

Praktična izvedba preskusov Drzne sponke za ozemljevanje vodnikov daljnovoda 110 kV

Robert Maruša¹, Jože Voršič², Jože Pihler², Rado Ferlič¹, Lovro Belak¹, Janez Ribič² in Leon Maruša²

¹ ELES, d.o.o., Hajdrihova 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

² Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Smetanova 17, Maribor
E-pošta: robert.marus@eles.si

Povzetek: V članku so predstavljena preskušanja drsne sponke za ozemljevanje vodnikov daljnovoda. Za izvedbo 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 pomeni 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 treba 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.

Ključne besede: drsna sponka, ozemljitev, zemeljski stik, vodnik, visoka napetost

Practical implementation of testing sliding clamps for the 110 kV transmission line grounding conductor.

The paper presents testing of sliding clamp used for the grounding conductor. For transmission line grounding to be effective during live working, special sliding clamps were designed. They are used for grounding the transmission line conductor on a double-circuit transmission line, where the other system operates normally which represents a significant risk for the single phase ground-fault. The device provides a connection, while sliding prevents arcing and effectively discharges the ground current in to the ground. Prior to putting into operation, the grounding device was submitted to a series of tests described in the paper. A single-phase ground-fault test was also carried out on a 110 kV ELES transmission network. All tests were successful and positive.

1 UVOD

Elektroenergetska podjetja za prenos in distribucijo električne energije so zelo izpostavljena zahtevam potrošnikov in trgu električne energije po kakovostni in zanesljivi dobavi električne energije. Na območju Slovenije funkcijo operaterja prenosnega omrežja opravlja podjetje ELES, d. o. o., ki je pooblaščen za upravljanje 400, 220 in 110 kV omrežja.

Naloge nacionalnega operaterja prenosnega omrežja so zanesljivo in varno obratovanje, gradnja, nadzor in vzdrževanje omrežja visoke napetosti.

Zaradi zahtev porabnikov po neprekinjeni dobavi električne energije je treba zamenjavo vodnikov na dvosistemskih daljnovodih pogosto izvesti tako, da sosednji sistem istega daljnovoda nemoteno obratuje. Takšna dela so izjemno zahtevna. Posebna značilnost tovrstnih del je, da je vlečeni vodnik v času zamenjave ozemljen le prek kolutnih ozemljitvenih sponk na začetku in koncu vlečene razpetine. Morebitni stik vlečnega vodnika z vodniki sosednjega daljnovodnega sistema, ki je pod visoko napetostjo, bi tako pomenil smrtno nevarnost za delavce zaradi neučinkovite ozemljitve vodnika v gibanju.

Trenutno uporabljen postopek ozemljevanja vlečenega vodnika se izvaja le s pomočjo kolutne ozemljitvene sponke [1]. Konstrukcija kolutne sponke zaradi svoje velike prehodne upornosti ne omogoča učinkovitega ozemljevanja oziroma zadovoljivega odvoda toka v ozemljilo. Zaradi nezmožnosti odvoda velikega toka okvare prek kolutne ozemljitvene sponke bi v tem primeru lahko prišlo do poškodb delov te naprave in delavcev-montažerjev, kar je pomanjkljivost pri ozemljevanju vlečenega vodnika. Za ta namen smo kot izboljšavo postopka ozemljevanja vlečenega vodnika razvili in izdelali prototip nove drsne ozemljitvene sponke [2]. Ta omogoča odvod velikih tokov tudi pri gibanju vlečenega vodnika. Izboljšava je namenjena večji varnosti delavcev. Pred dokončno

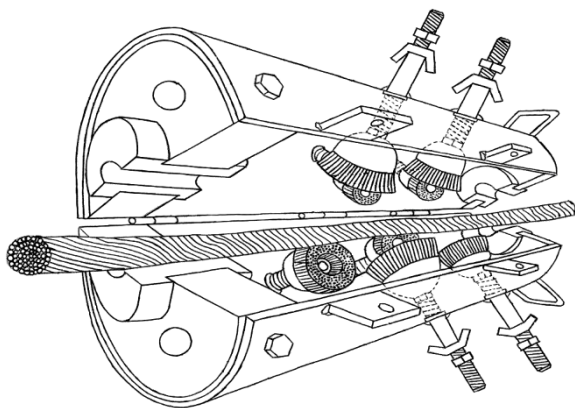
uporabo je bilo treba izvesti številne preskuse, med drugim tudi praktični preskus na omrežju 110 kV. Preskušanja sponke so opisana v nadaljnji vsebini tega članka.

2 OPIS DRSENE OZEMLJITVENE SPONKE

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

1. sponka mora biti dovolj lahka in preprosta za montažo v izvedbi brez prekinjanja vlečenega vodnika,
2. naležna površina multipliciranih kontaktov mora biti dovolj velika, da zagotovi prehodno ohmsko upornost do največ $300 \mu\Omega$, ob pogoju gibanja vodnika skozi sponko,
3. 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,
4. 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 na sliki 1, rešuje problem odvoda velikih tokov zemeljskega stika ob morebitnih nehotenih dogodkih pri vzdrževalnih delih na visokonapetostnih daljnovodih.



Slika 1: Skica drsne ozemljitvene sponke

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 zagotavljata varno delo na dvosistemskih daljnovodih visoke napetosti 110 kV.

3 PREDHODNI PRESKUSI IN TESTIRANJA

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

Izvedeni so bili naslednji predhodni preskusi:

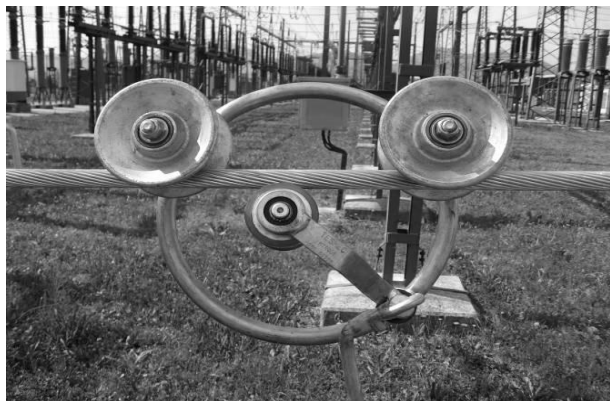
- a) tokovni preskus drsne ozemljitvene sponke s tokom 1kA v času 30 s,
- b) primerjalna meritev prevajanja električnega toka med gibanjem po vodniku med kolutno ozemljitveno sponko in novo drsno ozemljitveno sponko za velike tokove,
- c) preskus tokovne zdržnosti drsne ozemljitvene sponke s tokom 15 kA v času 1s,
- d) preskus vlečenja vodnika skozi drsno ozemljitveno sponko na daljnovodni razpetini 2,5 km, skrben pregled obrabe kontaktnih površin in pregled obrabljenosti teflonskih mehanskih vodil v drsni ozemljitveni sponki,
- e) pregled sledi na vodniku po vlečenju skozi drsno sponko za visoke toke in meritve parcialnih praznjenj ter 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 1000 A v času 30 s. Med tokovno obremenitvijo sponke smo izmerili temperaturo kontaktnega sistema s termovizijsko kamero. Meritve so pokazale zadovoljive rezultate, saj se je temperatura na kontaktnem sistemu med obremenitvijo s tokom zvišala 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].

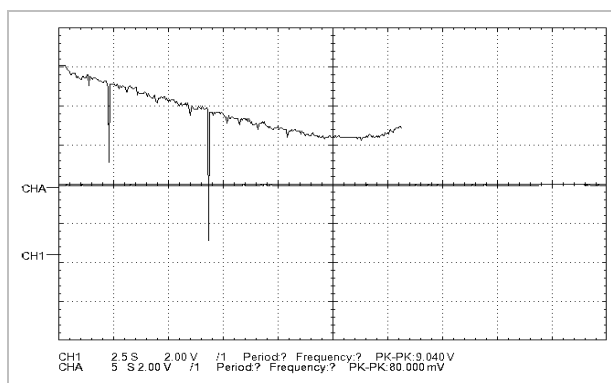
Glede na konstrukcijo kolutne ozemljitvene sponke, kjer je kontaktni sistem galvanško povezan prek krogelnih ležajev, le-ta zaradi ohmske upornosti kolutnih ležajev ne more uspešno prevajati večjih električnih tokov. Zato se pregreva, kar povzroča povečanje ohmske upornosti in posledično zmanjšanje prevajanja električnega toka. Na sliki 2 je prikazana 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 3 je prikazan potek padanja toka ($I=200 A_{(AC)}$) z začetne vrednosti na končno vrednost na kraju testne proge. Tok skozi kolutno ozemljitveno sponko je padal, saj se je s pregrevanjem povečevala upornost kontaktnega sistema.



Slika 2: Kolutna ozemljitvena sponka

Iz slike 3 je razvidno, da kolutna ozemljitvena sponka ni zvezno prevajala toka, saj je na mestu simuliranih nečistoč na vodniku prišlo do prekinitve prevajanja električnega toka.



Slika 3: Potek toka skozi kolutno ozemljitveno sponko

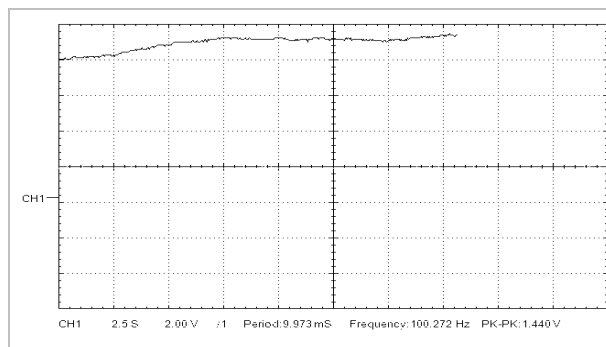
Na sliki 4 je prikazana nova drsna ozemljitvena sponka, ki je namenjena odvodu velikih tokov zemeljskega stika.



Slika 4: Drsna sponka za ozemljevanje vodnikov daljnovoda

Drsna sponka pri vlečenju vodnika z multipliciranim ščetkastim kontaktnim sistemom omogoča izjemno dober stik drsne ozemljitvene sponke z vodnikom, saj se kontaktne površine ščetk sproti prilagajajo gibajočemu se vodniku.

Pri tem zagotavljajo trajno majhno prehodno upornost ter posledično uspešno prevajanje velikih tokov zemeljskega stika. Iz poteka toka na sliki 5 je razvidno, 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 5: Potek toka skozi drsno ozemljitveno sponko

c) Izveden je bil tudi preskus drsne ozemljitvene sponke z močnim tokom. Iz poročila [4] je razvidno, da med preskusom ni bilo zaznanih neželenih pojavov. Skozi drsno sponko smo vrinili izmenični električni tok jakosti 8658 A v času 3,04 s.

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

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

Po preskusu s tokom 15 kA smo pregledali ščetke kontaktnega sistema, kakor tudi vodnik. Vidne so bile izjemno majhne površinske poškodbe vodnika in kontaktnih ščetk, zato je v poročilu [4] ocenjeno, da je drsna ozemljitvena sponka uspešno prestala tokovni preskus. Pri preskusih smo izvajali tudi termovizijsko meritev temperature kontaktnega sistema, ki se je ob maksimalni tokovni obremenitvi segrel za 23 K. Tokovne meritve so bile izvedene v Elektroenergetskem laboratoriju ICEM-TC v Mariboru.

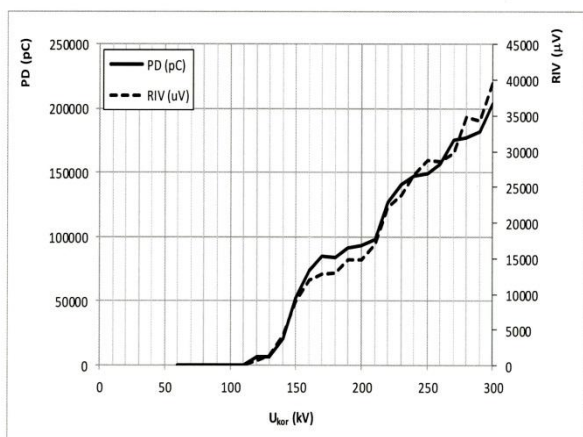
d) Preskus vlečenja vodnika skozi drsno ozemljitveno sponko za velike toke smo izvedli testno pri montaži vodnika na daljnovodu DV 2 x 110 kV Beričevo–Trbovlje, v zatezni razpetini med stojnim mestom št. SM 21-34. Vlečeni vodnik skozi drsno ozemljitveno sponko je bil dolg 2,5 km. Drsna ozemljitvena sponka je preskus uspešno prestala, saj so bile ščetke kontaktnega sistema minimalno usmerjene v smeri vlečenja vodnika. Po preskusu vlečenja vodnika smo izmerili prehodno upornost drsne ozemljitvene spojke proti vodniku, ki je bila enaka pred vlečenjem vodnika skozi sponko in po njem. V obeh primerih upornost ni preseгла 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 6 prikazuje mesto lokacije namestitve drsne ozemljitvene sponke ob stroju za montažo vodnika na daljnovod.



Slika 6: Preskus vlečenja vodnika skozi drsno ozemljitveno sponko

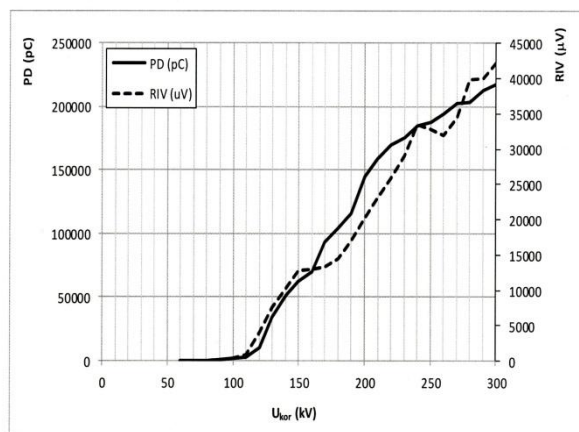
e) Izvedli smo tudi meritve parcialnih praznitev in radiointerferenčnih napetosti. Ob vlečenju vodnika skozi drsno sponko na vodniku nastanejo minimalne sledi (odrgnine), povzročene ob vlečenju vodnika skozi kontaktni sistem. Te sledi bi lahko povzročile spremembo homogenosti električnega polja okoli vodnika, zato smo izvedli meritve parcialnih praznitev in radiointerferenčnih motenj. Meritev smo izvedli na dveh vzorcih vodnika, in sicer na vzorcu novega vodnika, ki še ni bil vlečen skozi drsno ozemljitveno sponko, in na drugem vzorcu vodnika, ki je bil že vlečen skozi drsni kontaktni sistem ozemljitvene sponke. Iz poročila [5] je razvidno, da na vodniku, ki je bil vlečen skozi drsno ozemljitveno sponko pri fazni napetosti 110 kV, še ne nastajajo parcialne praznitve (PD) ali radiointerferenčne motnje (RIV). Pri povečani napetosti so rezultati s stališča parcialnih praznitev in radiomotenj celo ugodnejši kot pri vodniku, ki ni bil vlečen skozi drsno ozemljitveno sponko, kar prikazuje slika 7 [5].



Slika 7: Preskus vodnika, uvlečenega skozi drsno ozemljitveno sponko

Mikrosledi na strukturi vodnika namreč povzročijo veliko malih delnih razelektritev, ki kumulativno povzročajo manj delnih praznitev in radiomotenj 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 8 so prikazani merilni rezultati vzorca novega vodnika, ki še ni bil vlečen skozi drsno ozemljitveno sponko.



Slika 8: Preskus vodnika, neuvlečenega skozi drsno ozemljitveno sponko

Ob primerjavi krivulj med slikama 7 in 8 je razvidno, da so vrednosti (PD in RIV) iz slike 7 ugodnejše. Meritev smo izvedli z dvema vzorcema vodnikov, merjenih v suhih in mokrih razmerah. Meritev smo začeli 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 zaznani delnih praznitev in radiointerferenčnih motenj. Za vodnik Al/Fe 240/40 mm² pojav delnih praznitev in radiointerferenčnih motenj ni bil več zaznan že pri napetosti 110 kV.

4 PRESKUS DRSNE SPONKE Z ZEMELJSKIM STIKOM NA OMREŽJU 110 kV

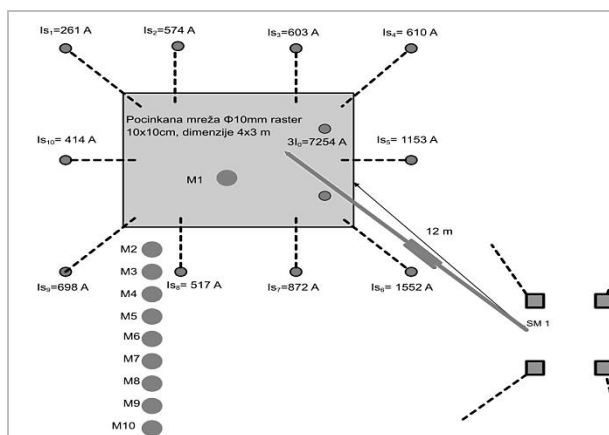
Enofazni zemeljski stik je bil izveden na DV 110 kV Selce–Laško I na stojnem mestu SM1, ki je locirano na obrobju stikališča RTP Selce in je od napajalne točke oddaljeno 7,1 km. V RTP Selce na tem delu ni vkopana ozemljilna mreža, temveč so kot ozemljilo nameščene vertikalne sonde. Lokacija za preskus je bila na tem območju zelo ugodna, saj je zagrajena z varnostno ograjo, na voljo so bili podatki o vplivih tokov zemeljskega stika na okolico. V stikalnem postroju ni transformatorja, ki bi imel direktno ozemljeno zvezdišče 110 kV. Faktor zemeljskega stika k_0 v RTP Laško, kot v RTP Selce, znaša 1,31, tako da večjih prenapetosti na sosednjih fazah ni bilo pričakovati. Najbližje ozemljena zvezdišča 110 kV so v RTP Trbovlje in v RTP Podlog DES. Okvara na omrežju (»spoj prek drsne sponke za

ozemljevanje vodnikov») je bila napajana po daljnovodu DV 110 kV Selce–Laško I.

V RTP Selce je bilo DV polje Laško I izklopljeno, vklopljen je bil le ločilnik Q9 zaradi meritev na napetostnih merilnih transformatorjih.

Na mestu izvedbe preskusa je bila testna proga izvedena s pomočjo posebno izolacijsko vpetega vodnika AL/Fe 240/40mm².

Izenačitev potenciala je bila izvedena s pomočjo pocinkane mreže rasterja 10/10 cm dimenzije 4 x 3m. Okoli mreže so bile nameščene kovinske vertikalne sonde z oznako od S1 do S10, nameščene v zemljo v globini 1 m. Sonde so bile povezane s kovinsko, izenačevalno mrežo s Cu vodnikom 95 mm². Drсна sponka je bila ozemljena in povezana s Cu vodnikom 190 mm². Za izvedbo meritev je bila izdelana posebna merilna proga, kot je prikazano na sliki 9. Na mestu prehoda toka v zemljo se potencial močno dvigne, zato je bilo treba merilne instrumente oddaljiti od mesta zemeljskega stika. Tok okvare smo preverjali na relejni zaščiti v RTP Laško, napetosti pa smo merili na merilnih tokokrogih napetostnih transformatorjev DV polja 110 kV Laško I v RTP Selce. Preostale napetosti smo merili s pomočjo VN kapacitivnega delilnika. Porazdelitev potenciala je bila merjena z merjenjem toka skozi izolirane upore. Merilne sonde M2 do M10 so bile razporejene na 0,5 m od mreže navzven, kot je prikazano na sliki 9.



Slika 9: Izvedba merilne proge za izvedbo zemeljskega stika

Na sliki 10 je prikazan kapacitivni delilnik, s katerim smo merili preostalo napetost na sponki.

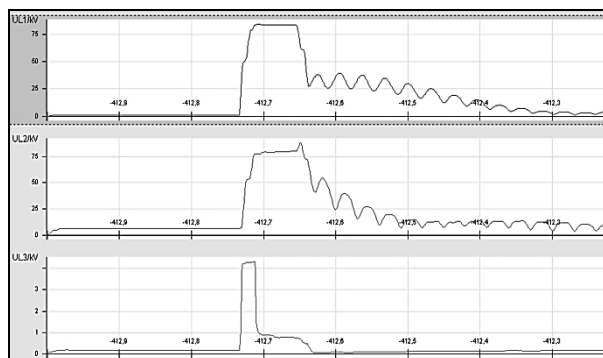


Slika 10: Kapacitivni delilnik za merjenje preostale napetosti

Vzdolž merilnih sond so bili položeni posebej izolirani kabli, ki so bili zaradi varnosti merilne opreme, podloženi s stiroporjem. Dršno sponko smo vlekli s pomočjo najlonske vrvi, kot je prikazano na sliki 10.

Kontrola toka zemeljskega stika je bila izvedena na releju zbiralnice zaščite ABB07 v RTP Laško. Tok zemeljskega stika je imel ob preskusnem vklopu daljnovoda jakost 7,2 kA.

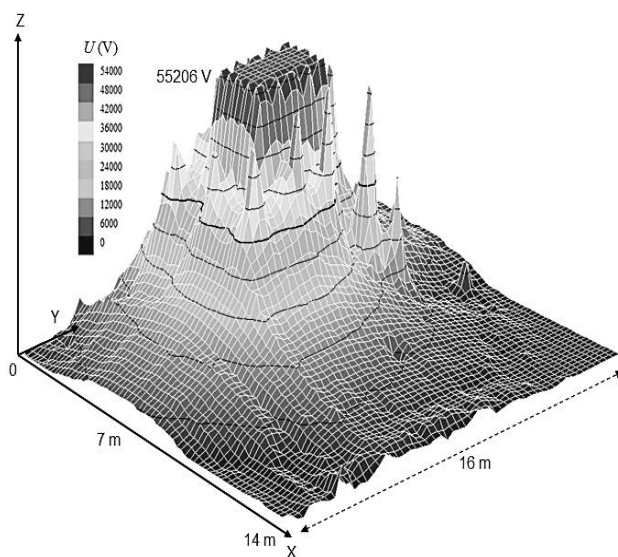
Meritev preostale napetosti v fazi L3 kakor tudi povišane napetosti v fazah L1 in L2 je bila izvedena v RTP Selce v DV polju 110 kV Laško I.



Slika 11: Meritev preostale napetosti ob zemeljskem stiku

Iz slike 11 je razvidno, da je bila preostala napetost zaradi prehodnega pojava za čas ene periode 4.115 kV, takoj zatem pa je še med trajanjem zemeljskega stika upadla na 740V. V fazah L1 in L2 so se napetosti dvignile za približno 30 odstotkov, kar je bilo pričakovano.

Izvedene so bile tudi meritve za določitev strmine dviga potenciala v okolici ozemljil. Rezultati kažejo trend oziroma strmino upada potenciala, ki je primerljiva z meritvami potenciala pri 1A, preračunano na dejanski tok. Oblika potenciala na mestu prehoda toka v ozemljilo je prikazana na sliki 12.



Slika 12: Dvig potenciala na mestu prehoda toka v ozemljilo

5 SKLEP

Vsi predhodni preskusi, kakor tudi preskus drsne sponke za ozemljevanje vodnikov daljnovoda z izvedenim zemeljskim stikom na omrežju 110 kV 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 ter 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 vrinjenim električnim tokom.

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«.

Robert Maruša je diplomiral v letih 1992 in 1998 na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru, magistriral v letu 2010 na FDŠ. Od leta 1981 je zaposlen v podjetju ELES Podlog. Je pooblaščen inženir pri Inženirski zbornici Slovenije. V okviru Elesu vodi delovno skupino za področje vzdrževanja daljnovodov.

Jože Voršič je diplomiral leta 1972 na Univerzi v Ljubljani, magistriral v letu 1982 na Univerzi v Zagrebu in doktoriral v letu 1983 na Univerzi v Mariboru. Je redni profesor na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru. Je član IEEE, CIGRE, WEC in EZ.

Jože Pihler je diplomiral, magistriral in doktoriral na Univerzi v Mariboru v letih 1978, 1991 in 1995. Od leta 1988 je zaposlen na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru. Je redni profesor na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko in član IEEE, CIGRE and EZ.

Rado Ferlič je diplomiral leta 2004 in magistriral v letu 2007 na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru. Zaposlen je v podjetju ELES, d. o. o., ki izvaja dejavnost systemskega operaterja prenosnega omrežja na celotnem območju države. Svojo poklicno pot je začel v Hidromontaži Maribor ter sodeloval pri preizkušanju in spuščanju v pogon naprav v različnih industrijskih in elektroenergetskih objektih. V Elesu je pooblaščen za področje vzdrževanja elektroenergetskih naprav.

Lovro Belak je diplomiral in magistriral je v letih 2007 in 2009, zdaj pa nadaljuje doktorski študij na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru. Zaposlen je v ELES, d. o. o., kot samostojni inženir za nadzor, kjer s pomočjo informacijskih sistemov spremlja vzdrževanje VN-naprav na območju vse Slovenije.

Janez Ribič je diplomiral leta 2002, leta 2007 magistriral in leta 2011 doktoriral na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru, kjer je zaposlen kot asistent. Je član IEEE. Deluje na področju raziskav prenapetostne zaščite.

Leon Maruša je diplomiral je v letu 2013 na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru. Študij nadaljuje v zadnjem letniku na podiplomski magistrski bolonjski stopnji. Deluje na področju raziskav metod vzdrževalnih procesov, merilne tehnike in avtomatizacije.