Uzemljenje ograde elektroenergetskog postrojenja

Bijelić, Davor

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:470074

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA

Sveučilišni studij

UZEMLJENJE OGRADE ELEKTROENERGETSKOG POSTROJENJA

Diplomski rad

Davor Bijelić

Osijek, 2018.

1. UVOD 1
1.1. Zadatak diplomskog rada 1
2. OPĆENITO O UZEMLJENJU 2
2.1. Napon dodira 3
2.2. Napon koraka 5
2.3. Iznošenje potencijala 6
2.4. Uzemljenje ograde 7
2.4.1. Analiza napona dodira ograde 7
2.4.2. Mjere za smanjenje napona dodira ograde elektroenergetskog postrojenja 14
3.SIMULACIJA UTJECAJA RAZLIČITIH NAČINA UZEMLJENJA OGRADE TRAFOSTANICE 110/35/10 KV I RAZLIČITIH MODELA TLA U PROGRAMU CDEGS 18
3.1. CDEGS (eng. Current Distribution, Elekctromagnetic Fileds, Grounding and Soil Structure Analysis) softver 18
3.2. Uzemljivač trafostanice 110/35/10 kV 19
3.3. Uzemljivač ograde galvanski spojen sa glavnim uzemljivačem trafostanice 110/35/10 kV za uniformno tlo 21
3.3. Uzemljivač ograde galvanski spojen sa glavnim uzemljivačem trafostanice 110/35/10 kV za dvoslojno tlo 28
3.5. Uzemljivač ograde galvanski odvojen od glavnog uzemljivača trafostanice 110/35/10 kV 39
4. ANALIZA I USPOREDBA REZULTATA SIMULACIJA ZA TRI SLUČAJA 46
5. ZAKLJUČAK 49
LITERATURA 50
SAŽETAK 51
ABSTRACT 51
ŽIVOTOPIS 52

1. UVOD

U ovom radu prikazani su različiti načini uzemljenja ograde elektroenergetskog postrojenja i različiti modeli tla te njihov utjecaj na promjenu raspodjele potencijala zemljišta, napona dodira, napona koraka i otpora rasprostiranja uzemljivača.

U prvom poglavlju dan je teorijski uvod u uzemljenje, odnosno kakve vrste uzemljenja postoje, te kakve vrste uzemljivača se razlikuju prema obliku materijala i prema načinu izvođenja. Zatim su objašnjena dva najvažnija pojma koja osiguravaju čovjekovu zaštitu u elektroenergetskom postrojenju, a to su napon dodira i napon koraka. Obrađen je i problem iznošenja potencijala. Nakon toga, teorijski je obrađeno uzemljenje ograde za dva primjera kada je ograda uzemljena na glavni uzemljivač i kada je ograda neuzemljena. Nadalje obrađene su i najčešće mjere za smanjenje napona dodira ograde elektroenergetskog postrojenja.

U drugom poglavlju je prikazana realna trafostanica 110/35/10 kV čiji model je korišten u programskom paketu CDEGS te uz sve njene potrebne podatke prikazana rješenja za različite načine uzemljenja trafostanice 110/35/10 kV i različite modele tla.

U zadnjem poglavlju analizirana su tri slučaja koja se pojavljuju u radu i obrađena je usporedba rezultata simulacije.

1.1. Zadatak diplomskog rada

U diplomskom radu potrebno je teorijski opisati načine uzemljenja ograde elektroenergetskog postrojenja te mjere za smanjenje dodirnog napona ograde. Nadalje, potrebno je modelirati uzemljivački sustav elektroenergetskog postrojenja te analizirati napone dodira i koraka uz ogradu postrojenja.

2. OPĆENITO O UZEMLJENJU

Pod pojmom uzemljenje podrazumijeva se ostvarivanje veze između metalnih uzemljenih dijelova elektroenergetskog postrojenja koja iz bilo kojeg razloga mogu biti pod naponom i zemlje pomoću uzemljivača. Uzemljenje se sastoji od uzemljivača i zemljovoda. Uzemljivači su vodiči koji su položeni u zemlju i oni ostvaruju galvanski spoj između uzemljenih dijelova i zemlje. Zemljovod služi za povezivanje dijela postrojenja koje treba uzemljiti s uzemljivačem [1].

Obzirom na ulogu u pogonu uzemljenja razlikujemo četiri osnovne vrste uzemljenja:

- pogonsko (radno) uzemljenje
- zaštitno uzemljenje
- gromobransko uzemljenje
- združeno uzemljenje [2].

U pogonsko uzemljenje ubrajamo uzemljenje nultočke preko transformatora, kruto ili neposredno uzemljenje zvjezdišta, uzemljenje zvjezdišta preko otpora, reaktancije ili impedancije i uzemljenje nultog vodiča niskonaponske mreže. Kod ovog uzemljenja karakteristično je to da je jedna točka postrojenja koja pripada strujnom krugu spojena sa zemljom pa je tako strujni krug galvanski spojen sa zemljom [2].

Kod zaštitnog uzemljenja karakteristično je to da je točka postrojenja koja ne pripada strujnom krugu spojena sa zemljom pa strujni krug nije galvanski spojen sa zemljom, ali ne može se izbjeći takva veza ukoliko dođe do kvara na izolaciji [2].

Gromobransko uzemljenje služi za odvođenje struje munje u zemlju, odnosno struje nastale atmosferskim pražnjenjima, spajajući gromobransku instalaciju s gromobranskim uzemljivačem [2].

Pod pojmom združeno uzemljenje podrazumjeva se udruživanje dvaju ili više vrsta uzemljenja na jedan uzemljivač, na primjer zaštitinog i pogonskog uzemljenja ili pogonskog, zaštitnog i gromobranskog uzemljenja [2].

Uzemljivači su izrađeni od bakra, pocinčanog čelika ili različitih kombinacija spomenutih materijala, međusobno ili s drugim materijalima. Prema obliku materijala uzemljivače dijelimo na:

- mrežne uzemljivače
- trakaste uzemljivače
- pločaste uzemljivače
- prstenaste uzemljivače
- štapne uzemljivače
- polukuglaste uzemljivače
- sastavljene uzemljivače [3].

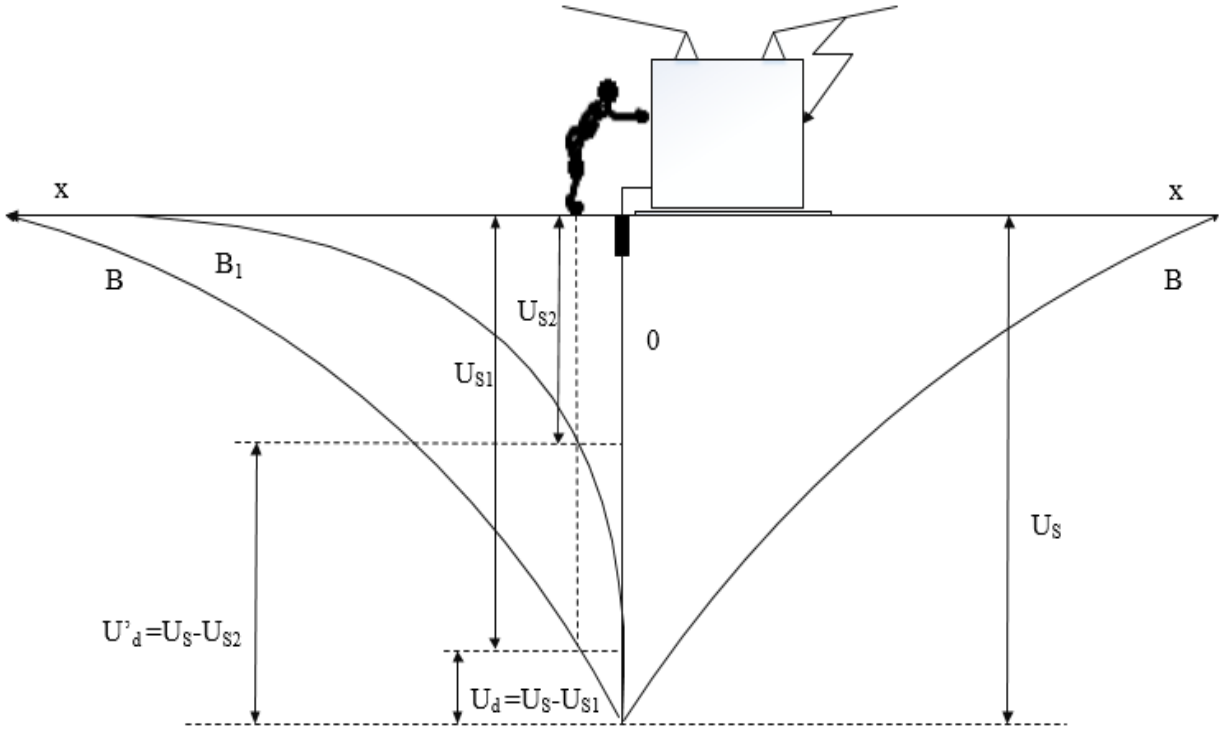
Prema načinu izvođenja uzemljivače dijelimo na:

- horizontalne uzemljivače
- vertikalne uzemljivače
- kose uzemljivače [3].

Uzemljenje izvodimo najprije zbog sigurnosti živih bića, zatim da bi se osigurao ispravan rad elektroenergetskog postrojenja, te da se pruži sigurnost čovjeka zbog napona koji se pojavljuju u uzemljivačkom sustavu pri najvećim strujama zemljospoja. Kako bi osigurali čovjekovu zaštitu najvažniji pojmovi su napon dodira i napon koraka koji moraju biti unutar dozvoljenih vrijednosti pri bilo kojem poremećaju u elektroenergetskom sustavu [2].

2.1. Napon dodira

Raspodjela potencijala oko uzemljivača elektroenergetskog postrojenja (Slika 1.) prikazuje se pomoću krivulje B ili preko strmije krivulje B_1. Što je veća udaljenost od uzemljivača potencijal je manji [2].



Slika 2.1. Dodirni napon i raspodjela potencijala oko uzemljivača[2]

Kada bi čovjek stajao na udaljenosti jedan metar od zaštićenog električnog uređaja, te rukom dodirivao taj uređaj kroz čiji uzemljivač u tom trenutku teče struja, razlika potencijala kojom bi on bio zahvaćen iznosila bi:

$$U_d = U_S - U_{S1}$$

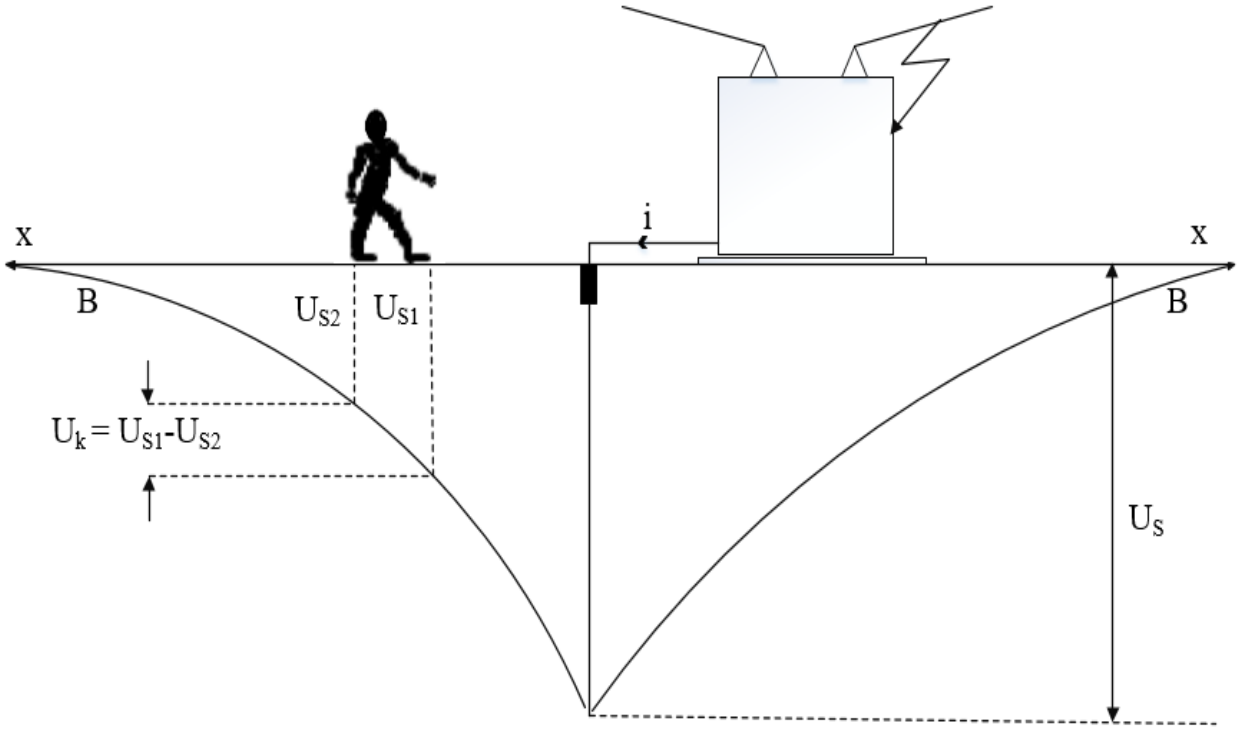
ukoliko je raspodjela potencijala prema krivulji B. Ta razlika potencijala može biti opasna po čovjeka i za napon koraka i za dodirni napon. Ukoliko nam je krivulja još strmija kao što je slučaj za krivulju B_1 dodirni napon bio bi još veći nego u prethodnom slučaju i iznosi:

$$U'_d = U_S - U_{S2}$$

2.2. Napon koraka

Za zaštitu čovjeka postavljamo još jedan zahtjev za uzemljivače, a to je da svojim oblikom i konstrukcijom smanjuju razliku potencijala koja se pojavljuje između čovjekovih nogu kada on prolazi po površini tla u vrijeme kvara. Ta razlika potencijala na površini zemlje između dva stopala naziva se napon koraka (Slika 2.2.). Ukoliko je raspodjela potencijala prikazana pomoću krivulje B, na potencijalu U_{S1} je čovjekova lijeva noga, a na potencijalu U_{S2} čovjekova desna noga, razlika potencijala na kojom se čovjek nalazi iznosi:

$$U_k = U_{S1} - U_{S2}$$



Slika 2.2. Napon koraka i raspodjela potencijala oko uzemljivača [2]

Može se zamijetiti da je napon koraka veći što je čovjek bliže uzemljivaču zbog raspodjele potencijala, jer što je bliže uzemljivaču to je razlika potencijala veća, a samim time i napon koraka je veći [2].

Napon dodira i napon koraka ovise o više faktora: otporu uzemljenja, struji koja teče kroz zemlju i krivulji raspodjele potencijala. Stoga napon dodira i napon koraka, ukoliko su iznad dozvoljene vrijednosti, smanjuju se ako se smanji otpor uzemljenja i tada je raspodjela potencijala manje strma. Otpor uzemljenja nije uvijek lako smanjiti jer on ovisi i o strukturi zemljišta u koje su ukopani uzemljivači [2].

2.3. Iznošenje potencijala

Iznošenje potencijala predstavlja jedan od problema kojeg uzrokuje struja jednopolnog kratkog spoja u elektroenergetskom sustavu. Može se reći da je to potencijal uzemljivačkog sustava koji nastaje zbog struje prema zemlji, te se preko vodiča prenosi u područje manjeg ili nikakvog potencijala prema referentnoj zemlji. Zbog toga dolazi do razlike potencijala između vodiča i okoline [4].

Prilikom kvara unutar postrojenja može doći do pojave iznošenja potencijala izvan područja uzemljivača. To se ostvaruje pomoću vodiča kao što su :

- komunikacijski i signalni krugovi
- željeznički kolosijeci
- niskonaponski neutralni vodiči
- prijenosna oprema koja se napaja iz postrojenja
- cjevovodi
- pomoćne zgrade
- metalne ograde
- vodovne instalacije [4].

Tu se uglavnom javlja problem zbog previsokog napona dodira. Moguće su vrlo visoke razlike potencijala, zbog čega problem postaje još ozbiljniji. Razlike potencijala zbog iznesenog potencijala mogu biti istog iznosa ili čak premašiti iznos napona uzemljivača jer inducirani napon na cjevovodima, neutralnim vodičima, i sl. može izneseni potencijal dići na napon iznad napona uzemljivača. Zbog nepraktičnosti i nemogućnosti dimenzioniranja uzemljivača takvog da napon dodira uzrokovan iznošenjem potencijala bude unutar dozvoljene vrijednosti, ovaj problem se

rješava na drugi način. Najčešći načini za rješavanje ove pojave jesu primjene postupaka izoliranja i jasno označavanje opasnosti na takvim dijelovima kao da se radi o golim vodičima [4].

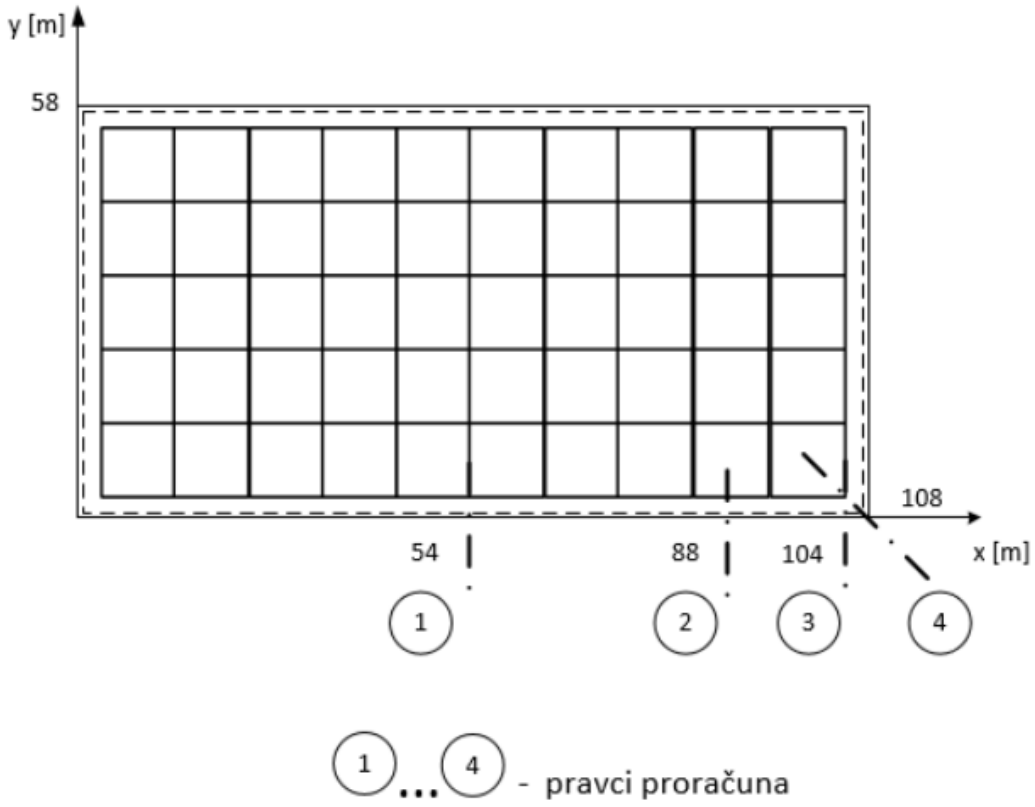
2.4. Uzemljenje ograde

Ograda može biti uzemljena na dva načina u praksi. Prvi način je da je galvanski odvojena od glavnog uzemljivača i spojena na vlastiti uzemljivač, a drugi da je spojena na glavni uzemljivač. Ukoliko je ograda galvanski odvojena od glavnog uzemljivača tada se postiže smanjenje potencijala ograde i dobivaju se manji potencijalni lijevci u blizini ograde, zbog čega dolazi do smanjenja napona dodira. Kada je ograda spojena na glavni uzemljivač također se mogu postići dovoljno niski naponi dodira ovisno o konfiguraciji uzemljivača i razdiobi potencijala [2][5][6]. No, u ovom slučaju promatrat će se opcije kada je ograda uzemljena preko glavnog uzemljivača i kada je ograda neuzemljena. Proračun potencijala i napona dodira se izvodi prema metodi srednjih potencijala. Napon dodira se analizira i to na udaljenosti od 2 do 3 metra od ograde u smjeru okomitom od ograde, dok se napon koraka rjeđe analizira jer on ne predstavlja problem u većini slučajeva za razliku od napona dodira. Kako bi se uvidjela razlika utjecaja uzemljivača ograde na dodirni napon i potencijal također se analiziraju i naponi dodira neuzemljene ograde. Ova analiza se provodi kako bi se procijenilo gdje se mogu pojaviti opasni naponi dodira, odnosno na kojim bi mjestima bilo potrebno provesti mjere kako bi se smanjio napon dodira. Kako bi se pojednostavio proračun pretpostavlja se homogeno tlo, a zanemaruje se utjecaj otpora uzemljenja stupića i raspored tih uzemljivača na razdiobu potencijala. Ukoliko bi naponi dodira i naponi koraka bili iznad dozvoljenih vrijednosti tada bi se provodile potrebne mjere kao što je nasipanje tucanika na površinu, te primijeniti proračun napona dodira za dvoslojno tlo čija je otpornost gornjeg sloja znatno veća u odnosu na donji sloj [2][5][6][7].

2.4.1. Analiza napona dodira ograde

Pri analizi napona dodira ograde korišten je mrežasti uzemljivač 108 x 58 m čija površina odgovara uzemljivaču TS 110/X kV prema slici (Slika 2.3) gdje su prikazani i pravci proračuna potencijala na površini tla i u tlu za ove podatke [2]:

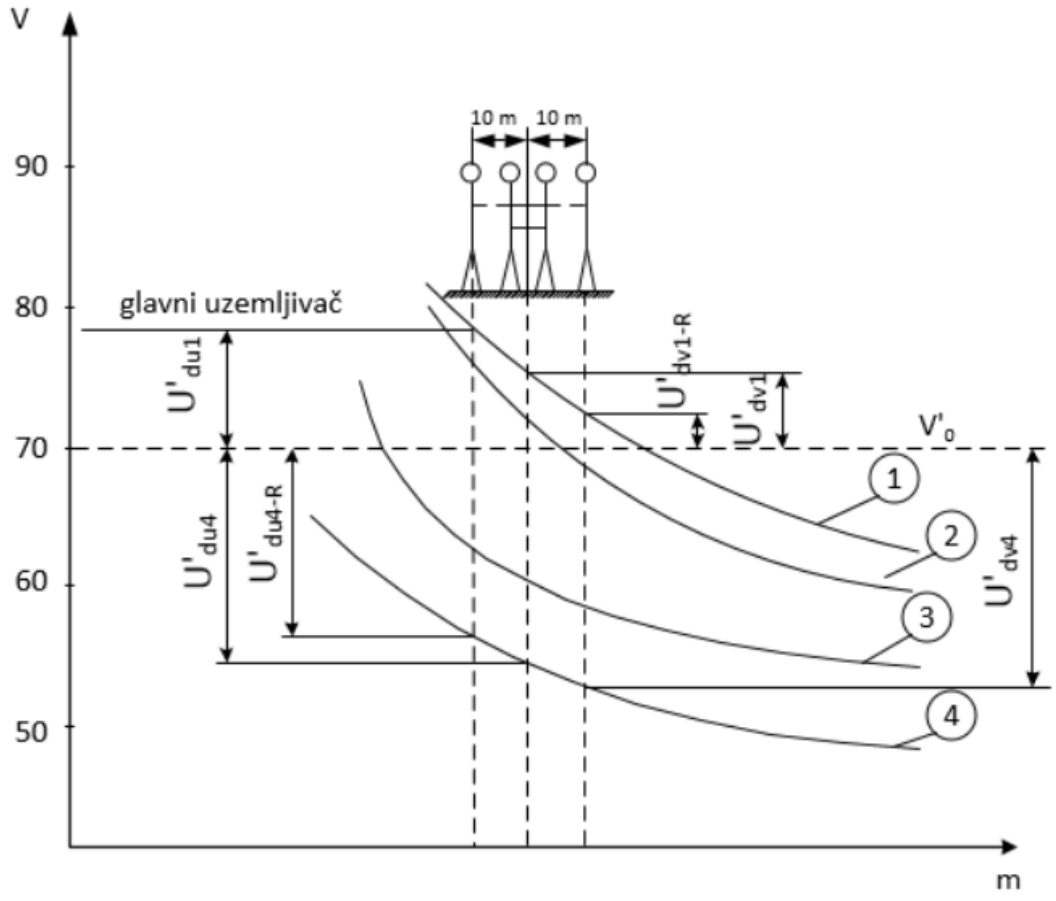
- otpornost tla $\rho_z = 100\ \Omega m$,
- struja jednofaznog kratkog spoja $I_z = 1000A$,
- vodič glavnog uzemljivača i vodič uzemljivača ograde: čelična pocinčana traka 30 x 4 mm,
- dubina ukopa trake glavnog uzemljivača h = 0.8 m,
- dubina ukopa trake uzemljivača ograde h = 0.5 m.



Slika 2.3. Promatrani mrežasti uzemljivač i pravci proračuna raspodjele potencijala [2]

Kada je ograda neuzemljena u slučaju jednofaznog kratkog spoja i zemljospoja točke tla koje su u blizini ograde dolaze na povišeni potencijal, a samim time i ograda zbog kontakta njezinih nosivih stupića s tlom. Ako su stupići uzemljeni onda svaki stupić poprima potencijal pripadajuće točke tla. Ukoliko se koriste uzemljivači kao što je ovaj primjer (Slika 2.3.), odnosno uzemljivače geometrijski pravilne tada su najniži potencijal točaka tla na rubovima (pravac 4), a najviši potencijali točaka tla na srednjim dijelovima ograde (pravac 1). Razlog tomu je što su na srednjim dijelovima ograde potencijalni lijevci najblaži, a na rubovima ograde su najstrmiji. Ograda

poprima konstantan potencijal zbog galvanske povezanosti čitavom svojom duljinom, te je njezina vrijednost između najmanjeg i najvećeg potencijala točaka tla ispod stupića, ali bez ograde. Vrijednost potencijala ograde ovisi o kakvoći dodira pojedinih stupića i rasporedu stupića. Kada je dodir svih stupića s tlom jednak tada ograda poprima prosječnu vrijednost potencijala pripadajućih točaka tla. Iz tog razloga ograda ima viši potencijal na rubovima, a niži na sredini ograde u odnosu na potencijal točaka tla izvan ograde. Tada se na srednjim dijelovima ograde pojavljuje negativni vanjski napon dodira (s područja višeg potencijala dodiruje se područje nižeg potencijala), a na rubovima ograde pojavljuje se pozitivni vanjski napon dodira (s područja nižeg potencijala dodirujemo područje višeg potencijala) [2].



Slika 2.4. Raspodjela potencijala i naponi dodira za četiri odabrana pravca na duljini od 20 m kada ograda nije uzemljena [2]

Na slici 2.4. prikazane su raspodjele potencijala za 4 odabrana pravca uz pripadajući napon dodira kada ograda nije uzemljena gdje je:

V'_0 – potencijal ograde koji za ovaj primjer iznosi 70 V

U'_{dv1} – napon dodira na vanjskom dijelu ograde po pravcu 1

U'_{du1} – napon dodira na unutarnjem dijelu ograde po pravcu 1

$U'_{dv1\text{-}R}$ – vanjski napon dodira na udaljenosti od 10 m po pravcu 1

U'_{du4} – napon dodira na unutarnjem dijelu ograde po pravcu 4

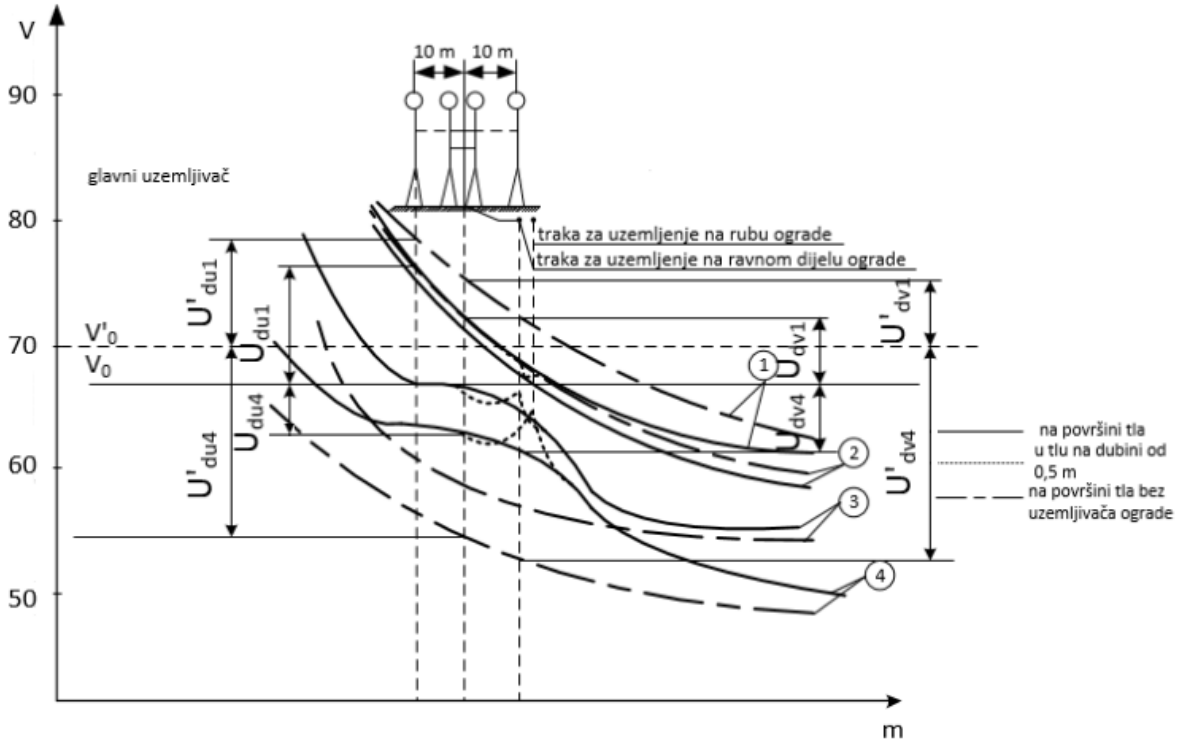
U'_{dv4} – napon dodira na vanjskom dijelu ograde po pravcu 4

$U'_{du4\text{-}R}$ – unutarnji napon dodira na udaljenosti od 10 m po pravcu 4 [2].

Stupići ograde su gusto raspoređeni duž ograde te je ispod nje ukopana traka na dubini od 0,1 m za koju je proračunat potencijal, a ta vrijednost je korištena za približnu vrijednost potencijala ograde V'_0. U ovom primjeru zanemaren je utjecaj stupića ograde pa je raspodjela potencijala za odabrane pravce dobivena uzimanjem u obzir samo glavnog uzemljivača. Na slici 2.4. se može primijetiti da se na pravcu 4 pojavljuje najveći napon dodira na unutarnjem i vanjskom dijelu ograde (U'_{du4} i U'_{dv4}). Za slučaj kada je ograda galvanski odvojena od glavnog uzemljivača tada je:

- napon dodira negativan s vanjske strane ograde i kako se približavamo ogradi napon dodira raste
- napon dodira pozitivan s unutarnje strane ograde, a također su najveći u točkama tla uz samu ogradu [2].

Zbog navedenih pojava provjerava se napon dodira na 1 m od ograde ali i uz samu ogradu te se odabire veća vrijednost od te dvije. U slučaju kada je ograda uzemljena napon dodira uz ogradu može biti opasniji nego napon dodira na udaljenosti od 1 m. Kada je ograda uzemljena na glavni uzemljivač tada se mijenja raspodjela potencijala, a oblikovanje novog potencijala smanjuje se i napon dodira pogotovo na kritičnim mjestima [2].



Slika 2.5. Raspodjela potencijala i naponi dodira za četiri odabrana pravca na duljini od 20 m kada je ograda uzemljena [2]

Na slici 2.5 prikazana su raspodjele potencijala za odabrana četiri pravca, te pripadajući napon dodira kada je ograda uzemljena gdje je:

V'_0 – potencijal mrežastog uzemljivača koji nije spojen s uzemljivačem ograde

V_0 – potencijal mrežastog uzemljivača kada je spojen s uzemljivačem ograde

U'_{dv1} – napon dodira na vanjskom dijelu ograde po pravcu 1 kada je ograda galvanski odvojena od glavnog uzemljivača

U_{dv1} – napon dodira na vanjskom dijelu ograde po pravcu 1 kada je ograda spojena na glavni uzemljivač

U'_{du1} – napon dodira na unutarnjem dijelu ograde po pravcu 1 kada je ograda galvanski odvojena od glavnog uzemljivača

U_{du1} – napon dodira na unutarnjem dijelu ograde po pravcu 1 kada je ograda spojena na glavni uzemljivač

U'_{dv4} – napon dodira na vanjskom dijelu ograde po pravcu 4 kada je ograda galvanski odvojena od glavnog uzemljivača

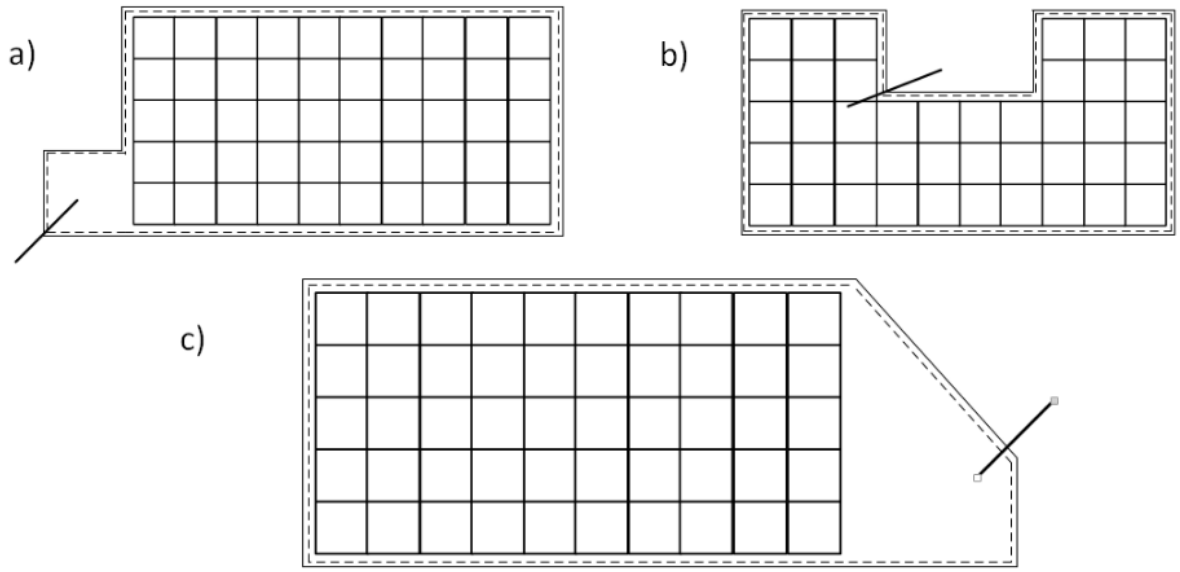
U_{dv4} – napon dodira na vanjskom dijelu ograde po pravcu 4 kada je ograda spojena na glavni uzemljivač

U'_{du4} – napon dodira na unutarnjem dijelu ograde po pravcu 4 kada je ograda galvanski odvojena od glavnog uzemljivača

U_{du4} – napon dodira na unutarnjem dijelu ograde po pravcu 4 kada je ograda spojena na glavni uzemljivač [2].

Na slici 2.5 prikazana su tri slučaja. U prvom slučaju prikazane su raspodjele potencijala i napon dodira kada je uzemljivač ograde spojen sa glavnim uzemljivačem. U drugom slučaju prikazane se raspodjele potencijala i napon dodira kada je uzemljivač ograde galvanski odvojen od glavnog uzemljivača, kako bi se primijetila razlika između ta dva slučaja. Također su prikazane raspodjele potencijala i za slučaj kad se uzemljivač nalazi na dubini od 0,5 m u kojem dolazi do najvećeg izobličenja potencijala. Spajanjem uzemljivača ograde sa glavnim uzemljivačem može se primijetiti da je došlo do smanjenja potencijala ograde oko 5% ($V'_0 > V_0$). Osim smanjenja potencijala ograde također dolazi do smanjenja vanjskog napona dodira na rubu pravca 4, oko 71 % ($U'_{dv4} > U_{dv4}$). Razlozi smanjenja vanjskog napona dodira na rubu pravca 4 su sniženje potencijala ograde oko 20,5 % i izjednačenje potencijala oko 50,5 %. Na pravcu 1 došlo je do smanjenja vanjskog napona dodira oko 12,6 % ($U'_{dv1} > U_{dv1}$). Tu dolazi do dvojakog efekta zbog uzemljenja ograde. Najprije dolazi do povećanja vanjskog napona dodira zbog smanjenja potencijala ograde, ali i do smanjenja vanjskog napona dodira zbog izjednačenja potencijala [2].

Na slici 2.6. prikazani su karakteristični uzemljivači koji se pojavljuju u praksi. Za slučajeve a) i c) koji su prikazani na sl. 2.6.a i 2.6.c glavni uzemljivači su udaljeni od ograde što stvara nepovoljne uvjete na rubu. Kod slučaja b) koji je prikazan na sl. 2.6.b dio ograde je uvučen, pa su nepovoljni uvjeti u sredini. U slučajevima a) i c) dolazi do sniženja potencijala ograde što dovodi do nepovoljnih uvjeta na srednjim dijelovima postrojenja. Izrazito pogoršani uvjeti su na rubu što je označeno kosom linijom na sl. 2.6.a i 2.6.c. Za slučaj b) dolazi do povećanja potencijala ograde što pogoršava prilike na rubu, te je kosom linijom označeno gdje su izrazito pogoršani uvjeti [2].



Slika 2.6. Karakteristični uzemljivači s nepovoljnim uvjetima na rubovima i u sredini [2]

Za slučaj kada je ograda galvanski odvojena od glavnog uzemljivača može se zaključiti sljedeće [2]:

a) Kada ograda nije uzemljena kod standardnih uzemljivača na rubovima se pojavljuju najveći naponi dodira s vanjske i unutarnje strane ograde jer su potencijalni lijevci najstrmiji.
b) Poboljšani uvjeti dobivaju se uzemljenjem ograde trakom koja je položena u tlo s vanjske strane ograde na dubini od 0,5 m i na udaljenosti od 1 m i to u vidu sniženja potencijala ograde i oblikovanja potencijala.
c) Zbog navedenog uzemljenja za standardne uzemljivače dolazi do znatnog smanjenja pozitivnog napona dodira na rubnim dijelovima ograde, dok se negativni naponi dodira apsolutno gledano povećavaju na srednjim dijelovima ograde.
d) Najveća vrijednost vanjskog negativnog napona dodira ograde na srednjim i uvučenim dijelovima ograde za standardne uzemljivače nalazi se uz samu ogradu, a ne na udaljenosti od 1 m od ograde, kako je do sada bio slučaj. U praksi se može pojaviti da je navedeni napon dodira viši nego pozitivni napon dodira na rubovima.
e) Kod krupnije podjele mrežastog uzemljivača znatno su veće vrijednosti napona dodira na rubovima od stvarnih, a manje na srednjim dijelovima. Također je bitna fina podjela na rubnim dijelovima gdje su potencijalni lijevci znatno strmiji.

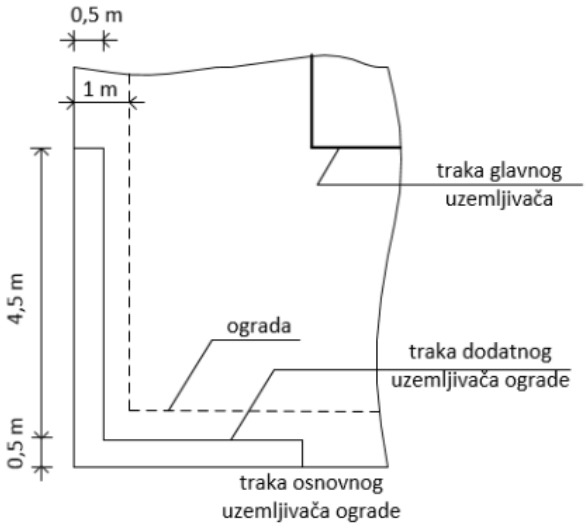
f) Kako bi se smanjio potencijal mrežastog uzemljivača potrebno je koristiti kombinirane uzemljivače kao što je npr. mrežasti sa štapnim uzemljivačem.

2.4.2. Mjere za smanjenje napona dodira ograde elektroenergetskog postrojenja

U praksi postoje tri najkorištenije mjere za smanjenje napona dodira ograde elekroenergetskog postrojenja:

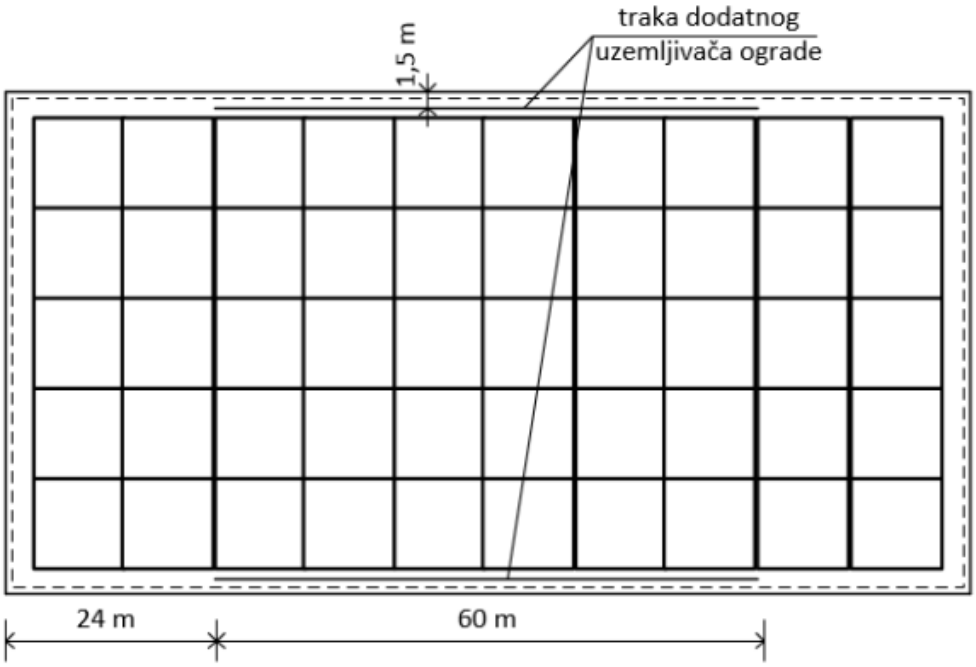
a) izjednačenje potencijala na rubovima ograde
b) izjednačenje potencijala na srednjim dijelovima ograde
c) smanjenje potencijala ograde

Do izjednačenja potencijala na rubovima ograde dolazi zbog utjecaja trake uzemljivača ograde koja se postavlja na rubove, te se dobiva viši potencijal u odnosu na bliske točke u okolini tla. Kako bi utjecaj izjednačenja potencijala na rubovima ograde još više došao do izražaja, odnosno da bi povisili vrijednost potencijala točaka okolnog tla dodajemo traku na sva četiri ruba kako je prikazano na slici 2.7. [2].



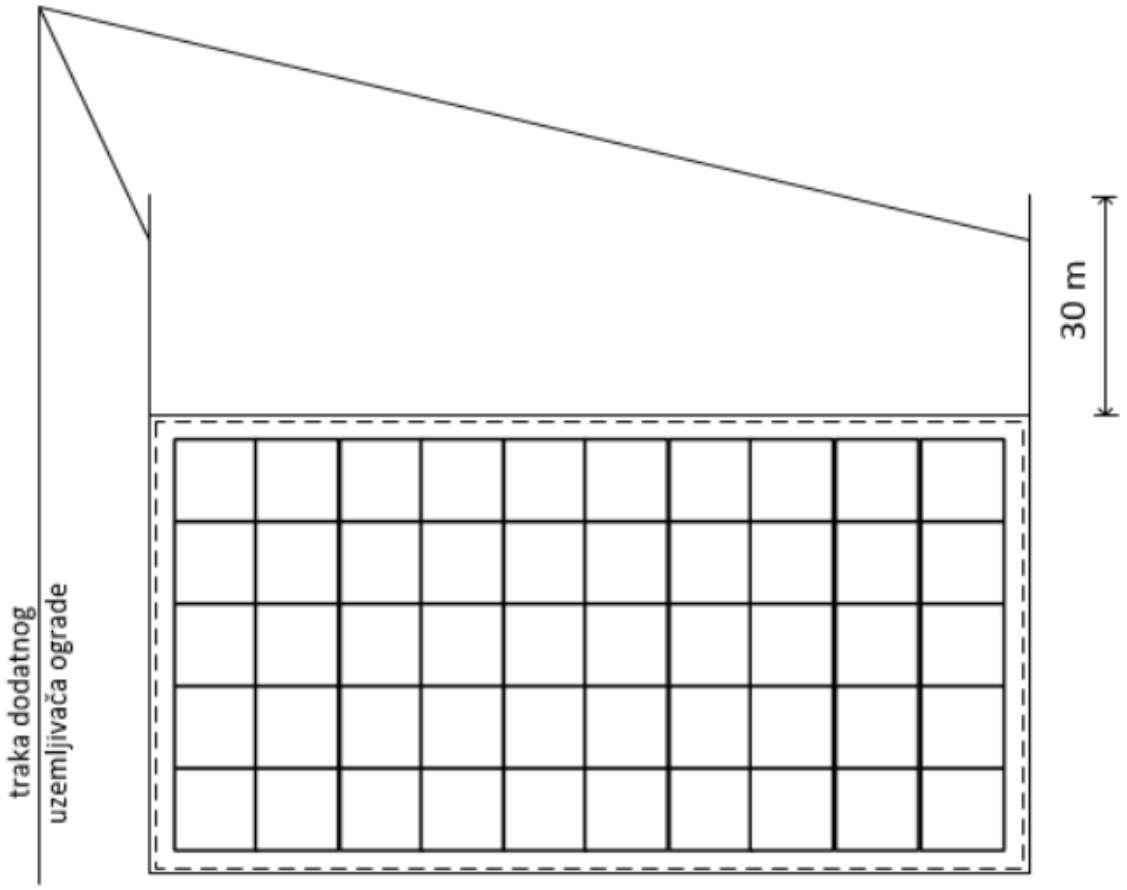
Slika 2.7. Dodavanje trake za izjednačenje potencijala na rubovima ograde [2]

Do izjednačenja potencijala na srednjim dijelovima ograde dolazi dodavanjem trakastog uzemljivača kako je prikazano na slici 2.8.



Slika 2.8. Dodatni trakasti uzemljivač za izjednačenje potencijala na srednjim dijelovima ograde [2]

Prilikom smanjenja potencijala ograde utječe se na napon dodira na rubovima ograde i na srednjim odnosno uvučenim dijelovima ograde. Pozitivni naponi dodira na rubovima ograde se smanjuju, dok se negativni naponi dodira (apsolutno) povećavaju smanjenjem potencijala ograde. Povećanjem potencijala ograde događa se obrnuto. Na potencijal ograde bitno utječe položaj pojedinih dijelova uzemljivača iz razloga što je uzemljivač ograde pasivna elektroda. Također potencijal ograde ovisi o odnosu otpora glavnog uzemljivača i uzemljivača ograde te otpora između uzemljivača ograde i udaljenih točaka neutralna tla. Može se izvesti zaključak da ukoliko se dodaje traka u tlu s točkama nižeg potencijala od potencijala ograde, dolazi do smanjenja potencijala ograde, a ukoliko se dodaje traka u tlu s točkama višeg potencijala od potencijala ograde, dolazi do povećanja potencijala ograde. Primjer za smanjenje potencijala ograde prikazan je na slici 2.9. [2].



Slika 2.9. Dodatni trakasti uzemljivač za smanjenje potencijala ograde [2]

Ovisno o tome treba li smanjiti pozitivni ili negativni napon dodira ograde, koriste se neke od navedenih mjera za smanjenje napona dodira ograde elektroenergetskog postrojenja. U nekim slučajevima potrebno je koristiti i kombinacije ove 3 navedene mjere. Iz svega dosad navedenoga za smanjenje napona dodira ograde elektroenergetskog postrojenja može se zaključiti sljedeće:

a) ukopavanjem dodatnog trakastog uzemljivača može se dodatno oblikovati i smanjiti napon dodira ograde
b) na rubovima i srednjim dijelovima ograde može se provesti oblikovanje potencijal, te se može povećavati i smanjivati potencijal ograde
c) U praksi se često postavljaju dodatni krakovi ograde koji su galvanski spojeni sa ogradom i uzemljeni su (uz put, potok i sl.). Tu dolazi do smanjenja potencijala ograde što utječe na smanjenje pozitivnih napona dodira na rubovima postrojenja, te do povećanja apsolutnih vrijednosti negativnih napona dodira na srednjim dijelovima postrojenja.

d) Potrebno je obratiti pozornost na to da korištenjem određenih mjera kako bi se poboljšala prilika na jednom dijelu ograde ne bi došlo do pogoršanja prilike na drugom dijelu ograde [2].

3. SIMULACIJA UTJECAJA RAZLIČITIH NAČINA UZEMLJENJA OGRADE TRAFOSTANICE 110/35/10 KV I RAZLIČITIH MODELA TLA U PROGRAMU CDEGS

Zadatak ovog dijela rada je prikazati kako različiti načini uzemljenja ograde elektroenergetskog postrojenja kao i modeli tla uz pomoć programa CDEGS utječu na promjenu otpora rasprostiranja uzemljivača, potencijala uzemljivača, raspodjelu potencijala zemljišta, napon dodira i napon koraka na primjeru trafostanice 110/35/10 kV.

3.1. CDEGS (eng. Current Distribution, Elekctromagnetic Fileds, Grounding and Soil Structure Analysis) softver

CDEGS je softverski paket (eng. Current Distribution, Elekctromagnetic Fileds, Grounding and Soil Structure Analysis) koji predstavlja skup integriranih softverskih alata dizajniranih za precizno analiziranje problema s uzemljenjem, elektromagnetskim poljima, elektromagnetskim smetnjama, raznim aspektima katodne zaštite i analizu mjesta polaganja sonde. CDEGS izračunava struje vodiča i elektromagnetskih polja koja je generirana od strane proizvoljne mreže naponskih vodiča bilo iznad ili ispod tla za normalne uvjete, uvjete kvara, udare munje i prilikom prijelaznih pojava. SES je započeo razvoj CDEGS softverskog paketa 1972. godine stvaranjem MALT inženjerskog modula. Od tada CDEGS se razvio i sada se sastoji od osam inženjerskih modula,a to su:

- RESAP
- MALT
- MALZ
- TRALIN
- SPLITS
- HIFREQ
- FCDIST
- FFTSES

CDEGS također uključuje ulazne i izlazne procesore i alate (npr. alate za uvoz i izvoz CAD softvera, grafičkih poslužitelja itd.) [8].

U ovom radu koristit će se dva inženjerska modula, a to su RESAP i MALT. RESAP se koristi za određivanje ekvivalentnih modela zemljanih struktura na temelju izmjerenih podataka otpora tla. Ovi modeli tla mogu se koristiti za analizu uzemljenja, provođenje katodne zaštite, ispitivanje elektromagnetskih indukcija i izračunavanje parametara voda. MALT je inženjerski modul koji se koristi za analizu mreža uzemljenja elektroenergetskog sustava koji ima proizvoljne oblike i često se koristi za istraživanje naponskih i strujnih tokova preusmjerenih u obližnje metalne strukture. Kao ulazni podatak u MALT-u unosi se konfiguracija uzemljivača i model tla u kojem se nalazi uzemljivač gdje se ispituju vrijednosti kao što su: napon dodira, napon koraka, potencijal uzemljivača, otpor rasprostiranja uzemljivača itd. RESAP i MALT su jedni od glavnih komponenti programskih paketa AutoGround, MultiGround, AutoGridPro i AutoGroundDesign [8].

3.2. Uzemljivač trafostanice 110/35/10 kV

Glavni uzemljivač trafostanice 110/35/10 kV izvodi se kao mrežasti uzemljivač, a on se izvodi bakrenim užetom presjeka 95 mm^2 i ukopan je na dubini od 0,8 m uzdužno i poprečno u odnosu na postrojenje. Uz mrežasti uzemljivač dodatno su spojeni i šest vertikalnih uzemljivačkih bakrenih štapova duljine 3 m i promjera 20 mm koji čine glavni uzemljivač. Uzemljivač ograde trafostanice možemo podijeliti na 3 dijela:

a) ograda prema sjevernoj i istočnoj strani
b) ograda prema zapadnoj strani
c) ograda prema južnoj strani.

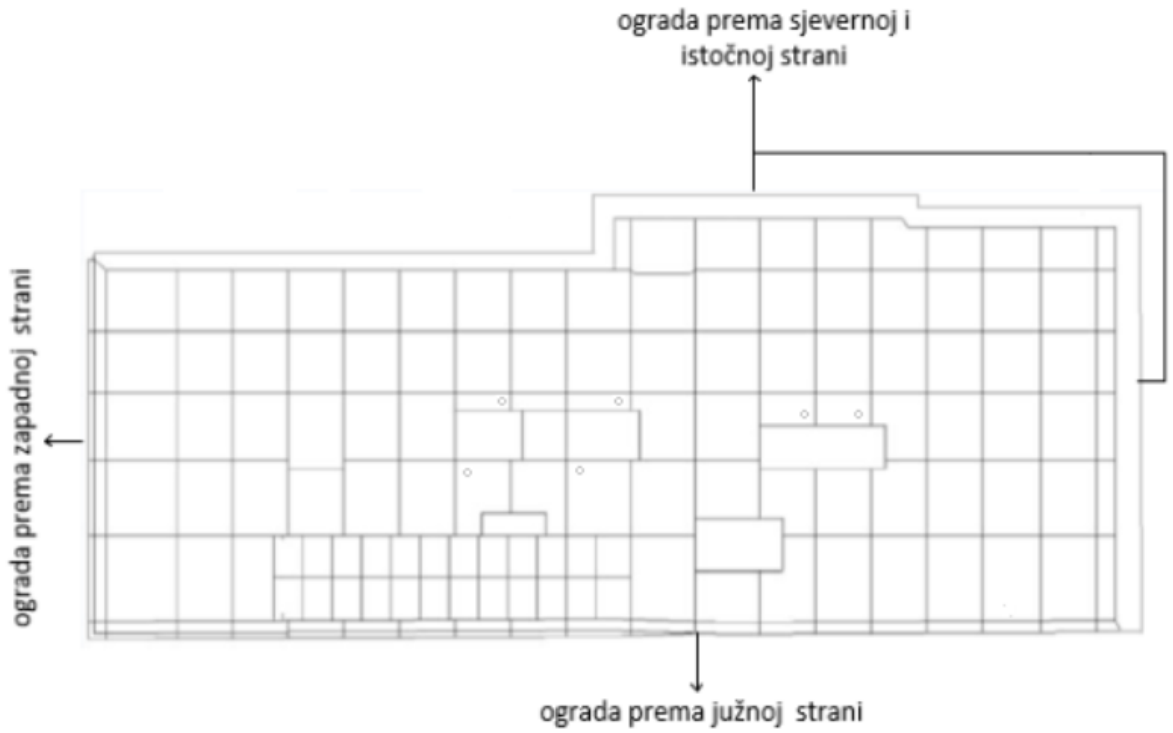
Kod ograde prema sjevernoj i istočnoj strani polaže se uzemljivač na 1 m udaljenosti izvan ograde na dubini od 0,8 m radi zaštite osoba od opasnog napona dodira u trenutku kvara. Uzemljenje ograde se izvodi bakrenim užetom 95 mm^2 na način da se uzemljuje svaki stup ograde.

Kod ograde prema zapadnoj strani polaže se dvostruki uzemljivač (prvi na udaljenosti 1 m, a drugi na udaljenosti 2 m od ograde) na dubini od 0,8 m radi zaštite osoba od opasnog napona dodira u trenutku kvara. Uzemljivač ograde koji se nalazi na udaljenosti 2 m od ograde uvodi se radi

funkcije zaštite ukopanih 10 kV kabela. Uzemljenje se izvodi bakrenim užetom 95 mm^2 na način da se uzemljuje svaki stup ograde.

Kod ograde prema južnoj strani djelomično se polaže dvostruki uzemljivač (prvi na udaljenosti 1 m, a drugi na udaljenosti 2 m od ograde) na dubini od 0,8 m radi zaštite od opasnog napona dodira u trenutku kvara. Uzemljivač ograde koji se nalazi na udaljenosti 2 m od ograde postavlja se samo na dijelu ograde prema južnoj strani i to zbog zaštite ukopanih 10 kV kabela. Uzemljenje ograde se izvodi bakrenim užetom 95 mm^2 na način da se uzemljuje svaki stup ograde.

Uzemljivač trafostanice prikazan je na sljedećoj slici (Sl. 3.1.):

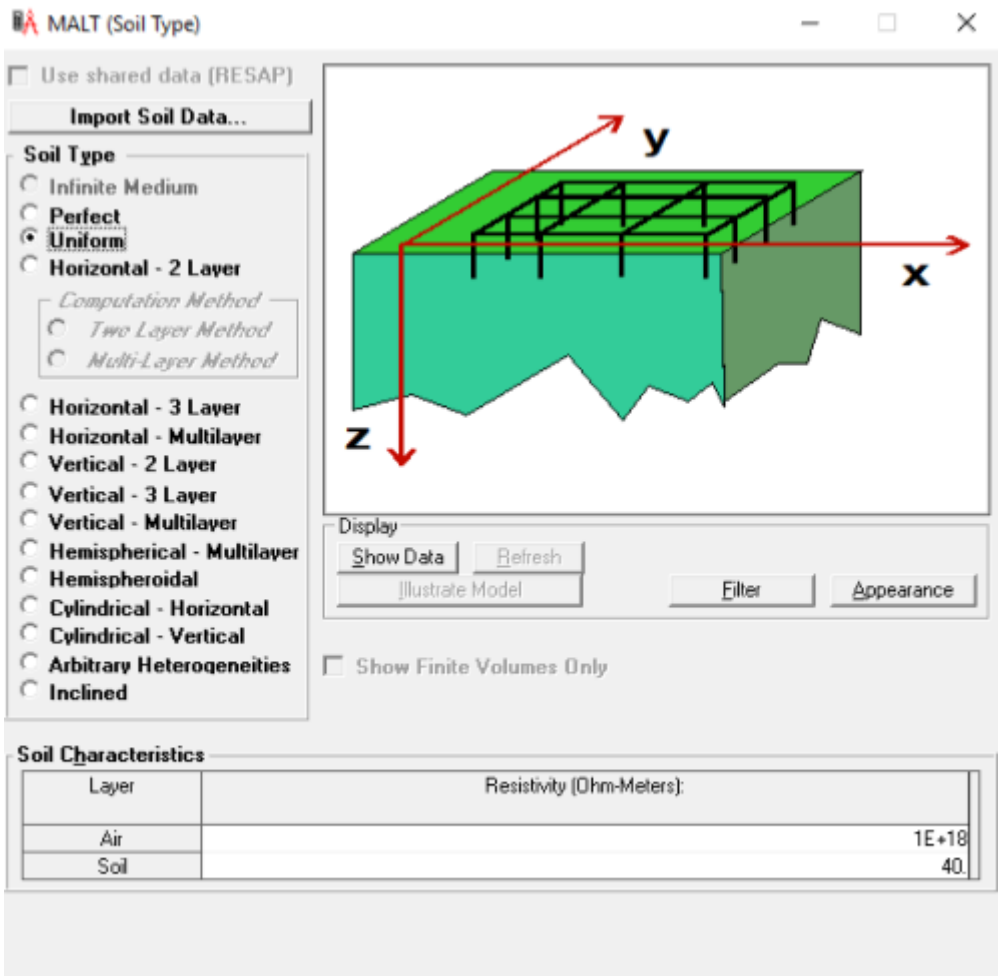


Slika 3.1. Prikaz uzemljivača trafostanice 110/35/10 kV

Početna struja jednofaznog kratkog spoja u trafostanici 110/35/10 kV iznosi I_{KS} = 17,798 kA. Vrijeme trajanja kratkog spoja iznosi 150 ms. Struja koja se injektira u uzemljivač iznosi I_E = 5500 A.

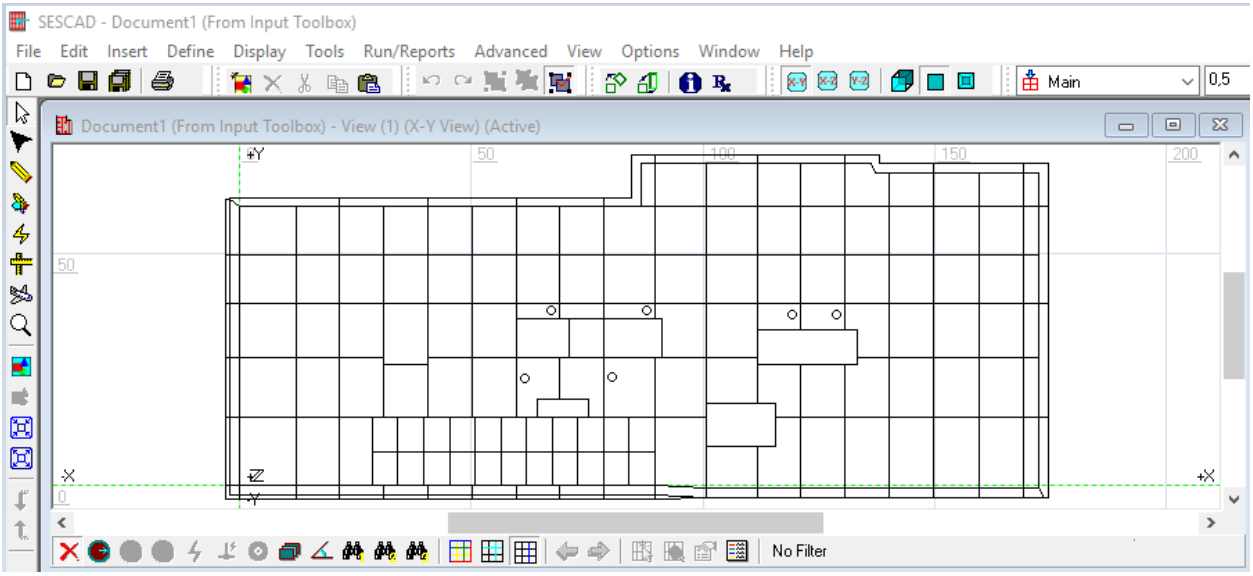
3.3. Uzemljivač ograde galvanski spojen sa glavnim uzemljivačem trafostanice 110/35/10 kV za uniformno tlo

U prvom slučaju kada je ograda galvanski spojena s glavnim uzemljivačem uzima se da je tlo uniformno (jednoslojno) čija otpornost iznosi ρ = 40 Ωm. Stoga za ovaj slučaj nije potreban rad u RESAP-u nego odmah se prelazi na rad u MALT-u.U vrstama tla(eng. Soil Type) koji se nalazi u modulu MALT unosi se vrijednost otpornosti jednoslojnog tla kako je prikazano na slici (Slika 3.2.).



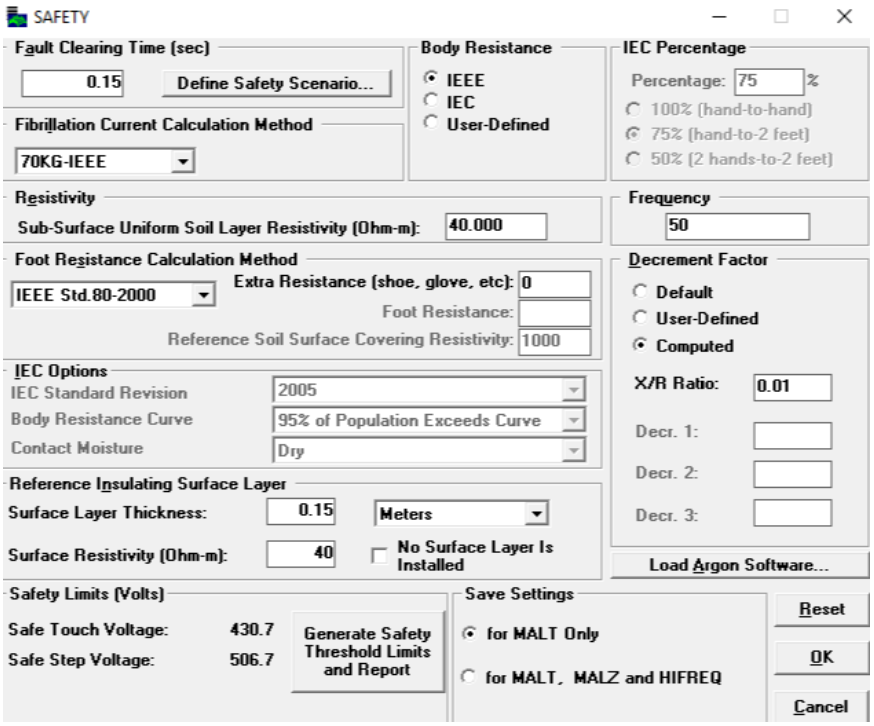
Slika 3.2. Unos specifičnog otpora uniformnog tla

Zatim je modeliran uzemljivač trafostanice 110/35/10 kV, koji je opisan u poglavlju 3.2. Uzemljivač trafostanice 110/35/10 kV, u SesCAD-u kako je prikazano na slici 3.3.



Slika 3.3. Prikaz uzemljivača trafostanice 110/35/10 kV kada je ograda spojena na glavni uzemljivač u SesCAD-u

Zatim su podešene sigurnosne postavke gdje je vrijeme trajanja kvara postavljeno na 0,15 s, dozvoljeni naponi dodira i koraka su izračunati za tijelo mase 70 kg, specifični otpor tla iznosi 40 Ωm i debljina površinskog sloja iznosi 0,15 m. Prema odabranoj normi IEEE Std. 80-2000 za ove vrijednosti dobivamo iznose dozvoljenih napona dodira od 430,7 V i napona koraka od 506,7 V kojim se čovjek od 70 kg smije maksimalno izložiti (Slika 3.4.)

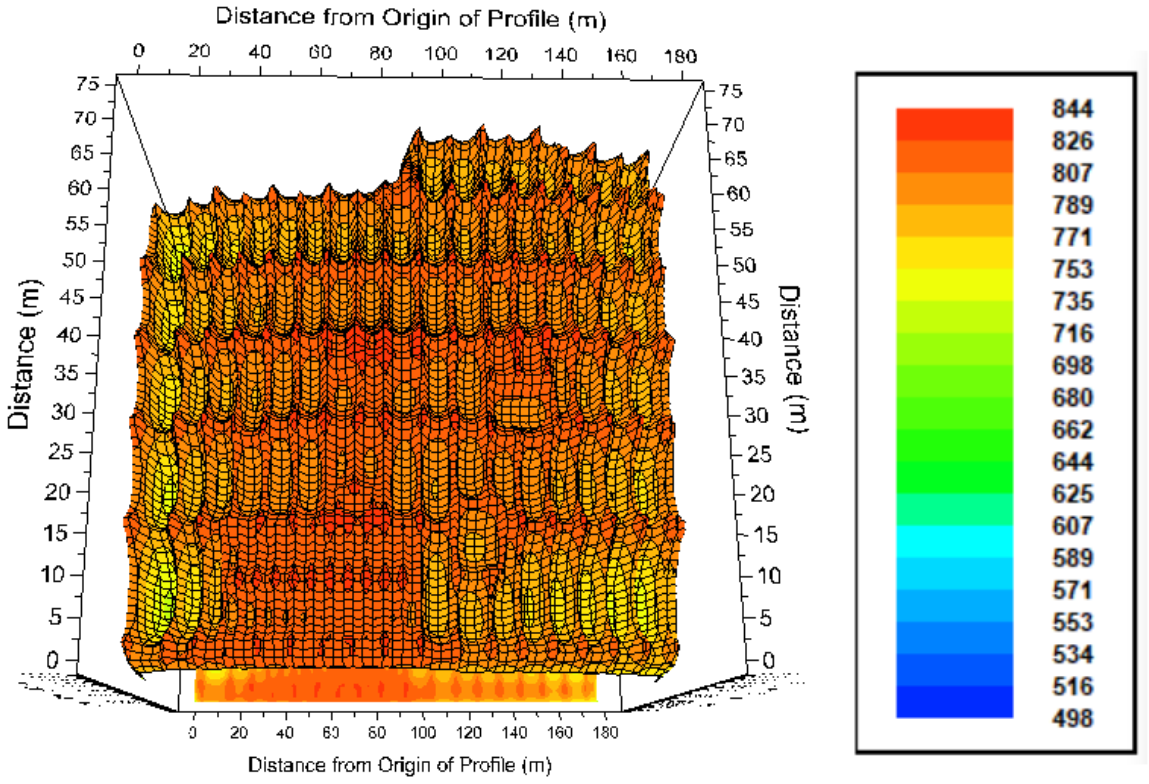


Slika 3.4. Prikaz sigurnosnih postavki za prvi slučaj

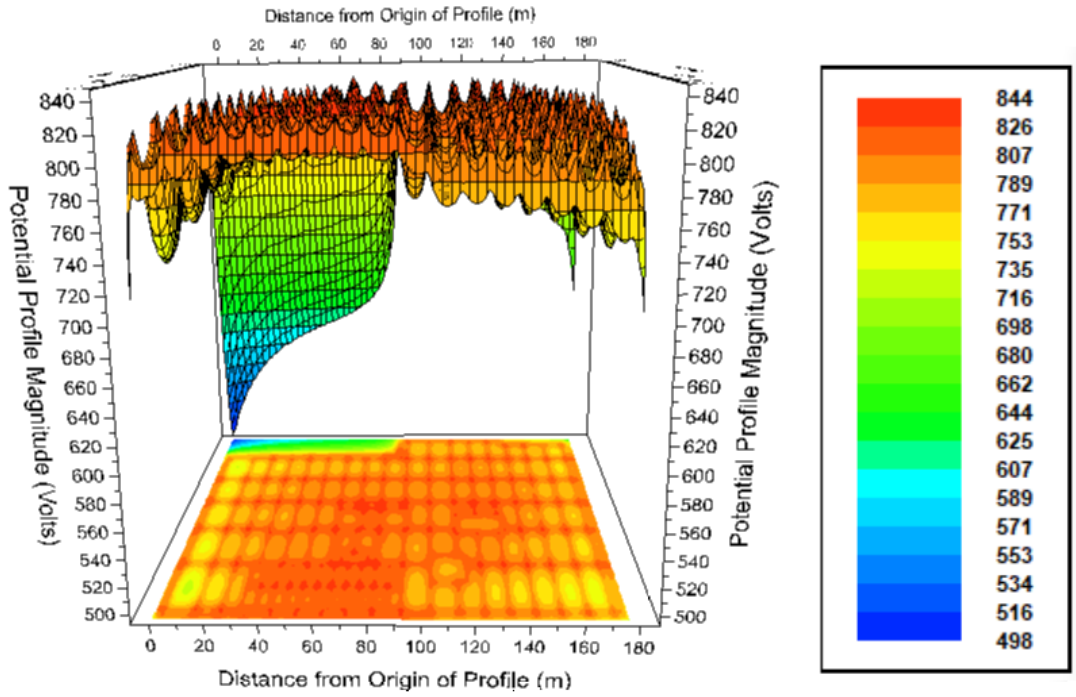
Za slučaj kada je uzemljivač ograde galvanski spojen sa glavnim uzemljivačem trafostanice 110/35/10 kV kod jednoslojnog modela tla pokretanjem simulacije dobivamo sljedeća rješenja:

- ukupan iznos struje koja ulazi u uzemljivač: 5500 A
- potencijal uzemljivača – GPR (eng. Ground Potential Rise): 851,57 V
- specifični otpor uniformnog tla: 40 Ωm
- otpor rasprostiranja uzemljivača: 0,1548 Ω.

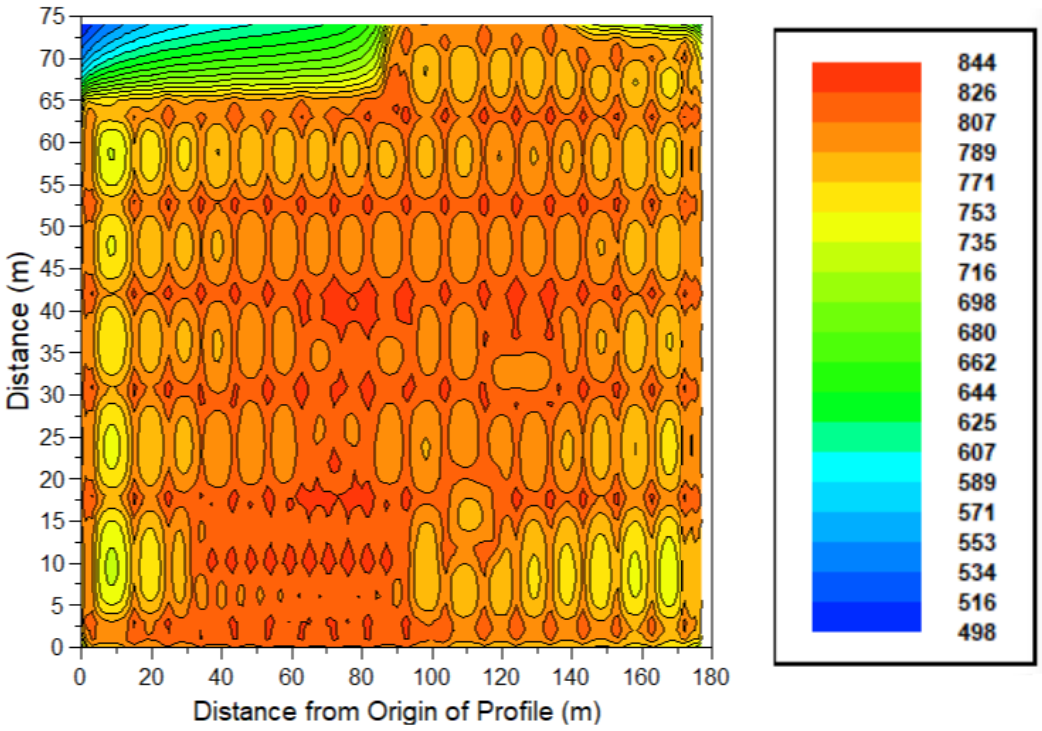
Dobiveni potencijal zemljišta za prvi slučaj prikazan je na sljedećim slikama (Slika 3.5., Slika 3.6. i Slika 3.7.):



Slika 3.5. 3D prikaz potencijala zemljišta kada je ograda spojena na glavni uzemljivač za prvi slučaj (1)

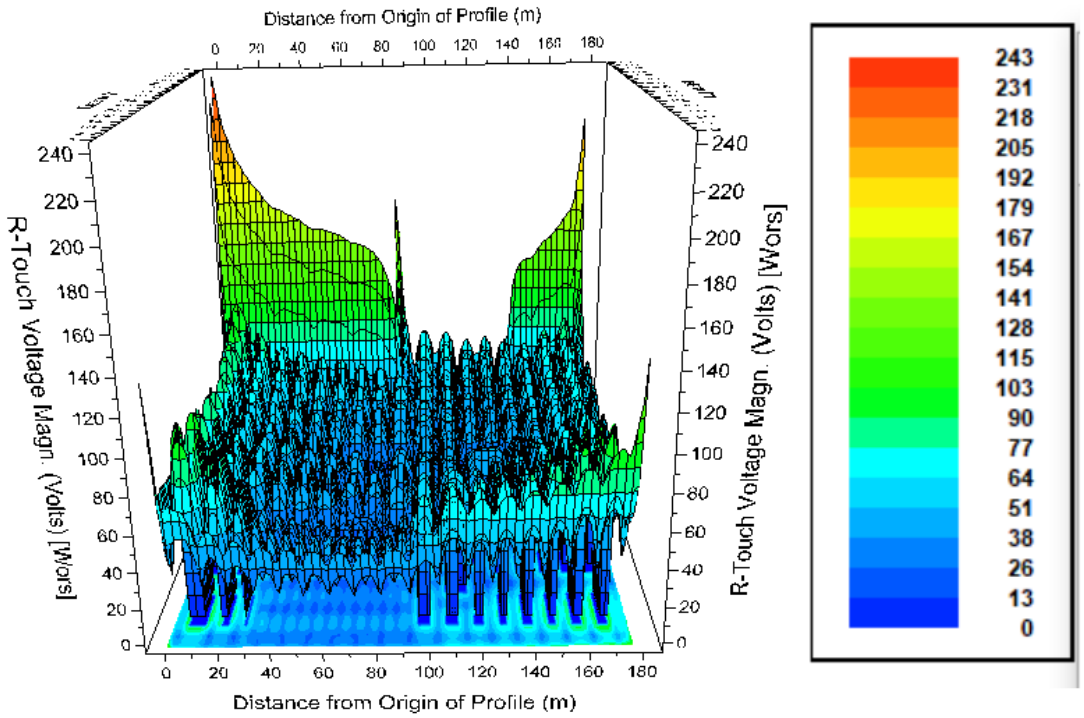


Slika 3.6. 3D prikaz potencijala zemljišta kada je ograda spojena na glavni uzemljivač za prvi slučaj (2)

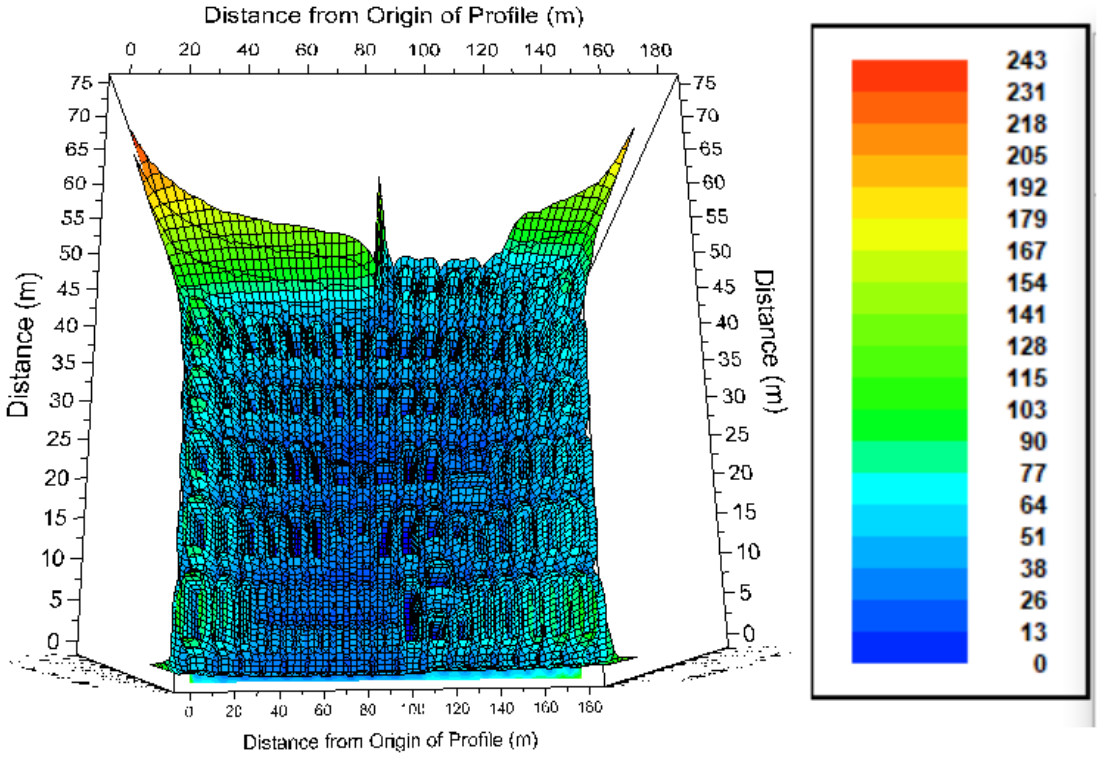


Slika 3.7. 2D prikaz potencijala zemljišta kada je ograda spojena na glavni uzemljivač za prvi slučaj

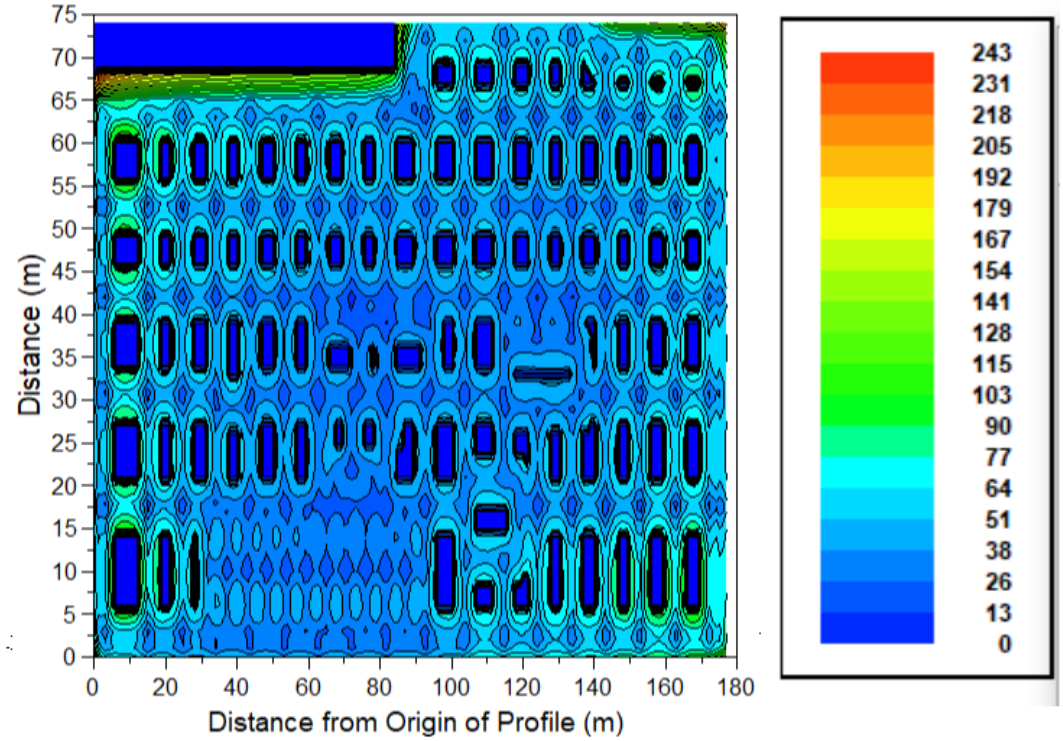
Dobiveni naponi dodira za prvi slučaj prikazani su na sljedećim slikama (Slika 3.8., 3.9. i 3.10.):



Slika 3.8. 3D prikaz napona dodira kada je ograda spojena na glavni uzemljivač za prvi slučaj (1)

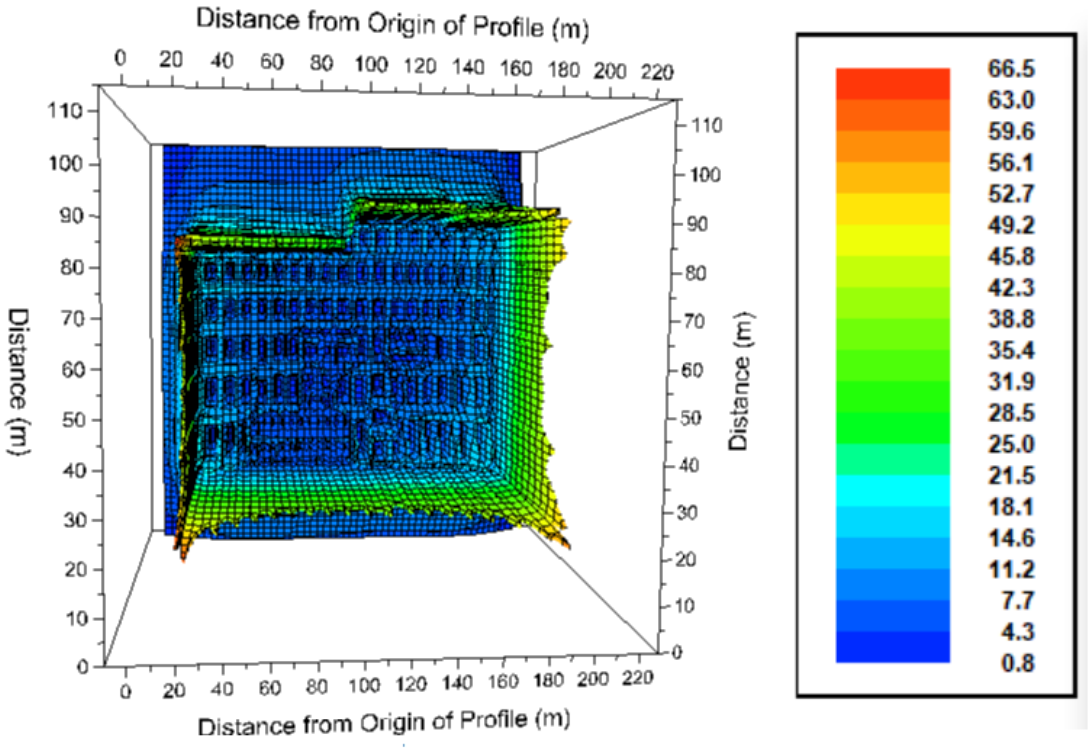


Slika 3.9. 3D prikaz napona dodira kada je ograda spojena na glavni uzemljivač za prvi slučaj (2)

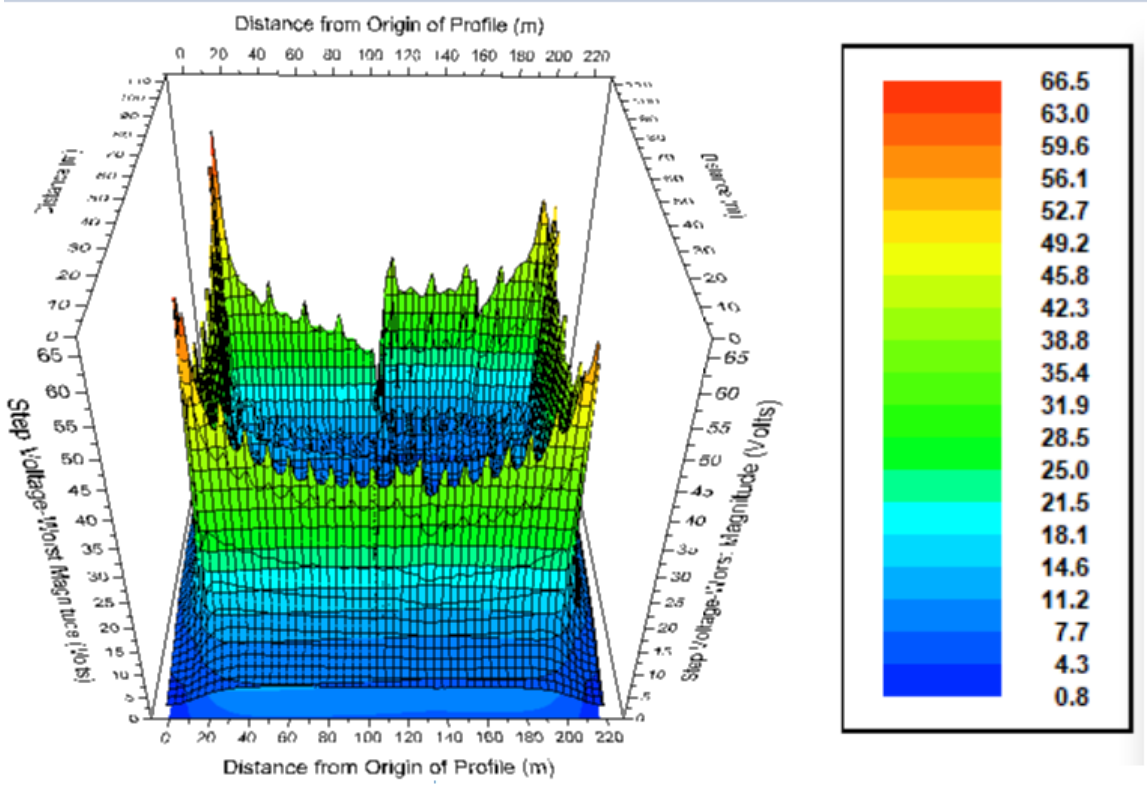


Slika 3.10. 2D prikaz napona dodira kada je ograda spojena na glavni uzemljivač za prvi slučaj

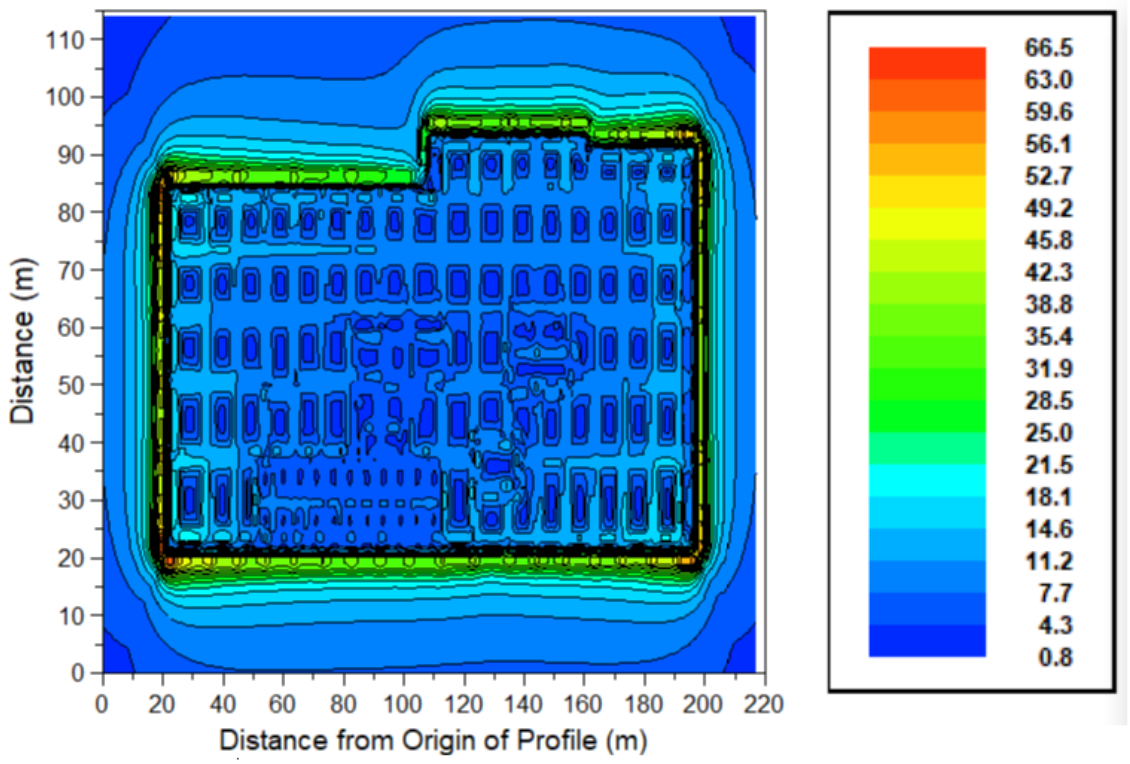
Dobiveni naponi koraka za prvi slučaj prikazani su na sljedećim slikama (Slika 3.11., 3.12. i 3.13.):



Slika 3.11. 3D prikaz napona koraka kada je ograda spojena na glavni uzemljivač za prvi slučaj (1)



Slika 3.12. 3D prikaz napona koraka kada je ograda spojena na glavni uzemljivač za prvi slučaj (2)



Slika 3.13. 2D prikaz napona koraka kada je ograda spojena na glavni uzemljivač za prvi slučaj

3.3. Uzemljivač ograde galvanski spojen sa glavnim uzemljivačem trafostanice 110/35/10 kV za dvoslojno tlo

U drugom slučaju kada je ograda galvanski spojena s glavnim uzemljivačem uzima se da je tlo dvoslojno horizontalno. Mjerenje otpornosti tla je provedeno na području grada Osijeka, a ne na području trafostanice zbog ukopanih dijelova koji bi utjecali na mjerenje. Mjerenja su izvedena prema Wennerovoj metodi, a rezultati su dani u tablici 3.1.

Tablica 3.1. Rezultati mjerenja otpornosti tla prema Wennerovoj metodi

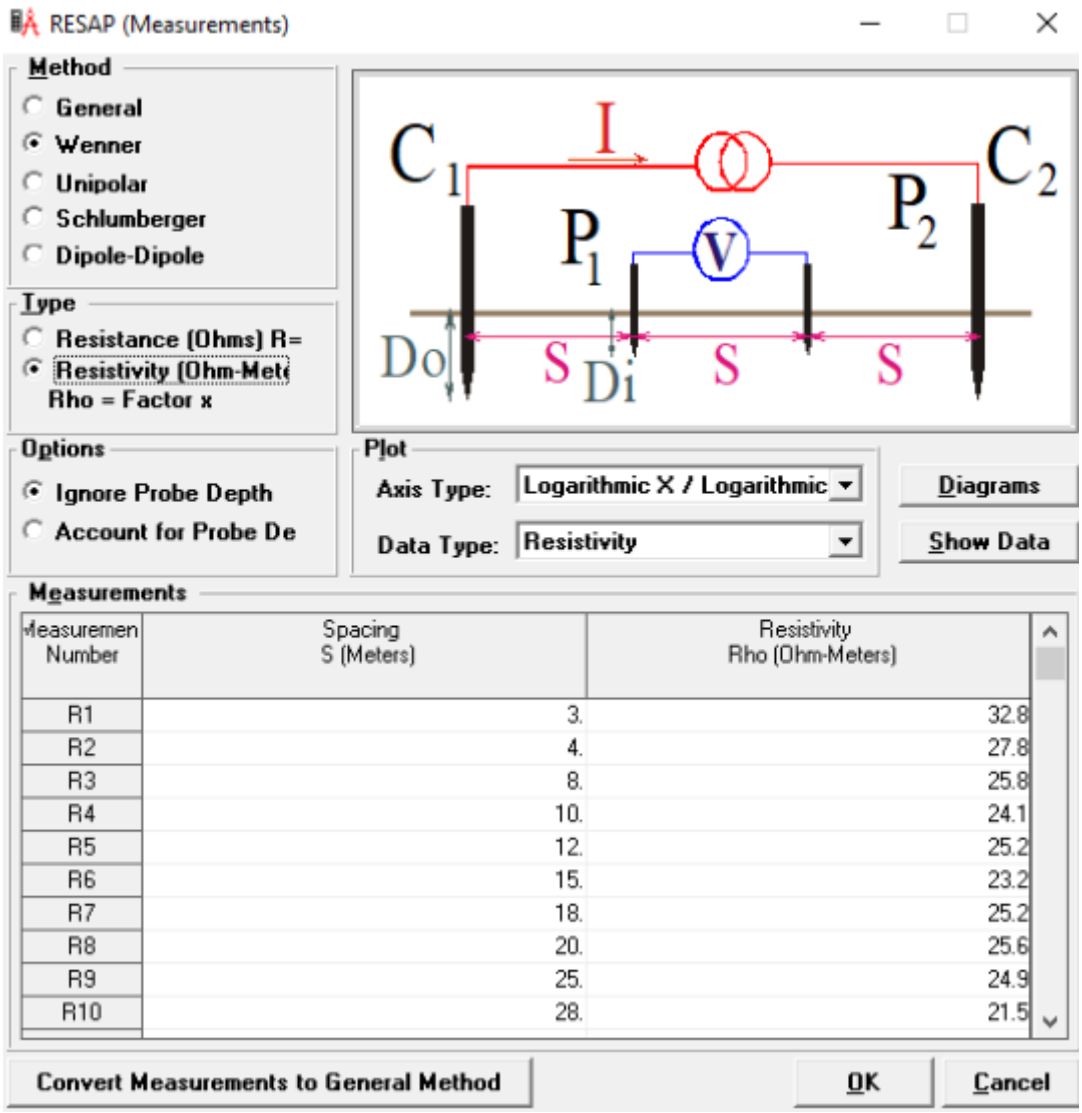
Redni broj mjerenja	Razmak između sondi [m]	Mjerena otpornost tla [Ωm]
1	3	32,8
2	4	27,8
3	8	25,8
4	10	24,1
5	12	25,2
6	15	23,2
7	18	25,2
8	20	25,6
9	25	24,9
10	28	21,5

Mjerenje otpornosti tla provedeno je sa instrumentom METREL MI 3123 koji je prikazan na slici 3.14.



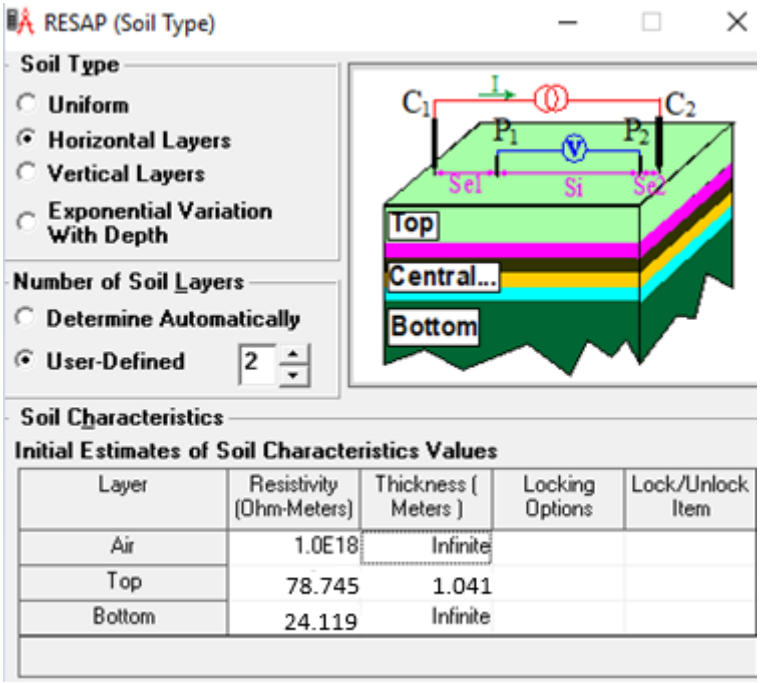
Slika 3.14. Mjerni instrument METREL MI 3123

U modulu RESAP odabiru se mjerenja (eng. Measuments), a zatim se bira Wennerova metoda, pod tip odabire se specifična otpornost tla i u opcijama zanemarujemo dubinu sonde. Izmjerene vrijednosti iz tablice 3.1. unosimo u program. Ovaj postupak prikazan je na slici 3.15.



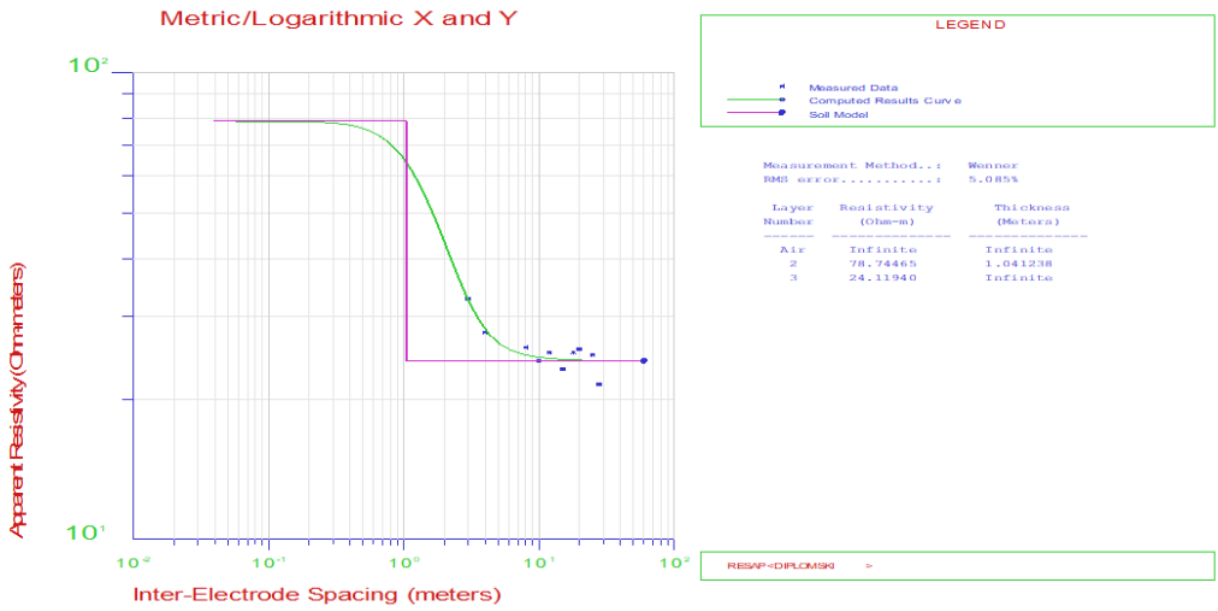
Slika 3.15. Prikaz unosa izmjerene otpornosti tla u RESAP-u

Zatim se u izborniku RESAP modula odabiru vrste tla (eng. Soil Type) i biraju se vrste tla koje je potrebno modelirati na osnovu izvedenih mjerenja, a to je za ovaj slučaj dvoslojno horizontalno tlo. Postupak je prikazan na slici 3.16.



Slika 3.16. Model dvoslojnog horizontalnog tla

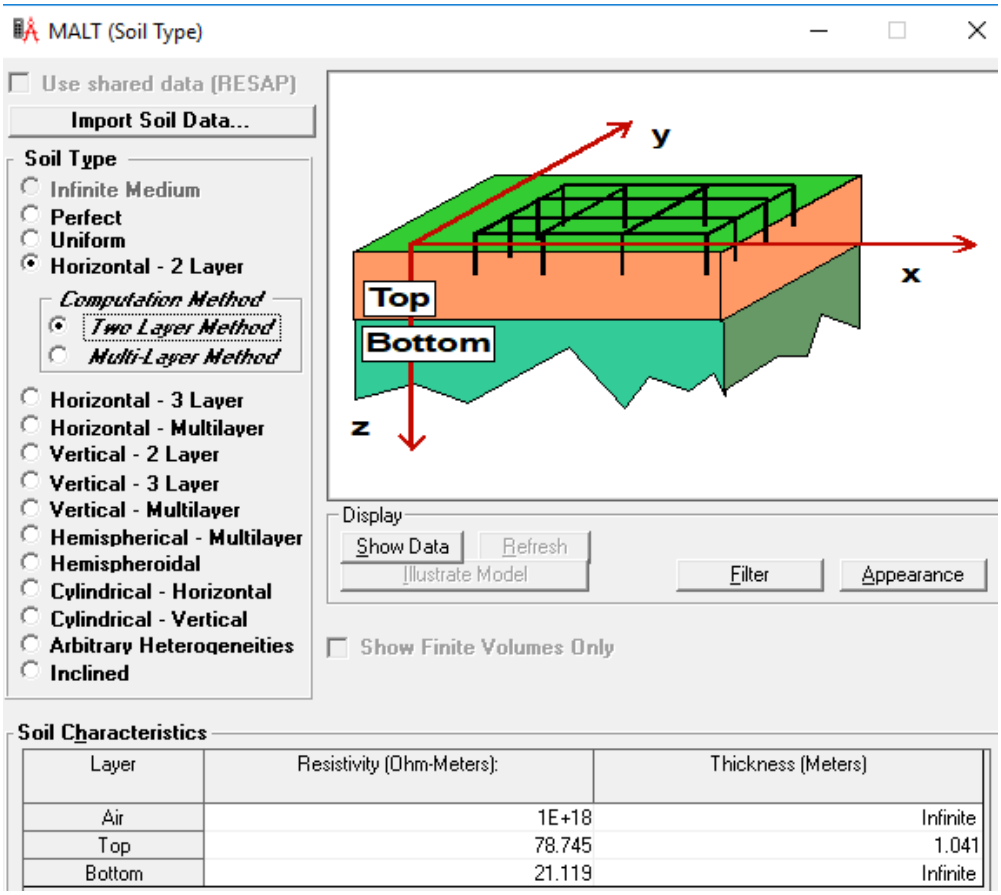
Pokretanjem simulacije kada je tlo modelirano kao dvoslojno horizontalno dobivamo sliku 3.17.



Slika 3.17. Rezultati simulacije dvoslojnog horizontalnog tla u RESAP-u

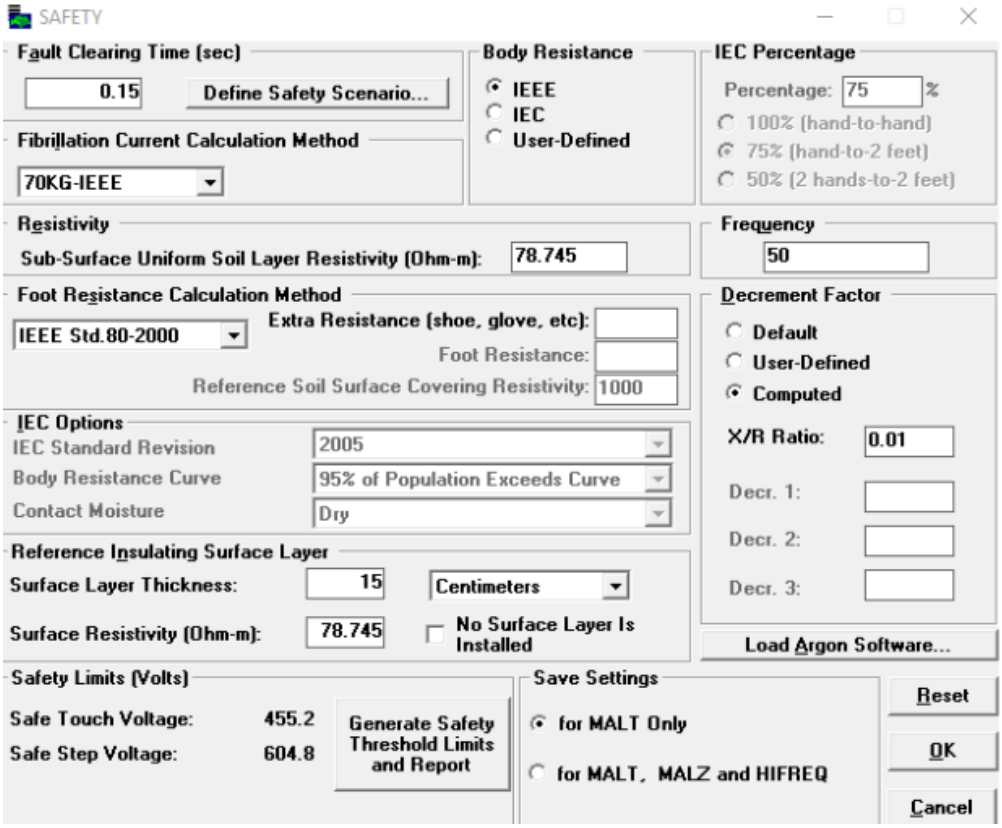
Simulacijom dobiva se da je debljina gornjeg dijela tla 1.041 m, a otpornost gornjeg dijela tla iznosi ρ_1 = 78,745 Ωm dok je otpornost donjeg dijela tla ρ_2 = 21,119 Ωm. RMS greškom (eng. RMS Error) se predstavlja odstupanje teorijske prividne otpornosti od mjerenih prividnih

otpornosti i ona iznosi za ovaj slučaj 5,085 %. Zatim se u MALT-u importiraju podaci koji su dobiveni u RESAP-u za dvoslojno horizontalno tlo kako je prikazano na slici 3.18.



Slika 3.18. Prikaz importiranja podataka iz RESAP-a u MALT

Uzemljivač trafostanice za ovaj slučaj jednak je kao i za prvi slučaj koji je prikazan na slici 3.3. Sigurnosne postavke su podešene tako je da vrijeme trajanja kvara postavljeno na 0,15 s, specifični otpor gornjeg dijela tla 78,745 Ωm, dozvoljeni naponi dodira i koraka izračunati su za tijelo mase 70 kg, debljina površinskog sloja tla iznosi 0,15 m. Prema odabranoj normi IEEE Std. 80-2000 za ove vrijednosti dobivamo iznose dozvoljenih napona dodira od 455,2 V i napona koraka od 604,8 V. Podešene sigurnosne postavke prikazane su na slici 3.19.

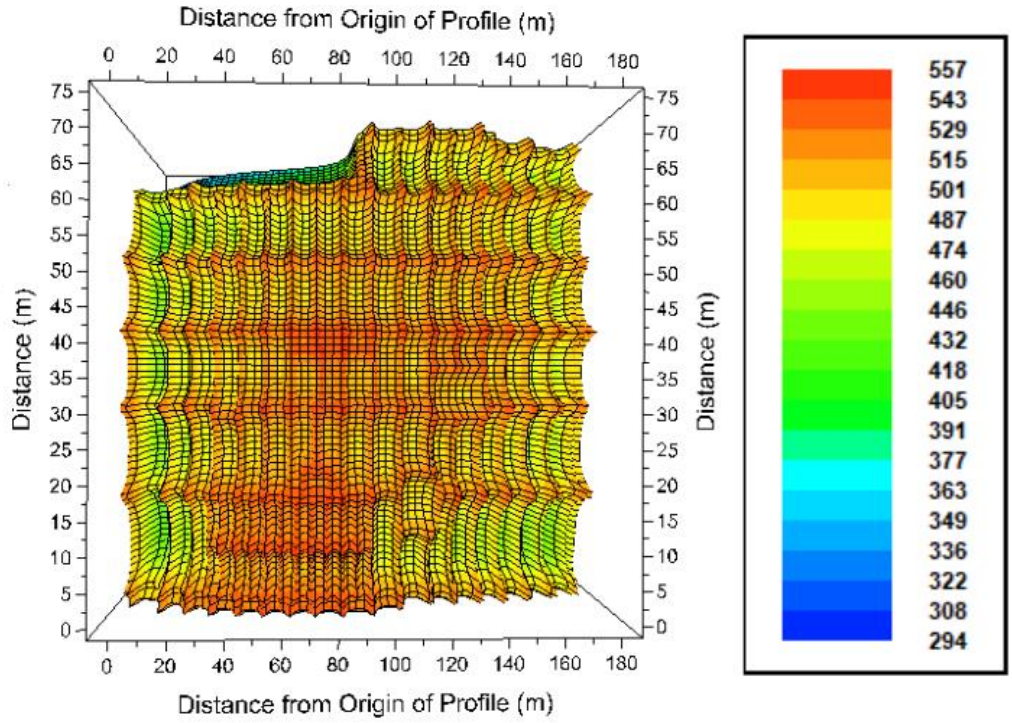


Slika 3.19. Prikaz sigurnosnih postavki za drugi slučaj

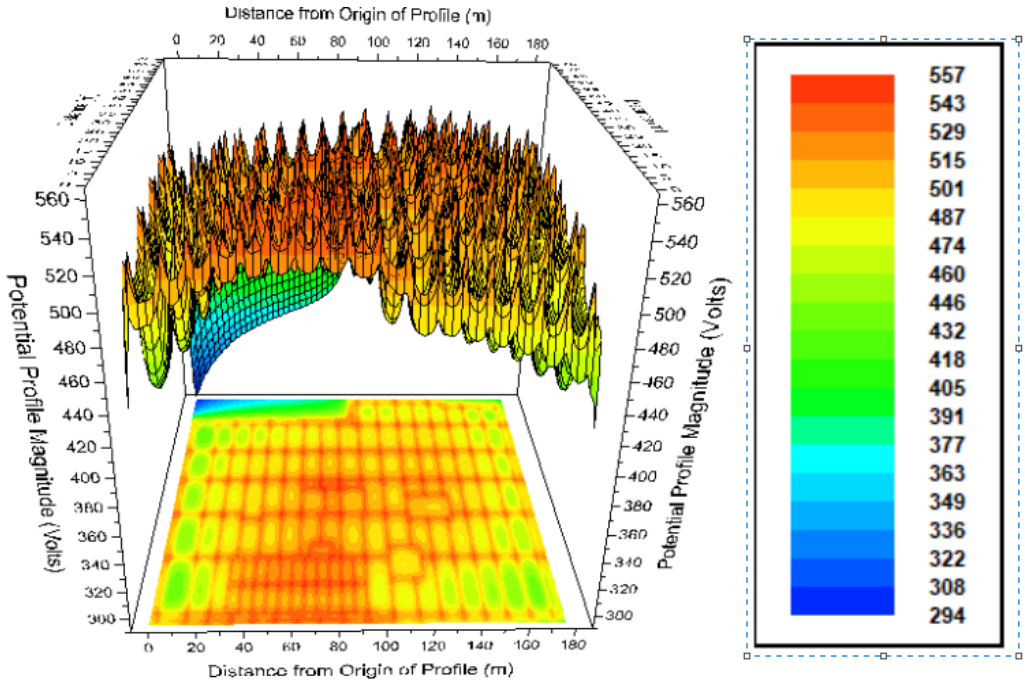
Za slučaj kada je uzemljivač ograde galvanski spojen sa glavnim uzemljivačem trafostanice 110/35/10 kV kod dvoslojnog modela tla pokretanjem simulacije dobivamo sljedeća rješenja:

- ukupan iznos struje koja ulazi u uzemljivač: 5500 A
- potencijal uzemljivača – GPR (eng. Ground Potential Rise): 594,81 V
- specifični otpor gornjeg sloja: 78,745 Ωm
- specifični otpor donjeg sloja: 21,119 Ωm
- debljina gornjeg sloja: 1,041 m
- otpor rasprostiranja uzemljivača: 0,1082 Ω.

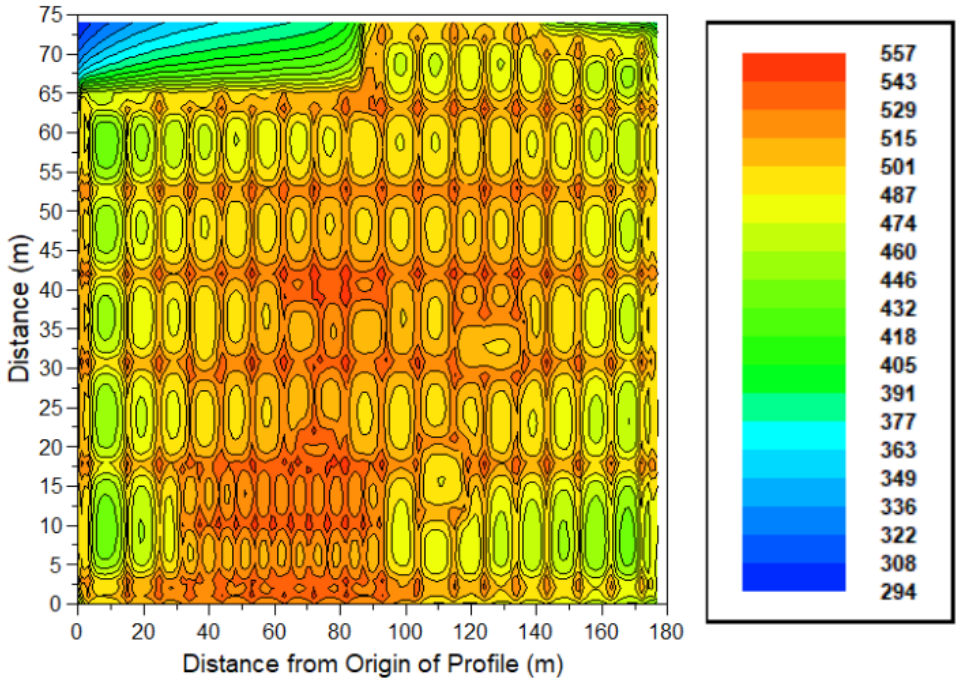
Dobiveni potencijal zemljišta za drugi slučaj prikazan je na sljedećim slikama (Slika 3.20., Slika 3.21. i Slika 3.22.):



Slika 3.20. 3D prikaz potencijala zemljišta kada je ograda spojena na glavni uzemljivač za drugi slučaj (1)

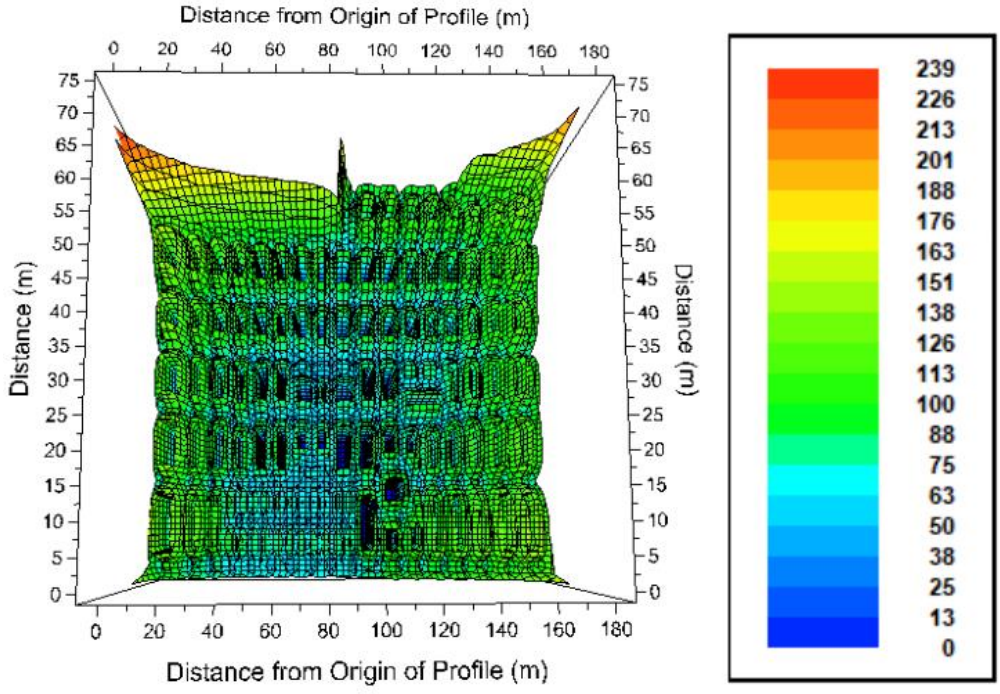


Slika 3.21. 3D prikaz potencijala zemljišta kada je ograda spojena na glavni uzemljivač za drugi slučaj (2)

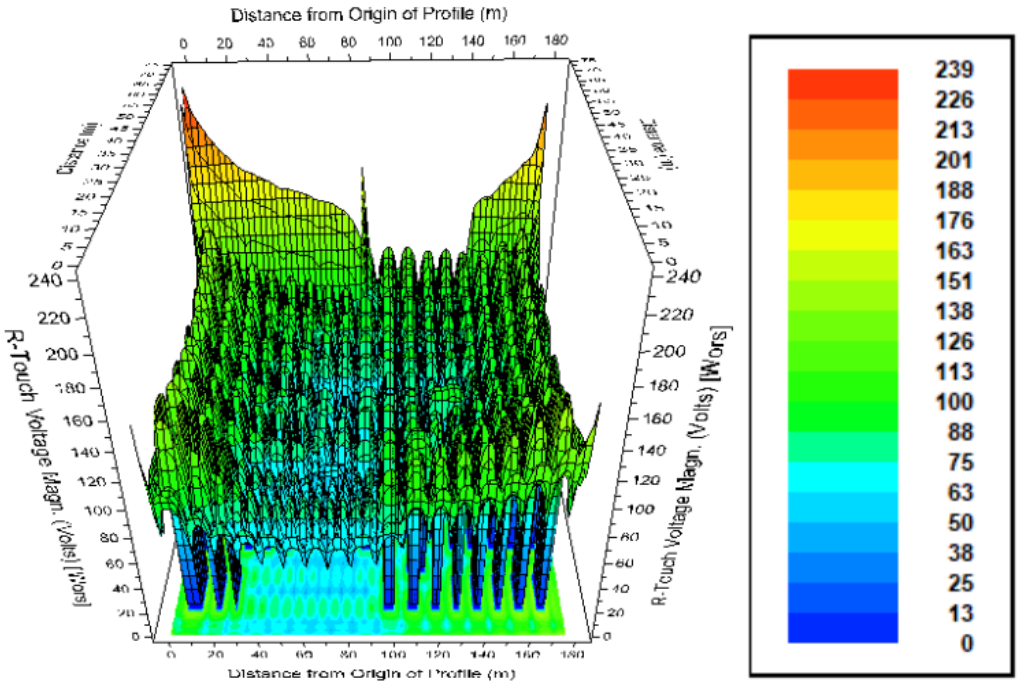


Slika 3.22. 2D prikaz potencijala zemljišta kada je ograda spojena na glavni uzemljivač za drugi slučaj (1)

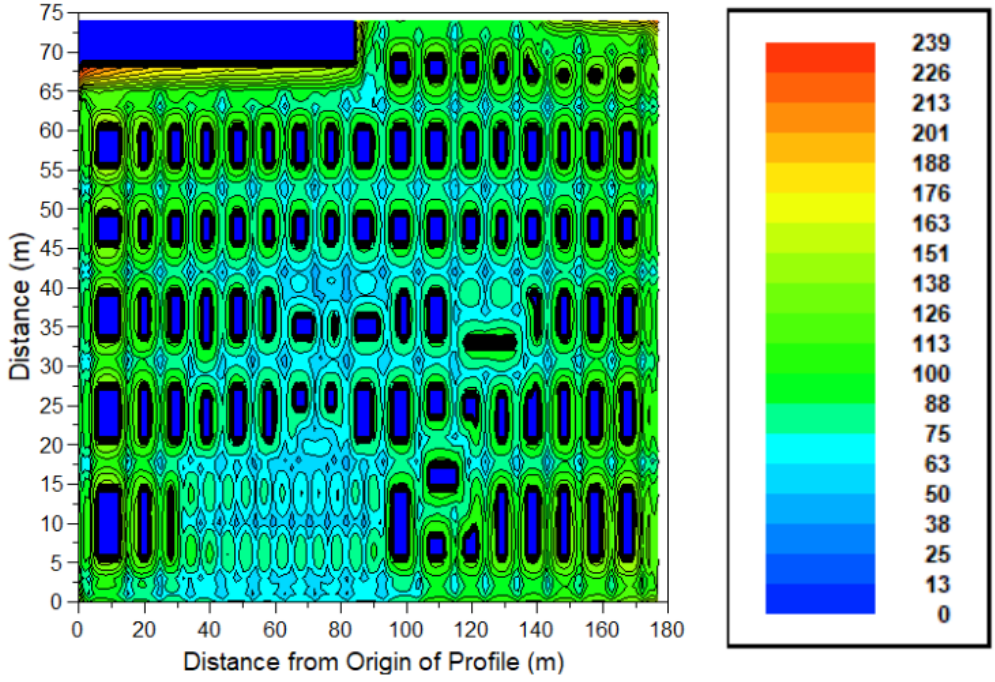
Dobiveni naponi dodira za drugi slučaj prikazani su na sljedećim slikama (Slika 3.23., 3.24. i 3.25.):



Slika 3.23. 3D prikaz napona dodira kada je ograda spojena na glavni uzemljivač za drugi slučaj (1)

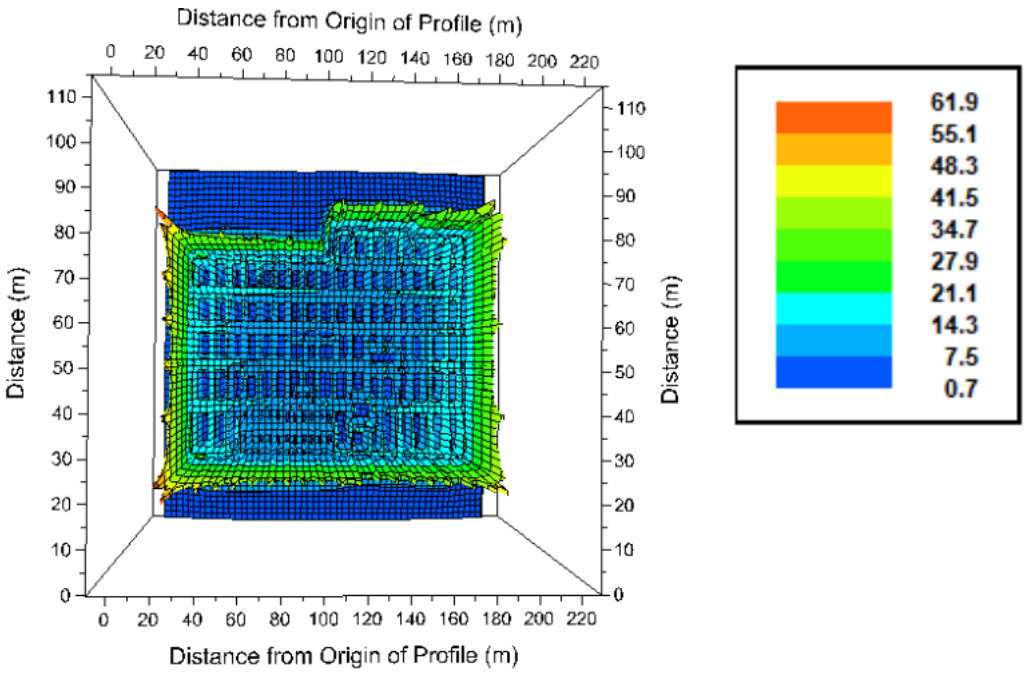


Slika 3.24. 3D prikaz napona dodira kada je ograda spojena na glavni uzemljivač za drugi slučaj (2)

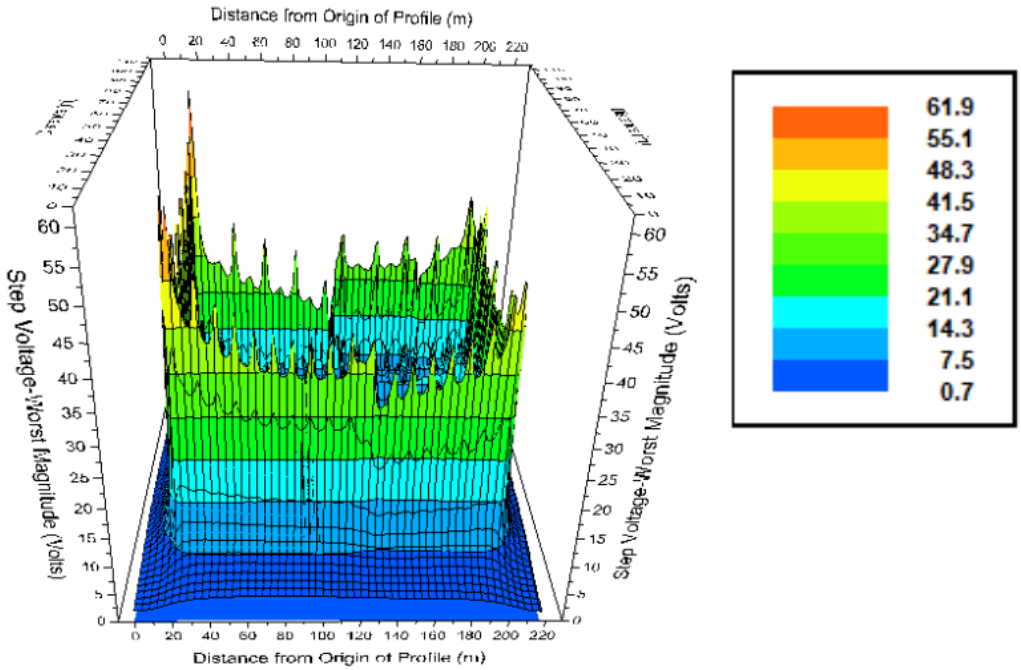


Slika 3.25. 2D prikaz napona dodira kada je ograda spojena na glavni uzemljivač za drugi slučaj

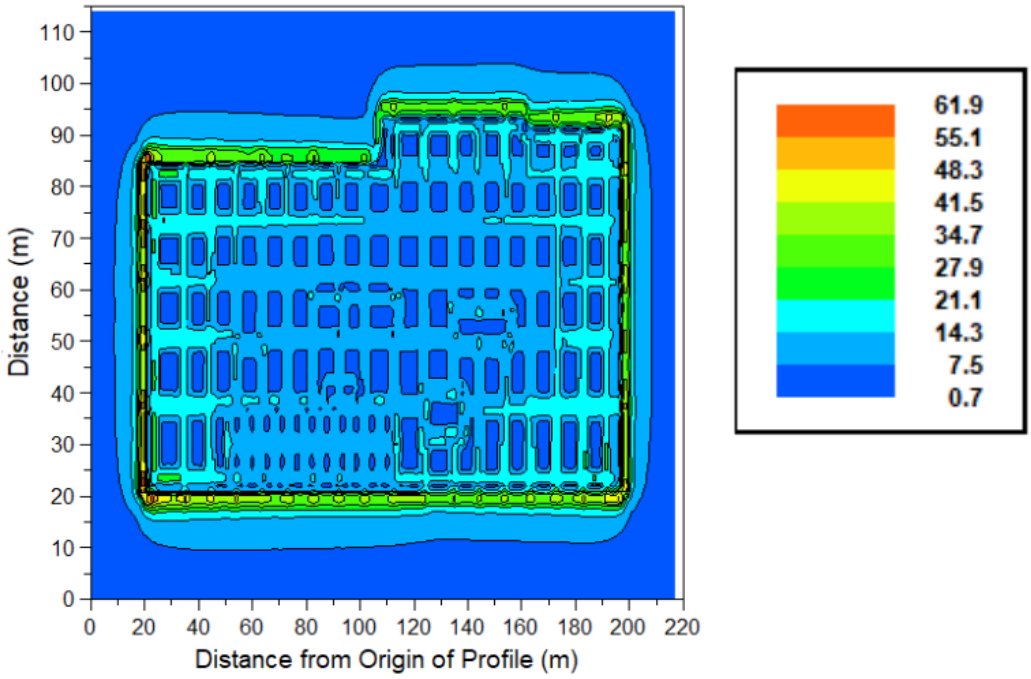
Dobiveni naponi koraka za drugi slučaj prikazani su na sljedećim slikama (Slika 3.26., 3.27. i 3.28.):



Slika 3.26. 3D prikaz napona koraka kada je ograda spojena na glavni uzemljivač za drugi slučaj (1)



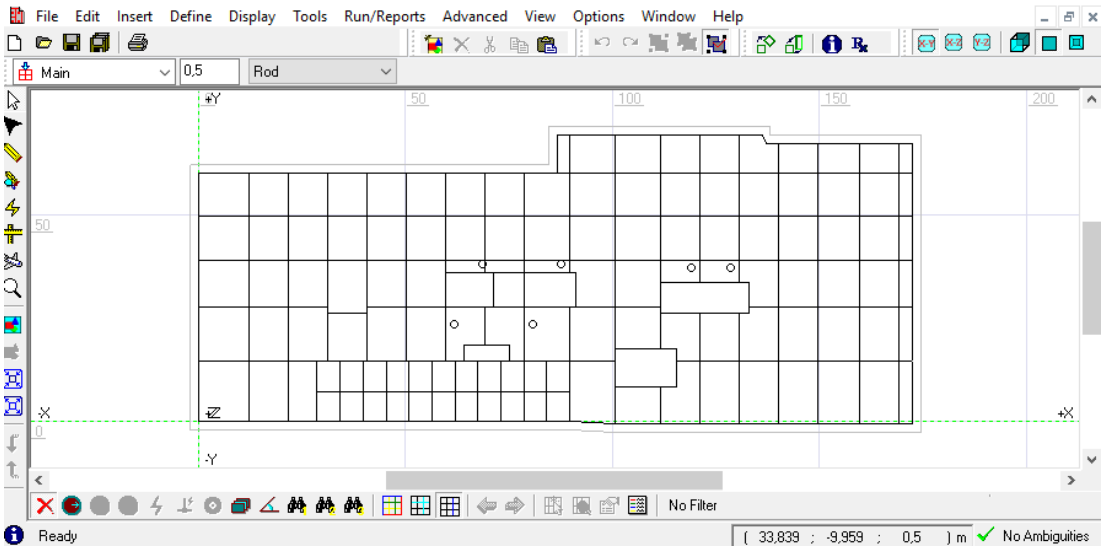
Slika 3.27. 3D prikaz napona koraka kada je ograda spojena na glavni uzemljivač za drugi slučaj (2)



Slika 3.28. 2D prikaz napona koraka kada je ograda spojena na glavni uzemljivač za drugi slučaj

3.5. Uzemljivač ograde galvanski odvojen od glavnog uzemljivača trafostanice 110/35/10 kV

U trećem slučaju kada je ograda galvanski odvojena od glavnog uzemljivača trafostanice 110/35/10 tlo je uniformno i njegova otpornost iznosi ρ = 40 Ωm. U MALT-u se unosi vrijednost otpornosti tla na način kao što je prikazano na slici 3.2. Model uzemljivača trafostanice različit je nego u prethodna dva slučaja.. Glavni uzemljivač kojeg čine mrežni uzemljivač od bakrenog užeta i 6 vertikalnih uzemljivačkih bakrenih štapova više nisu spojeni sa uzemljivačem ograde. Model uzemljivača trafostanice prikazan je na slici 3.29.



Slika 3.29. Prikaz uzemljivača trafostanice 110/35/10 kV kada je ograda galvanski odvojena od glavnog uzemljivača u SesCAD-u

U ovom slučaju sigurnosne postavke jednake su kao i za prvi slučaj te su prikazane na slici 3.4. Kada je uzemljivač ograde galvanski odvojen od glavnog uzemljivača trafostanice 110/35/10 kV kod jednoslojnog modela tla pokretanjem simulacije dobivamo sljedeća rješenja:

- ukupan iznos struje koja ulazi u uzemljivač: 5500 A
- potencijal glavnog uzemljivača: 907,16 V
- potencijal uzemljivača ograde: 730,74 V
- specifični otpor uniformnog tla: 40 Ωm.

Otpor rasprostiranja uzemljivača određen je za slučaj kada ograda nije uzemljena ali taj slučaj nije detaljno razmatran jer kada ograda nije uzemljena može doći galvanske veze bilo kojeg vodiča sa ogradom i tada zaštita ne bi reagirala jer je ograda neuzemljena. Otpor rasprostiranja uzemljivača iznosi 0,1655 Ω, te je prikazan na slici 3.30.

```
CONFIGURATION OF MAIN ELECTRODE
===============================

Original Electrical Current Flowing In Electrode..:   5500.0     amperes
Current Scaling Factor (SPLITS/FCDIST/specified)..:   1.0000
Adjusted Electrical Current Flowing In Electrode..:   5500.0     amperes
Number of Conductors in Electrode.................:   256
Resistance of Electrode System....................:   0.16554    ohms


SUBDIVISION
===========
Grand Total of Conductors After Subdivision.:   416

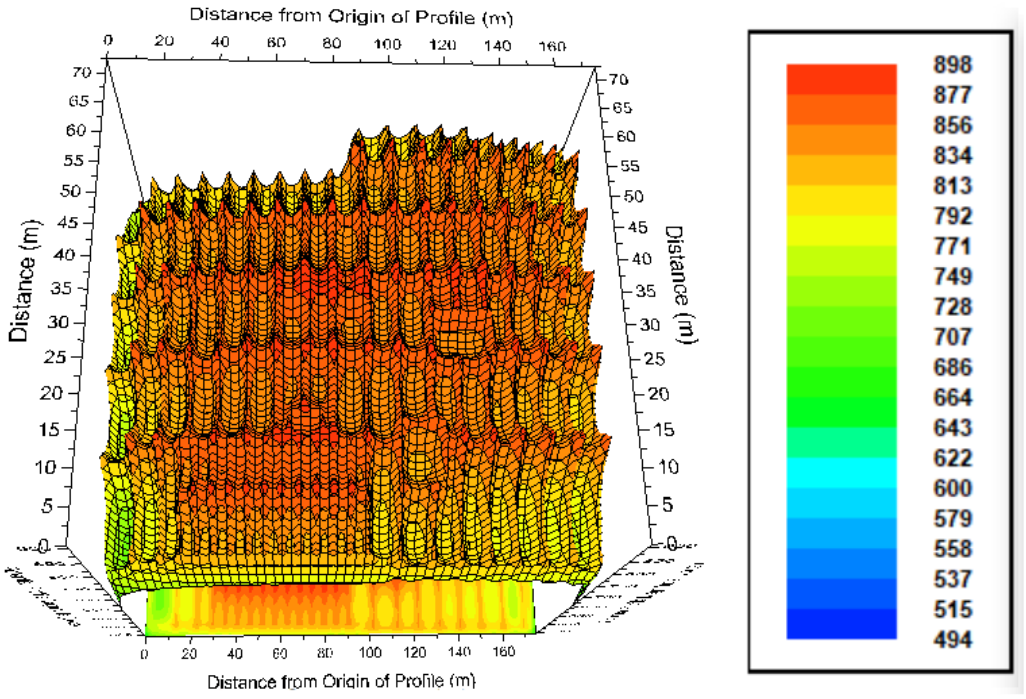

Total Current Flowing In Main Electrode......:   5500.0     amperes
Total Buried Length of Main Electrode........:   2588.2     meters


EARTH POTENTIAL COMPUTATIONS
============================

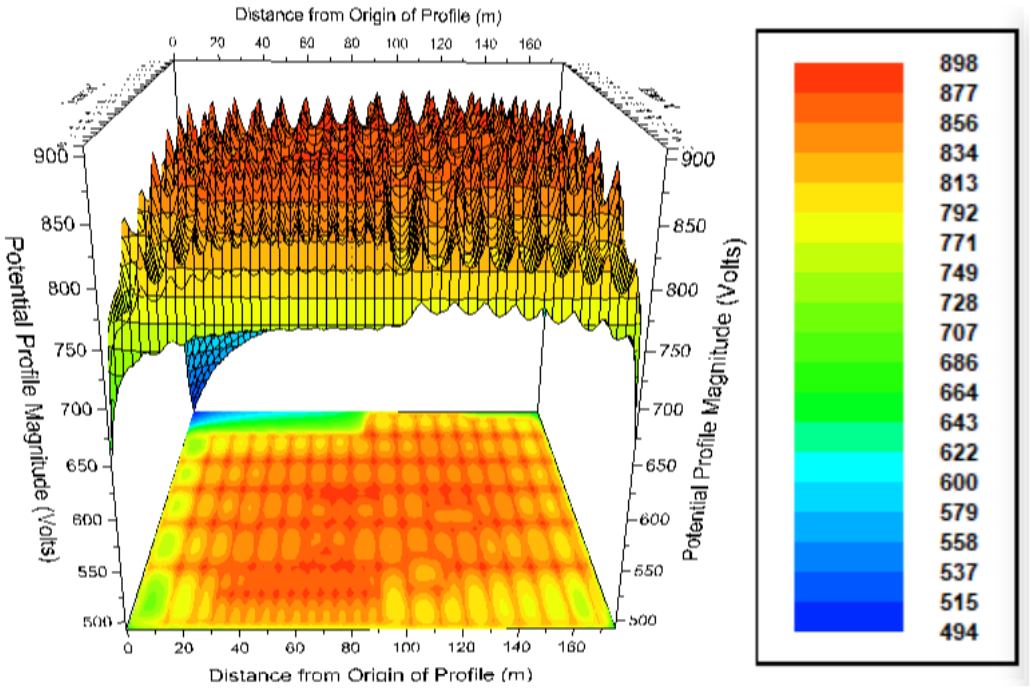
Main Electrode Potential Rise (GPR).....:   910.49     volts
```

Slika 3.30. Iznos otpora rasprostiranja uzemljivača za treći slučaj

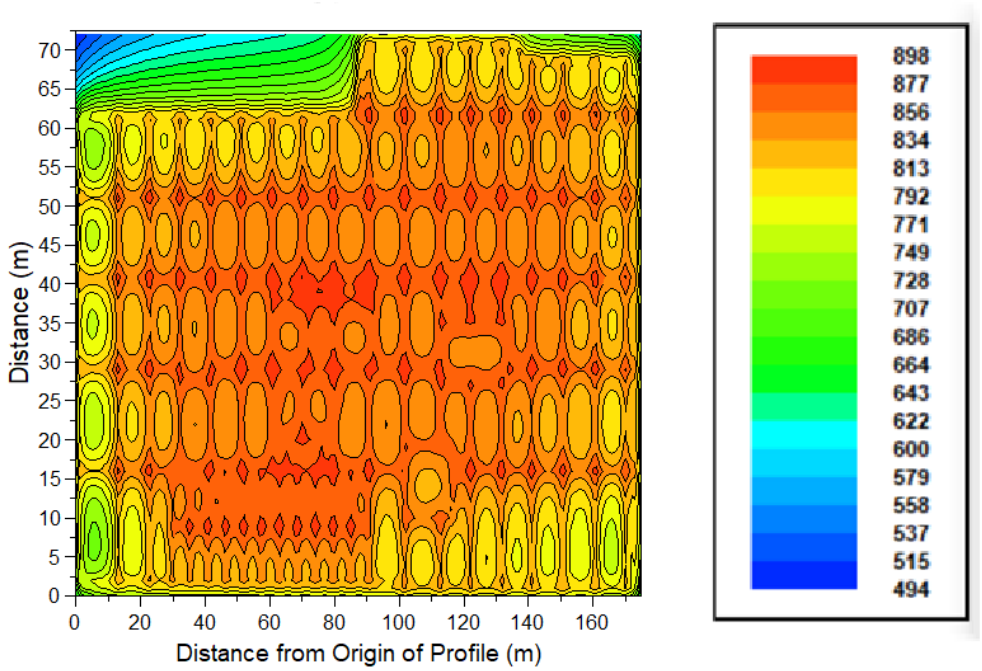
Dobiveni potencijal zemljišta za treći slučaj prikazan je na sljedećim slikama (Slika 3.31., Slika 3.32. i Slika 3.33.):



Slika 3.31. 3D prikaz potencijala zemljišta kada je ograda galvanski odvojena od glavnog uzemljivača (1)

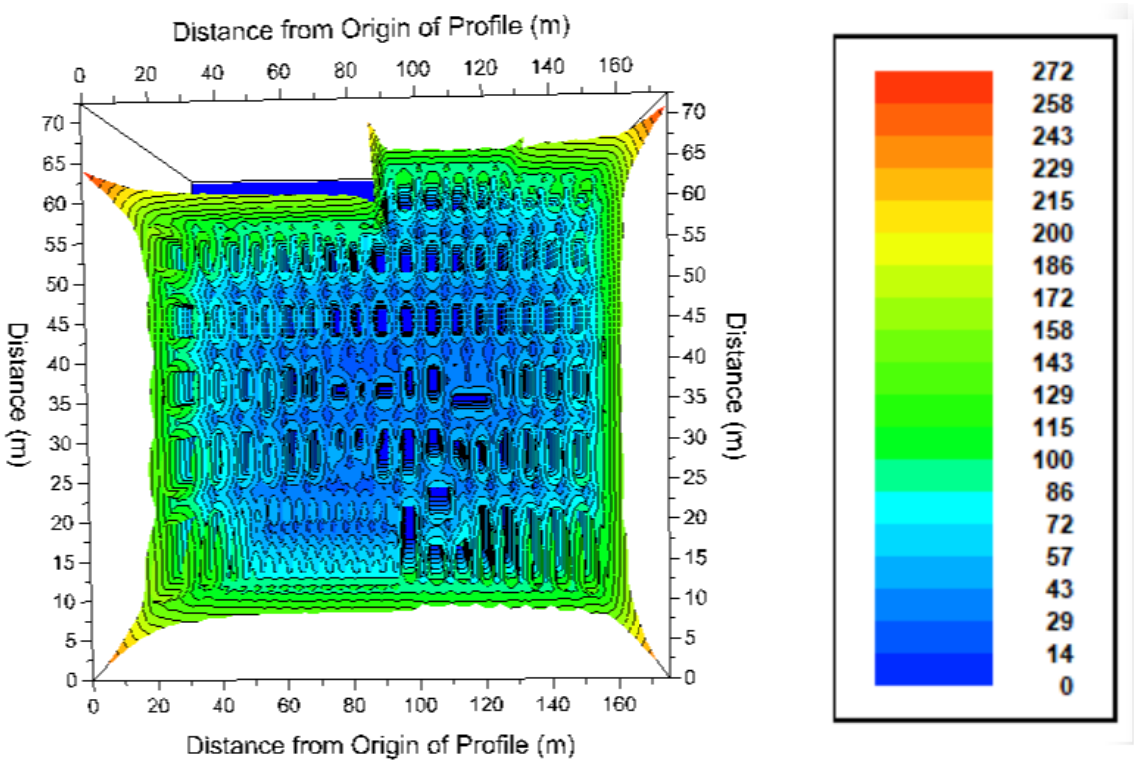


Slika 3.32. 3D prikaz potencijala zemljišta kada je ograda galvanski odvojena od glavnog uzemljivača (2)

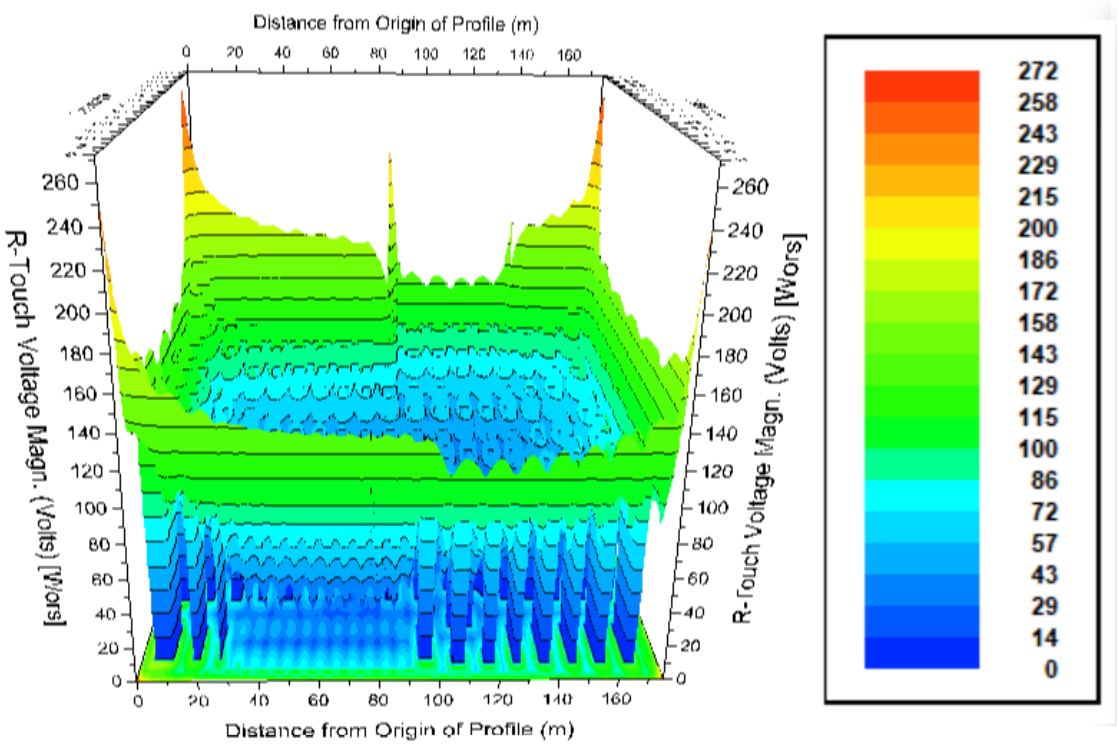


Slika 3.33. 2D prikaz potencijala zemljišta kada je ograda galvanski odvojena od glavnog uzemljivača

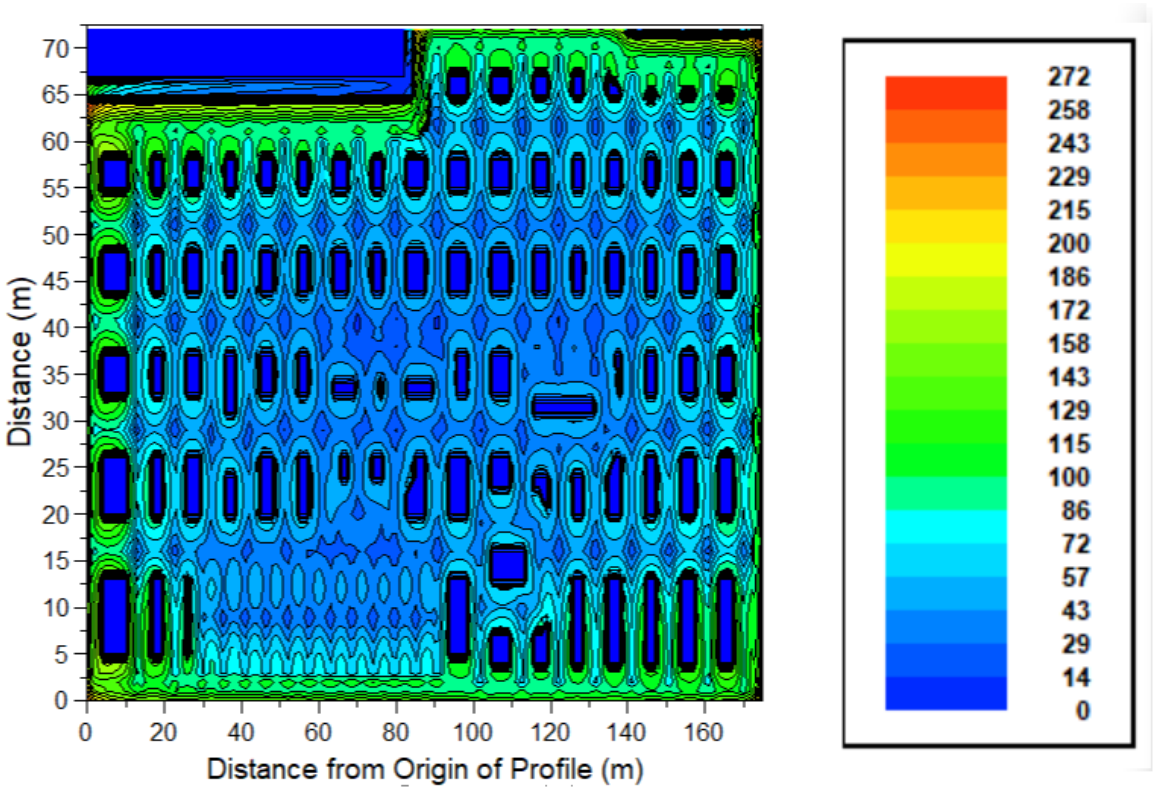
Dobiveni naponi dodira za treći slučaj prikazani su na sljedećim slikama (Slika 3.34., 3.35. i 3.36.):



Slika 3.34. 3D prikaz napona dodira kada je ograda spojena na glavni uzemljivač za treći slučaj (1)

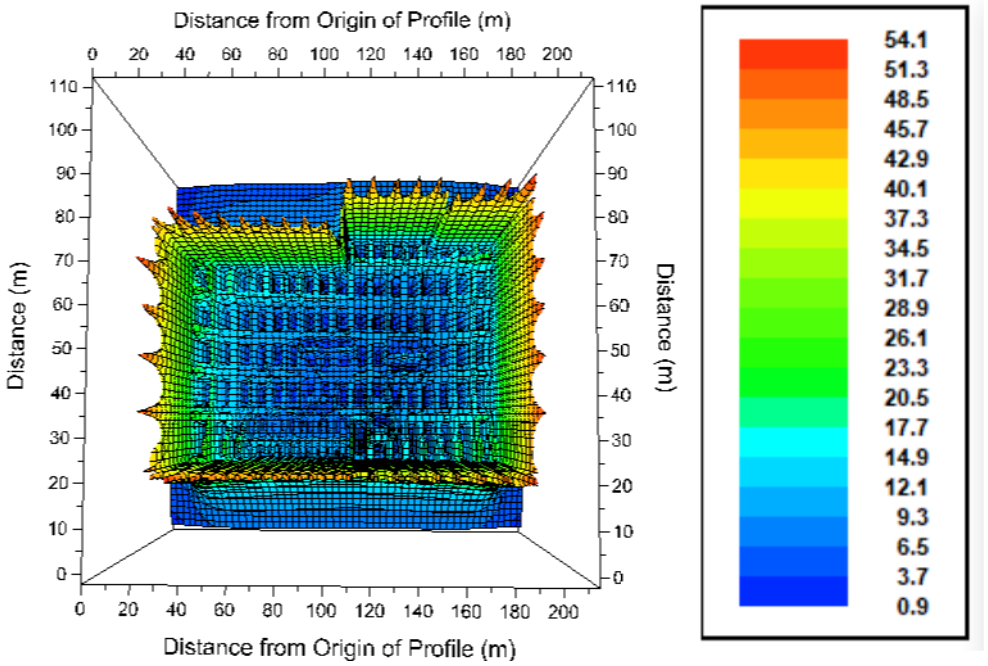


Slika 3.35. 3D prikaz napona dodira kada je ograda spojena na glavni uzemljivač za treći slučaj (2)

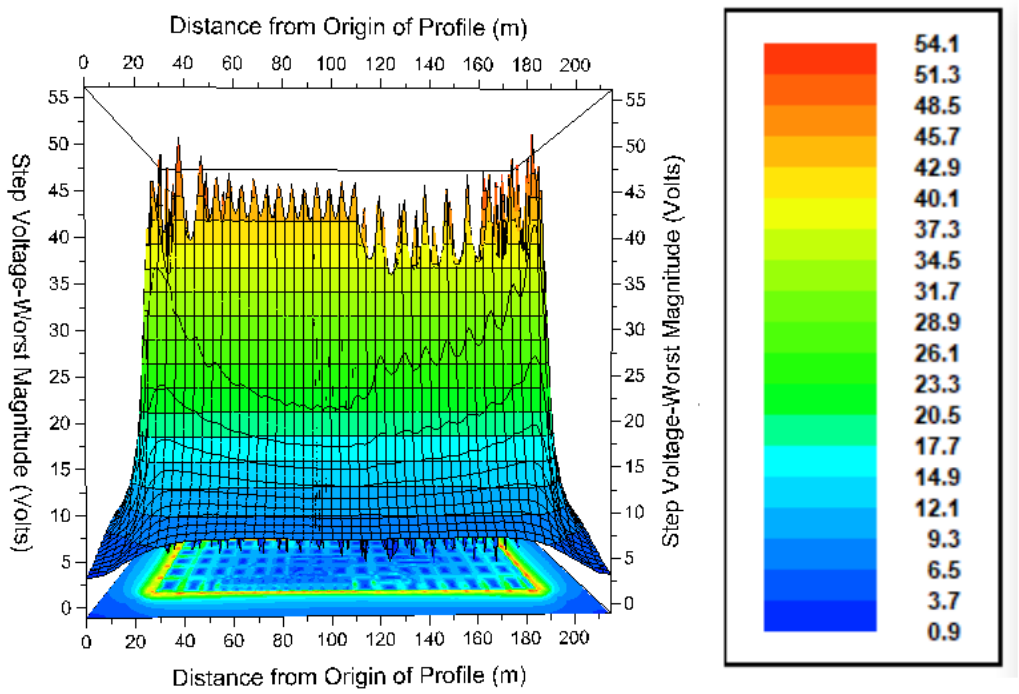


Slika 3.36. 2D prikaz napona dodira kada je ograda spojena na glavni uzemljivač za treći slučaj

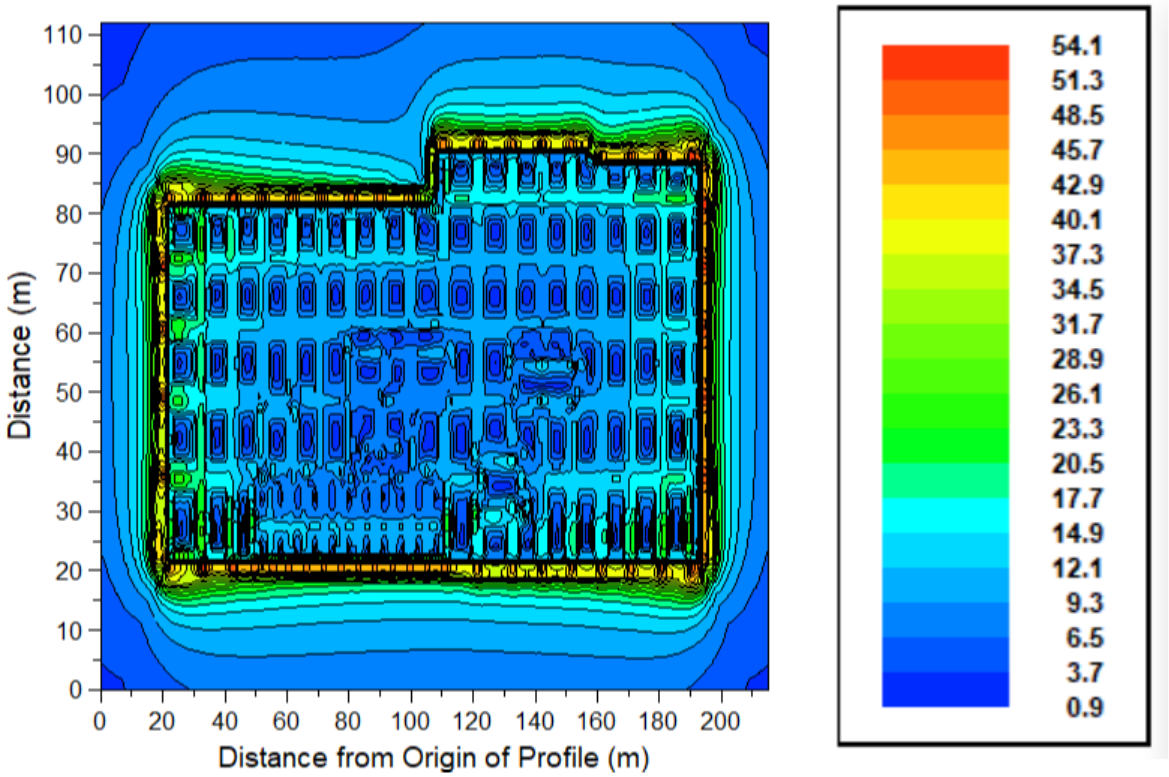
Dobiveni naponi koraka za treći slučaj prikazani su na sljedećim slikama (Slika 3.37., 3.38. i 3.39.):



Slika 3.37. 3D prikaz napona koraka kada je ograda spojena na glavni uzemljivač za treći slučaj (1)



Slika 3.38. 3D prikaz napona koraka kada je ograda spojena na glavni uzemljivač za treći slučaj (2)



Slika 3.39. 2D prikaz napona koraka kada je ograda spojena na glavni uzemljivač za treći slučaj

4. ANALIZA I USPOREDBA REZULTATA SIMULACIJA ZA TRI SLUČAJA

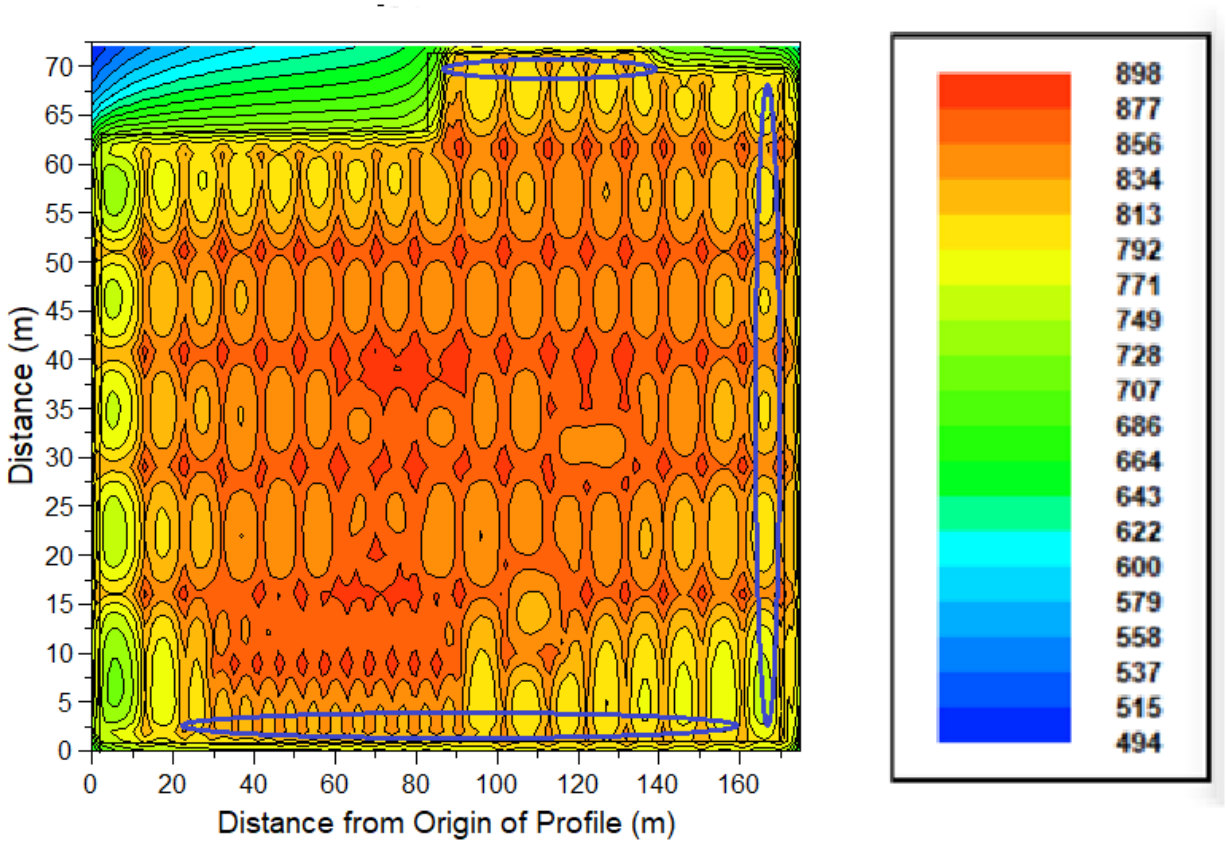
U prvom slučaju kada je model tla jednoslojan, a uzemljivač ograde galvanski spojen sa glavnim uzemljivačem analiziran je potencijal zemljišta na cijelom postrojenju do 1 m izvan ograde postrojenja. Najveći potencijal zemljišta koji se pojavljuje u postrojenju za ovaj slučaj iznosi 844 V što se može vidjeti na slici 3.7. Napon dodira analizira se na cijelom postrojenju do 1 m izvan ograde te je najveći napon dodira koji se pojavljuje u postrojenju 243 V (Slika 3.10.). U programskom paketu CDEGS imamo opciju odabiranja dosežnog napona dodira prilikom analize uzemljivača trafostanice. Dosežni napon dodira provjerava koji je najveći napon dodira koji se nalazi 1 m izvan ograde. Najveći napon dodira u prvom slučaju ne premašuje najveću dozvoljenu vrijednost napona dodira (243 V < 430,7 V) pa stoga nema pojave opasnog dodira napona za ljude koji se nalaze u blizini postrojenja ili u unutar njega za vrijeme kvara. Napon koraka analizira se unutar postrojenja i na udaljenosti 20 m izvan ograde postrojenja. Maksimalni napon koraka koji se pojavljuje unutar postrojenja iznosi 66,5 V (Slika 3.13.) što je unutar dozvoljenog napona dodira za prvi slučaj (66,5 < 506,7 V). Potencijal uzemljivača iznosi 851,57 V, a otpor rasprostiranja uzemljivača iznosi 0,1548 Ω. Za prvi slučaj analizom možemo zaključiti da su svi rezultati unutar dozvoljenih vrijednosti, pa je ovakav način uzemljenja trafostanice siguran za ljude u slučaju kvara.

Za drugi slučaj kada je uzemljivač ograde ponovno spojen sa glavnim uzemljivačem, ali je model tla sada dvoslojan može se primijetiti kako je potencijal uzemljivača niži nego za prvi slučaj (594,81 < 851,57). Razlog tomu je što je otpor rasprostiranja uzemljivača za drugi slučaj manji nego otpor rasprostiranja uzemljivača za prvi slučaj (0,1082 Ω < 0,1548 Ω). Pa prema Ohmov zakonu jednaka struja ulazi u uzemljivač (I_E = 5500 A), te uz smanjeni otpor rasprostiranja uzemljivača dobijemo i manji potencijal uzemljivača za ovaj slučaj. Razlog smanjenja otpora rasprostiranja je taj što je otpornost tla za jednoslojno tlo iznosila 40 Ωm, a sada je tlo dvoslojno i otpornost njegovog donjeg dijela, koji je beskonačan, manja je nego otpornost jednoslojnog tla (24,119 Ωm < 40 Ωm). Analiziran je potencijal zemljišta za cijelo postrojenje do 1 m izvan ograde postrojenja, te je najveći potencijal zemljišta koji se pojavljuje za ovaj slučaj 557 V što je vidljivo na slici 3.22. Napon dodira analiziran je unutar postrojenja do 1 m izvan ograde te se najviši napon dodira pojavljuje u razmaku od 1 m od ograde. Njegova najveća vrijednost iznosi 239 V što je vidljivo na slici 3.25. Dozvoljeni napon dodira za ovaj slučaj iznosi 455,2 V, te je maksimalni

dosežni napon dodira manji od dozvoljenog napona dodira (239 V < 455,2 V). Napon koraka se analizira na cijelom postrojenju do 20 m izvan ograde postrojenja. Za drugi slučaj njegova dozvoljena vrijednost iznosi 604,8 V, a maksimalna vrijednost napona koraka koja se pojavljuje u postrojenju iznosi 61,9 V što je značajno unutar dozvoljenih granica. Ukoliko je tlo, u koju se polaže uzemljivač trafostanice 110/35/10 kV, dvoslojno sve vrijednosti koje se pojavljuju u postrojenju su unutar dozvoljenih pa ni u ovom slučaju ljudi koji se nalaze unutar postrojenja ili uz ogradu postrojenja neće biti u opasnosti po život. Prilikom modeliranja tla za uzemljenje trafostanica dvoslojno tlo zadovoljava u većini slučajeva u praksi. To se može primjetiti i provjeravanjem RMS pogreške koja iznosi 5,085 %.

U trećem slučaju ograda postrojenja je galvanski odvojena od glavnog uzemljivača trafostanice 110/35/10 kV i model tla je jednoslojan, te otpornost tog tla iznosi 40 Ωm. Stoga, u ovom slučaju razlikuje se potencijal glavnog uzemljivača koji iznosi 907,16 V i potencijal ograde uzemljivača iznosi 730,74 V. Razlozi zbog kojeg se povećao potencijal glavnog uzemljivača u odnosu na prethodna dva slučaja je zbog toga što je glavni uzemljivač sada galvanski odvojen od uzemljivača ograde i zbog toga što se povećao otpor rasprostiranja uzemljivača, pa prema Ohmov zakonu dobijemo veći potencijal uzemljivača. Otpor rasprostiranja uzemljivača u ovom slučaju se nije mogao odrediti pa se odredio za slučaj kada je ograda neuzemljena što se ne prakticira u praksi. Vrijednost otpora rasprostiranja uzemljivača za treći slučaj iznosi 0,1655 Ω. Potencijal zemljišta je analiziran za cijelo postrojenje do 1 m izvan ograde postrojenja. Najveći potencijal zemljišta za slučaj kada je ograda galvanski odvojena od glavnog uzemljivača iznosi 898 V što je vidljivo na slici 3.33. Maksimalni dozvoljeni napon dodira za ovaj slučaj jednak je kao i za prvi slučaj i iznosi 430,7 V. Napon dodira se analizira unutar cijelog postrojenja do 1 m izvan ograde postrojenja te je najveći dosežni napon dodira 272 V i on je manji od dozvoljenog napona dodira (272 V < 430,7 V). Što se tiče napona koraka, on se računa na cijelom postrojenju do 20 m izvan ograde postrojenja. Dozvoljeni napon koraka za ovaj slučaj je također isti kao i za prvi slučaj i iznosi 506,7 V, a najveći napon koraka koji se pojavljuje u postrojenju iznosi 54,1 V te je značajno unutar dozvoljenih vrijednosti (54,1 V< 506,7 V). Za ovaj slučaj potrebno je provjeriti napon dodira 1 m uz ogradu i 1 m izvan ograde zbog postojanja pozitivnog i negativnog napona dodira uz ogradu. Sa slike 3.33 na kojoj je prikazan potencijal zemljišta za ovaj slučaj može se primjetiti da na određenim dijelovima postrojenja imamo pojavu negativnog napona dodira, odnosno da se sa područja višeg potencijala dodiruje područje nižeg potencijala, što je prikazano na slici 3.40. Za treći slučaj može se zaključiti da su sve dobivene vrijednosti unutar dozvoljenih vrijednosti, te u ovom slučaju svi ljudi koji se nalaze unutar postrojenja ili u blizini ograde postrojenja neće biti u

opasnosti po život. Također važno je naglasiti da je ovakav način uzemljivanja opasan jer zbog galvanske odvojenosti ograde od glavnog uzemljivača postoji mogućnost da je razlika između potencijala zemljišta na kojoj se stoji i potencijala ograde koja se dodiruje opasna po život te je potrebno pri analizi uvidjeti je li taj napon dodira prelazi dozvoljeni napon dodira unutar tog postrojenja.



Slika 3.40. Prikaz pojave negativnih napona dodira 1 m uz ogradu za slučaj kada je ograda galvanski odvojena od glavnog uzemljivača

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu objašnjen je pojam uzemljenja i osnovne vrste uzemljenja te podjela uzemljivača prema obliku materijala i prema načinu izvođenja. Zatim su objašnjeni termini napona dodira, napona koraka i iznošenje potencijala. Također su u teorijskom dijelu rada obrađeni i načini uzemljenja ograde te mjere koje se koriste za smanjenje napona dodira ograde elektroenergetskog postrojenja. Nakon toga ispitana su tri različita slučaja na osnovu kojih je potrebno analizirati kako oni utječu na najvažnije parametre pri uzemljenju ograde elektroenergetskog postrojenja.

U analizi rezultata simulacija može se primijetiti utjecaj različitog načina uzemljenja ograde kao i različitih modela tla na vrijednosti koje osiguravaju čovjekovu zaštitu unutar elektroenergetskog postrojenja. Sva tri slučaja koja su obrađena su zadovoljila i sve dobivene vrijednosti su bile unutar dozvoljenih vrijednosti.

Iz rezultata simulacije može se primijetiti da puno veći problem u postrojenju predstavlja napon dodira u odnosu na napon koraka koji uvijek bude značajno unutar granica postrojenja. Napon dodira se snižava na neopasnu vrijednost ako se smanji otpor rasprostiranja uzemljivača i tako ostvari manje strma raspodjela potencijala. Taj postupak nije uvijek moguć jer otpor rasprostiranja ne ovisi samo o obliku, dimenzijama i broju uzemljivača, nego i o strukturi zemljišta, odnosno o otpornosti tla u kojem se uzemljivači nalaze.

LITERATURA

[1] Z. Pašić, Zaštita elektroenergetskog sustava, Sarajevo, 2008.

[2] F. Majdandžić, Uzemljivači i sustavi uzemljenja, Graphis, Zagreb, 2004.

[3] Izvadak iz predavanja Uzemljivači i sustavi uzemljenja, G. Knežević, Uzemljivači i sustavi uzemljenja, Osnovni pojmovi

[4] Iznošenje opasnih potencijala iz elektroenergetskog postrojenja, preuzeto sa: https://www.scribd.com/ (pristup: 22.5.2018.)

[5] M. Kurtović, G. Miloš, D. Milun, Analiza međusobnog uticaja glavnog uzemljivača i uzemljivača ograde električnog postrojenja, Savjetovanje o prenosu električne energije, Ohrid, 1978.

[6] I. Galek, Analiza dodirnog napona i načina uzemljenja ograde elektroenergetskog postrojenja, Elektrotehnika, br. 1-2, 1986.

[7] J. Nahman, D. Jelovac, Analiza međusobnog uticaja uzemljivača, XIII savjetovanje CIGRE, Bled, 1977.

[8] SES & technologies - CDEGS, preuzeto sa: http://www.sestech.com/products/softpackages/cdegs.htm (pristup: 23.8.2018.)

SAŽETAK

U diplomskom radu objašnjeni su različiti načini uzemljenja ograde elektroenergetskih postrojenja. Također su objašnjeni i najvažniji pojmovi pri uzemljenju elektroenergetskog postrojenja, a to su napon dodira i napon koraka. Obrađen je i pojam uzemljenja i najčešće mjere za smanjenje napona dodira ograde elektroenergetskog postrojenja. U drugom dijelu obuhvaćeno je modeliranje uzemljivača u programskom paketu CDEGS za tri slučaja u kojima se mijenjaju načini uzemljenja ograde i koriste različiti modeli tla. U zadnjem dijelu rada obavljena je analiza svih slučajeva i usporedba dobivenih rezultata simulacije.

Ključne riječi: uzemljenje, uzemljenje ograde elektroenergetskog postrojenja, napon dodira, napon koraka, CDEGS, modeli tla

ABSTRACT

In this thesis different types of electrical substation fence grounding are explained. The most important concepts in electrical substation grounding are also explained and these are touch voltage and step voltage. The term grounding and most common measures to reduce touch voltage of electrical substation fence are processed. In the second part the modeling of the grounding in CDEGS software package for three cases in which change the ways of fence grounding and using different soil models are included. In the last part of the thesis an analysis of all cases and comparison of the simulation results is performed

Key words: grounding, electrical substation fence grounding, touch voltage, step voltage, CDEGS, soil models.

ŽIVOTOPIS

Davor Bijelić rođen je 01. rujna 1994. u Slavonskom Brodu. Osnovnu školu pohađao je u Orašju u Osnovnoj školi Orašje gdje je završio 8 razreda sa odličnim uspjehom. Nakon završene osnovne škole upisuje Srednju školu fra Martina Nedića u Orašju, smjer opća gimnazija. Poslije završene srednje škole upisuje Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Nakon završene prve godine upisuje smjer elektroenergetika. Po završetku sveučilišnog preddiplomskog studija završnim radom na temu „Proračun jediničnog kapaciteta dalekovoda pomoću računala“ upisuje diplomski studij, smjer energetski sustavi na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku.

U Osijeku, rujan 2018. Davor Bijelić

Potpis: 