

ISKUSTVA U PRIMENI ZAŠTITE OD PRENAPONA NADZEMNIH VODOVA SREDNJEG NAPONA

Aleksandar JANJIĆ, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Niš, Srbija
Miroslav DOČIĆ, JP EPS, Odsek za tehničke usluge Leskovac, Leskovac, Srbija
Aleksandar ANĐELKOVIĆ, JP EPS, Odsek za tehničke usluge Leskovac, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

Jedan od značajnijih uzroka kvarova na nadzemnim vodovima srednjeg napona su atmosferski prenaponi. Oni se mogu javiti na različitim mestima duž trase voda i na različite načine. Najčešće su to udari u blizini trase, u vrh stuba ili u zaštitno uže, ali i direktno u fazni provodnik. Tom prilikom dolazi do indukovanja prenapona ili pojave preskoka na faznim provodnicima. Da bi se smanjio broj i trajanje prekida napajanja u isporuci električne energije, neophodno je nadzemni vod opremiti odgovarajućim brojem zaštitnih elemenata.

U radu su prikazana iskustva u primeni zaštite od prenapona nadzemnog izvoda 10 kV. Najpre je dat kratak osvrt na postojeću regulativu. Zatim su, na osnovu registrovanih događaja na realnom razmatranom izvodu srednjeg napona i korelacije ponašanja nadzemnog voda u zavisnosti od udara gromova, dobijene deonice sa većom verovatnoćom udara gromova. Za dobijanje podataka o atmosferskim pražnjenjima korišćena je baza podataka dostupnog sistema za automatsko detektovanje atmosferskih pražnjenja u realnom vremenu. Rezultat rada su lokacije na izvodu na kojima je izvršena ugradnja opreme za zaštitu od prenapona i iskustva u njenoj primeni.

Ključne reči: nadzemni vod, prekid napajanja, zaštita od prenapona, atmosfersko pražnjenje, verovatnoća udara groma, lokacija na izvodu.

SUMMARY

One of the most important causes of faults in medium voltage overhead lines is atmospheric overvoltage. They can occur at different locations along the line route and in different ways. These are usually strikes near the route, at the top of pole or in the shielded wire, but also directly in the phase conductor. On that occasion, an overvoltage or surge on phase conductor is inducted. In order to reduce the number and duration of power failure in electricity distribution, it is necessary to equip the overhead line with appropriate number of protective elements.

In this paper the experiences in overvoltage protection application of overhead 10 kV feeder is presented. First, a brief overview of the existing regulative is given. Then, based on registered events on the real considered middle voltage feeder and the correlation of overhead line behavior depending on lightning strikes, the feeder sections with higher probability of lightning strikes are obtained. In order to obtain atmospheric discharges data, a database from available real-time system for automatic detection of atmospheric discharges is used. The results are feeder locations on which the overvoltage protection equipment is installed and the experiences in its application.

Key words: overhead line, power failure, overvoltage protection, atmospheric discharge, lightning strike probability, feeder location.

Aleksandar Janjić, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Niš, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija, aleksandar.janjic@elfak.ni.ac.rs
Miroslav Dočić, JP EPS, Odsek za tehničke usluge Leskovac, Stojana Ljubića 16, 16000 Leskovac, Srbija, miroslav.docic@eps.rs
Aleksandar Anđelković, JP EPS, Odsek za tehničke usluge Leskovac, Stojana Ljubića 16, 16000 Leskovac, Srbija, aleksandar.andjolkovic@eps.rs

UVOD

Po definiciji, prenaponom se smatra svako povećanje napona koje stvara električno polje iznad najvišeg napona opreme kada se izlazi iz domena normalnog pogona. Prenapon predstavlja napon između faznog provodnika i zemlje ili između faznih provodnika, čija temena vrednost prelazi odgovarajuću temenu vrednost najvišeg napona opreme [1]. Prema uzroku nastanka, prenaponi se mogu podeliti na dva osnovna tipa:

- spoljašnji ili atmosferski prenaponi;
- unutrašnji prenaponi.

Spoljašnji ili atmosferski prenaponi nastaju usled atmosferskih pražnjenja (udara groma) u elemente elektroenergetskih postrojenja ili u njihovu blizinu. Kada dođe do direktnog atmosferskog pražnjenja u elektroenergetski objekat, pojavljuju se vrlo velike struje izazivajući pri tome vrlo visoke napone. Ukoliko pak do atmosferskog pražnjenja dođe u blizini elektroenergetskog objekta, dolazi do indukovanja prenapona koji mogu biti opasni u mrežama srednjeg i niskog napona. Zbog toga je neophodno izvršiti adekvatnu zaštitu opreme. Visina atmosferskih prenapona zavisi od energije atmosferskog pražnjenja, ali se određenim zaštitnim merama može ograničiti na niže vrednosti.

Unutrašnji prenaponi nastaju usled raznih poremećaja u samom elektroenergetskom sistemu. Prema uzroku, dele se na sklopne (komutacione) i privremene (povremene) prenapone. Zaštita nadzemnih vodova srednjeg napona od ove vrste prenapona u ovom radu nije razmatrana.

U radu će biti data praktična iskustva stečena na primeni zaštite od atmosferskih prenapona realnog nadzemnog izvoda 10 kV. Za dobijanje podataka o atmosferskim pražnjenjima korišćena je baza podataka dostupnog sistema za automatsko detektovanje atmosferskih pražnjenja u realnom vremenu. Osim osnovne prenaponske zaštite (ugradnja odvodnika prenapona na transformatorskim stanicama SN/NN), poseban akcenat je dat i na primeni dopunske zaštite od atmosferskih prenapona. Ovim vidom zaštite podrazumevana je ugradnja zaštitnih iskrišta na izolacionom sistemu nadzemnog voda u konkretnim tačkama. Dobijene su lokacije na kojima treba izvršiti dopunsku meru zaštite od prenapona, a zatim i izvršena ugradnja odvodnika prenapona i zaštitnih iskrišta. Na ovaj način, pokazaće se da se relativno malim ulaganjima i jednostavnim tehničkim rešenjem u značajnoj meri može umanjiti broj ispada čiji uzrok su prolazni kvarovi.

ZAŠTITA OD ATMOSFERSKIH PRENAPONA

Za distributivni elektroenergetski sistem atmosferski prenaponi predstavljaju najopasniju vrstu prenapona. S obzirom da pripadaju grupi spoljašnjih prenapona, njihova vrednost ne zavisi od pogonskog napona mreže. Njihov uticaj na distributivnu mrežu je teško izbeći, što za posledicu ima najveći broj kvarova čiji su uzrok prenaponi. Zaštita od atmosferskih prenapona je ključna za održavanje adekvatnog kvaliteta električne energije i kontrolu troškova usled ove vrste kvarova u distributivnom sistemu. Postoje mnogi aspekti u izradi zaštite od prenapona, uključujući vrstu i mesto postavljanja odvodnika prenapona, pitanja uzemljenja, kao i izbor adekvatne elektroenergetske opreme sa potrebnom klasom izolacije. U ovom poglavlju biće ukratko opisani faktori koji utiču na performanse distributivnog sistema usled atmosferskih prenapona, dajući smernice u primeni opreme za zaštitu.

Atmosferski prenapon je jedan od značajnijih uzroka kvara na nadzemnom vodu srednjeg napona. On se može javiti na različitim mestima duž trase voda i na različite načine. Nastaje usled atmosferskog pražnjenja, kada udar groma bude u blizini trase voda, pri čemu se prenapon indukuje na provodnicima. Najčešće udar groma bude u vrh stuba ili u zaštitno uže nadzemnog voda, nakon čega može doći do povratnog preskoka na fazni provodnik. Najopasniji je direktan udar u fazni provodnik koji nastaje veoma retko, ali je ipak moguć. U većini slučajeva, pražnjenje uzrokuje privremenu smetnju na nadzemnom vodu preko izolacionog sistema, ne oštećujući opremu. Može se smatrati prihvatljivim ako manje od 20% udara groma prouzrokuje trajno oštećenje opreme [2]. Jedan udar groma može da prouzrokuje i više preskoka i kvarova na opremi. Naravno, ovaj procenat će zavisi isključivo od opremljenosti nadzemnog voda adekvatnim zaštitnim uređajima. Strategija zaštite od atmosferskih prenapona svodi se na:

1. korišćenje odvodnika prenapona za zaštitu transformatora, kablova, i ostale opreme podložne trajnom oštećenju od pražnjenja;
2. korišćenje prekidača ili rekluzera za automatsko ponovno uključivanje nadzemnog voda nakon smetnje izazvane pražnjenjem.

Osnovni cilj strategije je smanjenje kako broja, tako i vremena trajanja prekida u isporuci električne energije, poboljšanje kvaliteta električne energije, upravljanje potrošnjom, smanjenje gubitaka, smanjenje (odlaganje) novih investicija, smanjenje radne snage i generalno povećanje efikasnosti u poslovanju.

U zaštitne uređaje od atmosferskih pražnjenja spadaju:

- gromobranski štapovi u postrojenjima;
- zaštitna užad na vodovima i postrojenjima;
- zaštitna iskrišta;
- odvodnici prenapona.

Gromobrani su uređaji čija je namena za zaštitu elektroenergetskih objekata od direktnog udara groma, primajući na sebe direktan udar groma. Zaštitna užad na vodovima i postrojenjima takođe štite od direktnog udara groma, ali imaju i značajan uticaj na smanjenje indukovanih prenapona. Zona zaštite kod gromobrana i kod zaštitne užadi određuje se eksperimentalnim putem ili na osnovu empirijskih obrazaca.

Zaštitno iskrište je namerno oslabljeno mesto u elektroenergetskom sistemu na kojem, prilikom atmosferskog pražnjenja, treba pre da dođe do preskoka nego na ostalim elementima sistema. Sastoji se od dve elektrode sfernog oblika na međusobnom rastojanju u vazduhu, na kojem se zna napon preskoka koji je niži od napona preskoka ostalih elemenata sistema. Jedna od elektroda je pod naponom, a druga se nalazi na potencijalu zemlje. Pri nailasku prenaponskog talasa, rastojanje između elektroda se preskače i prenapon biva odveden u zemlju. Na vodovima, zaštitna iskrišta predstavljaju dopunsku prenaponsku zaštitu. Ovakav vid zaštite je jednostavan, pouzdan i jeftin, ali ima i određene mane:

- presecanjem atmosferskog prenapona stvara se naponski talas velike strmine koji može da ošteti izolaciju između namotaja npr. mernih ili energetskih transformatora, pa se zaštitna iskrišta ne postavljaju na krajnjim stubovima dalekovoda;
- zaštitno iskrište ograničava prenapon, ali izaziva kratak spoj nakon reagovanja tako da element na koji je iskrište priključeno mora biti isključen delovanjem neke od zaštita od kratkih spojeva.

Odvodnik prenapona je osnovni element za zaštitu izolacije elektroenergetske opreme od prenapona. U početku su korišćeni cevni i klasični ventilni(SiC) odvodnici prenapona sa zaštitnim iskrištima, dok se danas koriste metal-oksidni (ZnO) odvodnici koji nemaju iskrišta, već samo nelinearni otpornik sa znatno nelinearnijom naponsko-strujnom karakteristikom. Ovi odvodnici prenapona pri radnom naponu provode veoma malu struju u zemlju.

PRIKAZ POSTOJEĆE REGULATIVE I INTERNIH PROPISA

Oblast zaštite od atmosferskih pražnjenja se u Republici Srbiji reguliše „Pravilnikom o tehničkim normativima za zaštitu elektroenergetskih postrojenja od prenapona („Sl. list SFRJ“, br. 7/71 i 44/76) [3]. Ovaj pravilnik predviđa opšte uslove koje trebaju da zadovolje uređaji za zaštitu od prenapona u elektroenergetskim postrojenjima. Zaštita od prenapona je sadržana i u „Pravilniku o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona 1 kV do 400 kV („Sl. list SFRJ“, br. 65/88 i „Sl. list SRJ“, br. 18/92) [4]. Ovim pravilnikom je definisana verovatnoća povratnog preskoka na provodniku u zavisnosti od otpora uzemljenja stuba. Može se slobodno konstatovati da su oba pravilnika u manjoj ili većoj meri zastarela, pa se pojedine oblasti zaštite od prenapona uređuju novim SRPS standardima čiju osnovu predstavljaju međunarodni EN standardi.

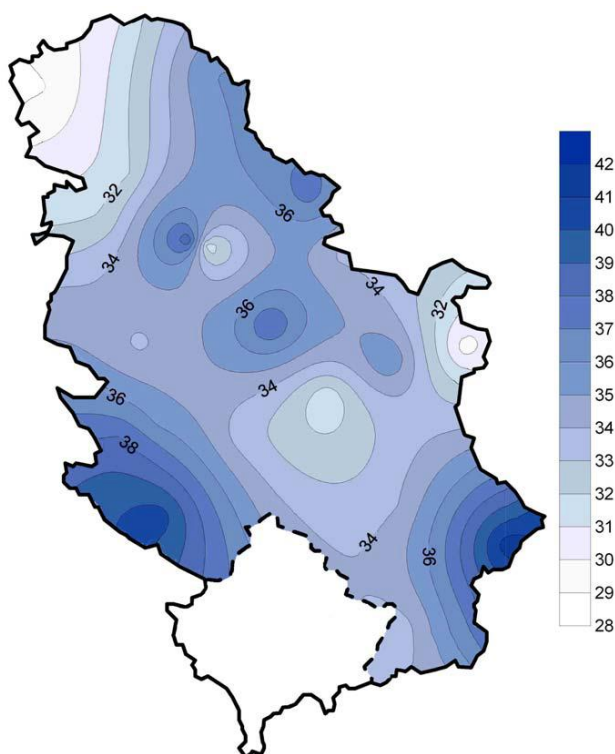
U daljem tekstu spomenućemo samo neke od najbitnijih novijih standarda. Koordinacija izolacije je regulisana standardom SRPS EN 60071-1:2008, dok je koordinacija izolacije u distributivnoj mreži posebno definisana standardom SRPS EN 60071-2:2008 [5]. Ponašanje izolacije nadzemnog voda u mnogome utiče na izolaciju transformatorskih stanica. Pomenutim standardom su takođe definisani udari u ili blizini nadzemnih distributivnih vodova, kao i oprema priključena na nadzemni vod preko kabla. Standardom SRPS EN 60099-4:2015[6] regulisana je tehnologija izrade metal-oksidnih odvodnika prenapona, imajući u vidu razvoj tehnološkog postupka proizvodnje ovog tipa odvodnika prenapona.

Zastarelost Pravilnika o tehničkim normativima [3, 4] konstatovana je u Tehničkoj preporuci TP-2a1, Direkcije za distribuciju EPS-a [7] kojom se dozvoljava upotreba novih materijala za izolacionu zaštitu vodova. Takođe, Tehničkom preporukom TP-1v predviđena je ugradnja odvodnika prenapona između visokoučinskih osigurača i

rastavljača na stubnoj transformatorskoj stanici SN/NN čime se energetski transformator efikasno štiti od atmosferskih prenapona.

KORELACIJA UDARA GROMOVA I REGISTROVANIH SPADANADZEMNOG VODA SREDNJEG NAPONA

Podaci o broju atmosferskih električnih pražnjenja na jedinicu površine, njihova prostorna i vremenska raspodela na određenoj lokaciji ili duž trase dalekovoda, su veoma važni podaci za projektovanje, izgradnju i održavanje elektroenergetskih objekata [8]. Osnovu za određivanje ovih podataka čine podaci o učestalosti atmosferskih pražnjenja, broj grmljavinskih dana u godini, odnosno broj udara groma po jedinici površine (izokeraunički nivo). Izokeraunička karta Republike Srbije [9] prikazana je na slici 1.



Slika 1. Izokeraunička karta Republike Srbije

Dobijeni podaci koriste se za izbor standardnog izolacionog nivoa za opremu distributivne mreže (standardni podnosivi kratkotrajni napon industrijske frekvencije i standardni podnosivi atmosferski udarni napon).

U uslovima atmosferskih pražnjenja, ponašanje nadzemnog voda zavisi od nekoliko faktora. To su najčešće:

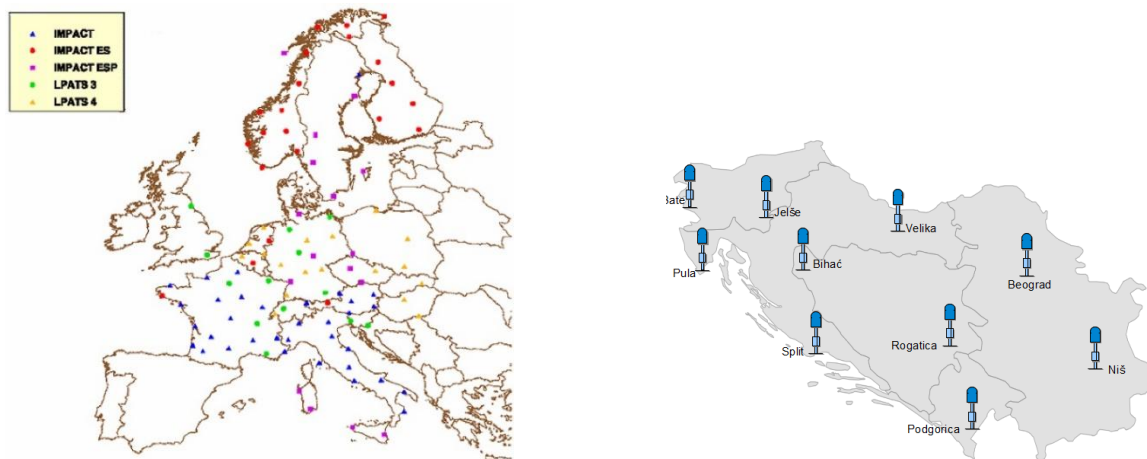
- gustina preskoka usled udara groma u blizini stuba;
- visina nadzemnog voda;
- raspored provodnika na stubu;
- postojanje zaštitnog provodnika;
- uzemljenje stuba;
- čvrstoća izolacije, itd.

Zaštitne mere od atmosferskih pražnjenja koje se primenjuju na nadzemnom vodu u osnovi se mogu podeliti na:

- *pasivne zaštitne mere*: planiranje trase voda bira se tako da se ona sprovede na mestima sa nižom gustinom udara gromova, lakšim pristupom u cilju redovnog održavanja i pregleda odvodnika;
- *aktivne zaštitne mere*: odvođenje viška elektriciteta koji se pojavljuje udarom groma optimalnim postavljanjem zaštitnih uređaja.

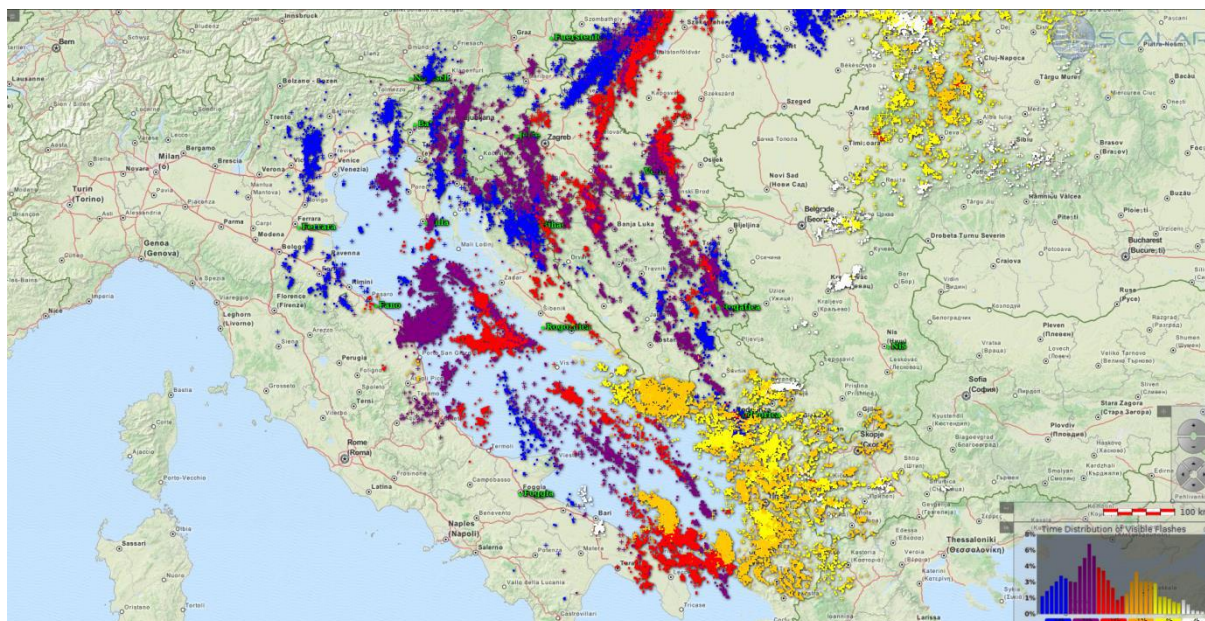
Za praćenje atmosferskih pražnjenja, u Evropi je razvijeno nekoliko sistema [10]. Evropska mreža za lokalizaciju munja (EUCLID – *European Cooperation for Lightning Detection*) nastala je saradnjom i

udruživanjem mreža pojedinih zemalja sa ciljem otkrivanja i lociranja munja sa učinkovitom detekcijom i preciznim lociranjem na području čitave Evrope. Novi sistem za lociranje munja (LINET) je razvijen u Nemačkoj i meri gustinu magnetnog polja u zavisnosti od vremena. Austrija ima sopstveni sistem ALDIS (*Austrian Lightning Detection & Information System*), Italija sistem CESI-SIRF (*Sistema Italiano Rilevamento Fulmini*), a Slovenija sistem SCALAR (*Slovenski Centar za Avtomatsko Lokalizaciju Atmosferskih Razelektritev*). U SAD postoji nacionalna mreža za detekciju munja NLDN (*National Lightning Detection Network*). Svi pobrajani sistemi, u osnovi, sastoje se od senzora instaliranih na različitim lokacijama i u nekoliko zemalja. Njihov osnovni zadatak je automatsko detektovanje atmosferskih pražnjenja u realnom vremenu. Prikupljeni podaci se sakupljaju na server odakle se, zahvaljujući savremenim računarskim tehnikama, omogućuje puna funkcionalnost koja se ogleda u korišćenju naprednih usluga (alarmiranje udara gromova, korelacija ispada dalekovoda zbog udara gromova, posmatranje vremenskih pojava u realnom vremenu, itd.). Na slici 2 su prikazane lokacije nekih senzora pobrajanih sistema. Početkom 2017. godine postavljena su još dva senzora u Skoplju i Ohridu čime je poboljšano pokrivanje i juga Srbije.



Slika 2. Lokacije senzora sistema za praćenje atmosferskih pražnjenja

Za potrebe dobijanja podataka o atmosferskim pražnjenjima u realnom vremenu (Flash Service), pored ovog, potrebni su i servisi koji podrazumevaju dostavu mapa, geografskih i topoloških podataka (GeoService), ulazno-izlaznu komunikaciju (WebService), arhiviranje podataka (Database Service), itd. Skupinformacija sadrži podatke o geografskoj dužini i širini mesta udara groma, polaritetu i amplitudi groma, oceni tačnosti i efikasnosti detektovanja atmosferskih pražnjenja, broju proboga groma i dr. Krajnji korisnik može pratiti podatke u realnom vremenu ili ih povlačiti iz arhive podataka. Jedan takav prikaz za određeni dan dat je na slici 3 [11].



Slika 3. Atmosferska pražnjenja za određeni dan

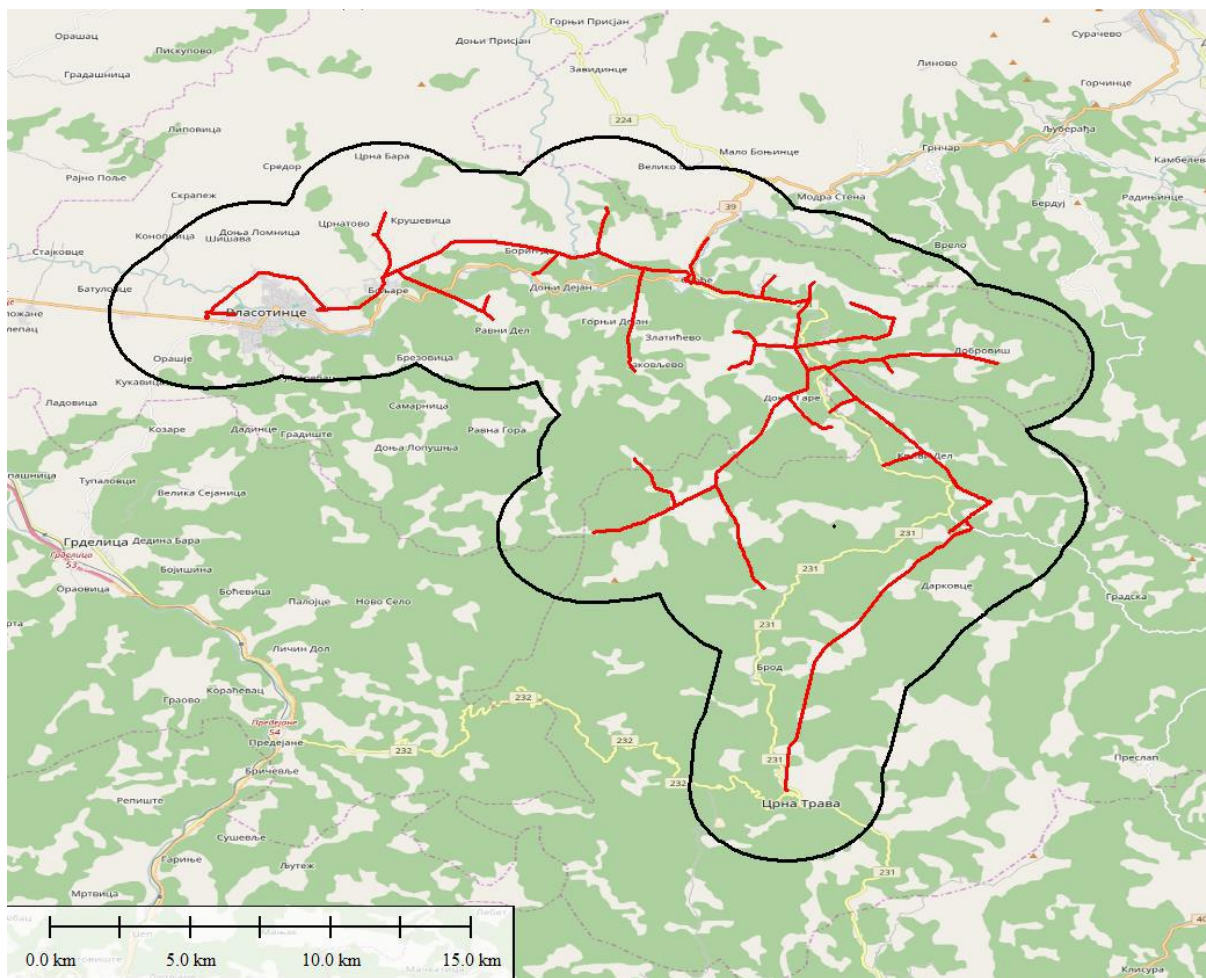
Za korelaciju podataka o atmosferskim pražnjenjima i registrovanih ispada nadzemnog voda koriste se tri ulazna podatka:

1. podatak o registrovanim atmosferskim pražnjenjima iz sistema za praćenje;
2. podatak o isključenju prekidača u napojnoj transformatorskoj stanici VN(SN)/SN iz SCADA sistema;
3. podatak o topologiji nadzemnog voda iz GIS sistema.

Dobijeni podaci se mogu razmatrati manuelno (od strane dispečera-eksperta koji odlično poznaje topologiju mreže, geografiju napajnog područja, relejnu zaštitu, SCADA sistem, itd.) ili sinhronizovati u jedinstveni sistem preko standardnih protokola koji su namenjeni za razmenu podataka u realnom vremenu. Korelacija podataka izvodi se prostornom analizom tako što se vektorski oblik topologije nadzemnog voda poredi sa površinskom raspodelom gustine udara gromova. Kvalitet korelacije zavisi od usvojene površinske rezolucije. Koji deo izvoda će biti u okviru neke vrednosti gustine udara gromova zavisi od relativnog stepena izloženosti. To je koeficijent koji se dobija normiranjem svake deonice izvoda sa njegovom dužinom. Na taj način se može porediti ugrožena deonica bez obzira na njenu dužinu. Detaljan postupak korelacije opisan je u [11].

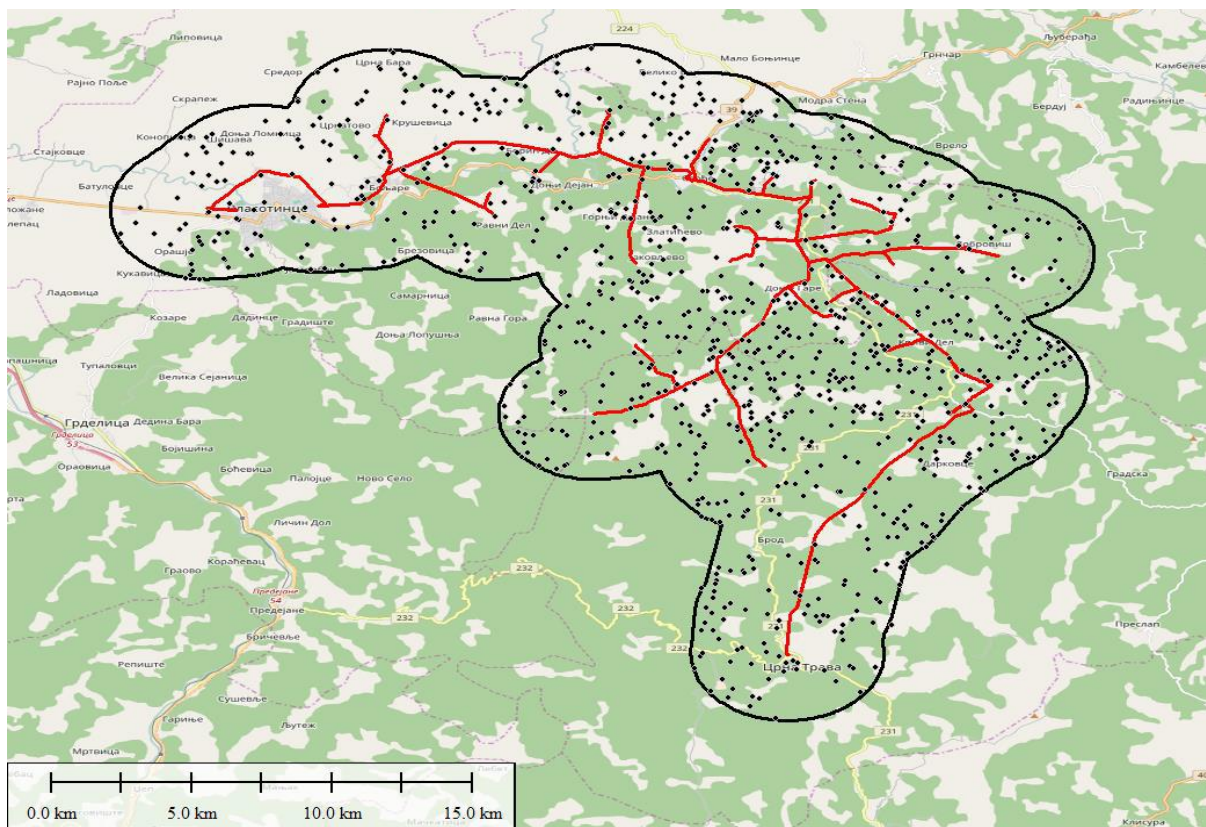
PRIKAZ IZLOŽENOSTI UDARA GROMA NA REALNOM IZVODU SREDNJEG NAPONA

Metodologijom koja je opisana u [11] i osnove date u prethodnom odeljku, izvršen je proračun izloženosti od udara groma za izvod 10 kV „Svođe“ koji se napaja iz TS 35/10 kV/kV „Nevit“ u Vlasotincu. Izvod 10 kV „Svođe“, ukupne dužine preko 80 km sa ograncima, je izveden nadzemno isnaždeva kupce električne energije u 16 naseljenih mesta na teritoriji opština Vlasotince i Crna Trava, sa obe strane regionalnog puta koji povezuje ova dva mesta. Opravdanje za izbor ovog izvoda leži u činjenici da je ovaj izvod imao najveći broj ispada na konzumnom području ED Leskovac do ugradnje dopunske zaštite od prenapona. Trasa dalekovoda kreće se po brdskom i izrazito planinskom području (od 300 do čak 1400 m nadmorske visine). Dalekovod većim delom trase prolazi kroz šumovit teren, a na pojedinim mestima prelazi prevoje na izuzetno visokim nadmorskim visinama na kojima su izražena atmosferska pražnjenja. Na dalekovodu dominiraju betonski stubovi visine 12 m (10 m iznad zemlje) kao noseći, dok su zatezni stubovi čelično-rešetkasti. Jedan deo trase izveden je na drvenim stubovima (manji od 10%). Raspored provodnika je u trouglu, dok se za velike raspone od kojih neki prelaze i 400 m koristi horizontalni raspored. Prosečan raspon iznosi 87,6 m i uzet je iz projekta.



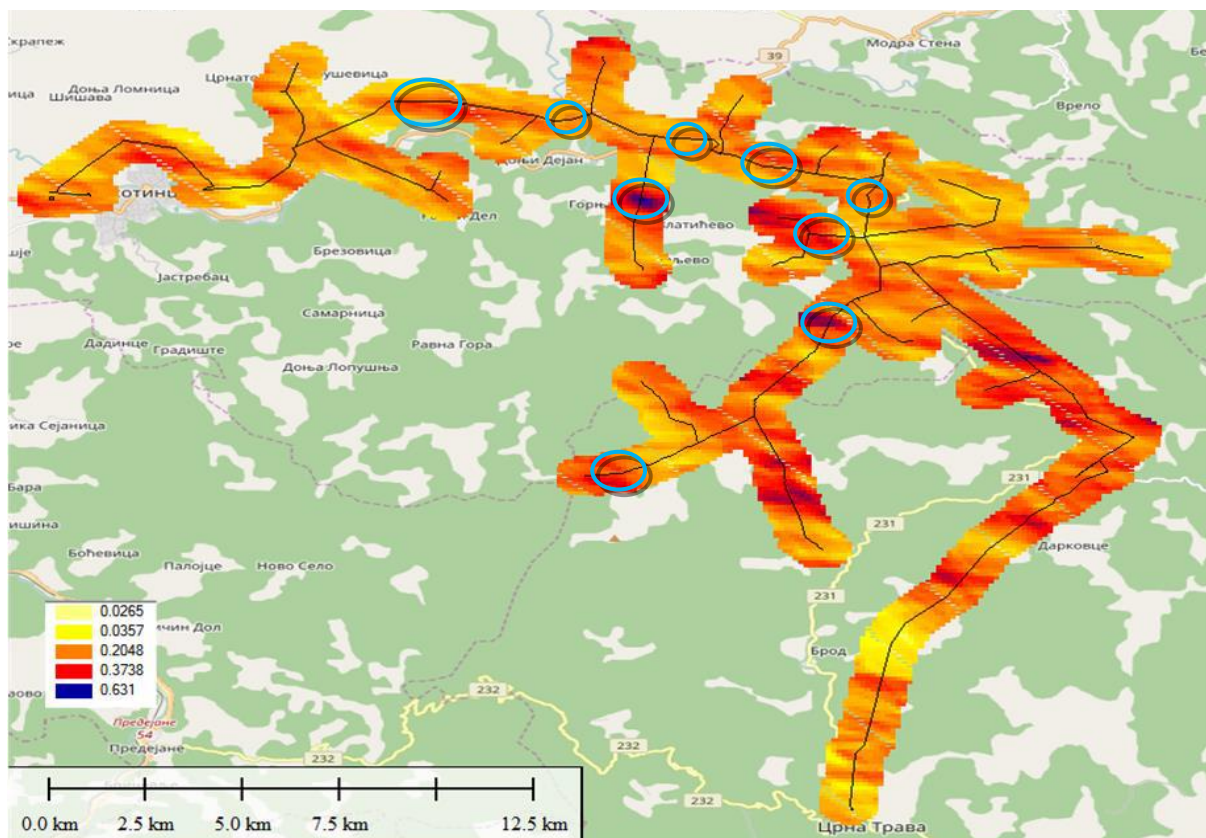
Slika 4. Topologija izvoda „Svođe“

Korelacija udara gromova sa registrovanim ispadima dalekovoda izvršena je za vremenski period od 2011. do 2016. godine na sledeći način. Iz dnevnika pogona dalekovoda izvršeno je filtriranje i odstranjivanje svih planiranih prekida. Zatim je izvršeno odstranjivanje onih neplaniranih prekida za koje se može smatrati da uzrok nije atmosfersko pražnjenje (npr. upisani komentari – ispad *recloser*-a, pad drveta na dalekovod, jak sneg, i sl.). Ostali su registrovani događaji za koje se može pretpostaviti da je moguć uzrok ispada atmosfersko pražnjenje. S obzirom na minutnu vremensku rezoluciju događaja o ispadima dalekovoda, u cilju nalaženja više atmosferskih pražnjenja za događaje koji se korelišu, uzeti su blaži uslovi. Za prostornu korelaciju uzeta je u obzir širina koridora dalekovoda od 2,5 km, dok su za vremenski kriterijum uzeta sva atmosferska pražnjenja zabeležena 10 minuta pre i 2 minuta posle događaja. Iz sistema za automatsku detekciju atmosferskih pražnjenja za koridor dalekovoda preuzeti su podaci za sva atmosferska pražnjenja (oblak-zemlja) sa povratnim udarima (slika 5). Udari gromova su numerisani, a rezultati složeni po godinama. Na kraju je izvršeno poređenje podataka o udarima gromova sa evidentiranim ispadima po vremenu i prostoru.



Slika 5. Udari gromova u zoni koridora dalekovoda tokom perioda razmatranja

Imajući podatke konkretnih pozicija udara groma moguće je dalje napraviti površinsku raspodelu gustine udara gromova. Poznavajući topologiju izvoda, prostornom analizom došlo se do deonica na dalekovodu na kojima je bilo poželjno postaviti dopunsku zaštitu od prenapona radi postizanja željenog stepena pouzdanosti (slika 6).



Slika 6. Prikaz lokacija na kojima je izvršena ugradnja dopunske zaštite od prenapona

Kao što je na početku rada istaknuto, osnovna mera zaštite od prenapona sastojala se u proveru ispravnosti ranije ugrađenih odvodnika prenapona na mestima na kojima isti moraju biti ugrađeni. To su prvenstveno transformatorske stanice SN/NN snaga većih od 100 kVA gde odvodnici prenapona štite energetske transformatore, ali i na uvodima nadzemnog voda u transformatorske stanice SN/NN tipa „kula“ gde je odvodnik prenapona vezan neposredno pre provodnog izolatora. Kod 15 transformatorskih stanica SN/NN tipa „kula“ uočeni su i otklonjeni kvarovi odvodnika prenapona, što znači da je ukupno zamenjeno 90 komada.

Dopunska mera zaštite podrazumevala je ugradnju zaštitnih iskrišta na onim mestima na kojima je ustanovljena povećana površinska raspodela gustine udara gromova. Osim provodnih izolatora transformatora SN/NN na kojima su zaštitna iskrišta ugrađena, izbor ovog tehničkog rešenja zaštite od atmosferskih prenapona je opredeljen iz razloga jer su lokacije na kojima je bila neophodna ugradnja teško pristupačne, pa bi u budućnosti bilo teško vršiti kontrolne preglede odvodnika prenapona. Preduslov za ugradnju bio je kvalitet uzemljenja stubova, kako bi se struje pražnjenja što efikasnije odvele u zemlju. S obzirom da su na predmetnom dalekovodu zatezni stubovi čelično-rešetkasti sa proverenim kvalitetnim uzemljenjem, kao i da se na njima vrši prekid provodnika, upravo ova mesta su izabrana kao mesta za postavljanje zaštitnih iskrišta. Postavljanje zaštitnih iskrišta je iskorišćeno i za zamenu izolacionog sistema dalekovoda tako što su postojeći porcelanski izolatorski lanci zamenjeni kompozitnim izolatorskim lancima na kojima su dodatno montirana zaštitna iskrišta. Na ostalim nosećim betonskim stubovima, između tačaka na kojima su ugrađena zaštitna iskrišta, izvršena je samo zamena izolacionog sistema dalekovoda. Ovom zamenom je sigurno postignuto da oslabljeno mesto bude zaštitno iskrište, a ne izolacioni sistem dalekovoda. Na slici 6 su zaokružena mesta na trasi dalekovoda na kojima je izvršena ugradnja zaštitnih iskrišta. Ugradnja zaštitnih iskrišta izvedena je do sada na 20 zatezних stubova, odnosno 6 komada po stubu što ukupno čini 120 komada. Takođe, na ovom delu dalekovoda izolacioni sistem dalekovoda zamenjen je u dužini od 14,5 km.

Sveukupni rezultat primenjenih mera ogleđa se u smanjenju broja prekida. S obzirom na obavezu operatora distributivnog sistema da vodi evidenciju istih, u Tabeli 1 je dat uporedni pregled ukupnih, neplaniranih i neplaniranih prekida čiji uzrok mogu biti atmosferska pražnjenja po godinama pre i nakon primene mera za zaštitu od atmosferskih prenapona za nadzemni 10 kV vod „Svođe“.

Tabela 1 – Pregled ukupnih, neplaniranih i neplaniranih prekida čiji uzrok mogu biti atmosferska pražnjenja za nadzemni 10 kV vod „Svođe“

Godina	Broj prekida napajanja				Udeo planiranih u ukupnom broju prekida [%]	Udeo neplaniranih prekida čiji uzrok mogu biti atmosferska pražnjenja u broju neplaniranih prekida [%]
	Ukupno	Planirani	Neplanirani	Neplanirani čiji uzrok mogu biti atmosferska pražnjenja		
2011	50	4	46	34	8,0	73,9
2012	87	11	76	43	12,6	56,6
2013	30	4	26	19	13,3	73,1
2014	78	7	71	59	9,0	83,1
2015	114	21	93	50	18,4	53,8
2016	81	17	64	14	21,0	21,9
2017	43	9	34	19	20,9	55,8

Imajući i vidu da je najveći broj mera zaštite od prenapona urađen tokom 2012. i 2015. godine, već u narednim godinama mogli su se uočiti efekti sprovedenih mera (tabela 1). U godinama kada je udeo planiranih prekida na dalekovodu u odnosu na ukupan broj prekida veći, upravo iz razloga sprovođenja preventivnih radova od kojih su najznačajniji oni na sprovođenju mera za zaštitu od atmosferskih prenapona, tada se iprocentat brojaneplaniranih prekida čiji uzrok mogu biti atmosferska pražnjenja u odnosu na sve neplanirane prekide smanjio. S obzirom da je atmosferska pražnjenja u prirodi pojavljuju kao slučajni događaji sa određenom verovatnoćom, nije moguće napravitiadekvatnu matematičku zavisnost koja bi povezivala sprovedene mere zaštite od prenapona sa brojem neplaniranih prekida čiji uzrok mogu biti atmosferska pražnjenja. Dovoljno je konstatovati da se sprovođenjem mera zaštite sigurno postiže odgovarajući efekat.

Primenjen skup aktivnosti zaštite od atmosferskih prenapona svakako nije konačan, a biće završen kada na svim transformatorskim stanicama SN/NN i svim potencijalno ugroženim deonicama nadzemnog voda srednjeg napona budu ugrađene osnovna i dopunska mera zaštite od prenapona. Takođe, mora se računati i na ostale aktivnosti preventivnog održavanja koje imaju za cilj smanjenje broja neplaniranih prekida (raščiščavanje trase od rastinja, rekonstrukcija deonica na drvenim stubovima, automatizacija rasklopne opreme i dr.).

ZAKLJUČAK

Atmosferska pražnjenja imaju značaj uticaj na kvalitet električne energije. To se, pre svega, odražava na povećanje broja prekida. Prilikom pražnjenja, na distributivnomvodu se stvaraju prenaponi koji se ne mogu izbeći. Postojeća domaća regulativa je zastarela, pa je neophodno krenuti u njeno inoviranje u skladu sa evropskim propisima. Treba imati na umu da se u regulativi Evropske unije za prekid napajanja čiji je uzrok atmosfersko pražnjenje smatra odgovornim operator distributivnog sistema, a ne viša sila. To znači da je operator dužan da primeni zaštitne mere od udara groma, odnosno da efikasno upravlja prekidima usled atmosferskih prenapona. U razvijenim zemljama, instalirani su sistemi za lociranje i praćenje atmosferskih pražnjenja. U našoj zemlji ovakav sistem još uvek ne postoji, već se koriste podaci iz sistema zemalja u okruženju. Podaci dobijeni od ovih sistema mogu se iskoristiti za korelisanje udara gromova sa registrovanim ispadima izvoda srednjeg napona kao i za određivanje deonica na kojima je gustina udara gromova povećana.

Postavljanjem odvodnika prenapona može se dosta efikasno postići prenaponska zaštita. Trenutno stanje na terenu pokazuje da je najveći broj transformatorskih stanica SN/NN neopremljen odvodnicima prenapona ili su, u onim gde su bili postavljeni, stradali nakon atmosferskih pražnjenja i nisu zamenjeni. Kombinacijom odvodnika prenapona sa zaštitnim iskrištima postavljenim na adekvatnim pozicijama duž trase nadzemnog voda srednjeg napona, efikasnost zaštite od prenapona se dodatno poboljšava. Preduslov za to je rekonstrukcija uzemljenja stubova. Iako nije sofisticiran, pokazuje se da je ovakav vid prenaponske zaštite veoma efikasan, relativno jednostavan, lako izvodljiv i ne zahteva neko posebno održavanje i značajna finansijska ulaganja. Relejna zaštita ovakve kvarove prepoznaje kao zemljospojeve, pa su u većini slučajeva ispadi nadzemnih vodova srednjeg napona kratkotrajni i rešavaju se automatskim ponovnim uključenjem (APU). Rezultat primene je smanjen broj prekida napajanja, što je u osnovi i cilj operatora distributivnog sistema.

LITERATURA

1. Savić M., Stojković Z., 2001, „Tehnika visokog napona – atmosferski prenaponi“, Elektrotehnički fakultet, Beograd.
2. Short T. A., 2004, „Electric Power Distribution Handbook“, CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington, D.C.
3. Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu elektroenergetskih postrojenja od prenapona („Sl. list SFRJ“, br. 7/71 i 44/76).
4. Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona 1 kV do 400 kV („Sl. list SFRJ“, br. 65/88 i „Sl. list SRJ“, br. 18/92).
5. Standard SRPS EN 60071:2008, Institut za standardizaciju, Beograd.
6. Standard SRPS EN 60099:2015, Institut za standardizaciju, Beograd.
7. Tehničke preporuke ED Srbije, Direkcija za distribuciju, EPS, Beograd.
8. Plazinić S., 1985, „Tehnička meteorologija“, Naučna knjiga, Beograd.
9. Anđelković G., 2009, „Grmljavinske nepogode kao ekstremna klimatska pojava u Srbiji“, Glasnik srpskog geografskog društva, sveska LXXXIX, br. 4, str. 277-286.
10. Uglešić I., 2009, „Sustavi za praćenje atmosferskih pražnjenja - prezentacija“, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu.
11. 2016, „Zaštita SN vodova od atmosferskih prenapona i integracija sistema za registrovanje pražnjenja sa 'fault management' sistemom“, studija, Netico Solutions, Niš, Elektrotehnički institut, „Milan Vidmar“ Ljubljana.