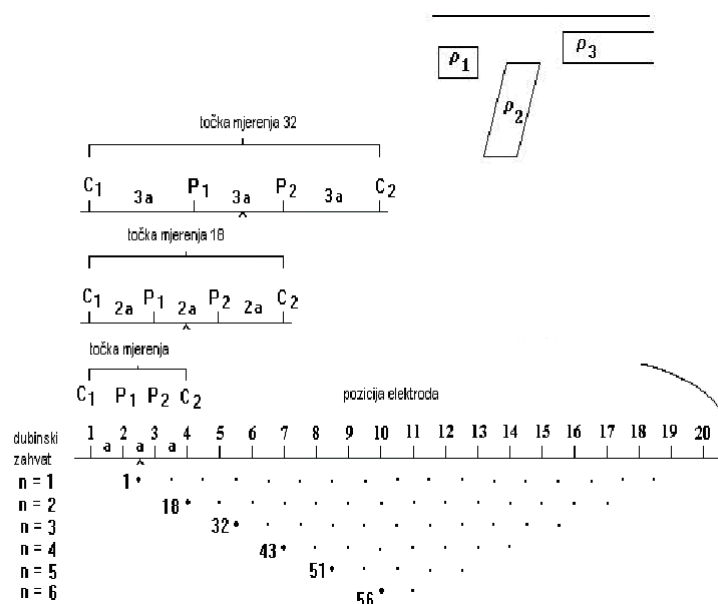
gdje su  $r_{AM}$  udaljenosti između strujne elektrode A i potencijalne elektrode M,  $r_{BM}$  udaljenost između strujne elektrode B i potencijalne elektrode M,  $r_{AN}$  udaljenost između strujne elektrode A i potencijalne elektrode N,  $r_{BN}$  udaljenost između strujne elektrode B i potencijalne elektrode N. Sve veličine vezane za geometriju rasporeda objedinjene su u geometrijsku konstantu  $K$ . Općenita geometrija snimanja geoelektričnom metodom prikazana je na slici 3.



**Slika 3** Općenita geometrija snimanja geoelektričnom metodom.

### 2.1.1 PRIKUPLJANJE PODATAKA NA TERENU I GEOMETRIJSKI RASPOREDI

2-D mjerenje električne otpornosti izvodi se metodom geoelektrične tomografije uvođenjem strujnog toka u podzemlje pomoću većeg broja elektroda uzemljenih na površini. Mjerenje se izvodi za pojedinu točku mjerenja na pravcu pomoću četiri aktivne elektrode, dvije strujne i dvije potencijalne. Postupak mjerenja se ponavlja za sve uzemljene elektrode s konstantnim razmakom između elektroda, nakon čega se mijenja razmak između elektroda, a time i dubinski zahvat te tako dobiva kontinuirani presjek prividnih otpornosti (pseudosekcija). Izbor mjernih elektroda prilikom mjerenja radi računalno automatski. Proces prikupljanja podataka shematski je prikazan na slici 4 (Loke i sur., 2011.).



**Slika 4** Shema prikupljanja podataka geoelektričnom tomografijom.

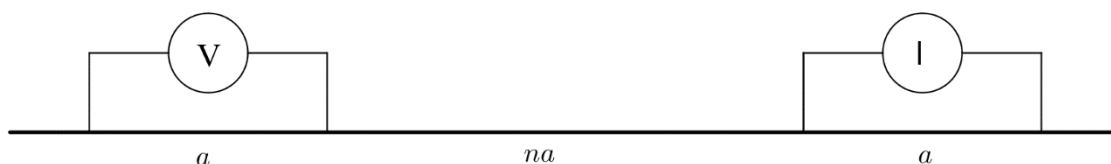
Prikazivanje podataka pomoću pseudosekcija je vrlo korisno za procjenu kvalitete podataka (Loke, 2011.). Naime, ako se podaci prikažu pomoću pseudosekcije bez ikakvog filtriranja ili zaglađivanja, podaci loše kvalitete će se odmah uočiti te će ih se moći ukloniti iz daljnje analize kako ne bi poremetili krajnji rezultat.

### 2.1.1.1 GEOMETRIJSKI RASPOREDI

Prikupljanje podataka geoelektričnom metodom može se vršiti uz različite geometrijske rasporede snimanja. Ovdje su navedena tri najčešća: dipol – dipol, Wennerov te Schlumbergerov raspored.

#### 2.1.1.1.1 DIPOL – DIPOL RASPORED

Kod dipol – dipol rasporeda, razmak između dvije strujne i dvije potencijalne elektrode je jednak, označimo ga sa  $a$ . Strujni i potencijalni dipol razmaknuti su za veći iznos, recimo  $na$ . Shematski, raspored je prikazan na slici 5.



**Slika 5** Dipol – dipol geometrijski raspored.

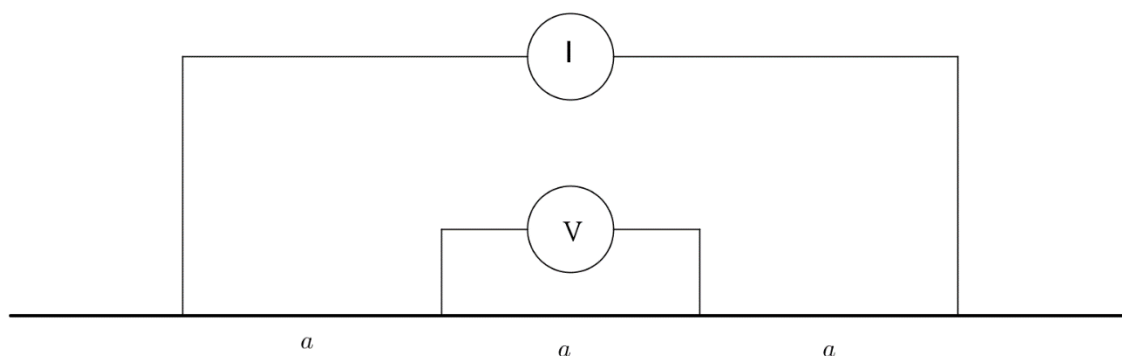
Za dipol – dipol raspored, uz oznake kao na slici 5, geometrijska konstanta prelazi u:

$$K = \pi n(n + 1)(n + 2). \quad (2.3)$$

Od navedenih rasporeda dipol-dipol, daje najbolju lateralnu rezoluciju podataka, međutim, zbog većeg razmaka između strujnog i potencijalnog dipola, ovaj raspored je osjetljiv na šumove.

#### 2.1.1.1.2 WENNEROV RASPORED

Wennerov raspored je razvijen za električno profiliranje. Karakterizira ga jednak razmak između svih elektroda. Shematski je raspored prikazan na slici 6.



**Slika 6** Wennerov geometrijski raspored.

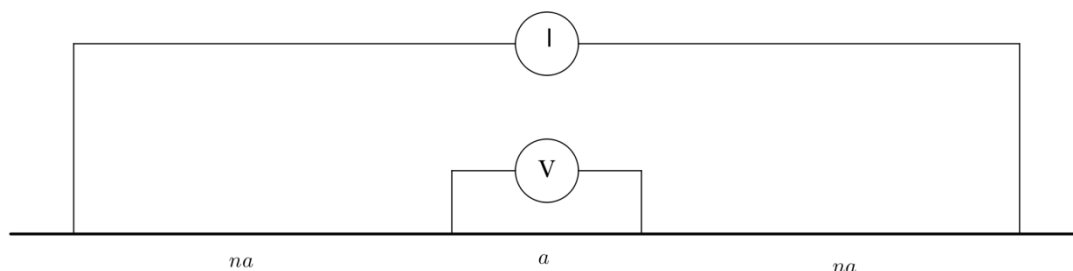
Uz oznake kao na slici 6, geometrijska konstanta za Wennerov raspored glasi:

$$K = 2\pi a. \quad (2.4)$$

Wennerov raspored se najviše koristi za električno profiliranje ili za brzo prekrivanje velikih područja uz korištenje malog razmaka među elektrodama.

#### 2.1.1.1.3 SCHLUMBERGEROV RASPORED

Schlumbergerov raspored je primarno razvijen za geoelektrično sondiranje. Prilikom sondiranja, potencijalne elektrode se drže na konstantnoj udaljenosti na istom mjestu, a električne se sve više simetrično razmiču, kako bi se dobio sve veći dubinski zahvat. Pomicanjem potencijalnih elektroda, dobiva se dvodimenzionalna slika. Geometrija je prikazana na slici 7.



**Slika 7** Schlumbergerov geometrijski raspored.

Uz oznake kao na slici, geometrijska konstanta za Schlumbergerov raspored ima oblik:

$$K = \pi n(n + 1)a. \quad (2.5)$$

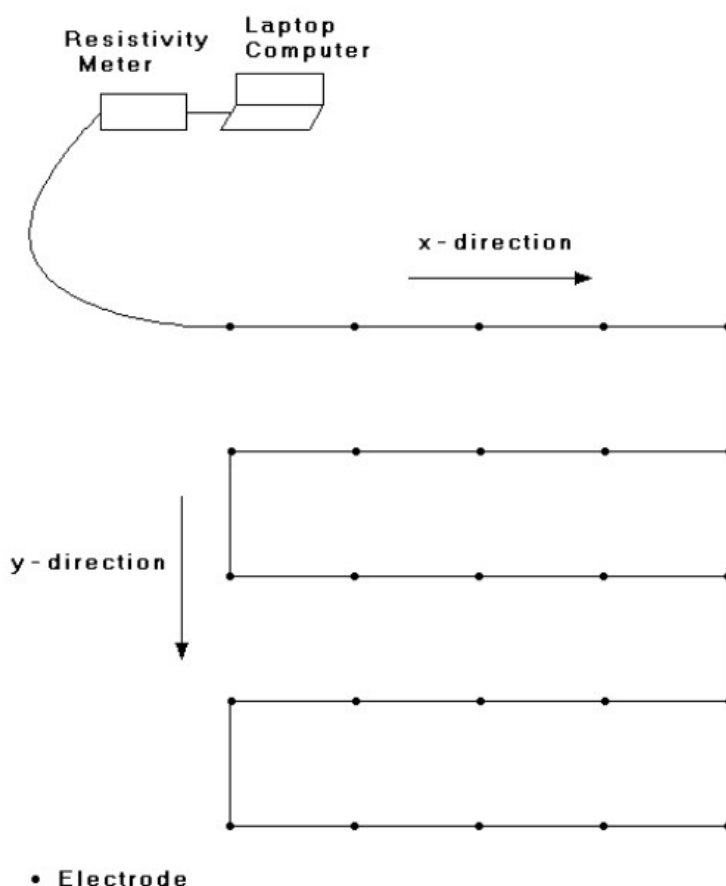
Schlumbergerov raspored snimanja daje bolju lateralnu rezoluciju podataka u odnosu na Wennerov raspored.

## 2.1.2 3-D MJERENJA ELEKTRIČNE OTPORNOSTI I GEOMETRIJSKI RASPOREDI

Prilikom 3-D mjerenja geoelektrične otpornosti uobičajeno se koriste pol-pol, pol-dipol te dipol-dipol geometrijski rasporedi. Pri tome se najčešće koristi pol-pol geometrijski raspored.

### 2.1.2.1.1 POL – POL RASPORED

Shematski prikaz pol – pol geometrijskog rasporeda s ukupno 25 elektroda prikazan je na slici 8.



**Slika 8** Pol – pol geometrijski raspored.

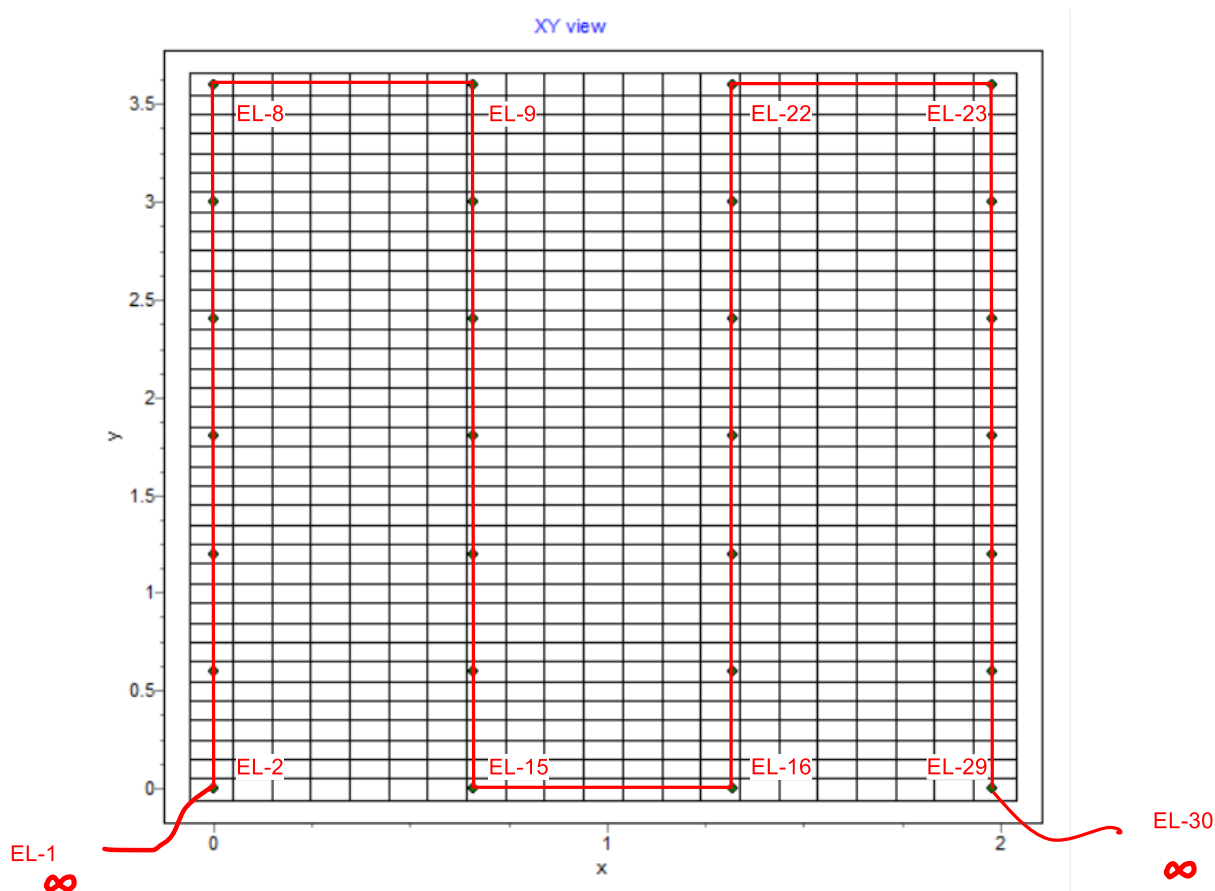
Za pol – pol raspored, najveći broj mjerenih točaka,  $n_{\max}$  koji se može dobiti s određenim brojem elektroda  $n_e$  određuje se po slijedećoj formuli:

$$n_{\max} = n_e (n_e - 1) / 2 \quad (2.6)$$

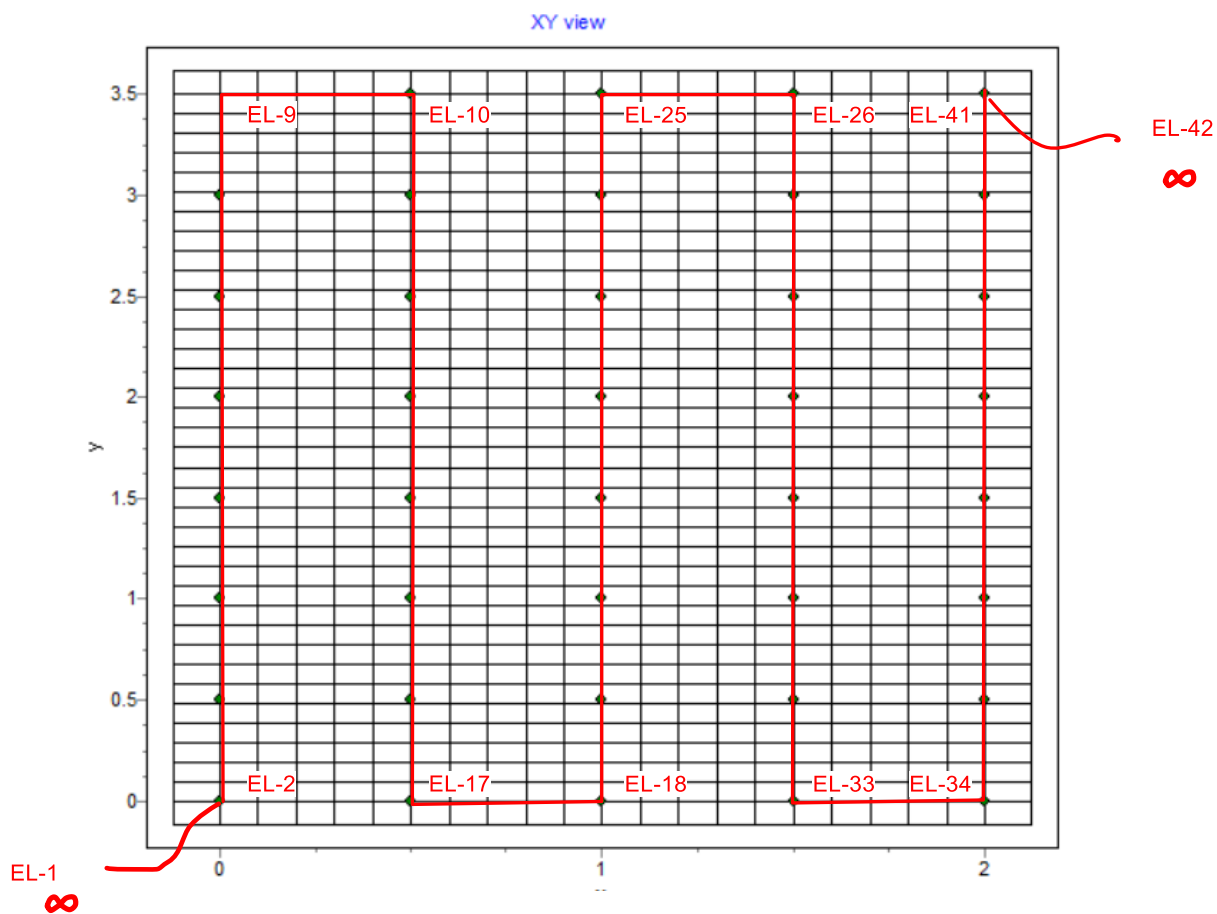
Konkretno za prikazani primjer rasporeda od 25 elektroda na slici 8, maksimalni broj mjerenih točaka iznosi 300.

### 3 OPIS IZVEDENIH RADOVA I OPREME

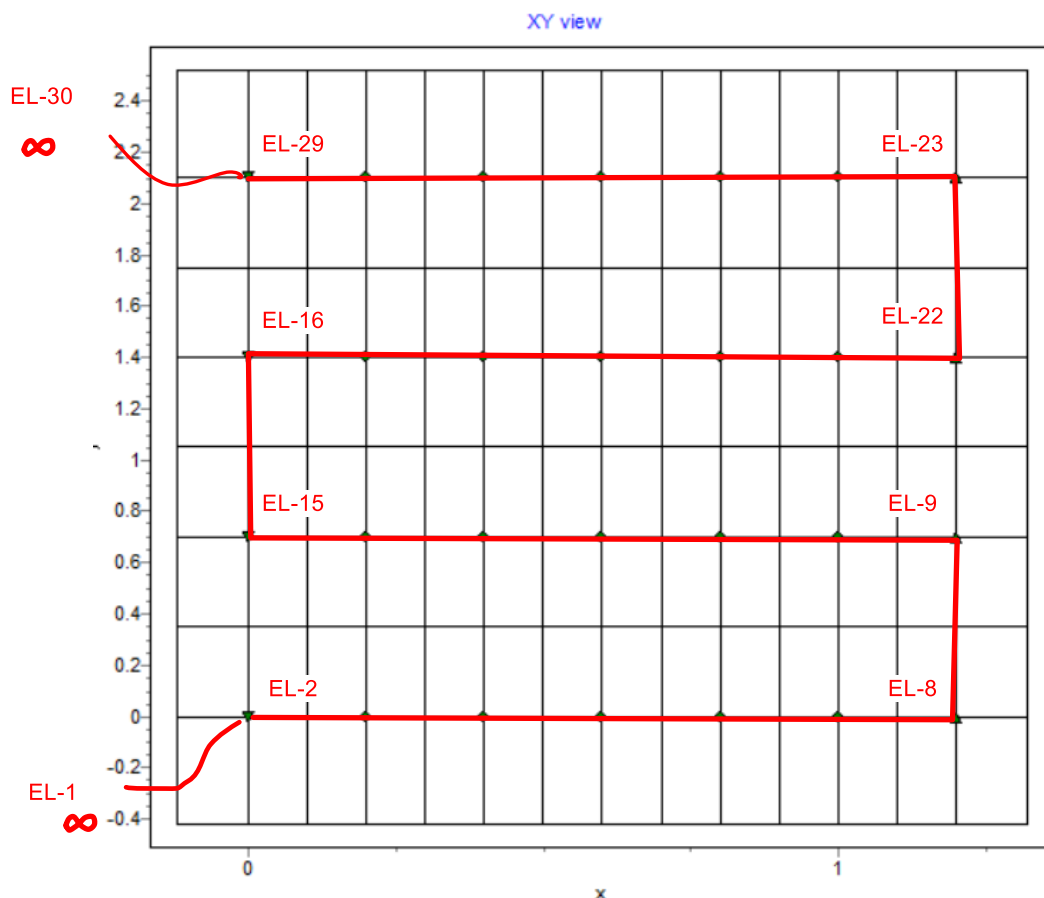
Na testnom poligonu/bazenu dimenzija 2x4x2 m izrađenom u sklopu novog Hydrolaba u Žrnovnici izveden je niz 3D snimanja električne otpornosti metodom geoelektrične tomografije, pol-pol rasporedom snimanja s ukupno 30 elektroda (testovi 2105 i 2205, C1, C2 i C3) i 42 elektrode (test 2305). Položaj elektroda u testnom poligonu prikazan je na slikama 9, 10 i 11. Ukupno 28, odnosno 40 elektroda je unutar poligona, a prva i zadnja elektroda postavljene su na udaljenosti većoj od 10 puta od najveće udaljenosti među elektrodama u poligonu.



**Slika 9** Raspored elektroda na testnom poligonu (testovi 2105, 2205, C2 i C3), snimana s 30 elektroda (pol-pol raspored snimanja).



**Slika 10** Raspored elektroda na testnom poligonu za test 2305, sniman s 42 elektrode (pol-pol raspored snimanja).



**Slika 11** Raspored elektroda na testnom poligonu za test C1, sniman s 30 elektroda (pol-pol raspored snimanja).

Mjerenja su izvedena opremom sljedećih karakteristika:

#### **GEOELEKTRIČNA MJERENJA:**

- Instrument: **PASI Polares, s.n. 13008,**
- Kablovi s po 16 izvoda, 2 komada
- Čelične elektrode, 30 komada, inox pločice, 42 komada



**Slika 12** Oprema za geoelektrična mjerenja.

Pri obradi geofizičkih podataka korišteni su sljedeći programski paketi:

- ZondRes3D;



**Slika 13** Geoelektrično mjerenje na testnom poligonu u sklopu Hydrolaba u Žrnovnici.

### 3.1 PARAMETRI MJERENJA

Parametri geofizičkih mjerenja metodom geoelektrične tomografije odabrani su prema teoretskim postavkama metode te provedenim testiranjima na terenu, a s ciljem dobivanja krajnjeg rezultata koji će biti u skladu s traženom dubinom zahvata (oko dva metra), brzinom mjerenja i zadovoljavajućom rezolucijom. Kako bi se u što kraćim vremenskim intervalima snimilo cijeli volumen (bazen) s obzirom da se u njega pušta traser sa slanom vodom te da se želi dinamički pratiti promjena električne otpornosti koju slani traser izaziva, odabrani su optimalni parametri i što se tiče prostorne i vremenske rezolucije.

3D mjerenja otpornosti za testove 2105, 2205, C2 i C3 izvedena su na poligonu dimenzija 4x2 metra i dubine 2 metra (slika 9), pol-pol rasporedom snimanja s ukupno 28 elektroda koje su postavljene na jednakim razmacima unutar poligona 4 el x 7 el,  $d_x = 0.66$  m i  $d_y = 0.6$  m te uz dvije elektrode postavljene na udaljenim lokacijama.

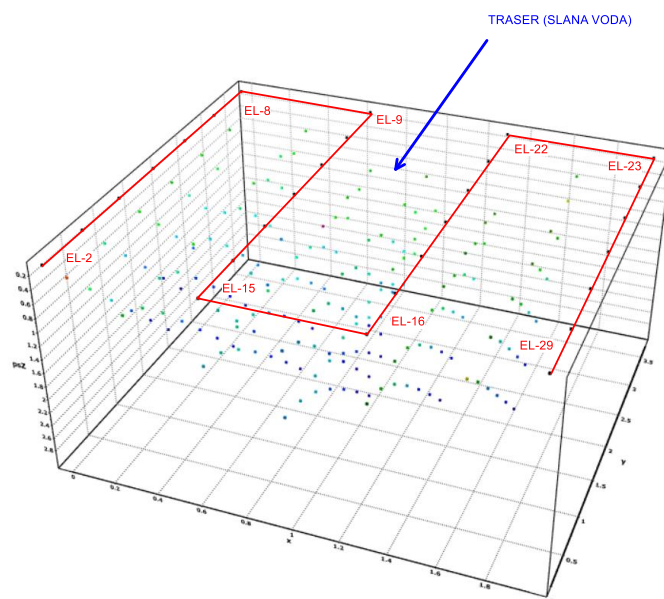
Test 2305 snimljen je s ukupno 42 elektrode (slika 10), unutar poligona 6 el x 7 el s međusobnim razmacima elektroda  $d_x = 0.5$  m i  $d_y = 0.5$  m.

Test C1 snimljen je s 28 elektroda (slika 11), na poligonu 7 el x 4 el, s međusobnim razmakom među elektrodama  $d_x = 0.2$  m i  $d_y = 0.7$  m.

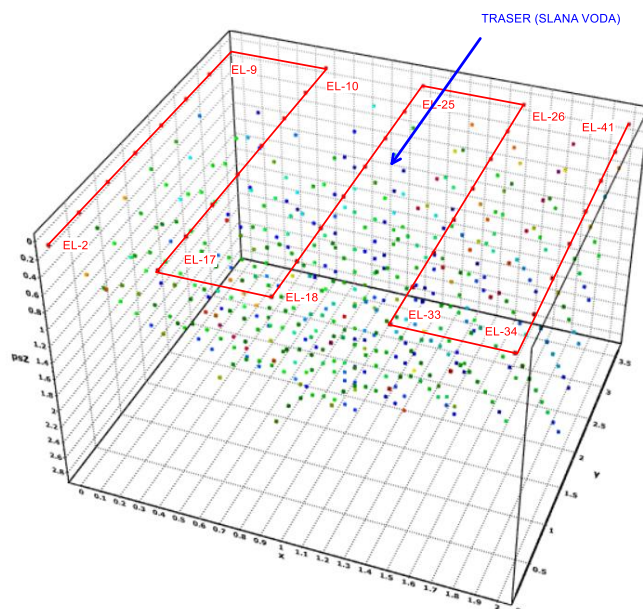
Vrijeme snimanja jednog 3D mjerenja je, uz ove geometrijske parametre, bilo 5 min, a za test 2305 devet minuta. Prema jednadžbi 2.6, svako 3D mjerenje imalo je 376, odnosno 780 mjernih točaka u podzemlju.

Tijekom svih testova u bazen je pušteno 250 litara zaslanjene vode – trasera, pri čemu se koncentracija mijenjala.

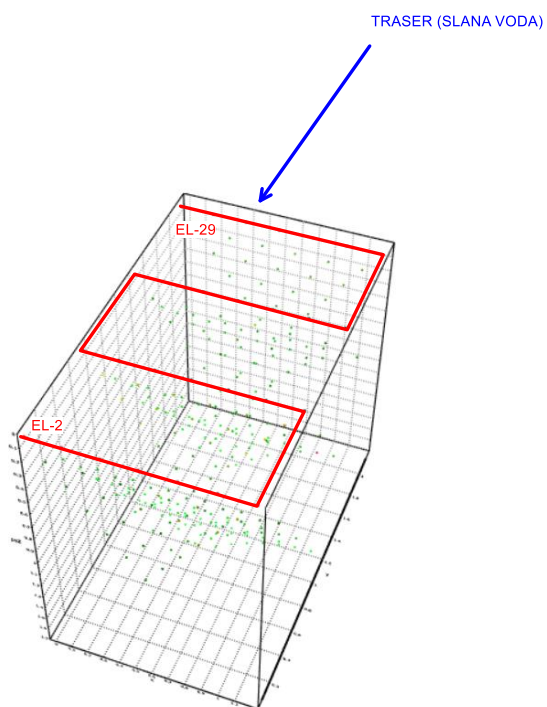
Za vrijeme testa C2 dodatno je puštana i kiša.



**Slika 14** 3D prikaz položaja mjernih elektroda, mjernih točaka u podzemlju te približne pozicije utiskivanja trasera u bazen za testove 2105, 2205, C2 i C3, snimano s 30 elektroda.



**Slika 15** 3D prikaz položaja mjernih elektroda, mjernih točaka u podzemlju te približne pozicije utiskivanja trasera u bazen za test 2305, sniman s 42 elektrode.



**Slika 16** 3D prikaz položaja mjernih elektroda, mjernih točaka u podzemlju te približne pozicije utiskivanja trasera u bazen za test C1, sniman s 30 elektroda.

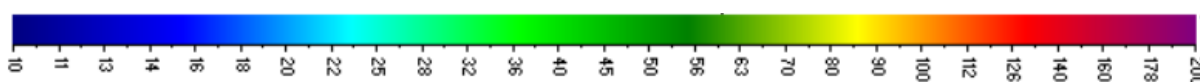
## 4 OBRADA I INTERPRETACIJA PODATAKA

Snimljeni podaci električne otpornosti obrađeni su inverznim modeliranjem u programu ZondRes3D. Za svako pojedinačno mjerenje dobiven je 3D volumen električnih otpornosti.

### KAMPANJA 3:

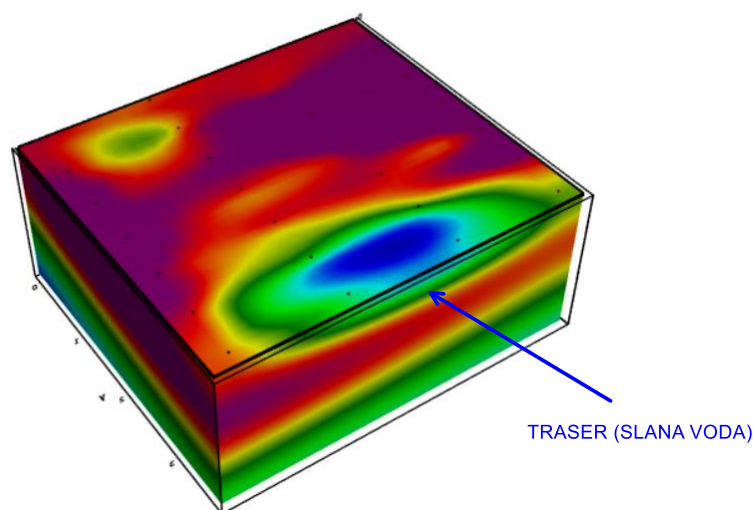
U ovom tekstu prikazani su karakteristični rezultati, na kojima se može jasno uočiti prolazak trasera. Očekivano, prisustvo trasera (slane vode) uzrokuje smanjenje električne otpornosti unutar bazena, u zoni prolaska. Usporedba je, u ovom izvještaju, učinjena tako da su izdvojena dva karakteristična 2D tlocrtna presjeka za svaki 3D model te je učinjena usporedba za testove 2105 i 2205. Rezultati testa 2305 prikazani su zasebno.

Za prikaz svih 2D i 3D modela korištena je sljedeća skala vrijednosti električne otpornosti u  $\Omega m$ :



**Slika 17** Skala vrijednosti električne otpornosti (Ohm m)

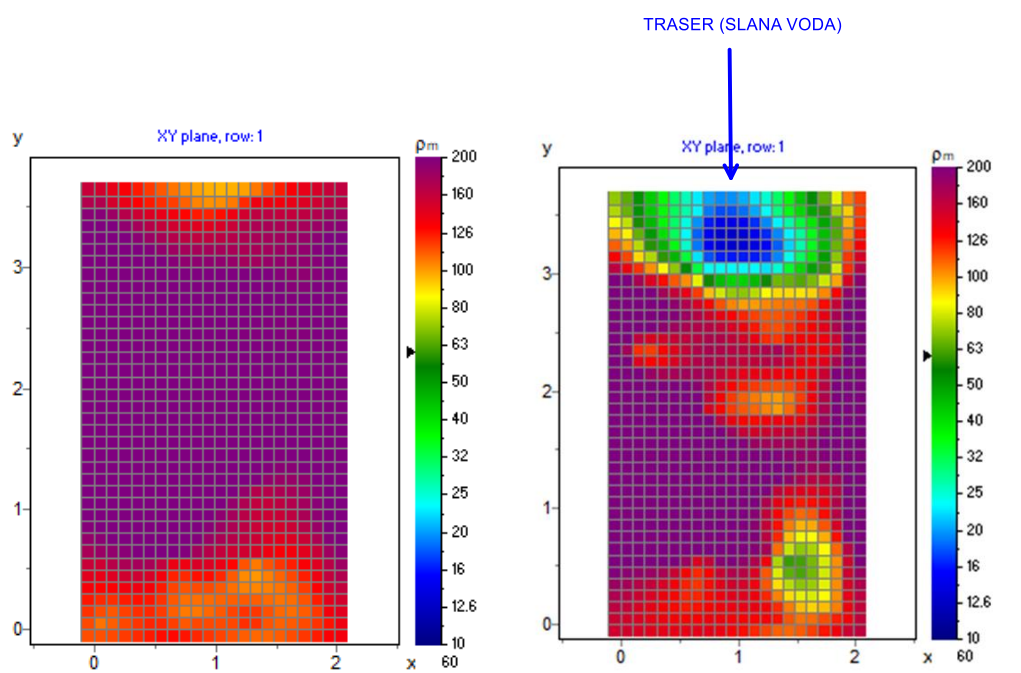
Zbog jasnijeg prikaza, volumen je zakrenut za 90 stupnjeva u odnosu na položaj na slici 11, kako bi jasnije bila vidljiva pozicija ubacivanja trasera u bazen (slika 13).



**Slika 18** Test-1: 3D model otpornosti (25-30 min trajanja testa), test 2205, s naznačenom pozicijom ubacivanja trasera.

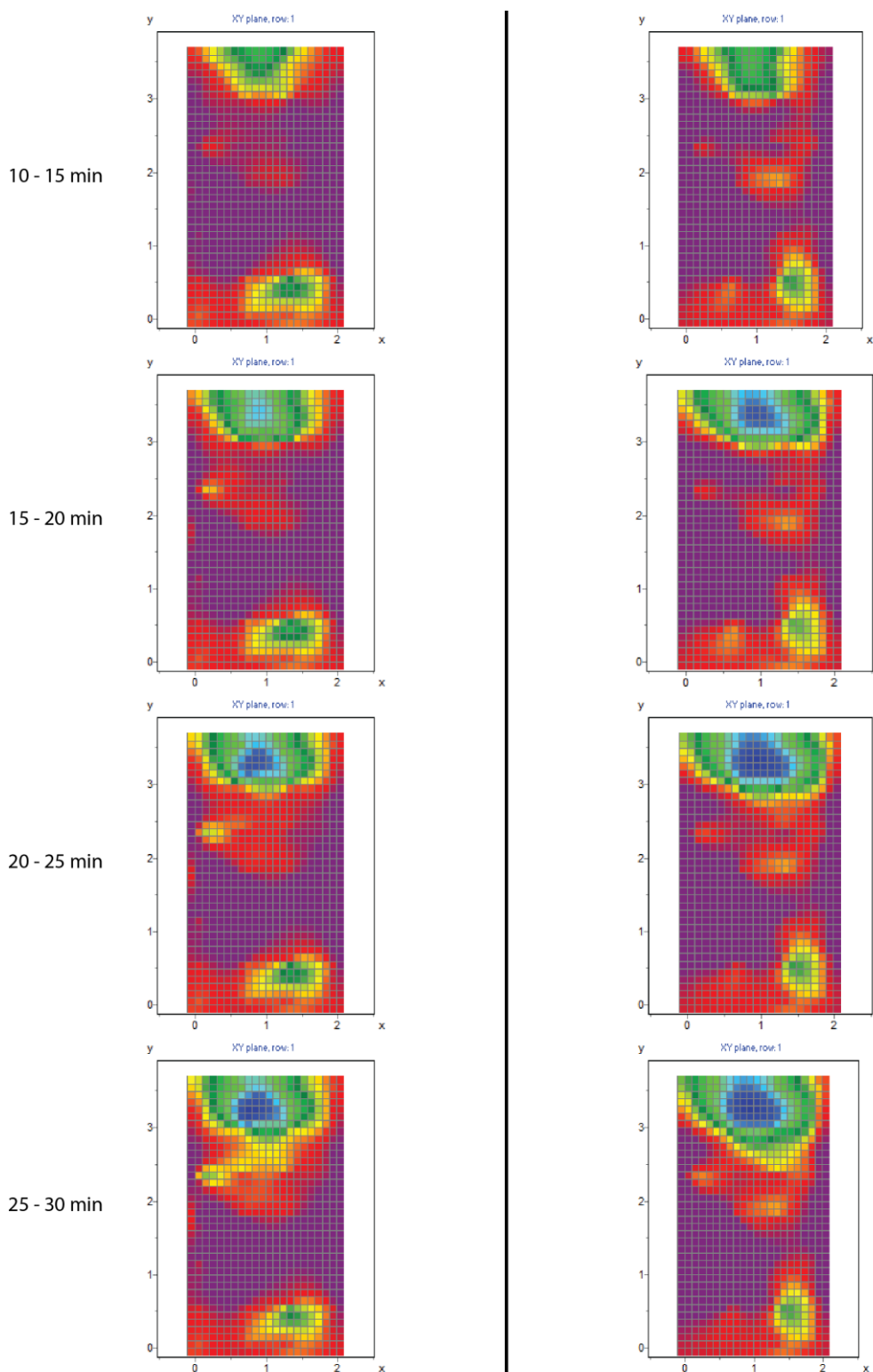
Na slici 14 prikazana su dva 2D tlocrtna presjeka, na dubini 0 m, pri čemu je lijevi presjek snimljen neposredno prije početka ubacivanja trasera, a desni nakon 20 minuta. Vidljivo je kako je zona kroz koju prolazi traser (područje bazena iznad  $Y=3$  m) značajno smanjenih otpornosti nakon 20 minuta (zelene i plave boje, tj. otpornosti niže od približno 70 Ohm m).

Na slikama 18 do 34 usporedno su prikazani karakteristični rezultati dva testa, 2105 i 2205. Naznačen je vremenski interval na koji se mjerenje odnosi te su prikazani 2D tlocrtni presjeci iz izračunatih 3D modela, za dubine 0 i 0.5 m. Svaki presjek je prikazan na mreži jedinične veličine 10 x 10 cm.

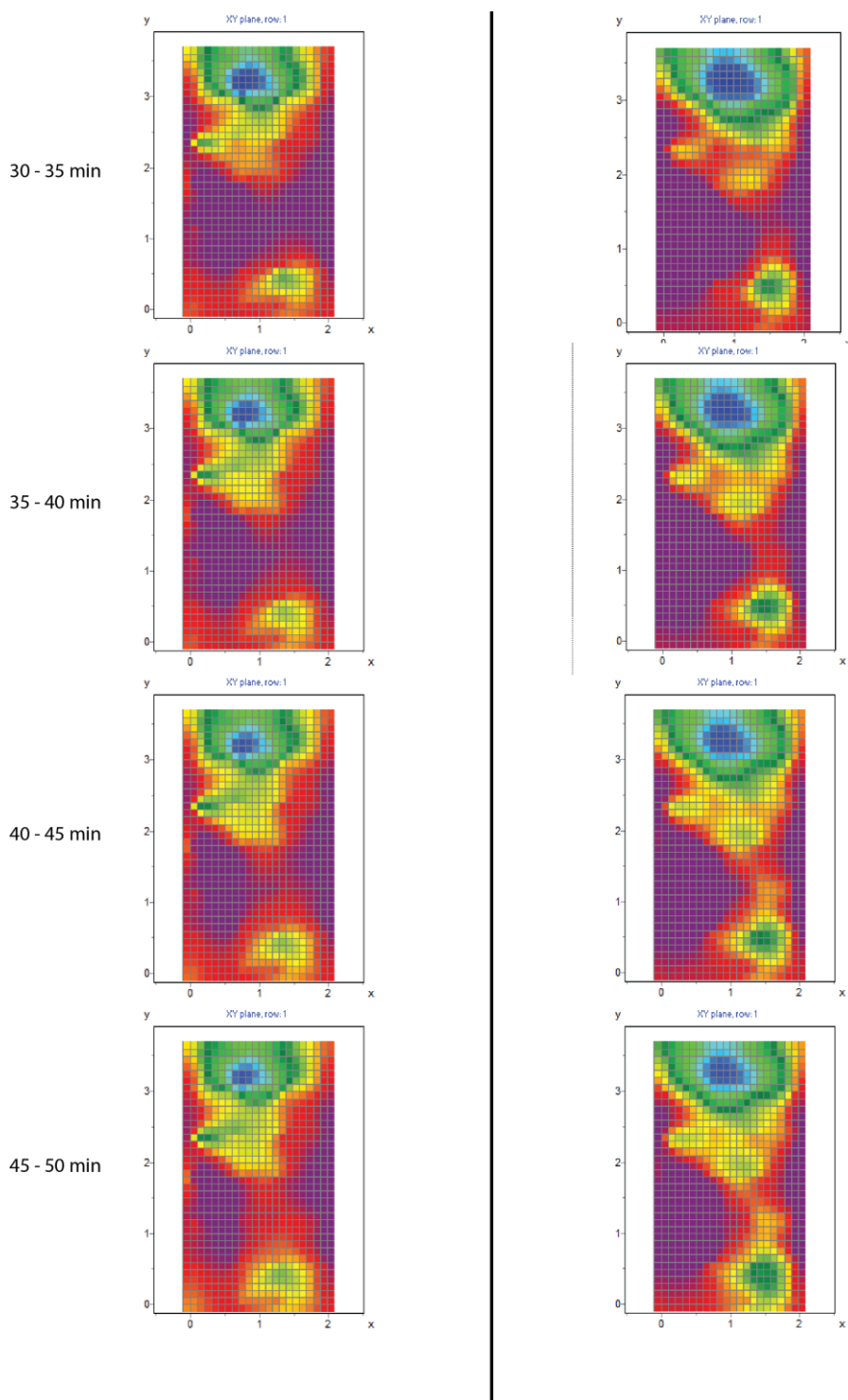


**Slika 19** Test-2205: 2D tlocrtni presjek el. otpornosti na površini (dubina 0 m), s naznačenom pozicijom ubacivanja trasera. Na lijevoj slici je presjek prije ubacivanja trasera, a na desnoj nakon 20 min od ubacivanja. Smanjenje otpornosti (zelena i plava boja) ukazuju na zonu u kojoj je traser.

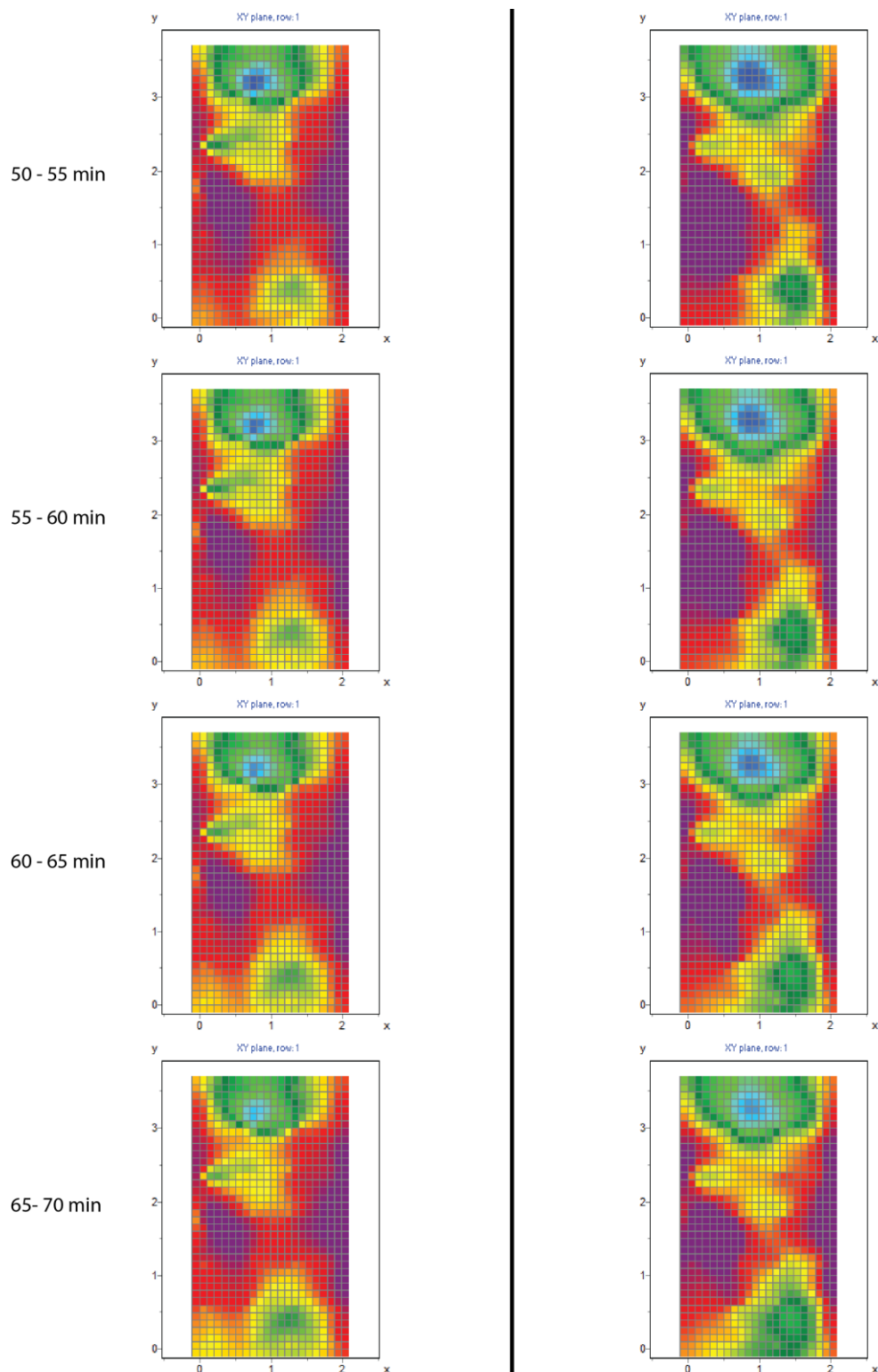
Važno je napomenuti da se pod površinom (dubina 0 m) ne može smatrati sama površina terena već je ta ploha nešto dublje. Razlog tome je potrebna dubina zabijanja elektroda kako bi se ostvario dobar kontakt elektroda i tla. U ovim mjerenjima elektrode su bile zabijene 30-35 cm. Zamijećeno je da se dobar kontakt ostvaruje tek prolaskom prvog sloja kvarcnog pijeska, debljine 25 cm. Stoga se kao površinska ploha može uzeti ploha na dubini minimalno 30 cm. Također, prema geometrijskom rasporedu snimanja (pole-pole), najbliže točke mjerenja su na dubini od oko 0.9 najmanje udaljenosti među susjednim elektrodama, što iznosi oko 55 cm. Vrijednosti otpornosti iznad te dubine u modelu su dobiveni ekstrapolacijom mjernih podataka tijekom inverznog modeliranja.



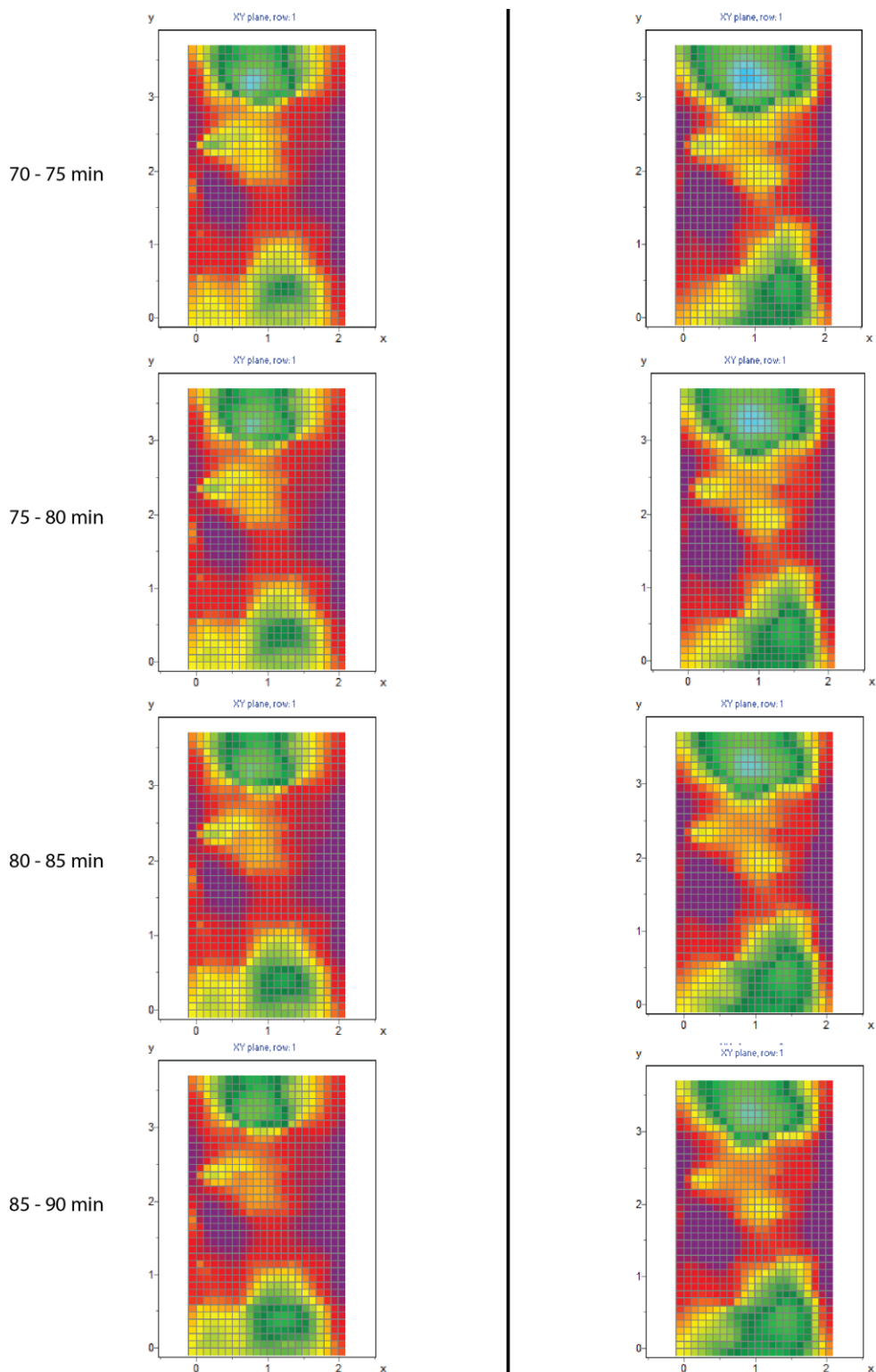
**Slika 20** 2D tlocrtni presjeci el. otpornosti na površini (dubina 0 m) u intervalu mjerenja (10 – 30 min). Lijevi stupac test 2105, desni stupac 2205. Početak puštanja trasera u 10-toj minuti. Smanjenje el. otpornosti zbog utjecaja trasera prikazano je plavim i zelenim bojama.



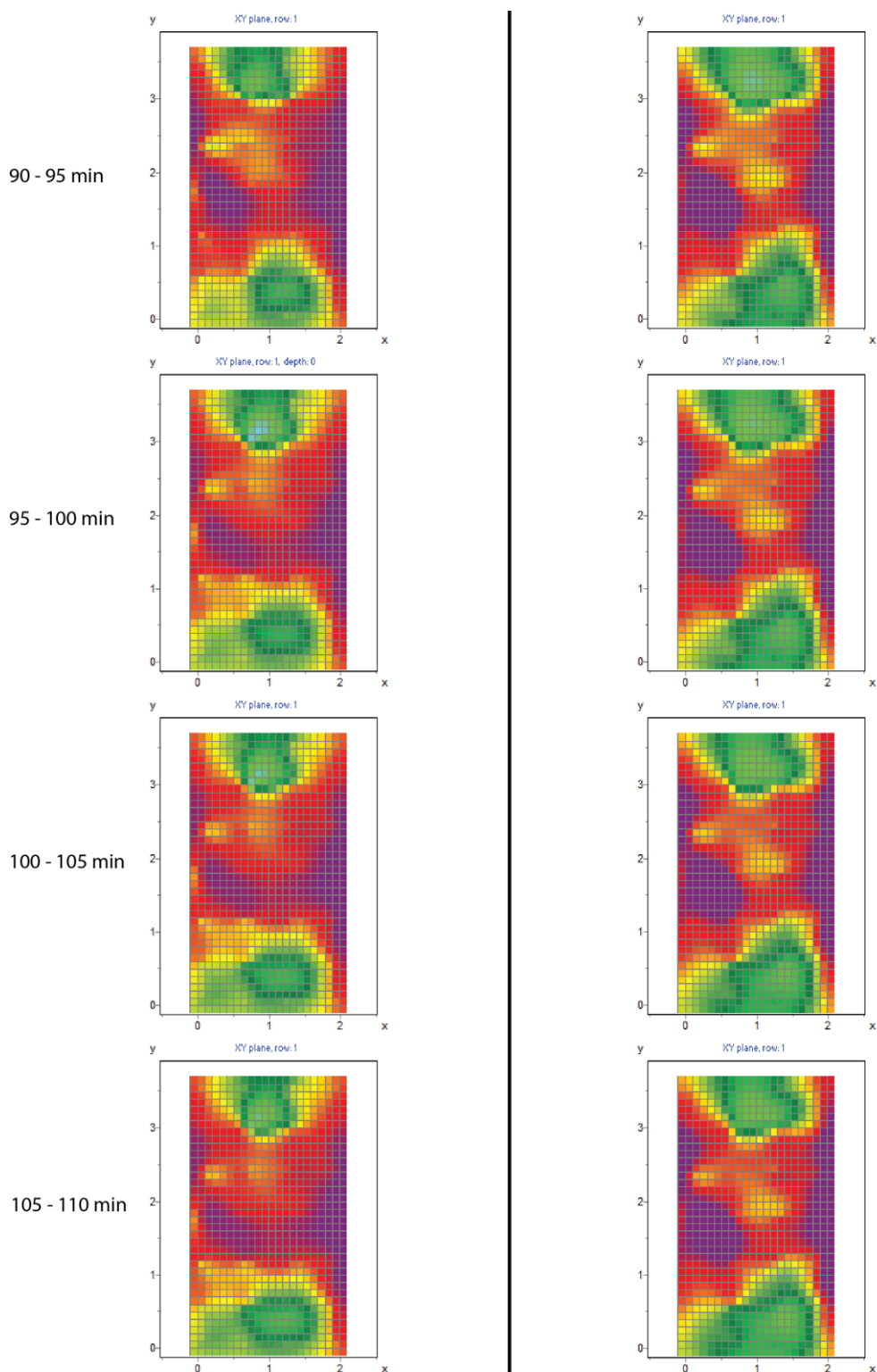
**Slika 21** 2D tlocrtni presjeci el. otpornosti na površini (dubina 0 m) u intervalu mjerenja (30 – 50 min). Lijevi stupac test 2105, desni stupac 2205. Početak puštanja trasera u 10-toj minuti. Smanjenje el. otpornosti zbog utjecaja trasera prikazano je plavim i zelenim bojama.



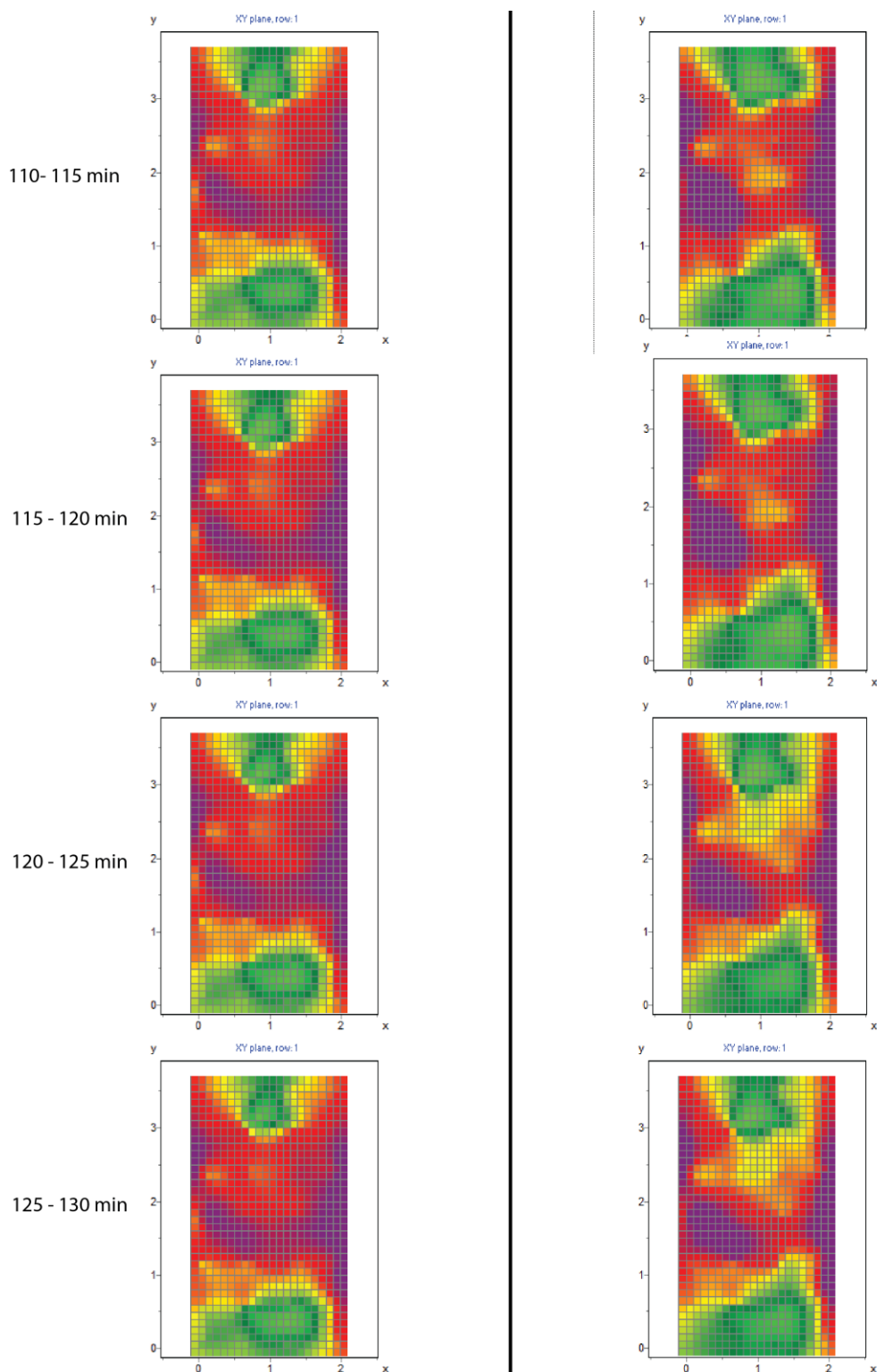
**Slika 22** 2D tlocrtni presjeci el. otpornosti na površini (dubina 0 m) u intervalu mjerenja (50 – 70 min). Lijevi stupac test 2105, desni stupac 2205. Početak puštanja trasera u 10-toj minuti. Smanjenje el. otpornosti zbog utjecaja trasera prikazano je plavim i zelenim bojama.



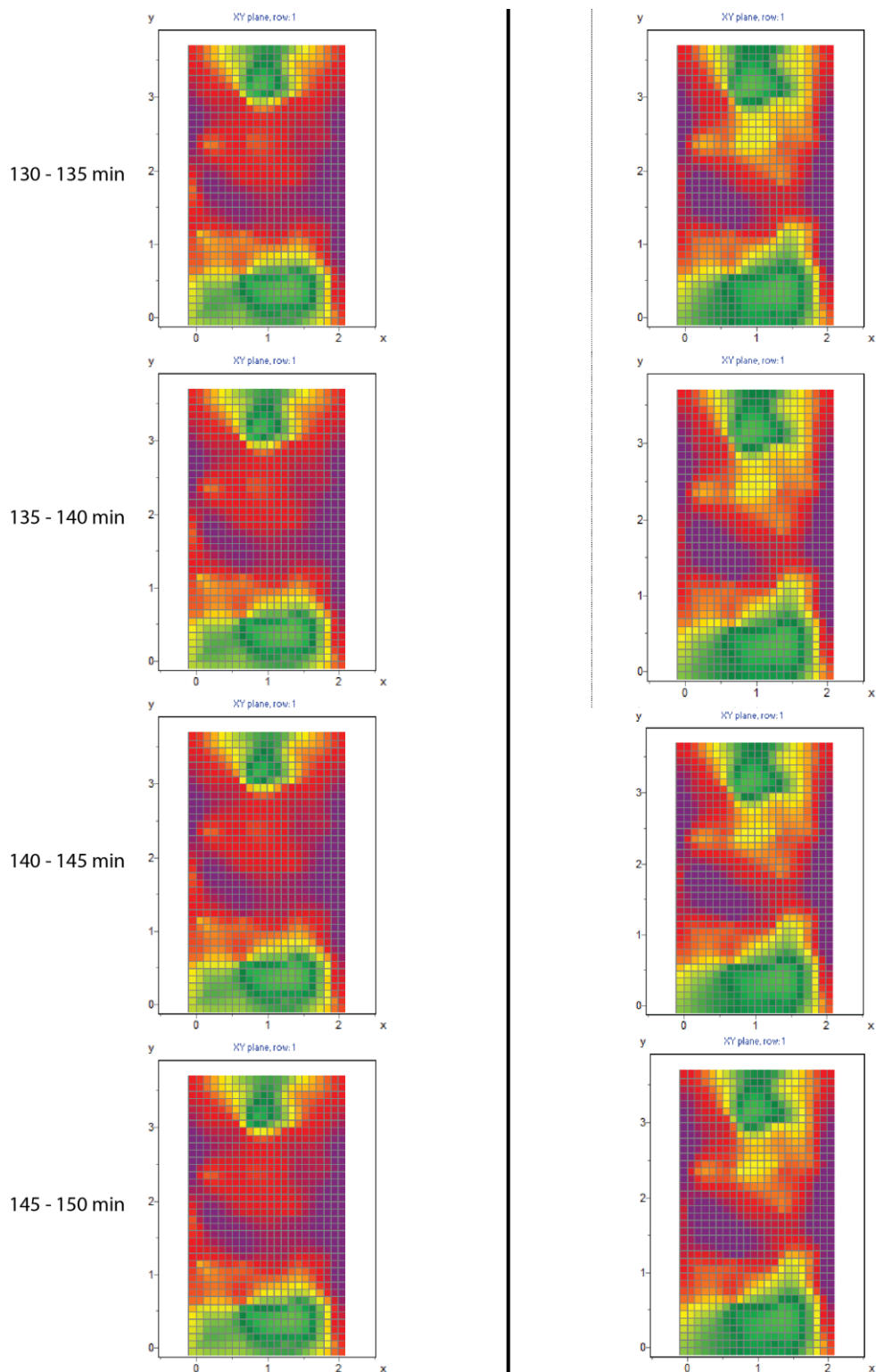
**Slika 23** 2D tlocrtni presjeci el. otpornosti na površini (dubina 0 m) u intervalu mjerenja (70 – 90 min). Lijevi stupac test 2105, desni stupac 2205. Početak puštanja trasera u 10-toj minuti. Smanjenje el. otpornosti zbog utjecaja trasera prikazano je plavim i zelenim bojama.



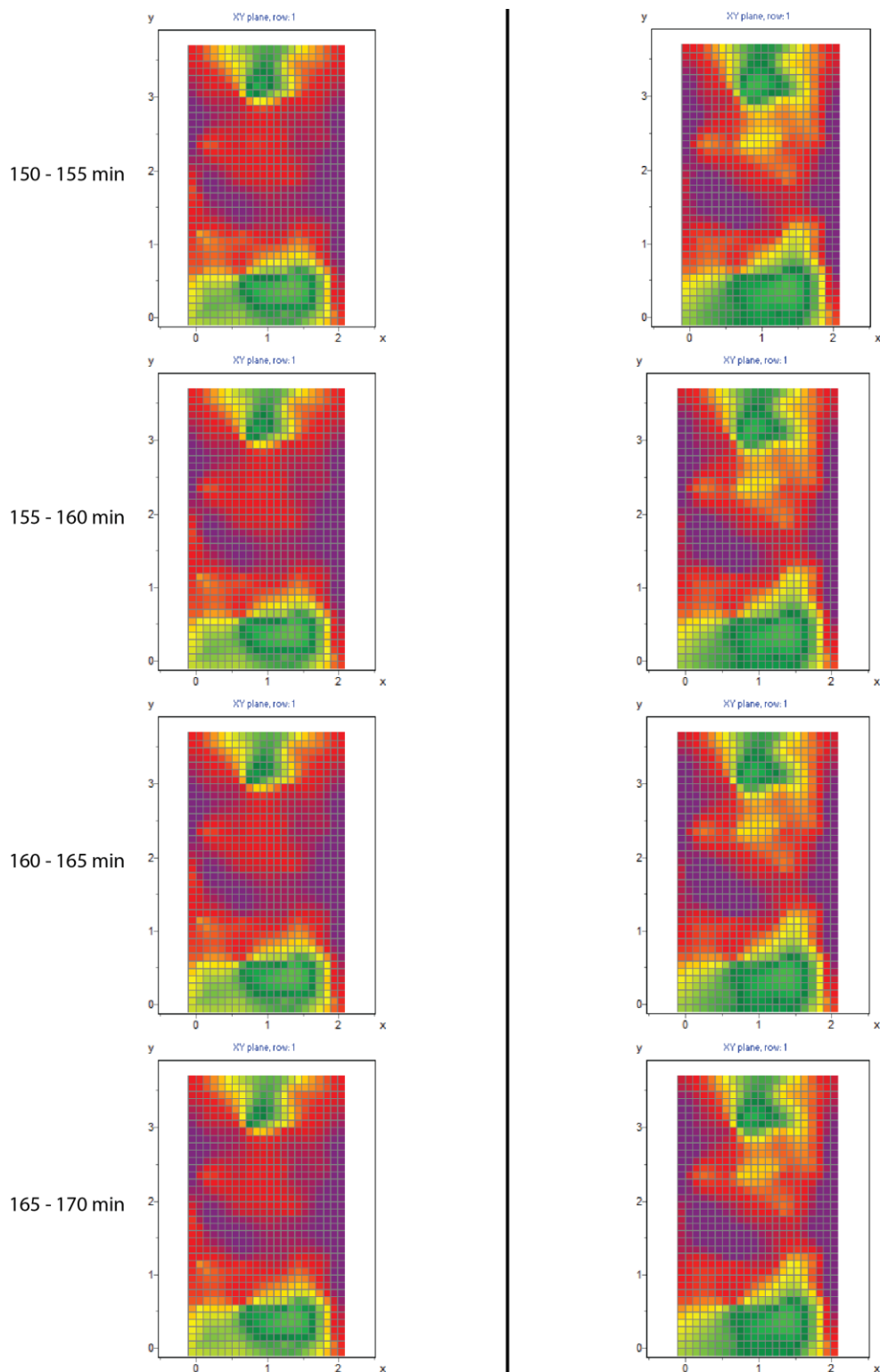
**Slika 24** 2D tlocrtni presjeci el. otpornosti na površini (dubina 0 m) u intervalu mjerenja (90 – 110 min). Lijevi stupac test 2105, desni stupac 2205. Početak puštanja trasera u 10-toj minuti. Smanjenje el. otpornosti zbog utjecaja trasera prikazano je plavim i zelenim bojama.



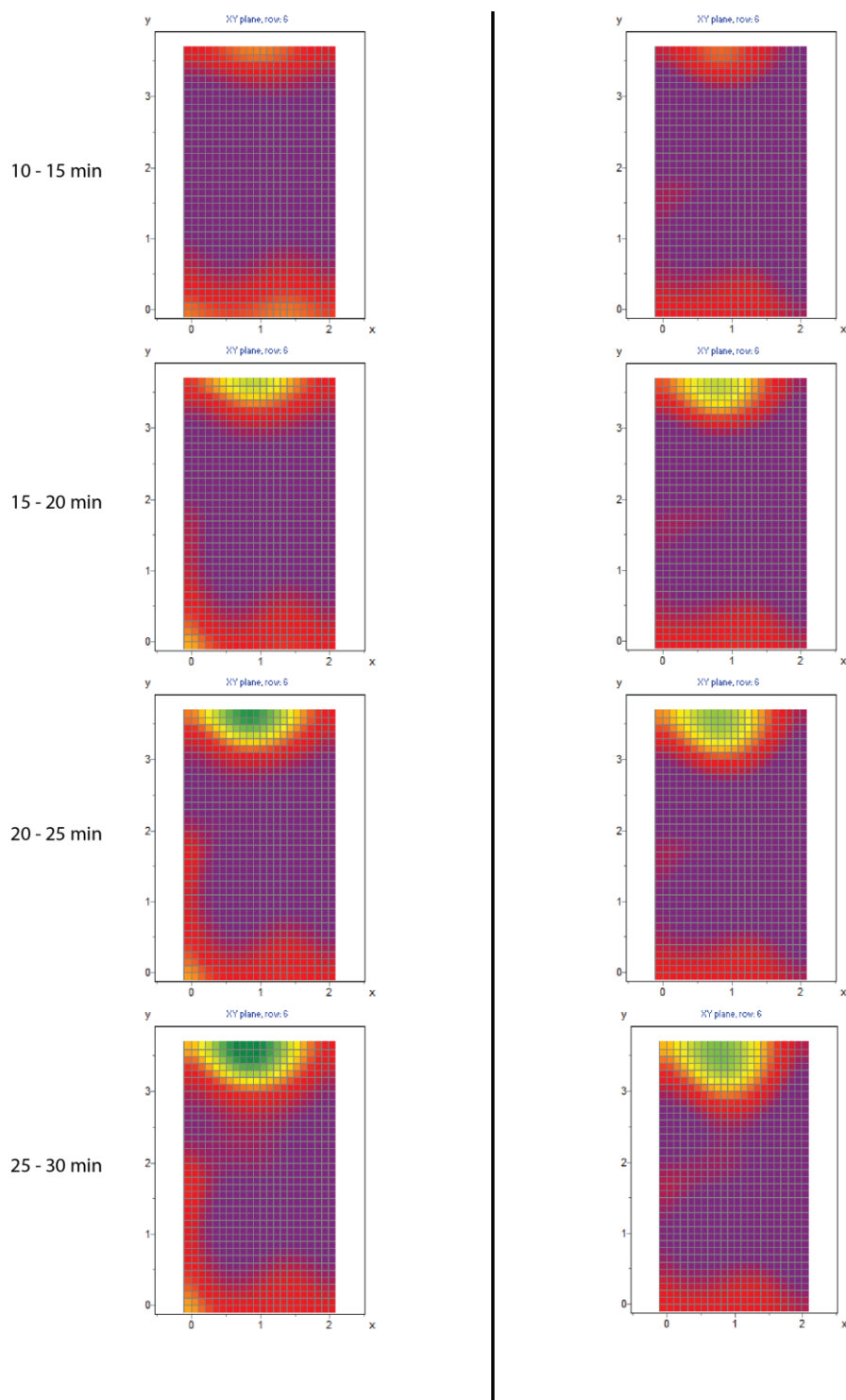
**Slika 25** 2D tlocrtni presjeci el. otpornosti na površini (dubina 0 m) u intervalu mjerenja (110 – 130 min). Lijevi stupac test 2105, desni stupac 2205. Početak puštanja trasera u 10-toj minuti. Smanjenje el. otpornosti zbog utjecaja trasera prikazano je plavim i zelenim bojama.



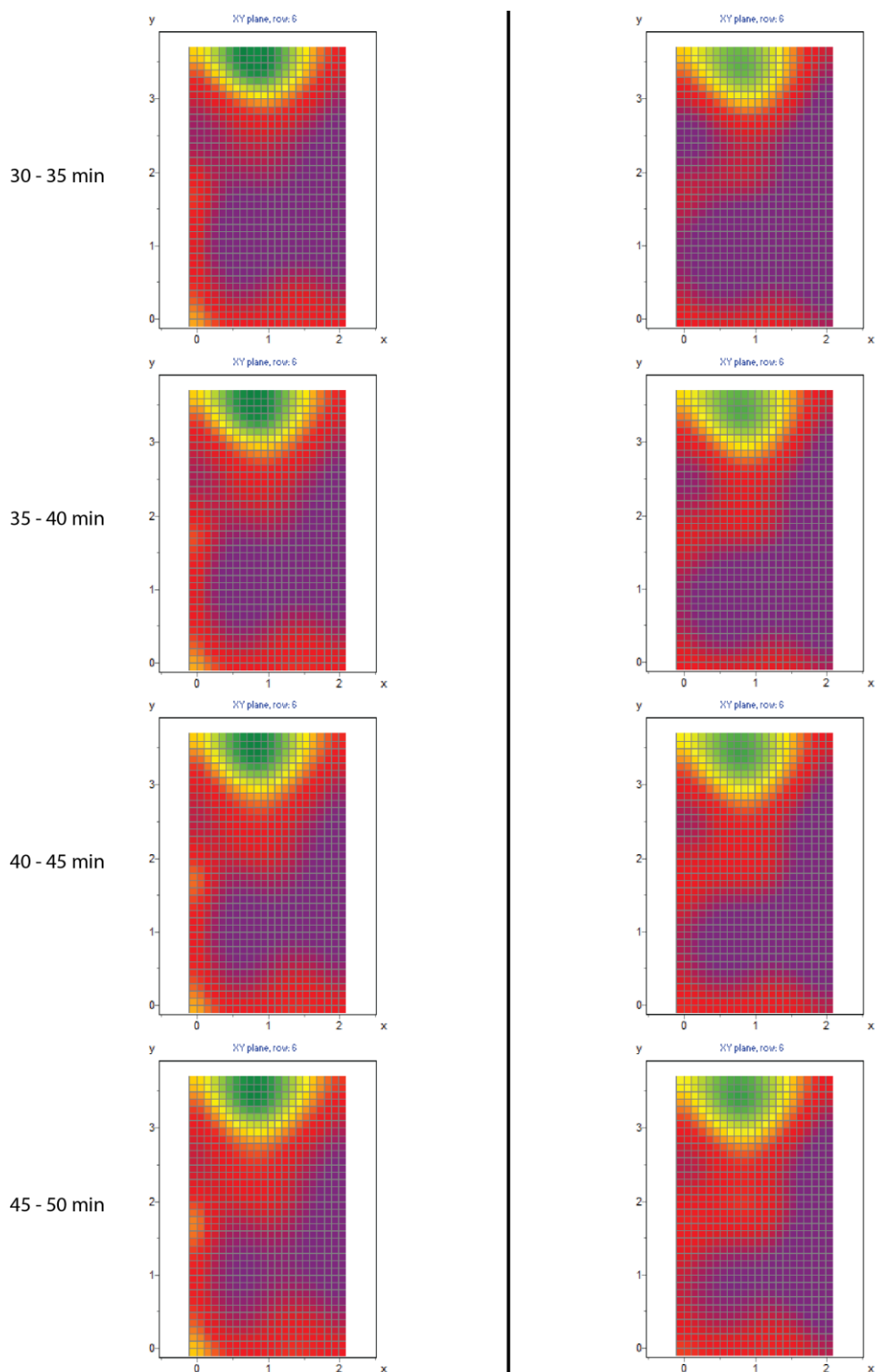
**Slika 26** 2D tlocrtni presjeci el. otpornosti na površini (dubina 0 m) u intervalu mjerenja (130 – 150 min). Lijevi stupac test 2105, desni stupac 2205. Početak puštanja trasera u 10-toj minuti. Smanjenje el. otpornosti zbog utjecaja trasera prikazano je plavim i zelenim bojama.



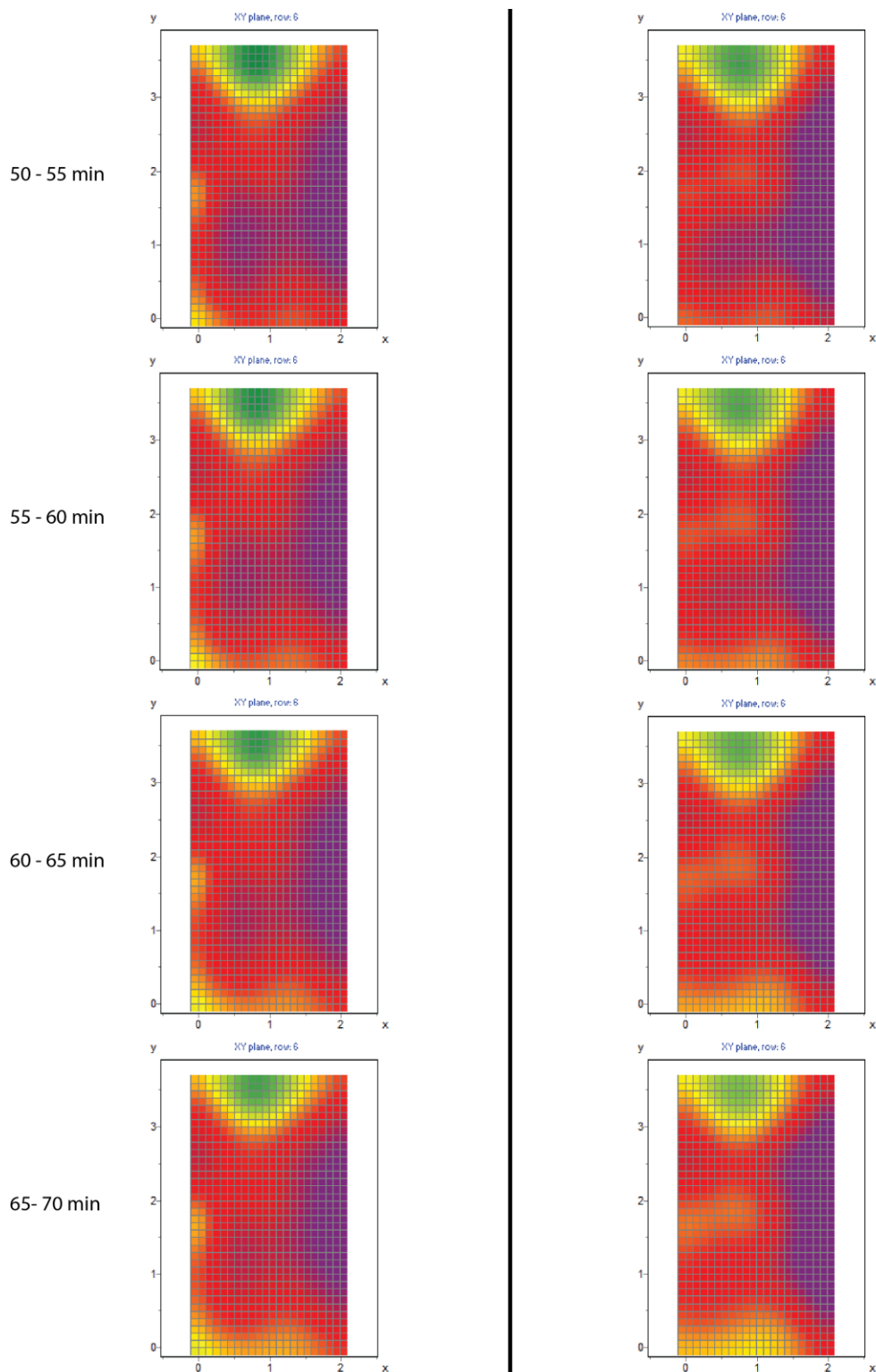
**Slika 27** 2D tlocrtni presjeci el. otpornosti na površini (dubina 0 m) u intervalu mjerenja (150 – 170 min). Lijevi stupac test 2105, desni stupac 2205. Početak puštanja trasera u 10-toj minuti. Smanjenje el. otpornosti zbog utjecaja trasera prikazano je plavim i zelenim bojama.



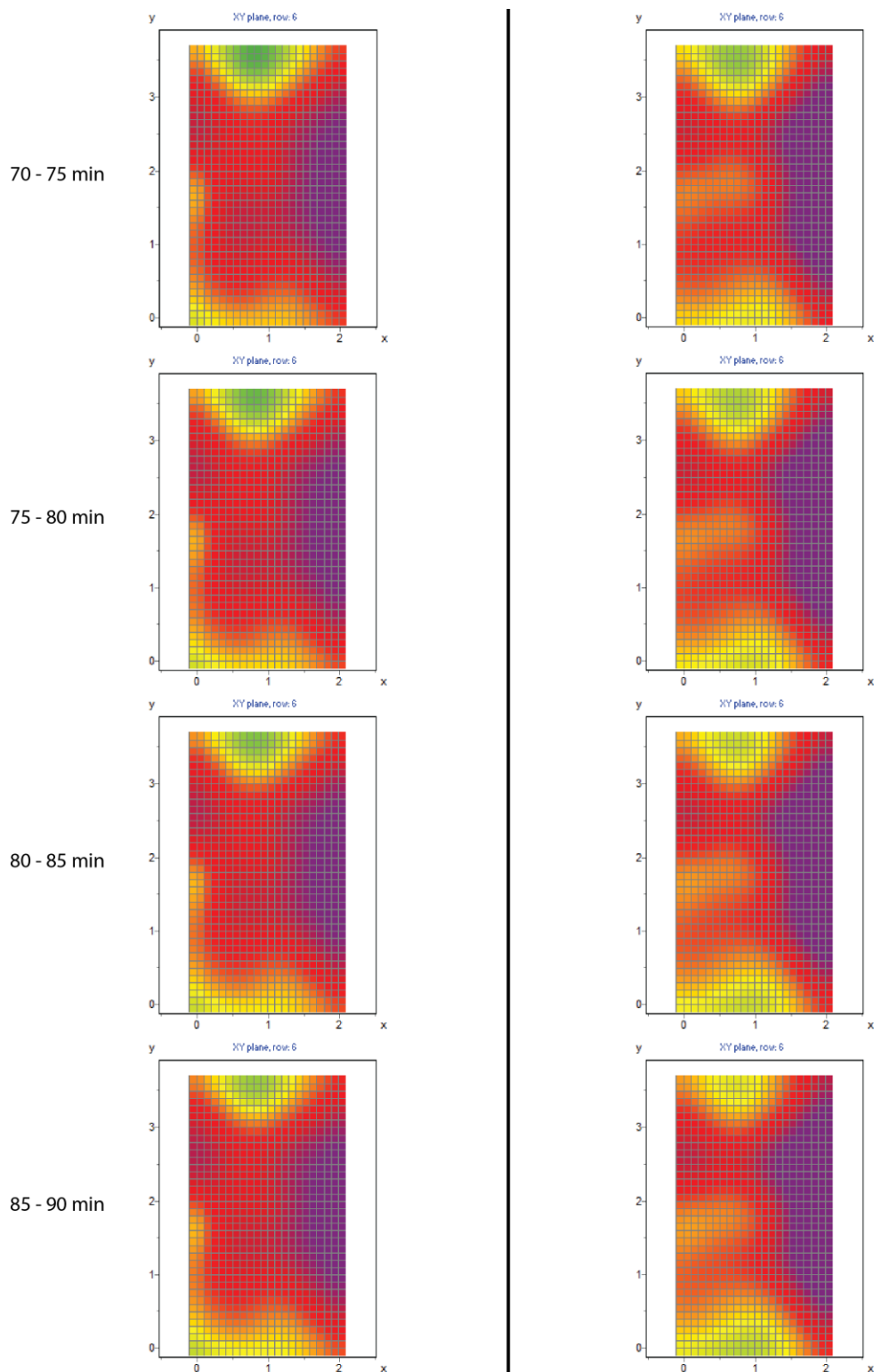
**Slika 28** 2D tlocrtni presjeci el. otpornosti na površini (dubina 0.5 m) u intervalu mjerenja (10 – 30 min). Lijevi stupac test 2105, desni stupac 2205. Početak puštanja trasera u 10-toj minuti. Smanjenje el. otpornosti zbog utjecaja trasera prikazano je plavim i zelenim bojama.



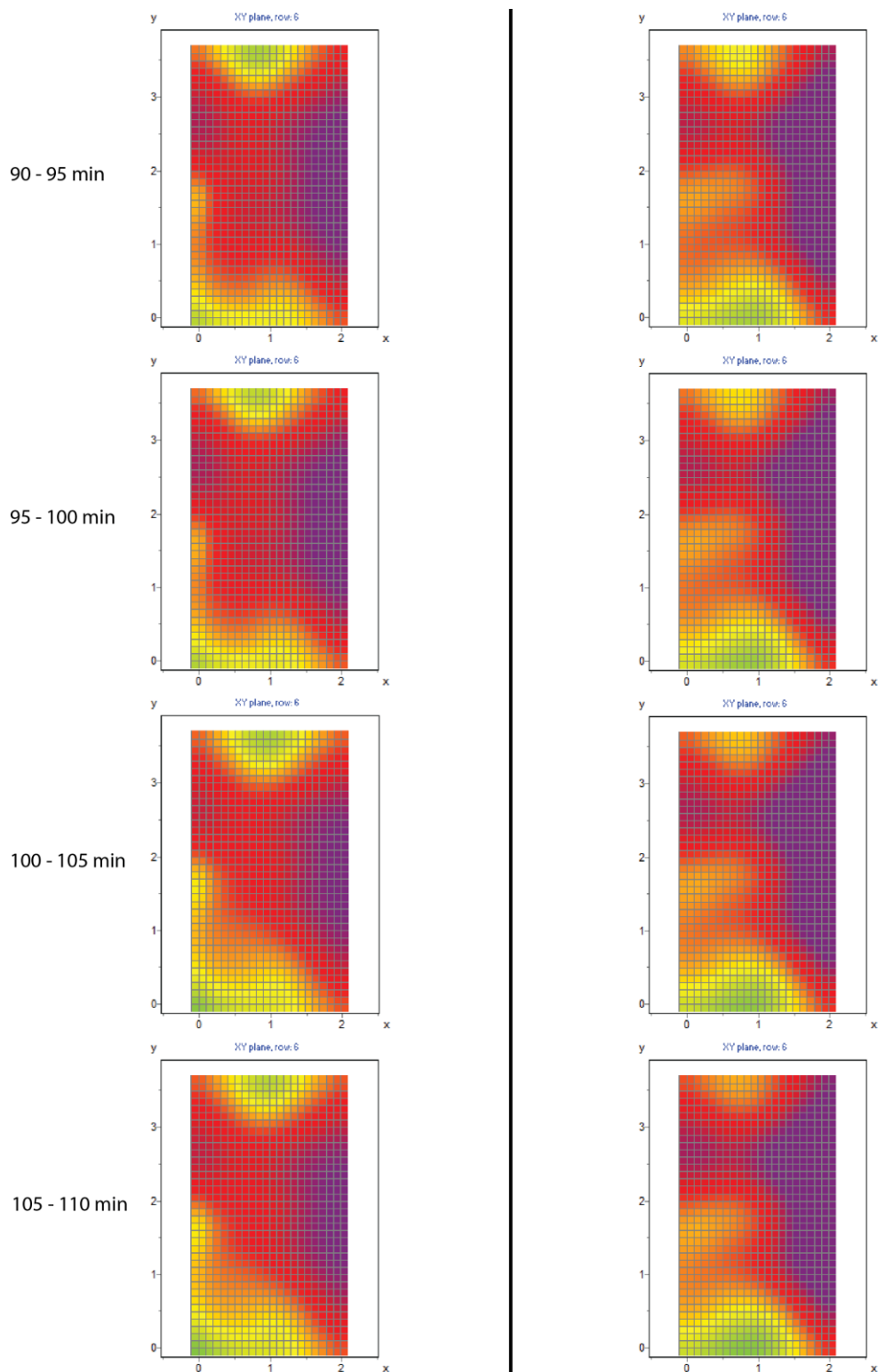
**Slika 29** 2D tlocrtni presjeci el. otpornosti na površini (dubina 0.5 m) u intervalu mjerenja (30 – 50 min). Lijevi stupac test 2105, desni stupac 2205. Početak puštanja trasera u 10-toj minuti. Smanjenje el. otpornosti zbog utjecaja trasera prikazano je plavim i zelenim bojama.



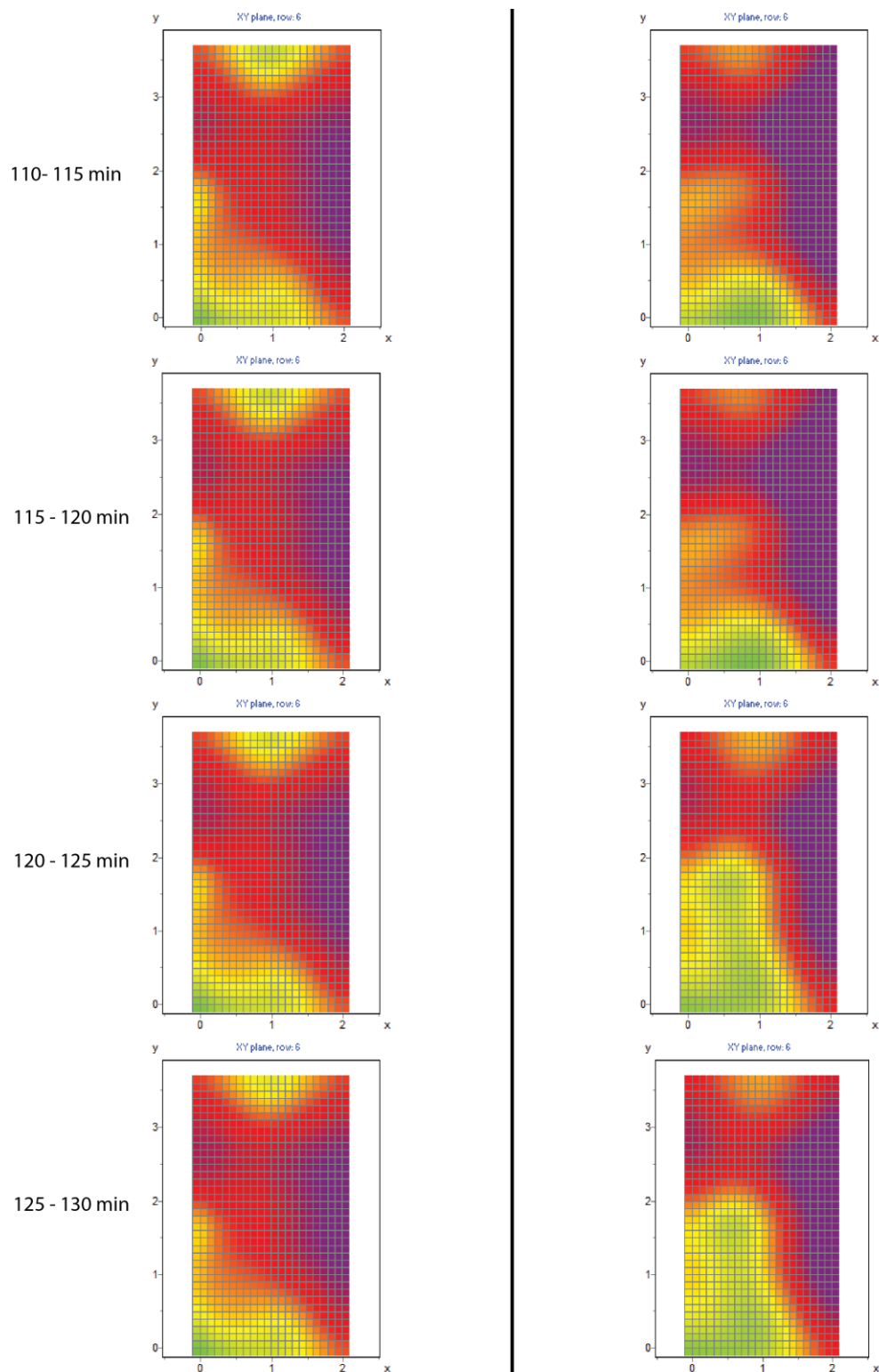
**Slika 30** 2D tlocrtni presjeci el. otpornosti na površini (dubina 0.5 m) u intervalu mjerenja (50 – 70 min). Lijevi stupac test 2105, desni stupac 2205. Početak puštanja trasera u 10-toj minuti. Smanjenje el. otpornosti zbog utjecaja trasera prikazano je plavim i zelenim bojama.



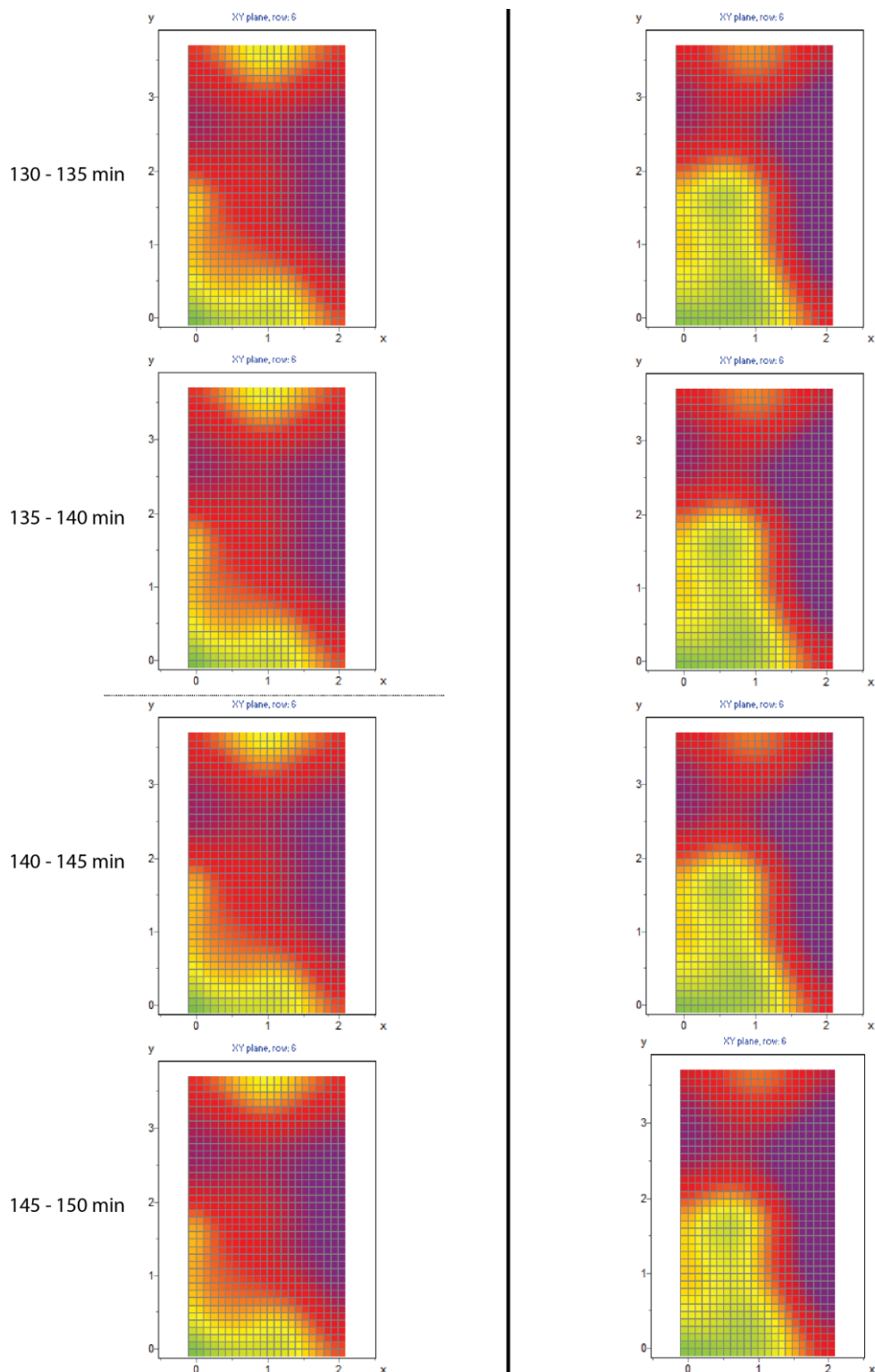
**Slika 31** 2D tlocrtni presjeci el. otpornosti na površini (dubina 0.5 m) u intervalu mjerenja (70 – 90 min). Lijevi stupac test 2105, desni stupac 2205. Početak puštanja trasera u 10-toj minuti. Smanjenje el. otpornosti zbog utjecaja trasera prikazano je plavim i zelenim bojama.



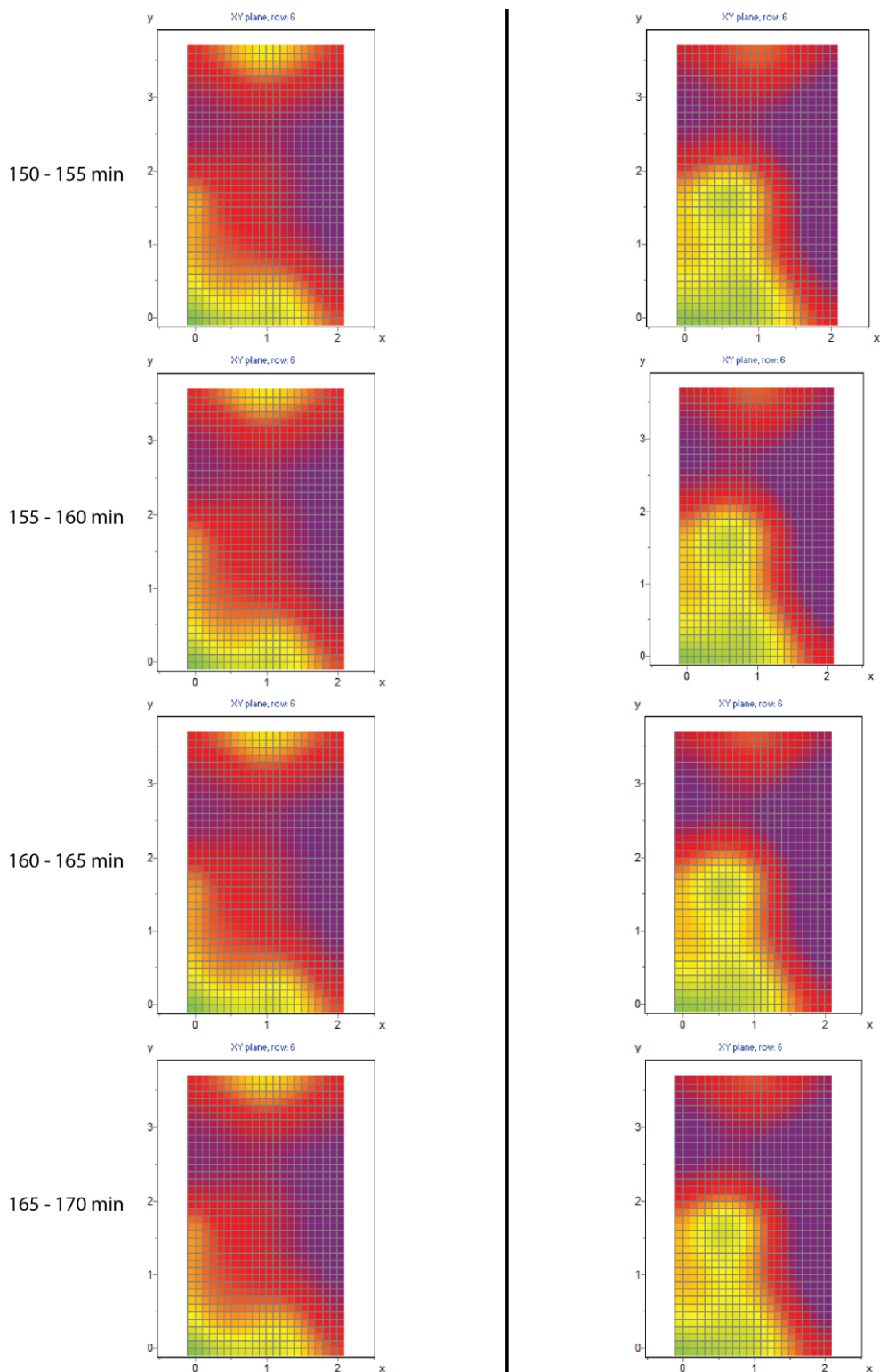
**Slika 32** 2D tlocrtni presjeci el. otpornosti na površini (dubina 0.5 m) u intervalu mjerenja (90 – 110 min). Lijevi stupac test 2105, desni stupac 2205. Početak puštanja trasera u 10-toj minuti. Smanjenje el. otpornosti zbog utjecaja trasera prikazano je plavim i zelenim bojama.



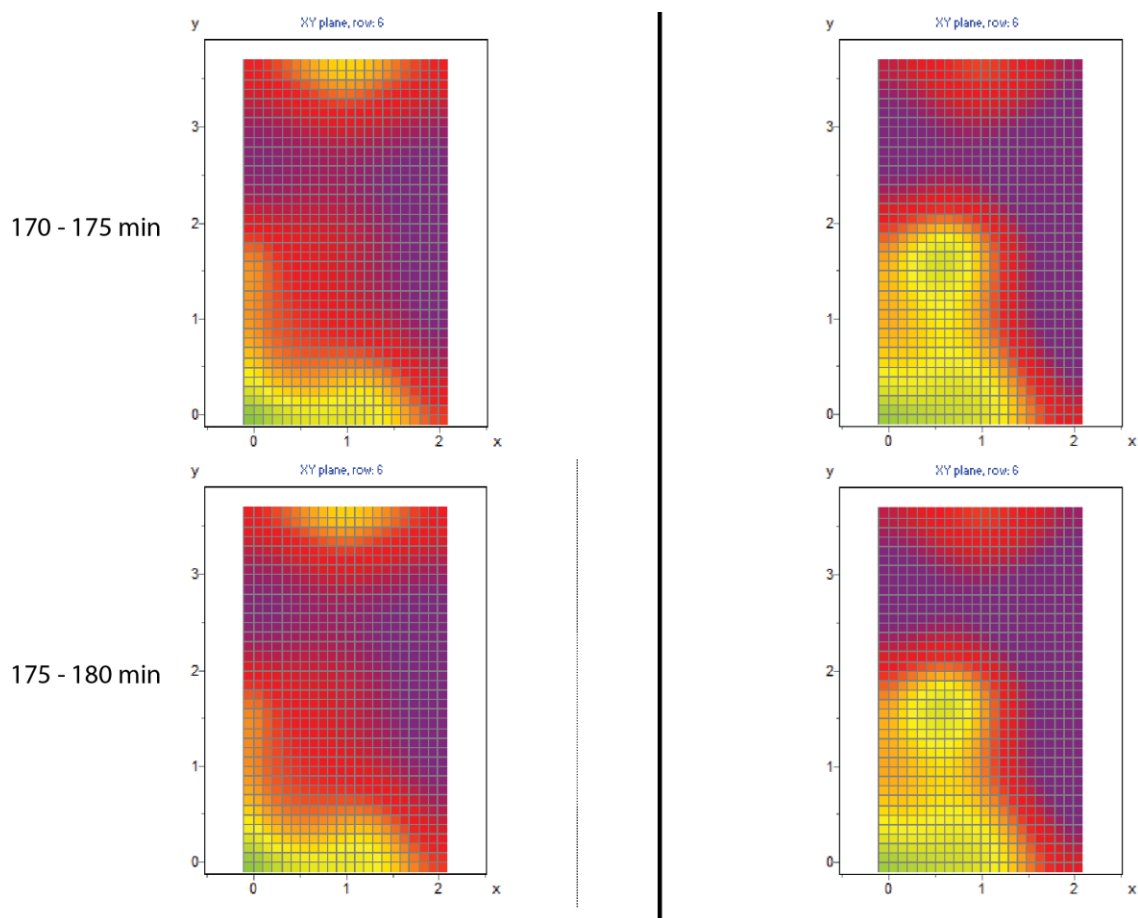
**Slika 33** 2D tlocrtni presjeci el. otpornosti na površini (dubina 0.5 m) u intervalu mjerenja (110 – 130 min). Lijevi stupac test 2105, desni stupac 2205. Početak puštanja trasera u 10-toj minuti. Smanjenje el. otpornosti zbog utjecaja trasera prikazano je plavim i zelenim bojama.



**Slika 34** 2D tlocrtni presjeci el. otpornosti na površini (dubina 0.5 m) u intervalu mjerenja (130 – 150 min). Lijevi stupac test 2105, desni stupac 2205. Početak puštanja trasera u 10-toj minuti. Smanjenje el. otpornosti zbog utjecaja trasera prikazano je plavim i zelenim bojama.



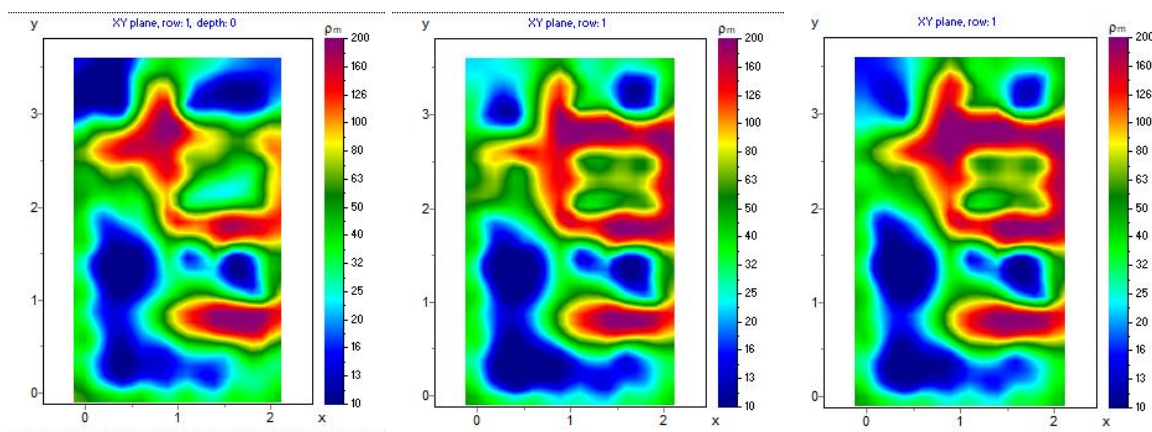
**Slika 35** 2D tlocrtni presjeci el. otpornosti na površini (dubina 0.5 m) u intervalu mjerenja (150 – 170 min). Lijevi stupac test 2105, desni stupac 2205. Početak puštanja trasera u 10-toj minuti. Smanjenje el. otpornosti zbog utjecaja trasera prikazano je plavim i zelenim bojama.



**Slika 36** 2D tlocrtni presjeci el. otpornosti na površini (dubina 0.5 m) u intervalu mjerenja (170 – 180 min). Lijevi stupac test 2105, desni stupac 2205. Početak puštanja trasera u 10-toj minuti. Smanjenje el. otpornosti zbog utjecaja trasera prikazano je plavim i zelenim bojama.

## REZULTATI TESTA 2305:

Mjerenja za test 2305 učinjena su s ukupno 42 postavljene elektrode, pri čemu su umjesto zabijenih čeličnih šipki, kao elektrode korištene čelične pločice dimenzija 10 x 10 cm. Na taj način struja je injektirana pri samoj površini bazena (par centimetara dubine). Rezultati se značajno razlikuju u odnosu na testove 2105 i 2205 te testove iz prethodnih kampanja. U prethodnim mjerenjima zamijećeno je da je važno elektrode (šipke) zabiti dovoljno duboko da se probile prvi sloj kvarcnog pijeska kako bi se ostvario dobar električni kontakt elektrode i neposredne okoline. Postavljene pločice bile su unutar površinskog sloja kvarcnog pijeska. Navedeni način mjerenja nije omogućio praćenje toka trasera kako je to bilo moguće u prethodnim testovima. Za vrijeme puštanja trasera očito je osjetljivost svih postavljenih elektroda bila nedovoljna kako bi se detektirao pouzdano njegov tok. Međutim, nakon filtriranja dobivenih mjerenja i izbacivanja uočenih pogrešaka u mjerenjima, dobiveni su usporedivi rezultati za mjerenja kada se očekuje prestanak značajnijeg djelovanja trasera, npr. kasnije od jedan i po sat nakon puštanja. Tri takva rezultata prikazana su u obliku 2D tlocrtnih presjeka za tzv. dubinu od 0 m. S obzirom da su pločice bile postavljene pri površini, a da se prva mjerenja odnose na dubinu od oko 0.5 m, može se pretpostaviti da se ovi tlocrti odnose na prostor između površine i dubine od pola metra. Zone povećane otpornosti (crvena boja, iznad 100 Ohm m) pravilnog su oblika te postoji mogućnost da se odnose na postavljene instalacije u bazenu, a što je potrebno utvrditi usporedbom s nacrtima instalacija.



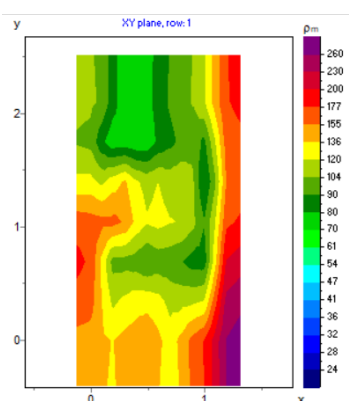
**Slika 35** Test 2305: tlocrtni prikazi na dubini 0 m, za vremena 128, 160 i 184 minuta nakon početka ubacivanja trasera.

#### KAMPANJA 4:

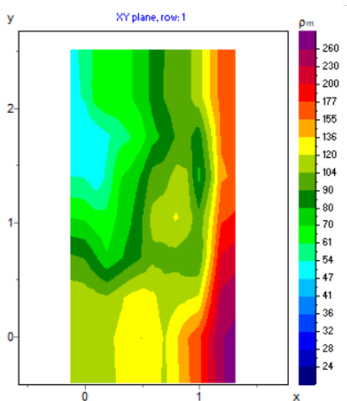
U nastavku su prikazani karakteristični rezultati za testove C1, C2 i C3. Na slikama koje slijede prikazani su modeli električne otpornosti za karakteristična vremena u prva dva do tri sata mjerenja. Svi rezultati mjerenja prikazani su u digitalnom modelu.

#### TEST C1 – dubina „0m“ (2D presjeci električne otpornosti u XY ravnini):

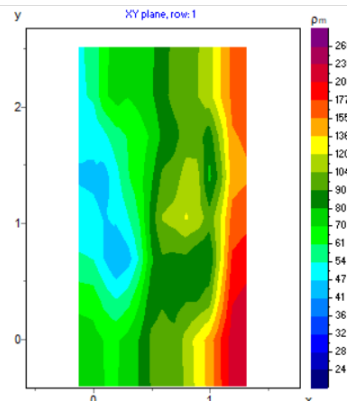
**5-10 min**



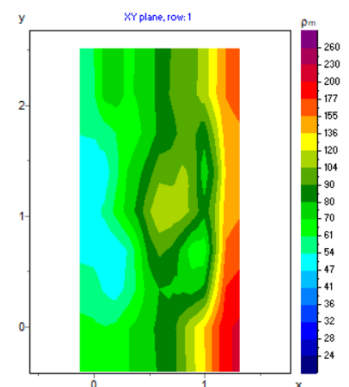
**20-25 min**



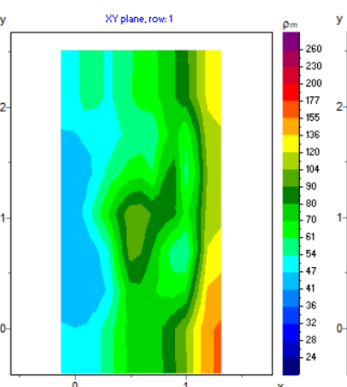
**35-40 min**



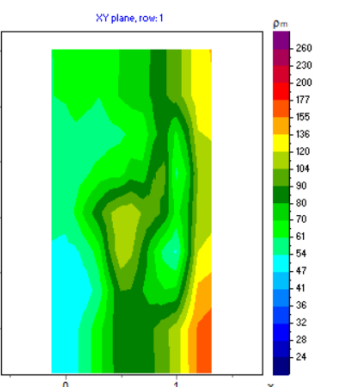
**50-55 min**



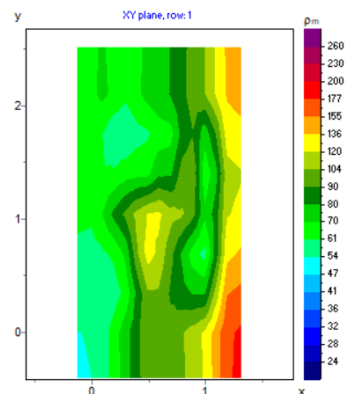
**65-70 min**



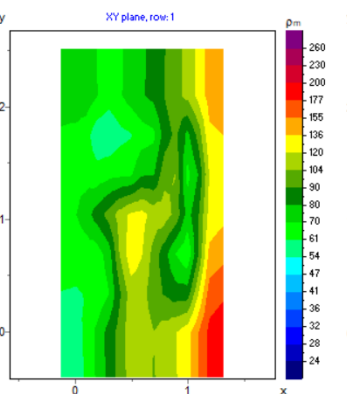
**80-85 min**



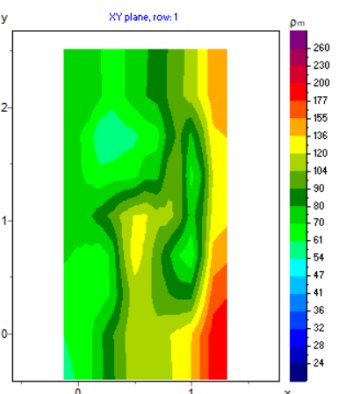
**95-100 min**



**110-115 min**



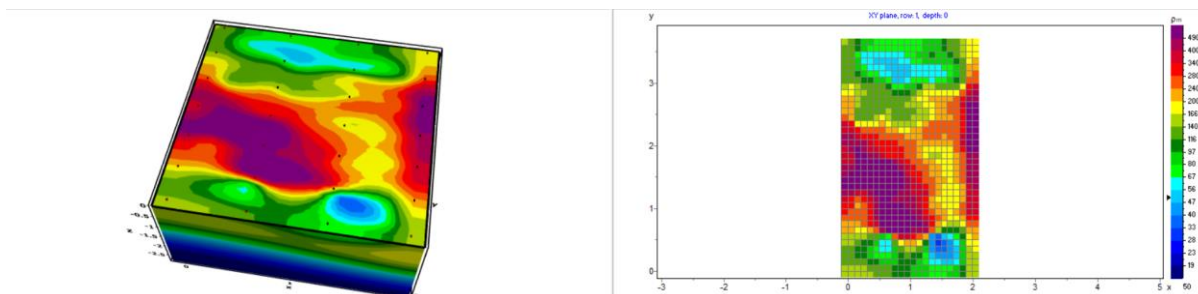
**125-130 min**



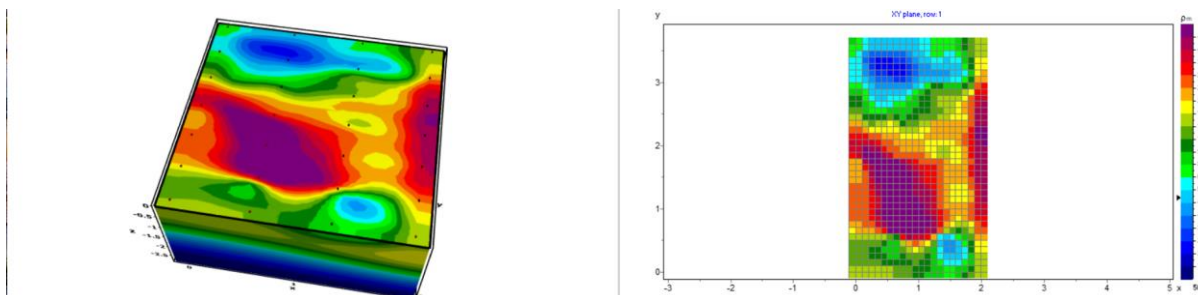
## TEST C2:

U lijevom stupcu prikazani su 3D modeli, a u desnom tlocrtni, 2D, presjeci u XY ravnini. Prikazani su rezultati za dubinu 0 m i 0.5 m.

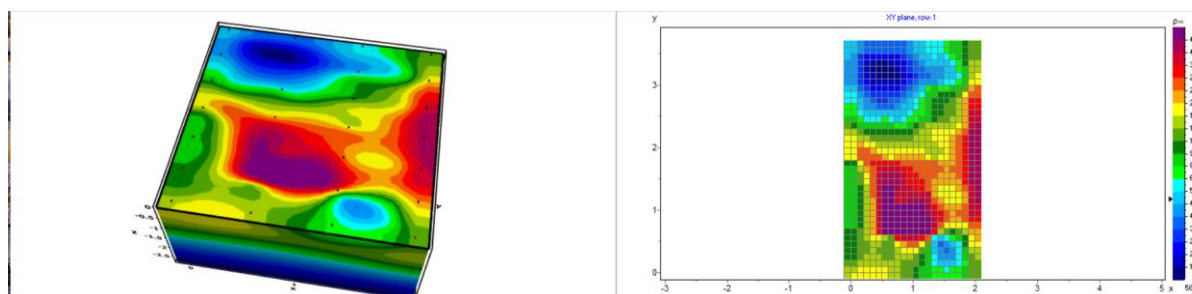
- 5-10 min



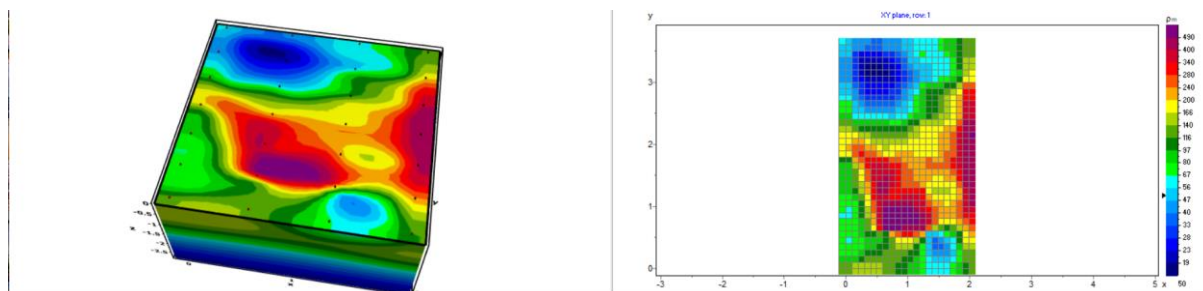
- 15-20 min



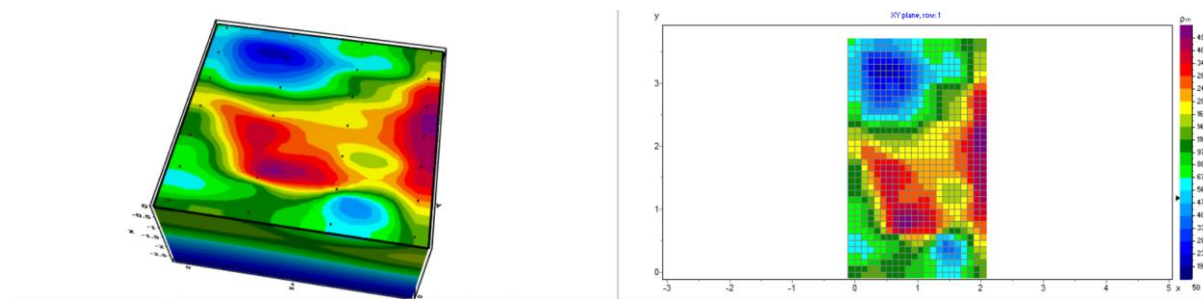
- 25-30 min



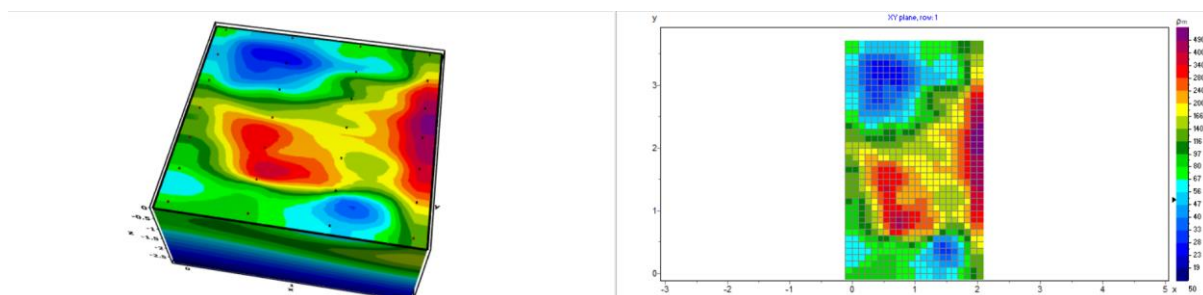
- 35-40 min



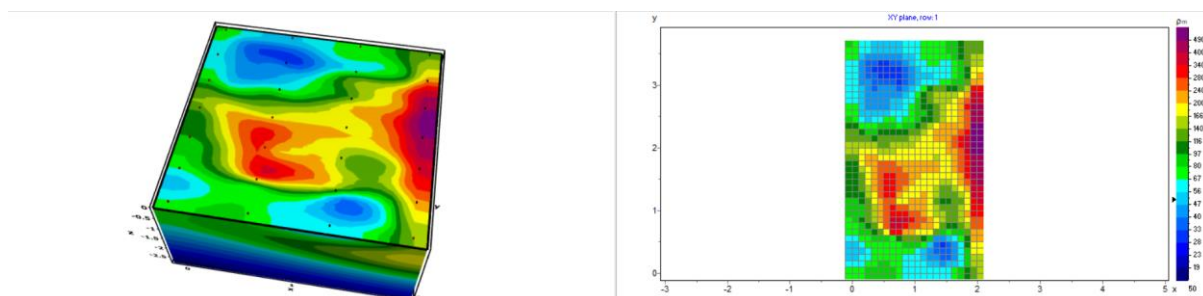
- 45-50 min



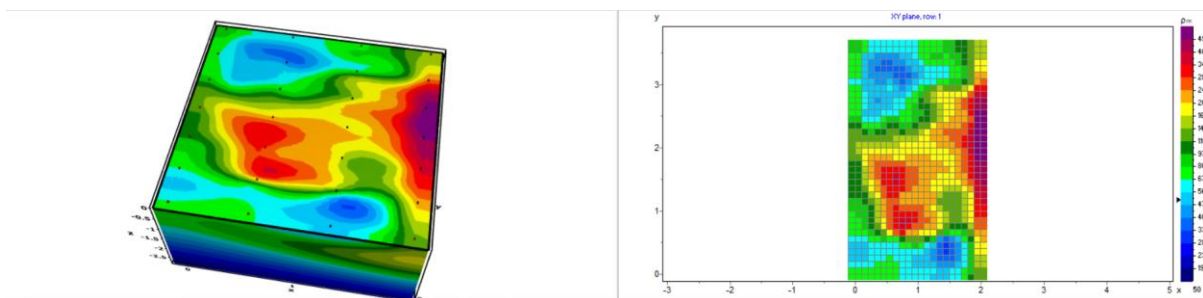
- 60-65 min



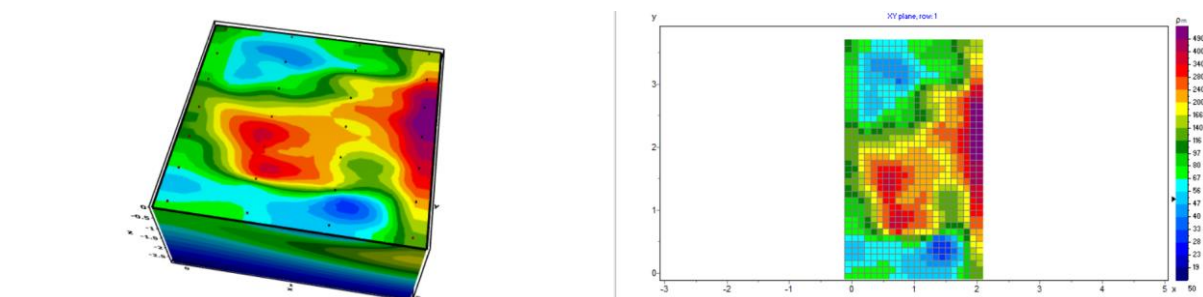
- 75-80 min



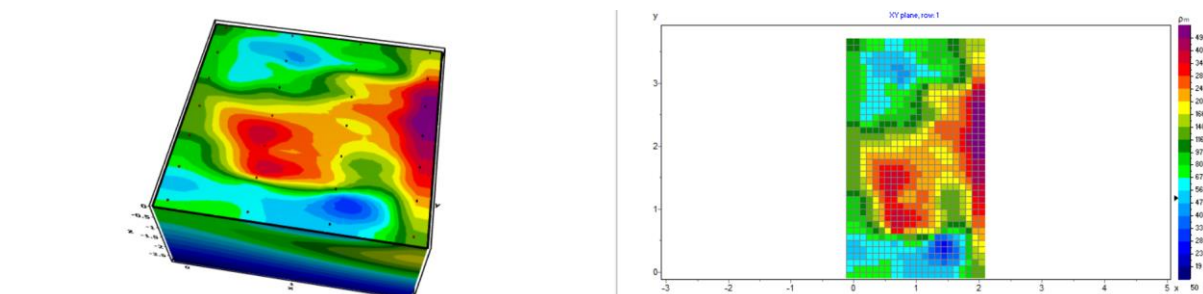
- 90-95 min



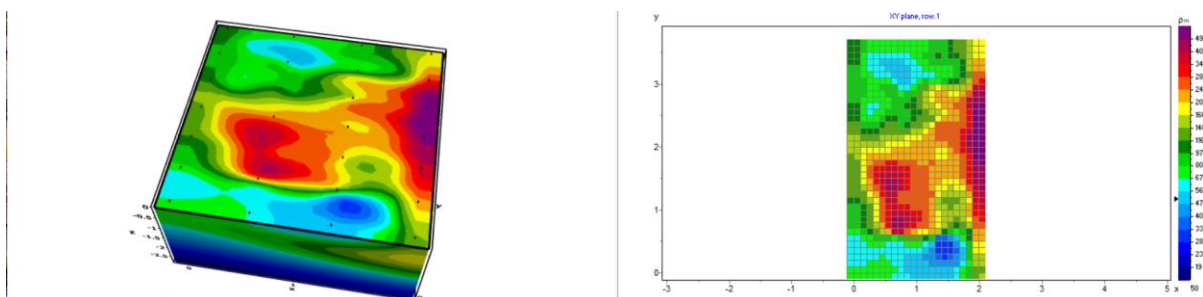
- 105-110 min



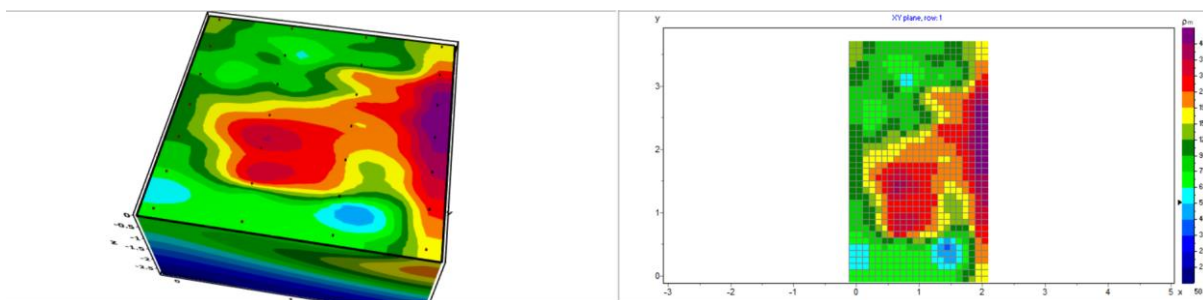
- 120-125 min



- 150-155 min

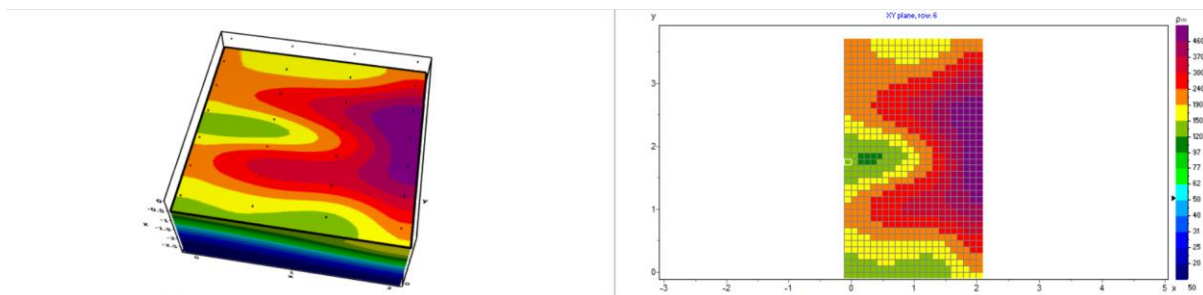


- 180-185 min

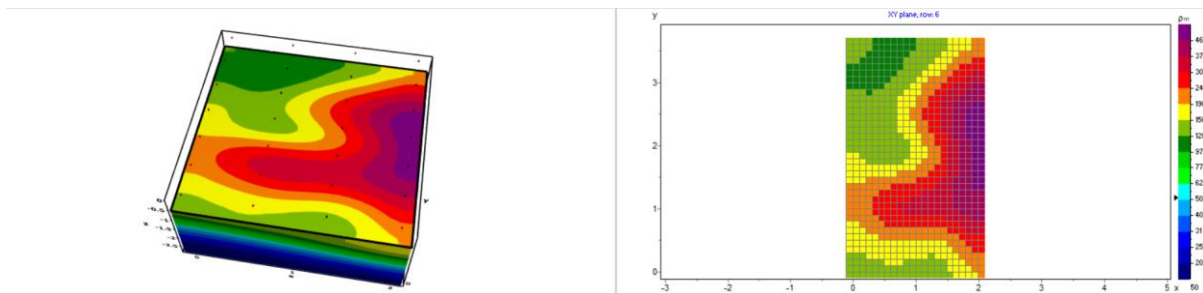


**TEST C2 – DUBINA 0.5 m:**

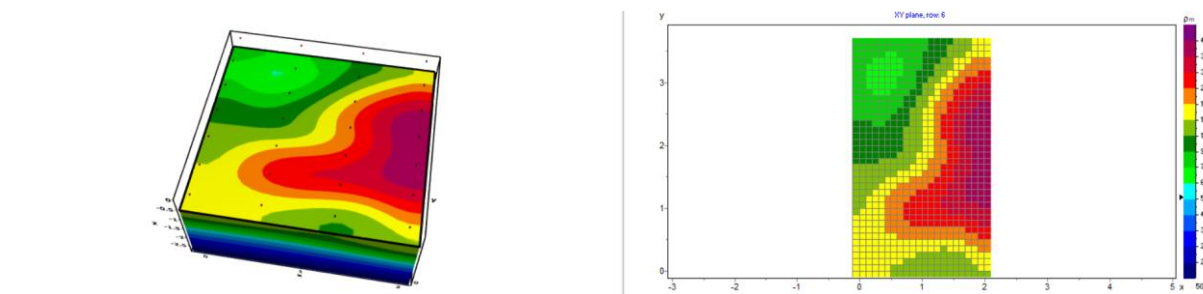
- 5-10 min



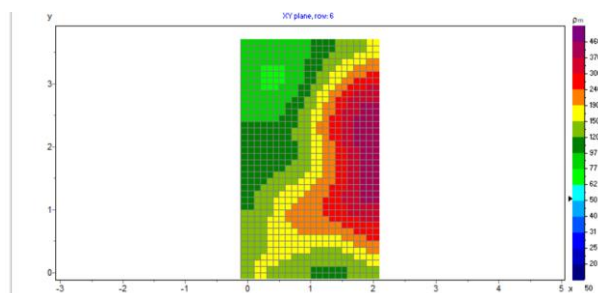
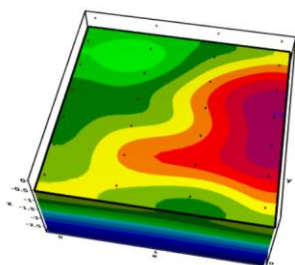
- 15-20 min



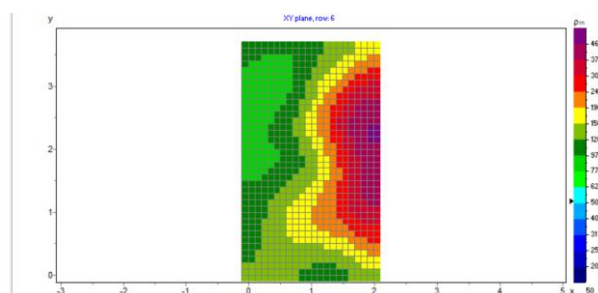
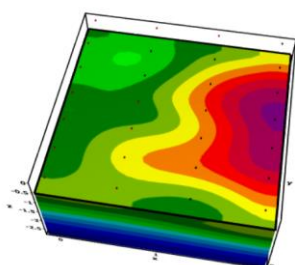
- 25-30 min



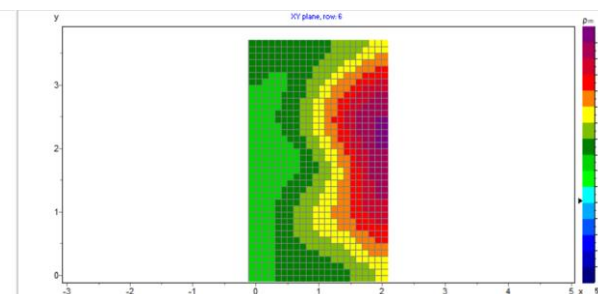
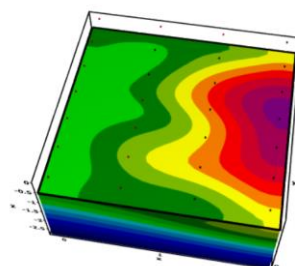
- 35-40 min



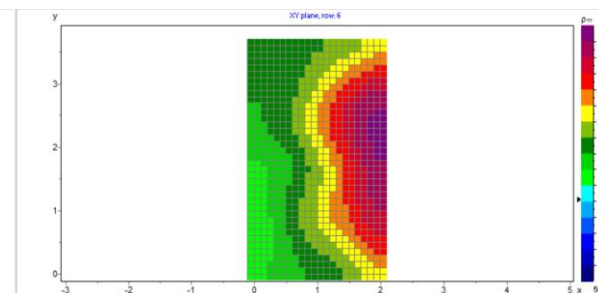
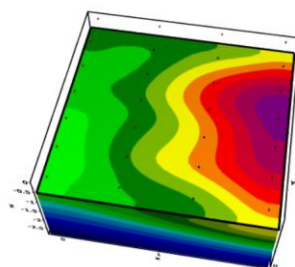
- 45-50 min



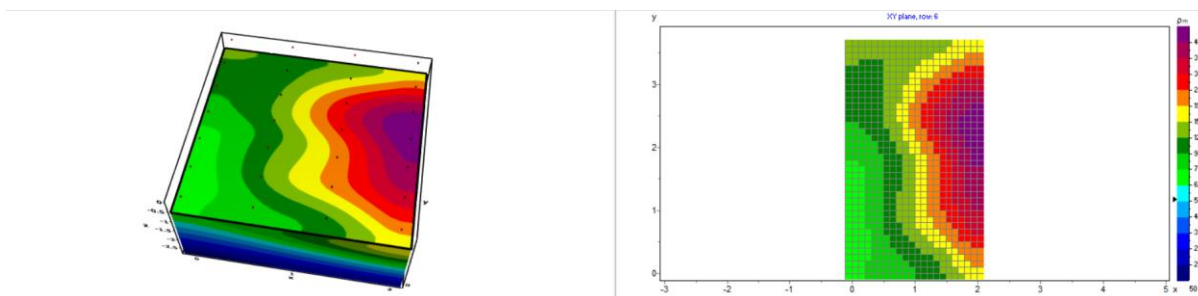
- 60-65 min



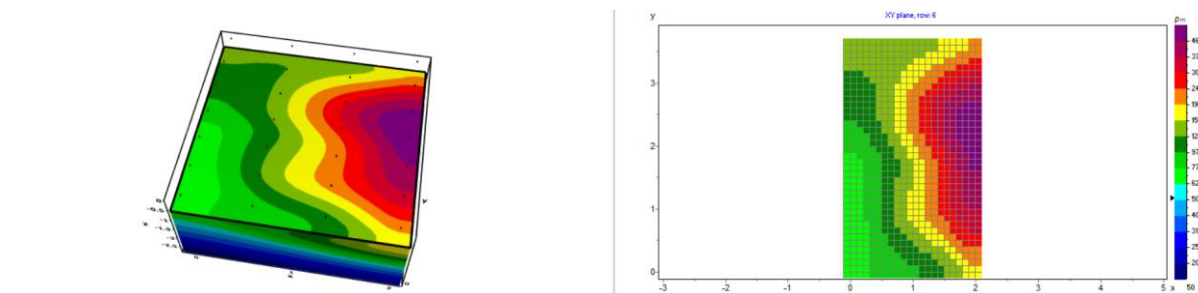
- 75-80 min



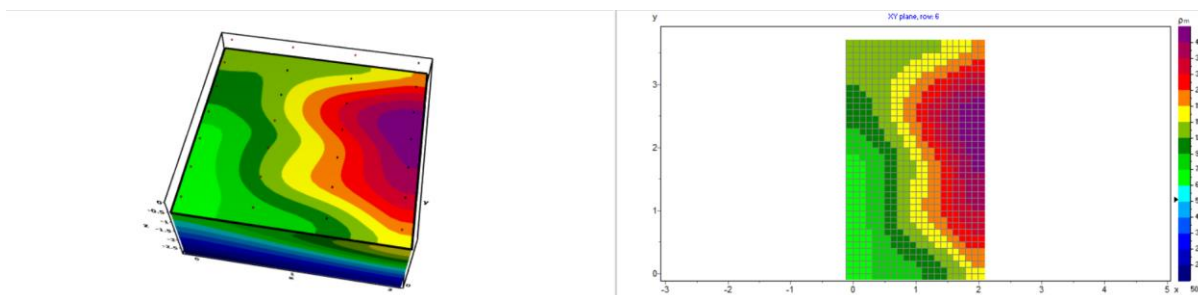
- 90-95 min



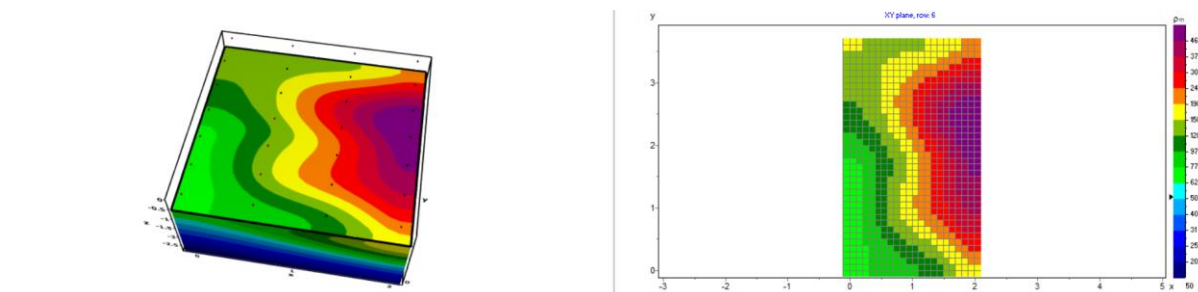
- 105-110 min



- 120-125 min



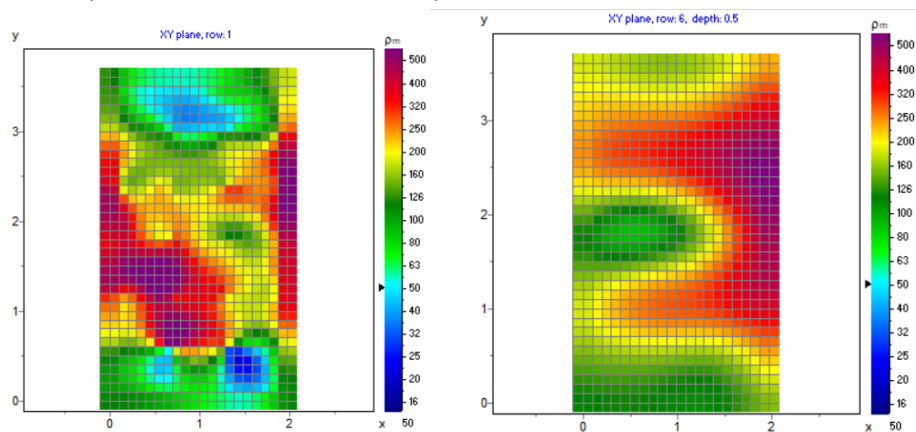
- 150-155 min



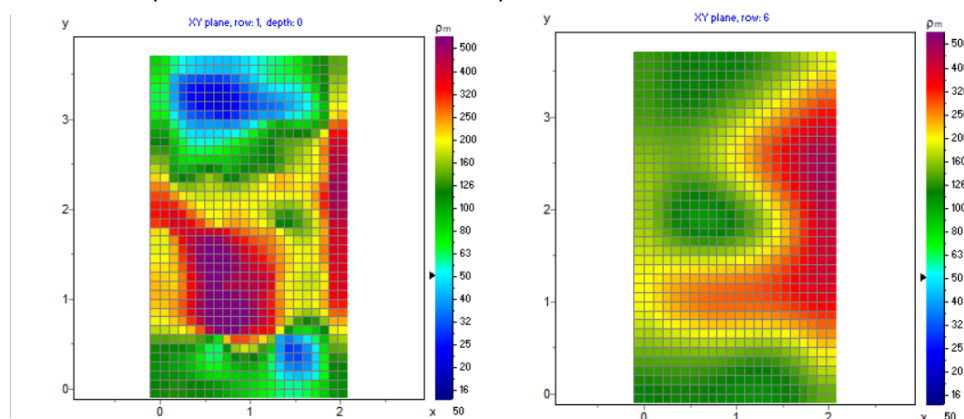
### TEST C3:

Usporedno su prikazani 2D presjeci električne otpornosti za dvije karakteristične dubine.

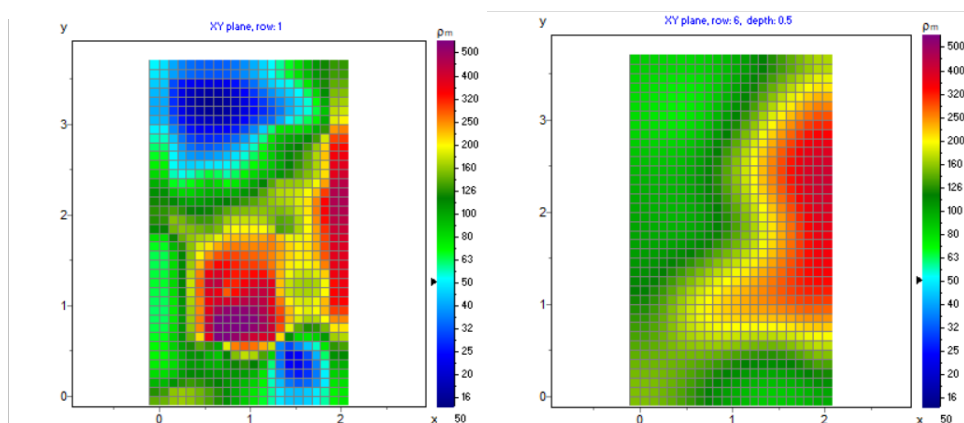
- 5-10 min (dubina 0 m i dubina 0.5 m)



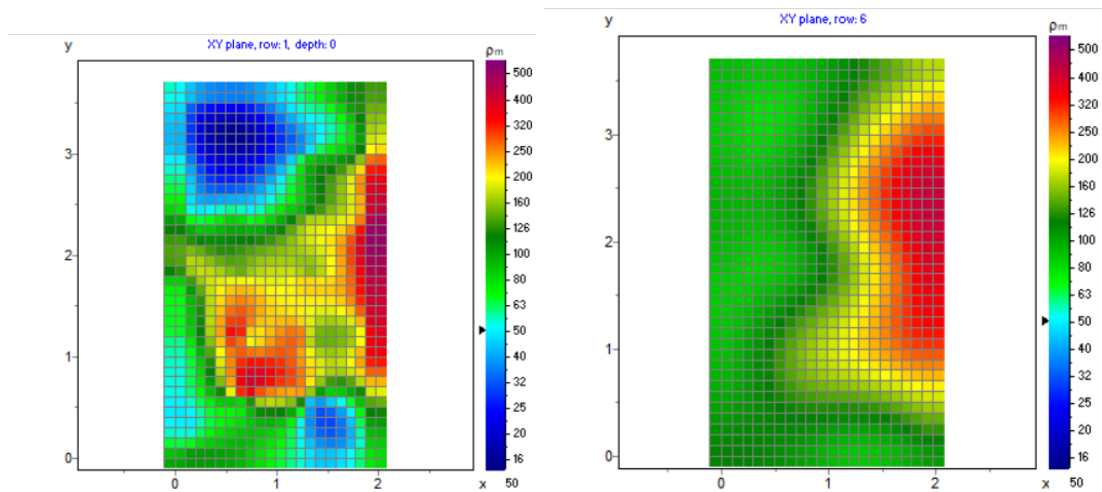
- 15-20 min (dubina 0 m i dubina 0.5 m)



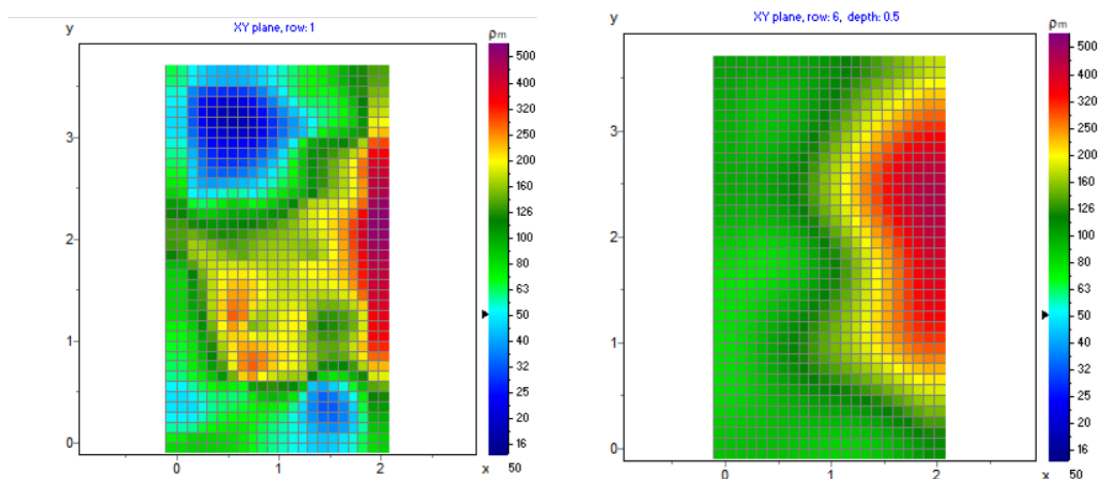
- 25-30 min (dubina 0 m i dubina 0.5 m)



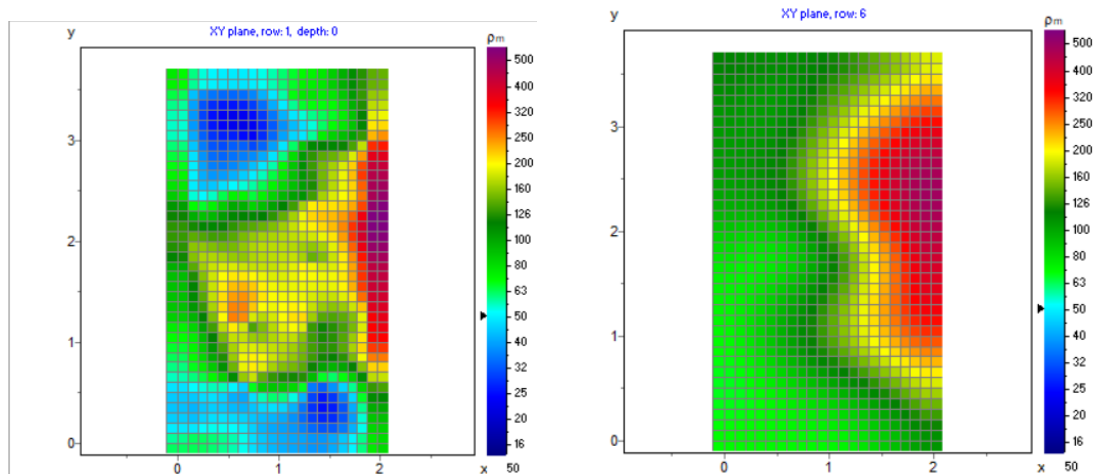
- 35-40 min (dubina 0 m i dubina 0.5 m)



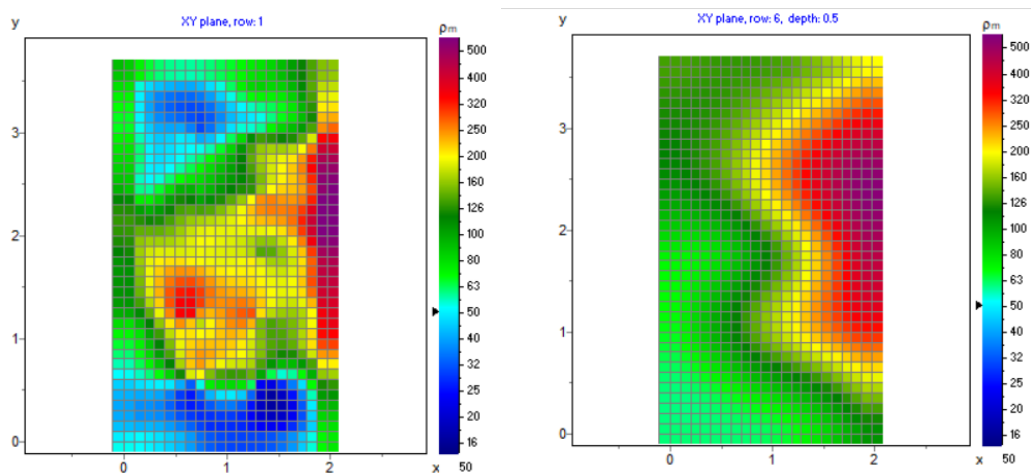
- 45-50 min (dubina 0 m i dubina 0.5 m)



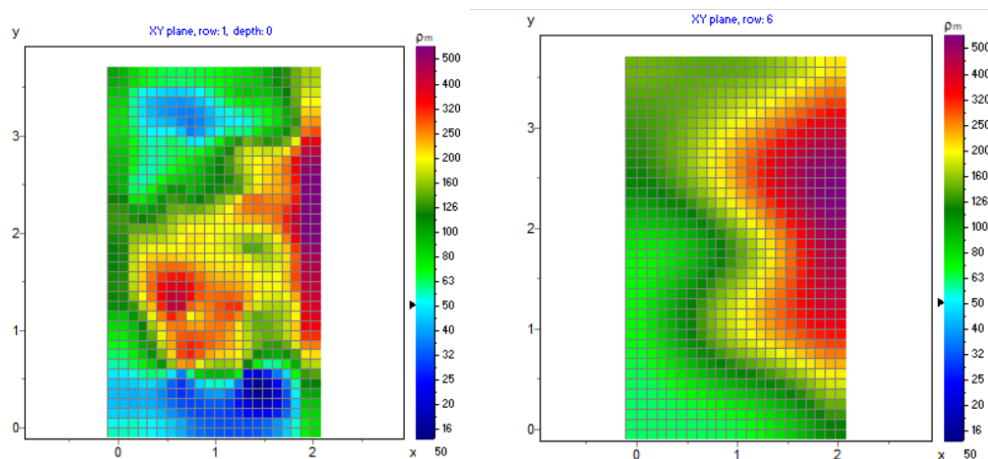
- 60-65 min (dubina 0 m i dubina 0.5 m)



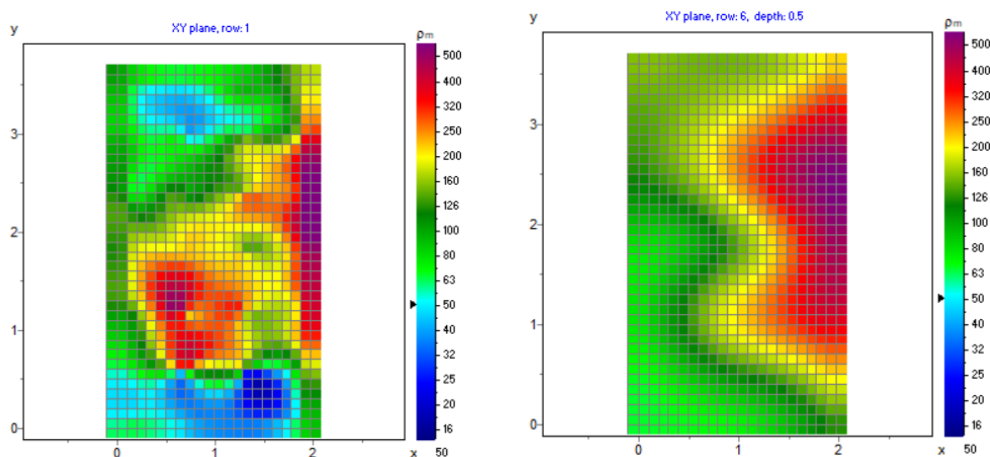
- 90-95 min (dubina 0 m i dubina 0.5 m)



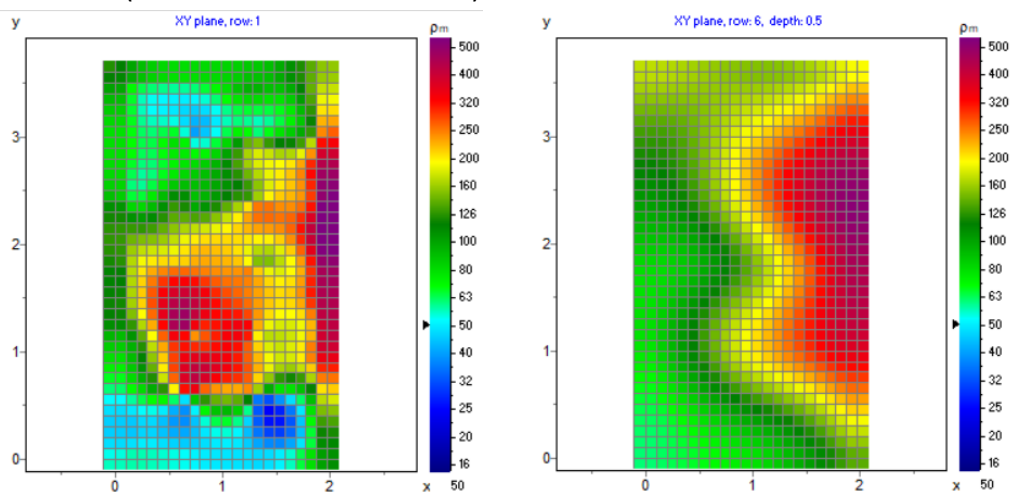
- 120-125 min (dubina 0 m i dubina 0.5 m)



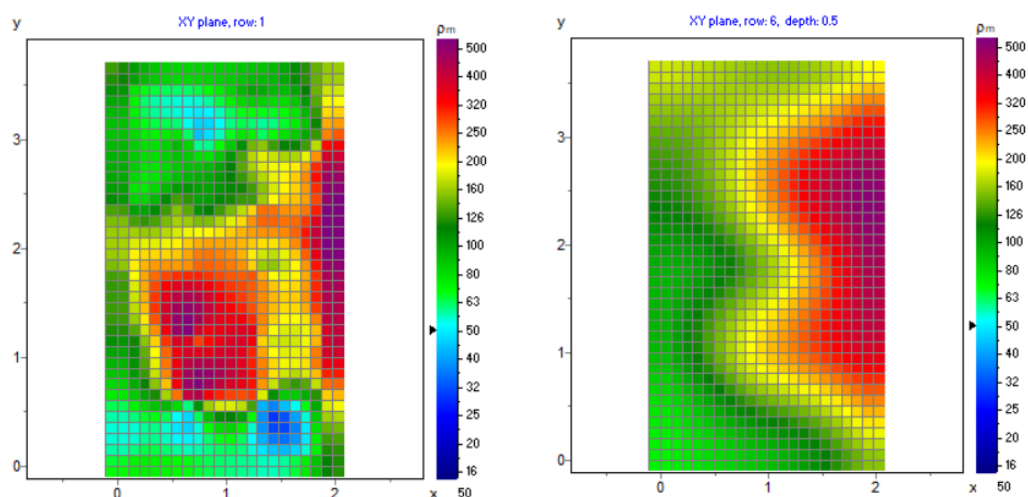
- 150-155 min (dubina 0 m i dubina 0.5 m)



- 180-185 min (dubina 0 m i dubina 0.5 m)



- 240-245 min (dubina 0 m i dubina 0.5 m)



## 5 ZAKLJUČAK

U sklopu projekta „Implementacijom suvremene znanstveno-istraživačke infrastrukture na FGAG do pametne specijalizacije u zelenoj i energetski učinkovitoj gradnji (KK.01.1.1.02.0027)“, a u suradnji s Fakultetom građevinarstva, arhitekture i geodezije, Sveučilište u Splitu, izvedena su mjerenja metodom tomografije električne otpornosti.

3D mjerenja metodom geoelektrične tomografije izvedena su na poligonu (bazenu) dimenzija 4x2x2 metra pol-pol geometrijskim rasporedom.

Mjerenja su izvođena u dvije kampanje. U prvoj i drugoj su izvedena po tri testa.

Mjerenja su obrađena inverznim modeliranjem te su dobiveni 3D modeli električne otpornosti. Nadalje, izračunate su razlike dobivenih modela tijekom puštanja trasera u odnosu na početna, nulta mjerenja bez prisustva trasera.

Rezultati 3D mjerenja dani su, kao sastavni dio ovog izvještaja, u nizu slika kao 3D modeli prikaza vrijednosti električnih otpornosti po dubini te 2D presjeci na karakterističnim dubinama. U digitalnom obliku prikazani su svi 3D volumeni.

Dodatno, učinjeni su video prikazi promjene električne otpornosti tijekom trajanja testova te video prikazi izračunatih razlika električnih otpornosti između nultog i trenutnog mjerenja.

Na oba načina prikaza može se dinamički pratiti područje promjene (smanjenja) električne otpornosti uzrokovano ubacivanjem trasera (slane vode).

## 6 LITERATURA

- Loke, M. H. (2011). Electrical resistivity surveys and data interpretation. In *Encyclopedia of Solid Earth Geophysics* (pp. 276-283).
- Loke, M. H., & Barker, R. D. (1995). Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudosections. *Geophysics*, 60(6), 1682-1690.
- Loke, M. H., & Dahlin, T. (2002). A comparison of the Gauss - Newton and quasi - Newton methods in resistivity imaging inversion. *Journal of Applied Geophysics*, 49, 149-162.
- Loke, M. H., Acworth, I., & Dahlin, T. (2003). A comparison of smooth and blocky inversion methods in 2D electrical imaging surveys. *Exploration Geophysics*, 34, 182-187.
- Loke, M. H., Chambers, E. J., & Kuras, O. (2011). Instrumentation, electrical resistivity. In *Solid Earth Geophysics Encyclopedia* (pp. 599-604). Berlin: Springer.
- Loke, M. H., (2002). Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys.