

Mario Pisačić dipl. ing. el.
HEP ODS d.o.o., Elektroslavonija Osijek
mario.pisacic@hep.hr

Boris Nikolić mag. ing. el.
HEP ODS d.o.o., Elektroslavonija Osijek
boris.nikolic@hep.hr

IZVEDBE POSTROJENJA ZA UZEMLJENJE ZVJEZDIŠTA MREŽE 10(20) KV U TS 110/10(20) KV S GLEDIŠTA ODRŽAVANJA I VOĐENJA POGONA

SAŽETAK

U radu su opisane izvedbe i načini priključenja postrojenja 10(20) kV za uzemljenje zvjezdišta transformatora 110/10,5(21) kV sa prednostima i nedostacima s gledišta održavanja postrojenja i vođenja pogona.

Postrojenje za uzemljenje zvjezdišta mreže 10(20) kV može biti priključeno na srednjenaponsku stranu energetskog transformatora 110/10,5(21) kV ili na sabirnice 10(20) kV preko vodnog polja. U prvom slučaju, kvar na postrojenju za uzemljenje zvjezdišta koje se nalazi u zoni štice diferencijalne zaštite energetskog transformatora 110/10,5(21) kV uzrokuje isključenje energetskog transformatora iz pogona uz poznatu proceduru prilikom prorade diferencijalne zaštite. U drugom slučaju, kvar na postrojenju za uzemljenje zvjezdišta se štiti autonomnom zaštitom pripadajućeg vodnog polja, te zvjezdište mreže 10(20) kV postaje izolirano.

Ključne riječi: uzemljenje zvjezdišta, maloomski otpornik, održavanje postrojenja, vođenje pogona

CONSTRUCTION OF FACILITIES FOR STAR GROUNDING NETWORK 10(20) KV IN TS 110/10(20) KV IN TERMS OF MAINTENANCE AND NETWORK CONTROL

SUMMARY

This paper describes the design and methods of connecting substations 10(20)kV to the star ground of the 110/10(20)kV transformer with advantages and disadvantages in terms of maintenance and network control.

Facilities for star grounding network 10(20) kV can be connected to the medium-voltage 10(20) kV side of the 110/10,5(21) kV power transformer or on the 10(20) kV bus bars using a separate line field. In the first case, a failure in the installation of the star ground, which is located in the area of the differential protection of power transformer 110/10,5(21) kV and causes the power transformer to switch off with a known procedure when tripping from a differential protection. In another case, a failure in the installation of the star ground is protected by an autonomous protection of the associated line field, wherefore the star ground of the 10(20) kV network becomes isolated.

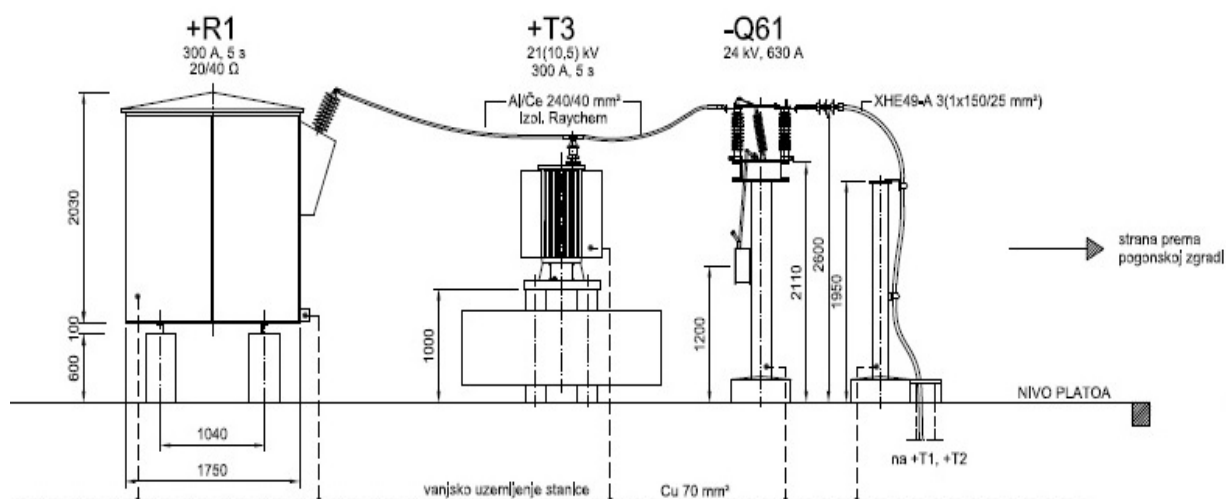
Keywords: star grounding, low resistance resistor, substation maintenance, network management

1. UVOD

Na području Elektroslavonije Osijek u pogonu je šest energetskih transformatora 110/10,5(21) kV u četiri transformatorske stanice 110/10(20) kV, a to su TS Osijek 3, TS Osijek 4, TS Đakovo 3 i TS Našice. Uzemljenje zvjezdišta mreže 10(20) kV u svim ovim objektima je izvedeno pomoću maloomskog otpornika po shemi jedan otpornik po transformatoru, što je karakteristično kod odvojenog rada energetskih transformatora.

2. IZVEDBE POSTROJENJA ZA UZEMLJENJE ZVJEZDIŠTA MREŽE 10(20) kV

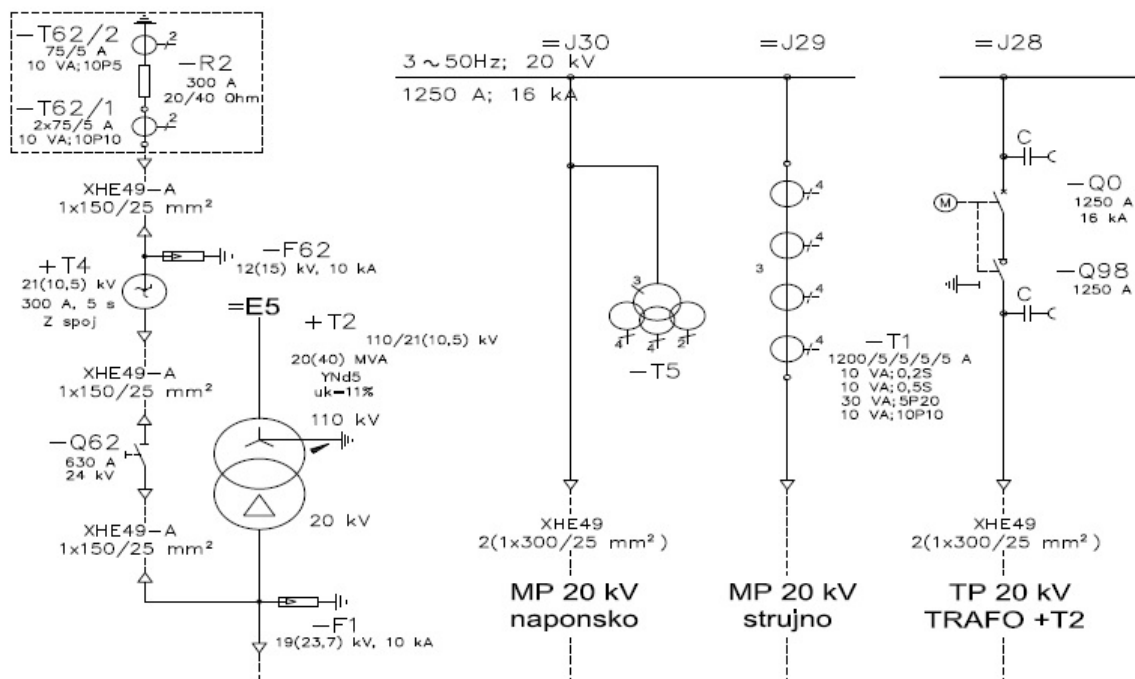
Grupa spoja energetskog transformatora 110/10,5(21) kV je YNd5, zbog čega transformator nema izvedeno zvjezdište sekundarnog namota. Zbog toga je sustav za uzemljenje zvjezdišta mreže 10(20) kV izveden uporabom transformatora za formiranje umjetnog zvjezdišta. Na kabelskom priključku se nalazi trolpolni rastavljač za sigurno odvajanje sustava za uzemljenje u slučaju radova ili potrebe odvajanja postrojenja od mreže. Transformatorom se formira umjetno zvjezdište 10(20) kV mreže koja se uzemljuje preko otpornika koji ograničava struju jednopolnog kvara, u pravilu, na 150 A ili 300 A. Ako se za formiranje umjetnog zvjezdišta koristi kućni transformator, tada se dodatno, prema otporniku, ugrađuje jednopolni rastavljač koji omogućuje isključenje otpornika uz mogućnost normalnog rada kućnog transformatora. Za zaštitu transformatora za formiranje umjetnog zvjezdišta od prenapona ugrađuje se odvodnik prenapona. Radi zaštite kruga za uzemljenje zvjezdišta ispred i iza otpornika ugrađuju se strujni mjerni transformatori. Na slici 1. je prikazan nacrt postrojenja za uzemljenje zvjezdišta mreže 10(20) kV.



Slika 1. Nacrt postrojenja za uzemljenje zvjezdišta mreže 10(20) kV

2.1. Spoj postrojenja za uzemljenje zvjezdišta mreže 10(20) kV na sekundar energetskog transformatora 110/10,5(21) kV

Postrojenje za uzemljenje zvjezdišta mreže 10(20) kV može biti spojeno direktno na sekundar energetskog transformatora 110/10,5(21) kV putem energetskih kabela s aluminijskim vodičima presjeka 150 mm², što je prikazano na slici 2.



Slika 2. Spoj postrojenja za uzemljenje zvjezdlišta mreže 10(20) kV na sekundar energetskog transformatora 110/10,5(21) kV

Ovakav način priključenja postrojenja za uzemljenje zvjezdista mreže 10(20) kV je jednostavniji i jeftiniji, ali ima nedostatak što je postrojenje priključeno pomoću rastavljača u zoni šticeenja diferencijalne zaštite energetskog transformatora. Kvar na postrojenju može uzrokovati proradu diferencijalne zaštite te značajna oštećenja opreme za uzemljenje zvjezdista, kao i samog energetskog transformatora. Obzirom da je postrojenje spojeno na sekundar energetskog transformatora, a transformatori ne rade u paralelnom radu, struja kvara teče kroz transformator te je obavezno prije uključivanja transformatora obaviti njegovo ispitivanje. Kod upravljanja rastavljačem, u slučaju radova ili kvarova na postrojenju za uzemljenje zvjezdista, potrebno je isključiti energetski transformator što može dovesti do prekida isporuke električne energije [1].

2.2. Spoj postrojenja za uzemljenje zvjezdišta mreže 10(20) kV na sabirnice 10(20) kV

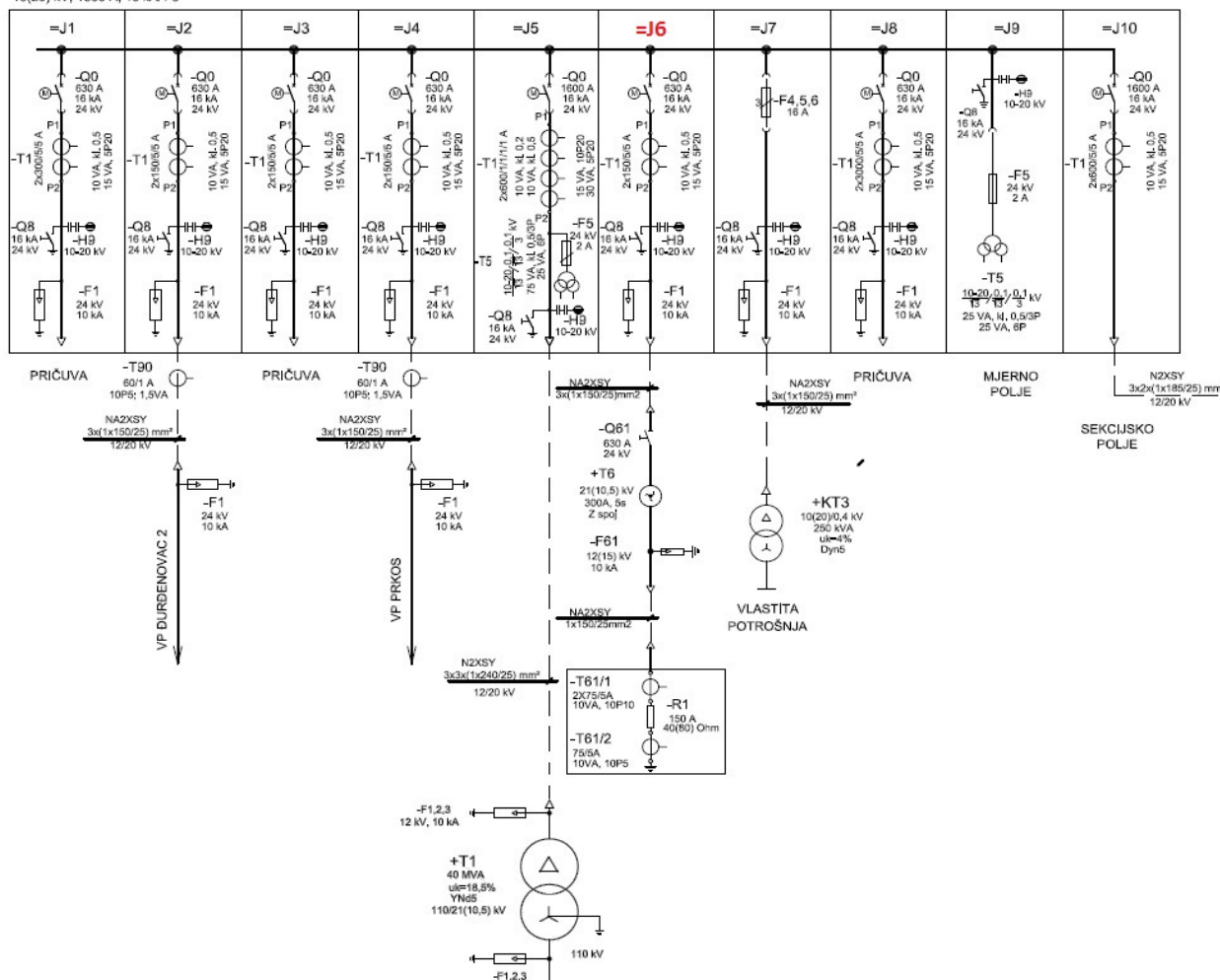
Drugi način priključka postrojenja za uzemljenje zvjezdišta srednjenaponske mreže jest spoj na sabirnice preko srednjenaponskog (SN) polja. Spoj vodnog polja u koje se priključuje postrojenje za uzemljenje zvjezdišta s vanjskim trolnim rastavljačem također je izveden kabelima [2].

U ovom slučaju je iskorišteno jedno vodno polje za priključak postrojenje za uzemljenje zvjezdišta što je skuplja varijanta, jer zahtjeva veći broj polja SN postrojenja.

S druge strane, prednosti ove varijante su svakako činjenice da će kvar na postrojenju za uzemljenje zvjezdišta biti isključen autonomnom zaštitom pripadajućeg vodnog polja što ne utječe na sigurnost opskrbe električnom energijom. Tada je zaštitu potrebno prebaciti u varmetarski princip rada ($\sin\phi$), tako da može selektivno isključivati dozemne spojeve. Energetski transformator 110/10,5(21) kV, kao najvažniji i najskuplji uređaj u transformatorskoj stanici, je zaštićen od bliskih kratkih spojeva, a time mu je i produljen „životni“ vijek. U ovom slučaju ne dolazi do prekida isporuke električne energije, ali dolazi do promjene u uvjetima pogona mreže, odnosno SN mreža prelazi u rad s izoliranim zvjezdištem. Na vrlo jednostavan način, upravljanjem prekidačem vodnog polja, je omogućen prijelaz SN mreže sa rada sa uzemljenim zvjezdištem, na rad sa izoliranim zvjezdištem i obrnuto. Na slici 3. je prikazan spoj postrojenja za uzemljenje zvjezdišta mreže 10(20) kV na sabirnice 10(20) kV.

10(20) kV, 1600 A, 16 kA/1 s

POSTROJENJE 20 kV – SEKCIJA A



Slika 3. Spoj postrojenja za uzemljenje zvjezdišta mreže 10(20) kV na sabirnice 10(20) kV, polje =J6

3. ODRŽAVANJE POSTROJENJA ZA UZEMLJENJE ZVJEZDIŠTA MREŽE 10(20) KV

Održavanje postrojenja za uzemljenje zvjezdišta mreže 10(20) kV u transformatorskim stanicama nazivnog napona 110/10(20) kV do 2013. godine je bilo u nadležnosti HEP-Operator prijenosnog sustava d.o.o. Tijekom 2013. godine proveden je postupak razgraničenja djelatnosti proizvodnje, prijenosa i distribucije [3]. Sukladno *Načelima razgraničenja djelatnosti proizvodnje, prijenosa i distribucije električne energije*, za svaki zajednički objekt sklopljen je *Sporazum o zajedničkom korištenju elektroenergetskog objekta*, kojim je, između ostaloga, uređeno vlasništvo i nadležnost nad dijelovima objekata ili postrojenja. Temeljem spomenutog Sporazuma održavanje postrojenja za uzemljenje zvjezdišta mreže 10(20) kV prelazi u nadležnost HEP-Operator distribucijskog sustava d.o.o.

Održavanje postrojenja i opreme u HEP-ODS-u se provodi u skladu s *Pravilnikom o tehničkim zahtjevima za elektroenergetska postrojenja nazivnih izmjeničnih napona iznad 1 kV (NN 105/2010)* [4], na temelju kojeg su donesena *Pravila o održavanju postrojenja i opreme elektroenergetskih građevina distribucijske mreže, bilten broj 263, od 26. ožujka 2012. godine*. Održavanje se, također, provodi sukladno zahtjevima glavnih i izvedbenih projekata, tehničkih propisa za građevine, hrvatskih normi te uputama za održavanje proizvođača opreme.

U Pravilima o održavanju postrojenja i opreme elektroenergetskih građevina distribucijske mreže se nalaze tablice aktivnosti i redovnih razdoblja održavanja postrojenja i opreme. Potrebno je održavati sve elemente postrojenja za uzemljenje zvjezdišta mreže 10(20) kV, u što se ubrajaju:

- a) energetske kablove za spoj postrojenja,

- b) rastavljači,
- c) transformator za formiranje umjetnog zvjezdišta mreže 10(20) kV,
- d) odvodnici prenapona,
- e) strujni mjerni transformatori,
- f) otpornik za uzemljenje zvjezdišta mreže 10(20) kV.

Ukoliko je postrojenje za uzemljenje zvjezdišta mreže 10(20) kV spojeno direktno na sekundar energetskog transformatora 110/10,5(21) kV, najpovoljnije je njegovo održavanje planirati u skladu s održavanjem energetskog transformatora. U tablicama aktivnosti je definiran rok za mjerenje probojne čvrstoće ulja energetskog transformatora od dvije godine (2G) te se ujedno može obaviti i mjerenje probojne čvrstoće ulja transformatora za formiranje umjetnog zvjezdišta u jednakim rokovima [5]. Mjerenje otpora izolacije namota energetskog transformatora se obavlja s rokom od četiri godine (4G), što se odnosi i na transformator za formiranje umjetnog zvjezdišta te na ispitivanje izolacije otpornika. Mjerenje otpora otpornika za uzemljenje zvjezdišta mreže 10(20)kV je predviđeno jednom u dvije godine (2G). Ova mjerenja se obavljaju u vlastitoj režiji te ih nije problematično uskladiti i obavljati u istim vremenskim intervalima.

Ukoliko je postrojenje za uzemljenje zvjezdišta mreže 10(20) kV spojeno na sabirnice 10(20) kV, njegovo održavanje je moguće obaviti neovisno o održavanju energetskog transformatora. Pri tome se, naravno, mora voditi računa da dolazi do promjena u tretmanu uzemljenja zvjezdišta mreže 10(20) kV.

4. POGONSKI DOGAĐAJI NA POSTROJENJIMA ZA UZEMLJENJE ZVJEZDIŠTA MREŽE 10(20) KV

Kao što je naznačeno u prethodnom poglavlju, održavanje postrojenja za uzemljenje zvjezdišta mreže 10(20) kV prelazi u nadležnost HEP-Operator distribucijskog sustava d.o.o. tijekom 2013. godine. Od tada smo imali dva pogonska događaja koja su opisana u nastavku.

4.1. Opis pogonskih događaja

Dana 29.08.2014. godine u TS 110/20/10 kV Đakovo 3 je ispitan energetski transformator 110/21kV, 20 MVA nakon ispada iz pogona zbog prorade diferencijalne zaštite. Zaštita je proradila zbog kratkog spoja na rastavljaču postrojenja za uzemljenje zvjezdišta mreže 20 kV, kojeg je uzrokovala mala životinja, što je prikazano na slici 4. Postrojenje za uzemljenje zvjezdišta mreže 20 kV je spojeno direktno na sekundar energetskog transformatora 110/21 kV putem energetskih kabela s aluminijskim vodičima presjeka 150 mm². Udaljenost predmetnog rastavljača od energetskog transformatora je oko 25 m.



Slika 4. Postrojenje za uzemljenje zvjezdišta mreže 10(20) kV

Sličan pogonski događaj bio je dana 16.12.2014. godine u TS 110/20/10 kV Osijek 4 na energetskom transformatoru 110/21 kV, 20 MVA.

Nakon prorade diferencijalne zaštite, kada se utvrdi da je kroz transformator tekla struja kvara, obavezno je prije uključivanje obaviti ispitivanja. Sva specijalna ispitivanja energetskih transformatora snaga većih od 8 MVA obavljaju ovlaštene vanjske tvrtke.

Na transformatorima je izmjereno:

- a) Otpori izolacije namota
- b) Kapaciteti i faktori dielektričnih gubitaka izolacije namota
- c) Kapaciteti i faktori dielektričnih gubitaka izolacije provodnika
- d) Struje magnetiziranja
- e) Kontrola deformacije namota mjerenjem rasipnog induktiviteta parova namota
- f) Djelatni otpori namota

Uzeti su uzorci transformatorskog ulja za laboratorijska ispitivanja.

Na osnovi rezultata mjerenja, transformatori su bili spremni za puštanje u pogon. Kasnije dobivena izvješća o laboratorijskim ispitivanjima transformatorskog ulja (fizikalno-kemijska ispitivanja te kromatografska analiza plinova otopljenih u ulju) su potvrdila ispravnost ulja.

4.2. Analiza mogućih rješenja zaštite postrojenja za uzemljenje zvjezdišta mreže 10(20) kV

Projektnim rješenjima u svim objektima je predviđeno izvođenje zaštite malih životinja, zaštitnim izoliranjem golih vodiča na SN strani, provodnih izolatora energetskog transformatora i transformatora za formiranje umjetnog zvjezdišta, odvodnika prenapona i otpornika za uzemljenje odgovarajućim izolacijskim elementima. Zaštićeni su, dakle, svi elementi u krugu zvjezdišta osim rastavljača, jer je rastavljač teško izolirati da bi zadržao svoju funkciju vidljivog odvajanja od napona. Pogonski događaji opisani u poglavlju 4.1. ukazuju nam da se kvarovi pojavljuju baš na jedinom elementu koji nije zaštićen, rastavljaču.

Zaštitu rastavljača od utjecaja malih životinja moguće je riješiti na nekoliko načina. Prvi način jest spriječiti dolazak malih životinja na rastavljač gradnjom zaštitne ograde od mreže otvora do 30 mm. Zaštitna ograda se može postaviti tako da zaštiti sam rastavljač. Pri tome treba voditi računa da sustav za izoliranje golih vodiča nije siguran na dodir te se između izoliranih vodiča i zaštitne metalne ograde mora ostaviti zračni razmak prema tablici I, ukoliko je izoliranje obavljeno toploskupljajućom srednjestijenom cijevi za naponsku klasu do 25 kV.

Tablica I. Smanjenje razmaka uz primjenu toploskupljajuće srednjestijene cijevi

Nazivni napon (kV)	Okrugle sabirnice		Plosnate sabirnice		IEC 71-2 Zračni razmak (mm)
	Faza-faza (mm)	Faza-zemlja (mm)	Faza-faza (mm)	Faza-zemlja (mm)	
12	55	65	65	75	120
24	95	125	115	150	220

Razmaci iz tablice I. se ne bi smjeli prihvatiti bez ispitivanja i provjere samog korisnika. Oštri vrhovi i neobični oblici mogu zahtijevati i veće razmake. Sami razmaci su veliki i ostavljaju mogućnost ulaza malih životinja u prostor rastavljača. Oko poluznog pogona rastavljača također treba ostaviti otvor u zaštitnoj ogradi radi potrebnog hoda poluge rastavljača prilikom upravljanja. Zbog svih spomenutih razloga, ovaj način zaštite rastavljača od utjecaja malih životinja nije učinkovit.

Drugi način je gradnja zaštitne mreže oko postrojenja za uzemljenje zvjezdišta mreže 10(20) kV. Ova mjera je učinkovita jer će spriječiti ulazak malih životinja u prostor oko rastavljača, ali je skupa zbog velike površine zaštitne mreže koja zahtjeva održavanje i kvalitetnu antikorozivnu zaštitu.

Treći način je izoliranje kontakata, metalnih prirubnica potpornih izolatora i metalnog podnožja rastavljača sustavom za poboljšanje izolacije kako bi cijeli rastavljač bio izoliran u odnosu na uzemljene

dijelove tako da u slučaju dodira životinje s aktivnim dijelovima ne može doći do pojave električnog luka. Kontakti rastavljača se mogu izolirati zaštitnim kapama za zaštitu ptica na srednjenaponskim zračnim dalekovodima tipa BCIC-3314 koja ima duljinu 1375 mm i dobro se prilagođava obliku pola rastavljača. Metalne prirubnice potpornih izolatora se izoliraju kratkim dijelovima cijevi tipa BPTM ili BBIT, dok se podnožje rastavljača, noseće konzole i pogonska osovina može također izolirati kako bi se, u slučaju kontakta male životinje i dijelova rastavljača u pogonu, izbjeglo nastajanje električnog luka i kao posljedica kvar na postrojenju. Ovim načinom možemo učinkovito zaštititi kompletan rastavljač od utjecaja malih životinja provjerenom opremom otpornom na klizne struje, sunčevo zračenje i atmosferske utjecaje, što ne zahtjeva dodatno održavanje. Jedini nedostatak ovog načina je potreba demontaže zaštitnih kapa s polova rastavljača kod upravljanja. Međutim, demontaža kapa je vrlo jednostavna, a upravljanjem rastavljačem se obavlja samo u slučaju radova ili kvarova na energetskom transformatoru ili postrojenju za uzemljenje zvjezdista, što je u pravilu vrlo rijetko.

5. ZAKLJUČAK

Ukoliko je postrojenje za uzemljenje zvjezdista SN mreže spojeno na sekundar energetskog transformatora, kvar može uzrokovati proradu diferencijalne zaštite i značajna oštećenja opreme za uzemljenje zvjezdista, kao i samog energetskog transformatora. Prije uključivanja transformatora obavezno je njegovo ispitivanje, koje obavljaju ovlaštene vanjske tvrtke. Stoga je neophodno obaviti izoliranje i zaštitu malih životinja od svih elemenata postrojenja za uzemljenje zvjezdista, od sekundara energetskog transformatora do otpornika. Kod odabira opreme, prije svega rastavljača, voditi računa o mogućnostima kasnijeg izoliranja.

Zbog svojih prednosti, spoj postrojenja za uzemljenje zvjezdista SN mreže na sabirnice 10(20) kV jest bolja varijanta, koju preporučamo u budućim postrojenjima, ali je i nešto skuplja. U svakom slučaju i ovdje je potrebno obaviti izoliranje svih vanjskih dijelova postrojenja.

6. LITERATURA

- [1] TS 110/20(10) kV Đakovo 3 dio za HEP-ODS (ESO), postrojenje 20 kV, Izvedbeni projekt, DALEKOVOD-PROJEKT d.o.o., Zagreb, lipanj 2010.
- [2] Izgradnja postrojenja 10(20) kV u TS 110/35/10 kV Našice, Glavni projekt, Telenerg d.o.o., Zagreb, travanj 2012.
- [3] Načela razgraničenja djelatnosti proizvodnje, prijenosa i distribucije električne energije, HEP d.d. Zagreb, ožujak 2013.
- [4] Pravilnik o tehničkim zahtjevima za elektroenergetska postrojenja nazivnih izmjeničnih napona iznad 1 kV (NN 105/2010)
- [5] Bilten HEP-a broj 263, HEP-Operator distribucijskog sustava d.o.o., Zagreb, ožujak 2012.