

## **PRESKUŠANJE DRSENE SPONKE ZA OZEMLJEVANJE VODNIKOV DVOSISTEMSKEGA 110 KV DALJNOVODA**

Robert MARUŠA, Jože VORŠIČ, Jože PIHLER, Rado FERLIČ,  
Lovro BELAK, Janez RIBIČ, Leon MARUŠA

### **POVZETEK**

*V članku so predstavljena preskušanja Drsne sponke za ozemljevanje vodnikov daljnovoda. V namen izvedbe učinkovitega ozemljevanja daljnovodnih vodnikov pri izvedbi del v bližini visoke napetosti je bila načrtovana in izdelana posebna oblika drsne sponke za ozemljevanje. Ozemljitvena naprava je namenjena za ozemljevanje vodnikov daljnovoda, ki se pri montaži vodnika vzdolžno gibljejo (vlečejo) na dvosistemski daljnovod, katerega drugi sistem normalno obratuje kar predstavlja veliko tveganje za enopolni zemeljski stik. Naprava mora med drsenjem po vodniku zagotoviti tak spoj, da brez posledic prepreči oblok in učinkovito odvede tok zemeljskega stika v ozemljilo.*

*Pred redno uporabo je bilo potrebno na ozemljitveni napravi izvesti vrsto preskusov, ki so opisani v tem članku. Izveden je bil tudi preskus v živo z izvedbo enofaznega zemeljskega stika na prenosnem omrežju 110 kV ELES. Vsa preskušanja so bila uspešna in pozitivna.*

## **TESTING SLIDING GROUNDING CLAMP FOR EARTHING CONDUCTORS TO DOUBLE-CIRCUIT 110 KV TRANSMISSION LINE**

### **ABSTRACT**

*This paper presents the testing Sliding clamps for grounding conductor transmission line. For the purpose of an effective transmission line grounding in working with vicinity of high voltage a special form of sliding clamps for grounding has been designed. Grounding device is intended for grounding transmission line conductors, which are dragged along conductor installation on a double-circuit transmission line, the second system operates normally which represents a significant risk for single-phase ground fault . The device must provide such a connection during the sliding along the guide, so that it prevents the arc and effectively discharges ground current into the ground.*

*Prior to regular usage, it was necessary for grounding the device to perform a series of tests, which are described in this article. A test with the realization of single-phase ground fault was also carried out on the transmission network of 110 kV ELES. All tests have been successful and positive.*

## 1. UVOD

Elektroenergetska podjetja za prenos in distribucijo električne energije, so zelo izpostavljena zahtevam potrošnikov in trgu električne energije po kvalitetni in zanesljivi dobavi električne energije. Na območju države Slovenije, funkcijo operaterja prenosnega omrežja opravlja podjetje ELES d.o.o., ki je pooblašeno za upravljanje omrežja 400, 220 in 110 kV. Temeljna funkcija nacionalnega operaterja je zanesljivo in varno obratovanje, gradnja, nadzor in vzdrževanje omrežja visoke napetosti. Zaradi zahtev porabnikov po neprekinjeni dobavi električne energije je potrebno zamenjavo vodnikov na dvosistemskih daljnovodih pogosto izvesti tako, da sosednji sistem istega daljnovoda nemoteno obratuje. Takšna dela so izredno zahtevna. Posebna značilnost tovrstnih del je, da je vlečeni vodnik v času zamenjave ozemljen le preko kolutnih ozemljilnih sponk na začetku in koncu vlečene razpetine. Morebitni stik vlečnega vodnika z vodniki sosednjega daljnovodnega sistema, ki je pod visoko napetostjo bi tako predstavljal življenjsko nevarnost za delavce prav zaradi neučinkovite ozemljitve vodnika v gibanju.

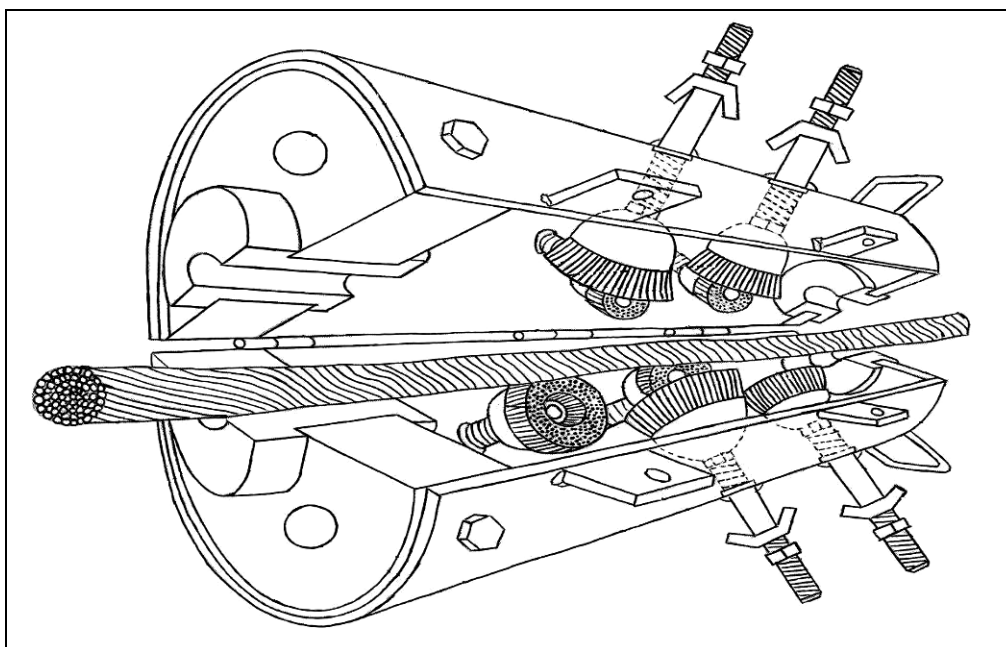
Dosedaj uporabljen postopek ozemljevanja vlečenega vodnika se uporablja le s pomočjo kolutne ozemljilne sponke [1]. Konstrukcija kolutne ozemljilne sponke zaradi svoje velike prehodne upornosti, ne omogoča učinkovitega ozemljevanja oziroma zadovoljivega odvoda zemljostičnega toka v ozemljilo. Zaradi nezmožnosti odvoda velikega zemljostičnega toka preko kolutne ozemljilne sponke, bi v tem primeru lahko prišlo do poškodb delov te naprave in delavcev-montažerjev, kar je pomanjkljivost v postopku ozemljevanja vlečenega vodnika. Za ta namen smo kot izboljšavo postopka ozemljevanja vlečenega vodnika razvili in izdelali prototip nove drsne ozemljitvene sponke [2]. Le-ta omogoča odvod velikih tokov tudi pri gibanju vlečenega vodnika. Izboljšava je namenjena večji varnosti delavcev pri opisanih delovnih postopkih. Pred dokončno uporabo je bilo potrebno izvesti številne preskuse med drugim tudi praktični preskus na omrežju 110 kV. Preskušanja sponke so opisana v nadaljni vsebini tega članka.

## 2. OPIS DRSNE OZEMLJITVENE SPONKE

Osnovne zahteve, ki smo jih zasledovali pri načrtovanju nove drsne ozemljitvene sponke:

- sponka mora biti dovolj lahka in enostavna za montažo brez prekinjanja vlečenega vodnika,
- naležna površina multipliciranih kontaktov mora biti dovolj velika, da zagotovi prehodno ohmsko upornost do največ  $300 \mu\Omega$ , ob pogoju gibanja vodnika skozi sponko,
- izdelana mora biti iz materialov, ki bi ob morebitnem el. obloku v sponki, uspešno odvedli nastalo toploto in usmerili delovanje vročih plinov stran od delavcev in naprav,
- izdelana mora biti tako, da jo lahko hitro prilagodimo za delo z različnimi preseki vlečenih vodnikov in pri delovanju ne sme priti do poškodbe vodnikov.

Nova drsna ozemljitvena sponka [2] za velike toke vgrajena v kovinskem ohišju (slika 1), rešuje problem odvoda velikih zemljostičnih tokov, ob morebitnih nehotenih dogodkih pri vzdrževalnih delih na dvosistemskih visokonapetostnih daljnovodih. Prednost uporabe drsne ozemljitvene sponke je v tem, da lahko odvaja velike tokove v ozemljilo v času, ko se vodnik zaradi montaže giblje-vleče vzdolž daljnovoda. Za ustrezno dober kontaktni spoj poskrbi vzmetno regulacijski sistem, ki s pomočjo regulacijske krilne matice zagotovi zadostno naležno kontaktno površino in posledično uspešen odvod velikih tokov zemeljskega stika v ustrezno ozemljilo. Drsna ozemljitvena sponka in ustrezno oblikovanje potenciala ter ozemljil na območju izvajanja elektromontažnih del, zagotavlja zahtevane pogoje varnega dela na dvosistemskih daljnovodih visoke napetosti 110 kV, ob dejstvu, da je v času izvajanja montažnih del, sosednji sistem daljnovoda zaradi potreb obratovanja pod napetostjo.



Slika 1: Skica drsne ozemljitvene sponke.

### 3. PREDHODNI PRESKUSI IN TESTIRANJA

Pred dejansko uporabo »Drsne ozemljitvene sponke« v praksi, je bilo potrebno izvesti preskuse in meritve, ki dokazujejo istovetnost dejanskega stanja z zahtevami, ki smo jih pri načrtovanju drsne ozemljilne sponke zasledovali.

Izvedeni so bili naslednji predhodni preskusi:

- tokovni preskus drsne ozemljitvene sponke s tokom 1kA v času trajanja 30 s,
- primerjalna meritev prevajanja električnega toka med gibanjem po vodniku za kolutno ozemljitveno sponko in novo drsno ozemljitveno sponko za velike tokove,
- preskus tokovne zdržnosti drsne ozemljitvene sponke s tokom 15 kA v času trajanja 1s,

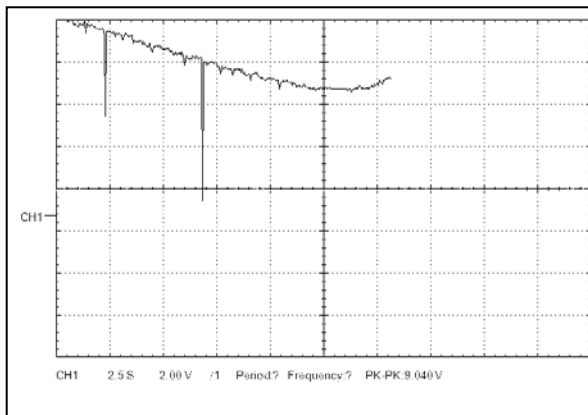
- d) preskus vlečenja vodnika skozi drsno ozemljilno sponko na daljnovodni razpetini 2,5 km in skrben pregled obrabe kontaktnih površin ter pregled obrabljenosti teflonskih mehanskih vodil v drsni ozemljilni sponki,
- e) pregled sledi na vodniku po vlečenju skozi drsno sponko za visoke toke in meritve parcialnih praznjenj in radiointerferenčnih napetosti na vzorčnem vodniku.

a.) Tokovni preskus drsne ozemljitvene sponke je bil izveden tako, da smo med priključki drsne ozemljitvene sponke in vodnikom s tokovnim generatorjem, vrinili izmenični tok jakosti 1000A, v času 30 s. V času tokovne obremenitve sponke smo izvedli meritve temperature kontaktnega sistema s termografsko kamero. Meritve so pokazale zadovoljive rezultate, saj se je temperatura na kontaktnem sistemu dvignila v času obremenitve s tokom le za 19 K.

b.) Primerjalna meritev prevajanja električnega toka je bila izvedena na testni progi dolgi 6 m, kjer smo s hitrostjo 0,5 m/s izvedli gibanje kolutne ozemljitvene sponke, kot tudi nove drsne ozemljitvene sponke po vodniku. [3]

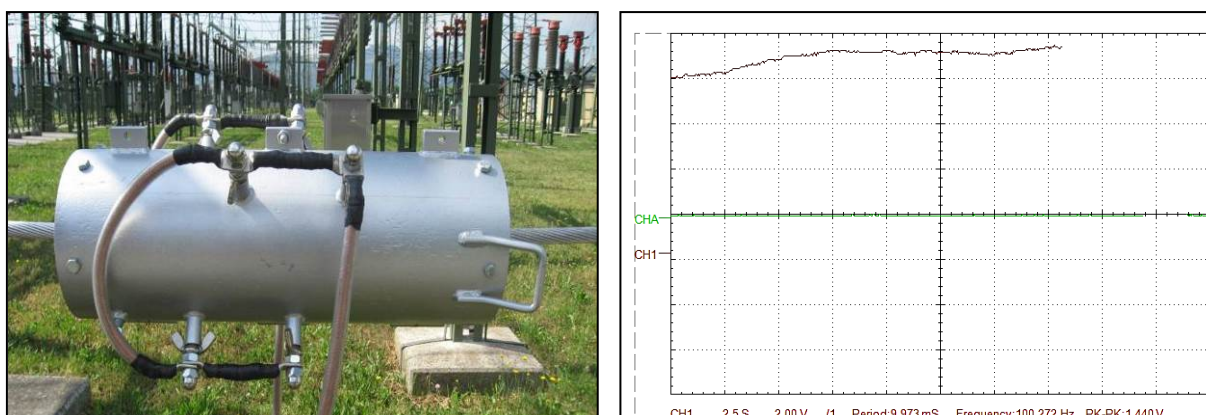
Glede na konstrukcijo kolutne ozemljitvene sponke, kjer je kontaktni sistem z ozemljilom povezan preko krogelnih ležajev, le ta zaradi ohmske upornosti kolutnih ležajev ne more uspešno prevajati večjih električnih tokov. Zaradi tega se pregreva, kar povzroča povečanje ohmske upornosti in zmanjšanje prevodnosti električnega toka.

Na sliki 2 je prikazana standardna kolutna ozemljitvena sponka namenjena za ozemljevanje vlečenih vodnikov in odvoda toka, ki nastane zaradi induciranih napetosti na daljnovodu. Za odvod tokov zemeljskega stika zaradi opisanih lastnosti ni primerna, kar dokazujejo tudi merilni rezultati. Na sliki 2 vidimo lahko tudi karakteristiko padanja toka iz začetne vrednosti ( $I=200\text{ A}_{(AC)}$ ) na končno vrednost na kraju testne proge. Tok skozi kolutno ozemljilno sponko je padal, saj se je s pregrevanjem povečevala ohmska upornost kontaktnega sistema. Iz slike je razvidno tudi, da kolutna ozemljilna sponka ni zvezno prevajala toka, saj je na mestu simuliranih nečistoč na vodniku prišlo do prekinitve prevajanja električnega toka.



Slika 2: Kolutna ozemljitvena sponka in potek prevajanja električnega toka.

Na sliki 3 je prikazana nova drsna ozemljitvena sponka, ki je namenjena odvodu velikih tokov zemeljskega stika. Drsna sponka pri vlečenju vodnika z multipliciranim ščetkastim kontaktnim sistemom, omogoča izredno dober stik drsne ozemljitvene sponke, saj se kontaktne površine ščetk sproti prilagajajo gibajočemu se vodniku in zagotavljajo trajno malo prehodno upornost in posledično uspešno prevajanje velikih tokov. Iz karakteristike poteka preskusnega toka na sliki 3 vidimo, da iz začetne vrednosti toka ( $I=200\text{ A}_{(AC)}$ ), upornost zaradi prilagoditve ščetk celo malo pade, zato se tok skozi drsno sponko poveča.



Slika 3: Drsna ozemljitvena sponka in potek prevajanja električnega toka.

c.) Izveden je bil tudi preskus drsne ozemljitvene sponke z velikim tokom. Iz poročila je razvidno, da med preskusom ni bilo zaznani neželjenih pojavov. Skozi drsno sponko smo vrinili izmenični električni tok jakosti 8658 A za čas 3.04 s.



Slika 4. Statičen tokovni preskus drsne ozemljitvene sponke.

Nadaljnji izračun smo izvedli na podlagi konstantnega Joulovega integrala in tako dobili enosekundni tok kot sledi iz enačbe (1).

$$I_{1s} = \sqrt{\frac{8658^2 A^2 \cdot 3,04}{1s}} = 15,095 \text{ kA} \quad (1)$$

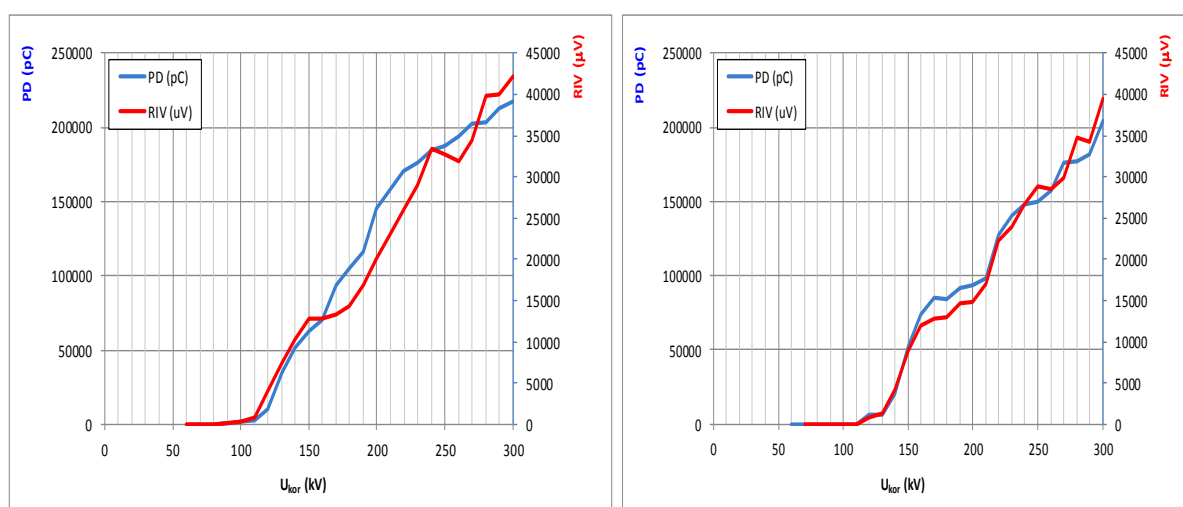
Po preskusu s tokom 15 kA smo pregledali ščetke kontaktnega sistema, kakor tudi vodnik. Vidne so bile izredno male površinske poškodbe vodnika in ščetk tako, da je v poročilu ocenjeno, da je drsna ozemljilna sponka uspešno prestala tokovni preskus. Pri preskusih se je izvajala tudi termografska meritev temperature kontaktnega sistema, ki se je segrel ob maksimalni tokovni obremenitve za 23 K. Tokovne meritve so bile izvajane v Elektroenergetskem laboratoriju ICEM-TC v Mariboru. [4]

d.) Preskus vlečenja vodnika skozi drsno ozemljitveno sponko za velike tokove smo izvedli testno pri montaži vodnika na daljnovodu DV 2 x 110 kV Beričevo–Trbovlje, v zatezni razpetini med stojnim mestom št. SM 21-34. Dolžina vlečenega vodnika skozi drsno ozemljitveno sponko je bila 2,5 km. Drsna ozemljitvena sponka je preskus uspešno prestala, saj so bile ščetke kontaktnega sistema minimalno usmerjene v smeri vlečenja vodnika. Po koncu preskusa vlečenja vodnika smo izmerili prehodno upornost drsne ozemljitvene spojke proti vodniku, ki je bila enaka pred in po vlečenju vodnika skozi sponko in v obeh primerih upornost ni presegla 300  $\mu\Omega$ . Pri tem preskusu, smo po opravljenem testu preverili tudi morebitne poškodbe teflonskih vodil med vodnikom in sponko. Opaziti je bilo minimalne poškodbe na teflonskih vodilih, kar je pripisati nesimetričnemu vpetju drsne ozemljitvene sponke v stroj za vlečenje vodnikov. Slika 5 prikazuje mesto lokacije namestitve drsne ozemljitvene sponke ob stroju za montažo vodnika na daljnovod.



Slika 5. Preizkus vlečenja vodnika skozi drsno ozemljitveno sponko.

e.) Izvedli smo tudi meritve parcialnih praznitev in radio-interferenčnih napetosti. Ob vlečenju vodnika skozi drsno sponko se pojavijo na vodniku minimalne sledi povzročene ob vlečenju skozi kontaktni sistem. Ker bi te sledi lahko povzročile spremembo homogenosti električnega polja okoli vodnika, smo izvedli meritve parcialnih praznitev in radio-interferenčnih motenj. Meritev smo izvedli na dveh vzorcih vodnika in sicer na vzorcu novega vodnika, ki ni bil vlečen skozi drsno ozemljitveno sponko in na drugem vzorcu vodnika, ki je bil vlečen skozi drsni kontaktni sistem ozemljitvene sponke. Iz poročila o meritvi je razvidno, da na vodniku, ki je bil vlečen skozi drsno ozemljilno sponko pri fazni napetosti 110 kV ne nastajajo parcialne praznitve (PD) ali radio-interferenčne motnje (RIV). Pri povečani napetosti so rezultati s stališča parcialnih praznitev in radio-motenj celo ugodnejši, kot pri vodniku, ki ni bil vlečen skozi drsno ozemljitveno sponko kar prikazuje slika 6. [5]



Slika 6. Rezultati meritev PD in RIV vzorca novega in vlečenega vodnika.

Mikro sledi na strukturi vodnika namreč povzročijo izredno veliko malih delnih razelektritev, ki kumulativno povzročajo manj delnih praznitev in radio-motenj, kot nov vodnik. Nov vodnik ima sicer manjše število praznitev, vendar so te intenzivnejše. Meritve so bile izvedene po standardu [6] v laboratoriju Elektro inštituta Milan Vidmar v Ljubljani. Na sliki 6 (levo) so prikazani merilni rezultati vzorca novega vodnika, ki ni bil vlečen skozi drsno ozemljitveno sponko. Na sliki 6 (desno) pa so prikazani merilni rezultati vzorca vodnika, ki je bil vlečen skozi drsno ozemljitveno sponko. Pri primerjavi karakteristik krivulj med sliko 6 (levo) in sliko 6 (desno) je razvidno, da so vrednosti (PD in RIV) iz slike 6 (desno) ugodnejše. Meritev smo izvedli z dvema vzorcema meritev v suhih in mokrih pogojih. Meritev smo pričeli z izmenično napetostjo 300 kV, nato pa smo napetost spuščali stopenjsko po 10 kV. Napetost smo stopenjsko spuščali vse do nivoja, ko ni bilo več zaznati delnih praznitev in radio-interferenčnih motenj. Za vodnik Al/Fe 240/40 mm<sup>2</sup>, pojav delnih praznitev in radio-interferenčnih motenj ni bil več zaznan že pri medfazni napetosti 110 kV.

#### 4. PRESKUS OZEMLJITVENE SPONKE DIREKTNO NA OMREŽJU 110 KV

Enofazni zemeljski stik je bil izveden na DV 110 kV Selce-Laško I na stojnem mestu SM1, ki je locirano na obrobju stikališča RTP Selce in je od napajalne točke oddaljeno 7,1 km. V RTP Selce na tem delu ni vkopane ozemljilne mreže, temveč so kot ozemljilo nameščene sonde, tako, da je tudi s tega stališča ugodna lokacija za izvedbo preskusa. Lokacija je zagrajena z varnostno ograjo, na razpolago so podatki o vplivih tokov zemeljskega stika na okolico in v stikališču ni transformatorja, ki bi imel direktno ozemljeno zvezdišče 110 kV. Na zvezdišču 110 kV energetskih transformatorjev so vgrajeni prenapetostni odvodniki. Faktor zemeljskega stika  $k_0$  v RTP Laško, kot v RTP Selce znaša 1,31 tako, da večjih prenapetosti na sosednjih fazah ni pričakovati. Najbližnja ozemljena zvezdišča 110 kV so v RTP Trbovlje in v RTP Podlog DES. Okvara na omrežju (»spoj preko drsne sponke za ozemljevanje vodnikov«) je bila napajana po daljnovodu DV 110 kV Selce-Laško I. samo iz strani RTP Laško. V RTP Selce je bilo DV polje Laško I. izklopljeno, vklopljen je bil le ločilnik Q9 zaradi meritev na NIT. Na mestu izvedbe preskusa je bila testna proga izvedena s pomočjo posebno izolacijsko vpetega vodnika ALFe 240/40mm<sup>2</sup>.



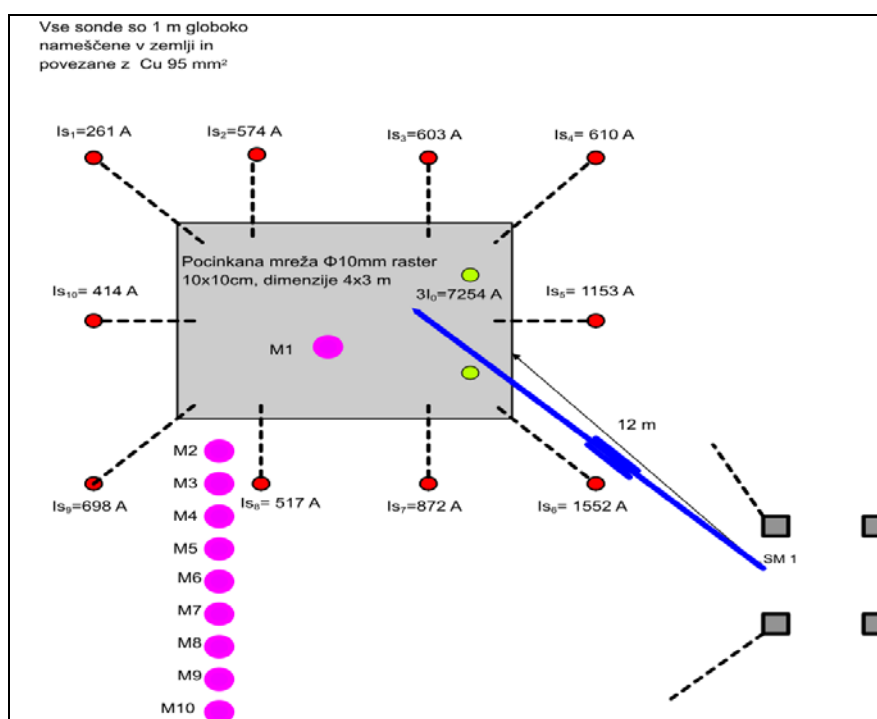
Slika 7: Merilna proga s kovinsko mrežo in ozemljilnimi sondami.

Izenačitev potenciala je bila izvedena s pomočjo pocinkane mreže rasterja 10/10 cm dimenzije 4 x 3m, kot je prikazano na sliki 7. Okoli mreže so bile nameščene kovinske sonde S1 do S10 nameščene v zemljo v globino 1m. Sonde so bile povezane s kovinsko mrežo s Cu vodnikom 95mm<sup>2</sup>. Drsna sponka je bila ozemljena s Cu vodnikom 2 x 95mm<sup>2</sup>.

Za izvedbo meritev je bila izdelana posebna merilna proga, kot je prikazano na sliki 8. Na mestu prehoda toka v zemljo se potencial močno dvigne zato je bilo potrebno merilne instrumente oddaljiti od mesta zemeljskega stika. Za potrebe meritev so bili izdelani posebni merilni izolirani vmesniki z upori skozi katere je tekkel tok, ki smo ga merili z instrumentom

DEWETRON. Za meritev smo uporabljali tri merilnike. Tok okvare smo preverjali na relejni zaščiti v RTP Laško, napetosti pa smo merili na merilnih tokokrogih napetostnih instrumentnih transformatorjih DV polja 110 kV Laško I v RTP Selce. Meritev preostale napetosti smo merili s pomočjo visokonapetostnega kapacitivnega delilnika, porazdelitev potenciala pa je bila merjena z merjenjem toka skozi upore.

Merilne sonde M2 do M10 so bile razporejene na 0,5 m od mreže navzven, kot je prikazano na sliki 8. Merilni instrument DEWETRON je bil oddaljen cca. 50 m, kar vnaša v meritve določeno napako, so pa rezultati meritev in meritve izvedene pri toku 1 A preračunano na dejanski tok pokazale enak trend, kar potrjuje, da je možno razmere predvideti tudi z modelom.



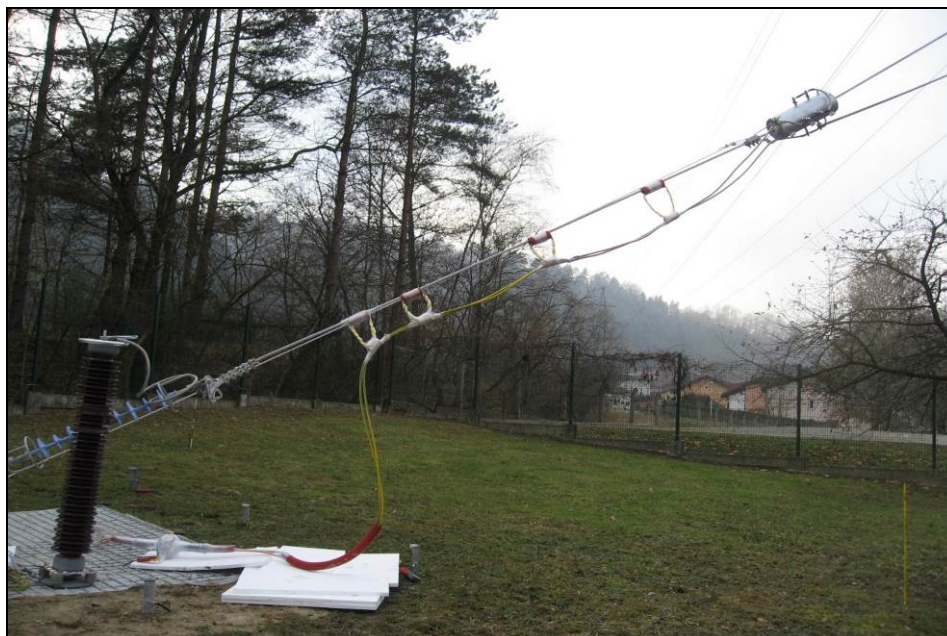
Slika 8: Shematski prikaz in merilne točke merilne proge.

Iz slike 8 je razvidno, da so bili tokovi, ki so tekli v ozemljilo zelo različni glede na pozicijo sonde. To je posledica bližine ozemljila DV stebra, ki je bil oddaljen od merilne proge vsega 12 m. V realnosti bi bila takšna delovna cona odmaknjena od DV stebra cca. 100 m zato ne bi bilo tako velikega razhajanja velikosti tokov v ozemljilo na posameznih sondah. Različna vrednost tokov na posamezni sondi je bila opažena pri meritvah potenciala zato je bilo razmerje v sonde merjeno najprej preskusno s tokom 0,5A, 1A in 1,5A in na osnovi povprečja teh meritev izračunan procent od skupnega toka, kot je prikazano v preglednici 1.

Preglednica 1: Razdelitev toka zemeljskega stika v palična ozemljila.

| $3I_0$ | $S1$  | $S2$  | $S3$  | $S4$  | $S5$   | $S6$   | $S7$  | $S8$  | $S9$  | $S10$ |
|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 7254 A | 261 A | 574 A | 603 A | 610 A | 1153 A | 1552 A | 872 A | 517 A | 698 A | 414 A |
| 100%   | 3,6%  | 7,9%  | 8,3%  | 8,4%  | 15,9%  | 21,4%  | 12,0% | 7,1%  | 9,7%  | 5,7%  |

Na sliki 9 je prikazan tudi kapacitivni delilnik s katerim smo merili preostalo napetost na sponki. Vz dolž merilnih sond so bili položeni posebej izolirani kabli, ki so bili podloženi s stiroporjem zaradi varnosti merilne opreme. Dršno sponko smo vlekli s pomočjo najlonske vrvi, kot je prikazano na sliki.

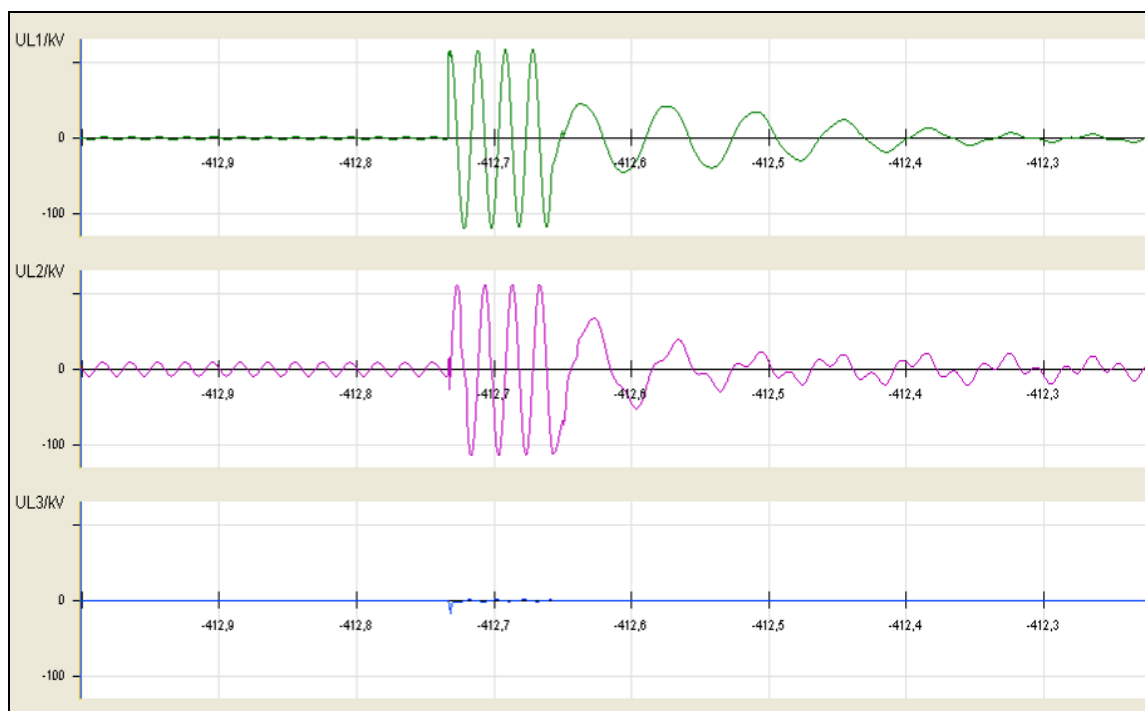


Slika 9: Gibanje sponke je bilo izvedeno s pomočjo vitle na terenskem vozilu in najlonske vrvi.

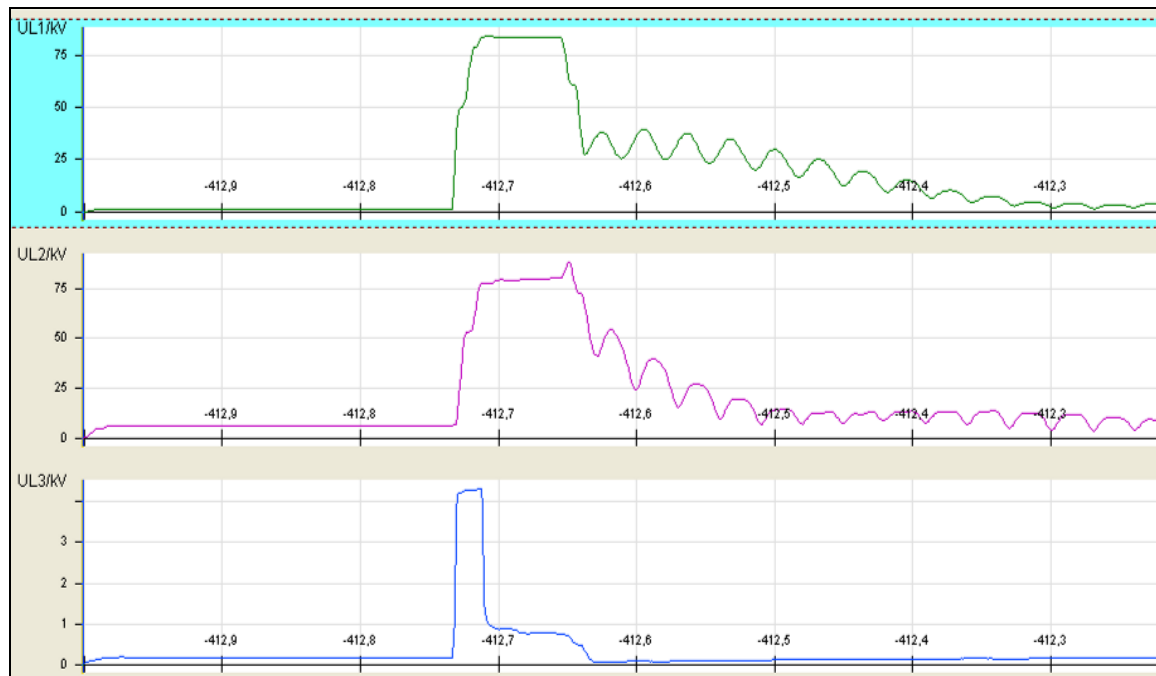
Kontrola toka zemeljskega stika je bila izvedena na releju zbiralnične zaščite ABB07 v RTP Laško. Iz slike 10 in iz preglednice 2 je razvidna efektivna vrednost toka enofaznega zemeljskega stika, ki je bil preko drsne ozemljilne sponke odveden v ozemljilo. Meritev preostale napetosti, v fazi L3 kakor tudi povišane napetosti v fazah L1 in L2 je bila izvedena v RTP Selce v DV polju 110 kV Laško I.

Preglednica 2: Rezultati meritev v programskem okolju SIGRA.

| SIGRA 4 - [Tables - RTP Lasko-ABB07-DR20131215110423959.CFG: 15.12.2013 11:04:23.755] |           |         |            |        |           |           |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------|------------|--------|-----------|-----------|-----------|
| File Edit Insert View Options Window Help                                             |           |         |            |        |           |           |           |
| Cursor 1: -8,5 ms                                                                     |           |         |            |        |           |           |           |
| Measuring Signal                                                                      | Value     | Phase   | Extremum   | DC     | 2.Harmon. | 3.Harmon. | 5.Harmon. |
| I1 Current I1                                                                         | 2,4342 A  | -107,9° | 1,8446 A   | 15,4%  | 15,8%     | 12,6%     | 14,0%     |
| I2 Current I2                                                                         | 2,0467 A  | 166,7°  | -3,6893 A  | -15,6% | 25,1%     | 20,7%     | 10,5%     |
| I3 Current I3                                                                         | 7,2649 kA | 139,4°  | -6,5927 kA | 49,9%  | 5,7%      | 4,0%      | 2,4%      |
| I4 Current I4                                                                         | 7,2737 kA | -40,5°  | 6,6333 kA  | -49,4% | 5,7%      | 4,0%      | 2,4%      |
| Sample status                                                                         | 0,00000   | 0,0°    | 0,00000    |        |           |           |           |



Slika 10: Potek napetosti pri vklopu toka skozi drsno sponko, ki je bila nameščena v fazi L3.



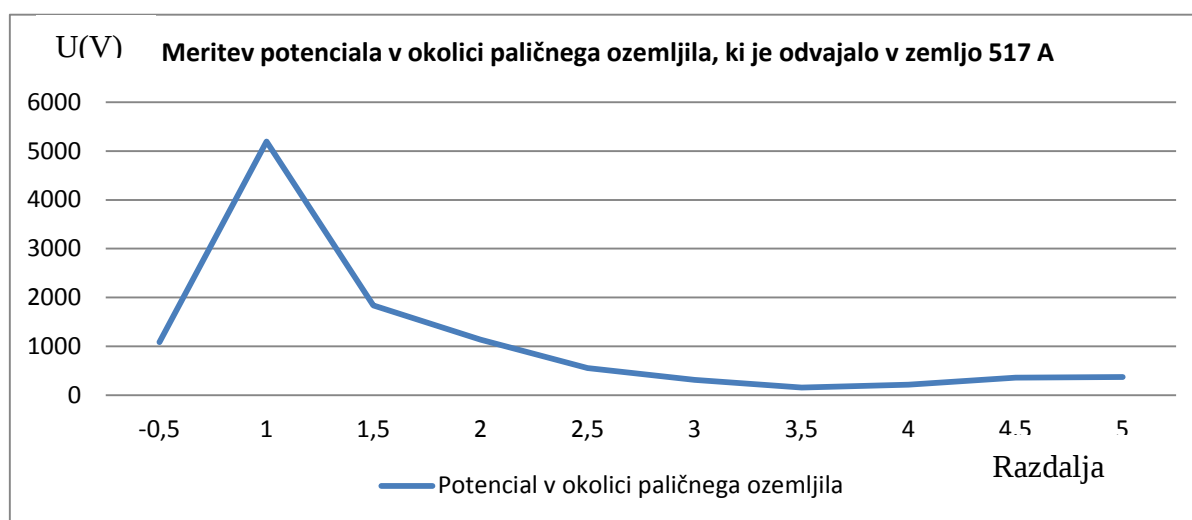
Slika 11: Potek RMS vrednosti napetosti pri vklopu toka skozi drsno sponko.

Iz slike 10 in 11 je razvidno, da je bila preostala napetost za čas ene periode 2.115 kV, takoj za tem pa je še v času trajanja zemeljskega stika upadla na 740V. V fazah L1 in L2 so se napetosti dvignile za cca. 30% kar je bilo pričakovano. Izvedene so bile tudi meritve za

določitev strmine dviga potenciala v okolici ozemljil. Merilne sonde M2 do M10 so bile nameščene po sliki 8 na medsebojni razdalji 0,5 m. Rezultati kažejo trend oziroma strmino upada potenciala, ki je primerljiva z meritvami potenciala pri 1 A preračunano na dejanski tok. Meritve so razvidne iz merilne preglednice 3.

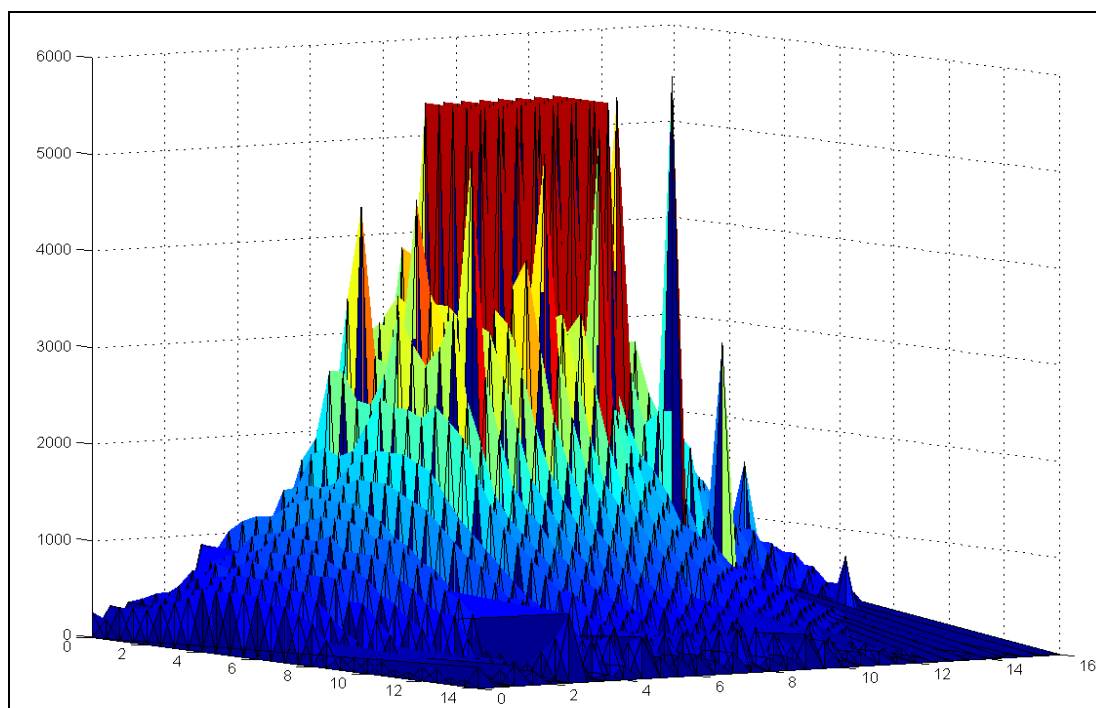
Preglednica 3: Rezultati meritev na merilnih sondah M1-M10.

| M1                 | M2              | M3              | M4              | M5              | M6              | M7              | M8             | M9             | M10            |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0,44 mA            | 56 mA           | 95 mA           | 87 mA           | 43 mA           | 24 mA           | 12 mA           | 66 mA          | 240 mA         | 360 mA         |
| $X_c=5,842M\Omega$ | $R=19410\Omega$ | $R=19330\Omega$ | $R=13050\Omega$ | $R=12900\Omega$ | $R=12880\Omega$ | $R=12760\Omega$ | $R=3230\Omega$ | $R=1500\Omega$ | $R=1025\Omega$ |
| 2,57 kV            | 1086 V          | 1836 V          | 1135 V          | 555 V           | 309 V           | 153 V           | 213 V          | 360 V          | 369 V          |

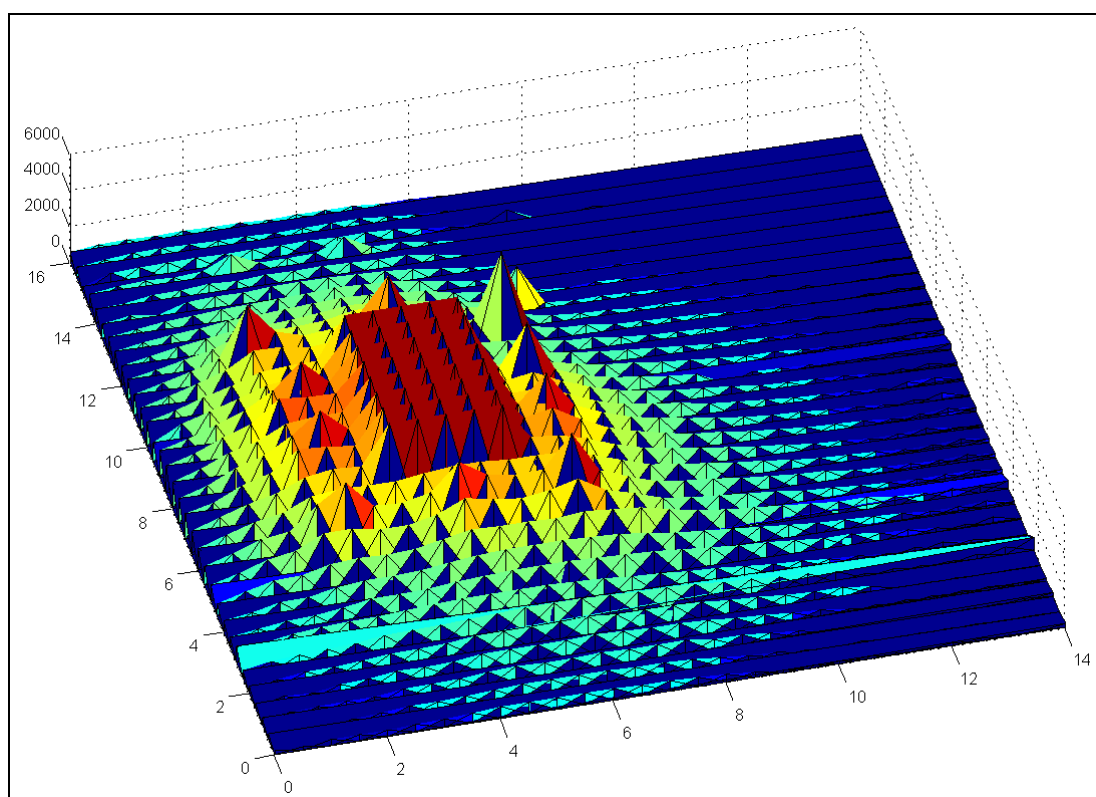


Slika 12: Grafični prikaz merilnih rezultatov potenciala po sliki 4.

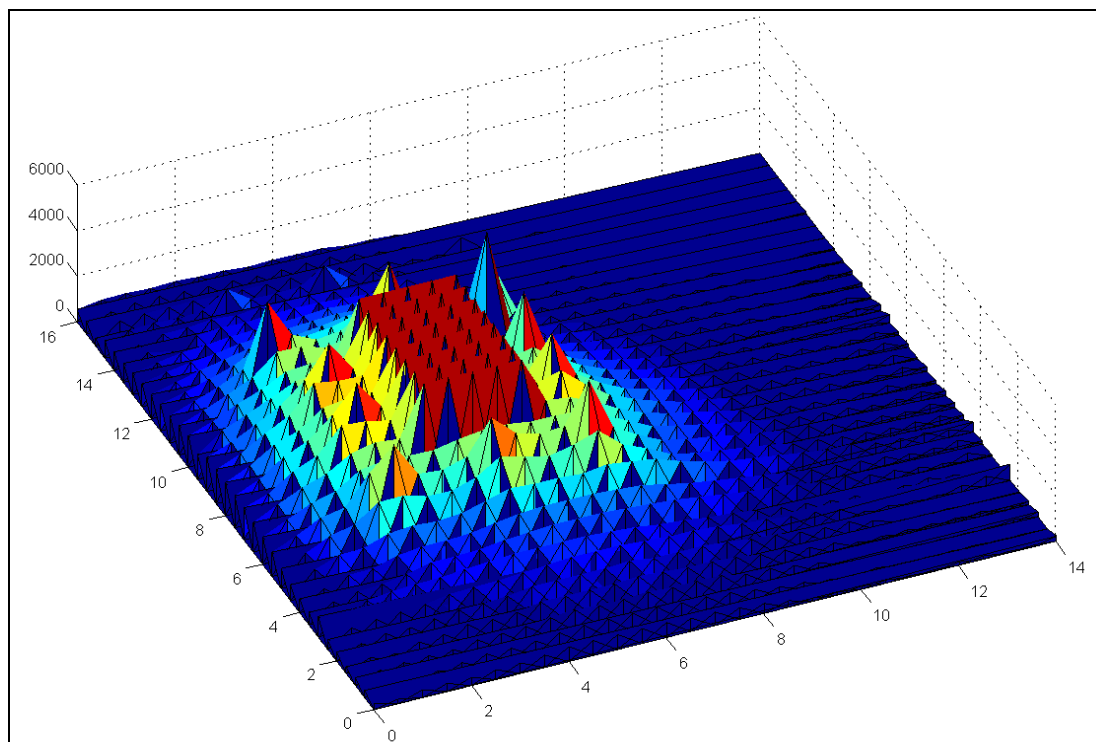
Na osnovi meritev so v MATLAB-u izdelani tudi 3D profili dviga potenciala, preračunano na dejanski tok zemeljskega stika. Iz profila je mogoče določiti območje varne delovne cone, glede na višino napetosti koraka in napetosti dotika



Slika 13: Stranski profil potenciala na mestu odvoda toka v ozemljilo.



Slika 14: Prečni profil potenciala na mestu odvoda toka v ozemljilo (meja napetosti dotika).



Slika 15: Prečni profil potenciala na mestu odvoda toka v ozemljilo (meja napetosti koraka).

## 5. ZAKLJUČKI

Vsi predhodni preskusi kakor tudi prekus drsne sponke za ozemljevanje vodnikov daljnovoda je bil pozitivno izveden. Rezultati meritev dokazujejo, da drsna ozemljitvena sponka tudi pri gibanju po vodniku zagotavlja učinkovit spoj med vodnikom in ozemljilom. Sponka je tok okvare 7,2 kA v času delovanja relejne zaščite (92 ms) učinkovito odvedla v ozemljilo. Pri tem ni nastal električni oblok, niti ni bilo opaziti nobenih poškodb drsne sponke ali vodnika. Preostala napetost, ki se je pojavila na sponki je minimalna in nikakor ne more povzročiti električnega obloka in poškodb delavcev ali delovne mehanizacije. Z meritvami dviga potenciala je možno učinkovito oblikovati delovno zaščitno cono v kateri je potrebno upoštevati posledice napetosti koraka ali dotika kar je možno izvesti s pomočjo analize meritev, seveda za posamezen specifičen primer na osnovi predhodnih meritev z malim vsiljenim tokom.

## 6. LITERATURA

- [1] IEEE Std.524a-1993, »Guide to Grounding During the Installation of Overhead Transmission Line Conductor«.
- [2] Slovenski nacionalni patent, SI 23595 A.

- [3] Poročilo o primerjalni meritvi sponke za ozemljitve daljnovodnih vodnikov, Podlog 2012.
- [4] Poročilo o preizkusu ICEM-TC 12-Mlab-162, Maribor 2012.
- [5] Poročilo o preizkusu EIMV št.VA-4538/12, Ljubljana 2012.
- [6] IEC 61284 Second edition/1997-09, »Overhead lines-Requirements and tests for fitting«.

#### **NASLOV AVTORJEV:**

red. prof. dr. Jože Voršič,  
red. prof. dr. Jože Pihler,  
dr. Janez Ribič,  
Leon Maruša.

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko  
Smetanova ulica 17, SI-2000 Maribor, Slovenija

mag. Robert Maruša,  
mag. Rado Ferlič,  
mag. Lovro Belak

ELES, d.o.o., Hajdrihova 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija