

ANALIZA IZLOŽENOSTI ŽELJEZNIČKE MREŽE KVAROVIMA UZROKOVANIM ATMOSFERSKIM PRAŽNJENJIMA

Ivo Uglešić, Bojan Franc, Miroslav Šturlan, Igor Matulić
Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, 10000 Zagreb

Sažetak

Rad obrađuje primjenu sustava za lociranje atmosferskih pražnjenja u analizi utjecaja udara munja na funkcionalnost željezničke mreže. Najprije su ukratko prikazani osnovni principi napajanja, uzemljenja i zaštite kontaktne mreže za sustav 25 kV, 50 Hz, nad kojom je provedena analiza. Potom je dan prikaz sustava za lociranje munja (SLM, eng. Lightning Location System - LLS) kao dijelu Europskog sustava LINET. Navedene su neke od njegovih mogućnosti, te je opisan princip rada sustava. Prikazan je dizajn programske podrške za obradu podataka o atmosferskim pražnjenjima i korelaciju atmosferskih podataka s geografskim podacima (GIS, eng. Geographic Information System) željezničke mreže. Pomoću opisane programske podrške provedena je analiza i korelacija nad stvarnim podacima atmosferskih pražnjenja u razdoblju od 2009. – 2014. godine na elektrificiranoj pruzi Zagreb-Rijeka.

ANALYSIS OF EXPOSURE OF RAILWAY SYSTEMS TO FAILURES INDUCED BY LIGHTNING STROKES

Abstract

The paper describes the application of information on atmospheric discharges from the Lightning Location System (LLS) in the analysis of the impact of lightning strikes on the functionality of the railway network. The basic principles of power supplying, grounding and protection of the contact network for 25 kV, 50 Hz, which covers the rail network over which the analysis is performed, are briefly described. After that are given the information about the Lightning Location System as part of the European System of LINET. Design software for processing data on atmospheric discharges and correlation of atmospheric data with geographic information (GIS, eng. Geographic Information System) of the rail network are demonstrated. Using the software, an analysis and correlation of actual data of atmospheric discharges in the period from 2009 – 2014 for the electrified track Zagreb- Rijeka has been conducted.

1. UVOD

Udari munja u blizini željezničkih pruga mogu prouzročiti velike kvarove u pogonu željezničkih sustava. Osim što udari munja mogu prouzročiti kvarove u mreži napajanja elektrificiranih željezničkih pruga, značajan je rizik od nastanka kvarova u sekundarnim i signalnim sustava. Moderno sredstvo za praćenje atmosferskih pražnjenja danas predstavljaju sustavi za lociranje atmosferskih pražnjenja. Takvi se sustavi neprekidno razvijaju već više od dvadesetak godina i neprekidno usavršavaju. U razvijenim zemljama diljem svijeta se sustavi za lociranje

atmosferskih pražnjenja primjenjuju u mrežama i sustavima raspoređenim na velikim prostranstvima. Primjenom podataka o atmosferskim pražnjenjima u vođenju, nadzoru i održavanju željezničkih pruga moguće je brže locirati i identificirati kvarove što pridonosi smanjenju sredstava i vremena potrebnog za otklanjanje kvara te bržoj uspostavi redovitog željezničkog prometa. Kako bi se omogućila analiza i korelacija s kvarovima u željezničkoj mreži Hrvatske, uneseni su prostorni podaci o željezničkoj trasi na relaciji Zagreb-Rijeka u Sustav za lociranje atmosferskih pražnjenja (SLAP) te su daljnjom analizom izloženosti mreže atmosferskim

pražnjenjima utvrđeni kritični segmenti mreže. Željeznička pruga na relaciji Zagreb-Rijeka od kraja 2013. godine potpuno je elektrificirana sustavom 25 kV, 50 Hz. Prije toga je pruga od Zagreba do Moravica bila elektrificirana sustavom 25 kV, 50 Hz a od Moravica do Rijeke istosmjernim sustavom 3 kV. Pri prelasku na izmjenični napon rekonstruirana je kontaktna mreža. U nastavku su ukratko opisani osnovni dijelovi kontaktne mreže, uzemljenja u sustavu 25 kV, 50 Hz.

2. KONTAKTNA MREŽA 25 KV, 50 HZ

Kontaktna mreža (KM) stabilno je postrojenje električne vuče namijenjeno za neprekidno i kvalitetno napajanje električnih vučnih vozila električnom energijom pri svim brzinama i u svim vremenskim uvjetima. To je relativno skup i složen objekt te najveći dio svih investicija za izgradnju stabilnih postrojenja otpada na izgradnju kontaktne mreže koja nema nikakvu rezervu u pogledu instalacija, pa se zato mora oprezno projektirati, izgraditi i održavati kako bi njezina eksploatacija bila kvalitetna.

Osnovni su elementi kontaktne mreže [1]:

1. vozni vod,
2. napojni vod,
3. nosive konstrukcije kontaktne mreže,
4. oprema za vješanje i automatsko zatezanje,
5. oprema za električno rastavljanje,
6. tračnice i povratni vod.

Postoje tri grupe izolatora s obzirom na njihovu konstrukciju:

1. izolatori sa masivnom jezgrom,
2. izolatori za lance vješanja i zatezanja,
3. potporni izolatori.

Uzemljenje je osnovni princip zaštite od opasnih vrijednosti napona dodira i koraka na prugama elektrificiranim izmjeničnim sustavom 25 kV, 50 Hz. Svi metalni dijelovi kontaktne mreže koji nisu pod naponom kao i metalni predmeti i vodovi koji se nalaze uz pruge te razni uređaji mogu povremeno doći pod napon opasan za ispravan rad uređaja i života ljudi u neposrednoj blizini. To se može dogoditi u sljedećim slučajevima [1]:

1. prilikom proboja izolatora kontaktne mreže,
2. kod direktnog ili indirektnog kratkog spoja u kontaktnoj mreži,
3. uslijed elektromagnetskog djelovanja kontaktne mreže na metalne predmete i vodove.

Na elektrificiranim prugama 25 kV, 50Hz osnovni su uzemljivač tračnice povratnog voda koje su galvanski povezane s uzemljenim stupovima kontaktne mreže. Tračnice djeluju kao trakasti uzemljivač. Kako kroz tračnice teče struja i u normalnim uvjetima i u slučaju kratkog spoja, postoji struja koja teče između tračnica i okolnog zemljišta.

3. SUSTAV ZA LOCIRANJE MUNJA

Sustavi za lociranje udara munja neprestano se unapređuju i razvijaju te su danas snažno oruđe u projektiranju, zaštiti i vođenju elektroenergetskih mreža te brojnih drugih tehnoloških sustava izloženih atmosferskim uvjetima.

LINET je europski sustav za lociranje munja (eng. Lightning Locating System – LLS), razvijen na Sveučilištu u Münchenu u Njemačkoj i danas broji preko 130 senzora diljem Europe. Zavod za visoki napon i energetiku Fakulteta elektrotehnike i računarstva u Zagrebu radi na projektu lociranja munja baziranom na LINET sustavu, za područje Republike Hrvatske. U Hrvatskoj je sustav uspostavljen tokom 2009. godine, na čijoj površini je instalirano šest senzora: u Zagrebu, Rijeci, Sinju, Dubrovniku, Ninu i Blatu (otok Korčula). Osim nabrojanih, u lociranju munja pomažu i senzori u susjednim zemljama: Italiji, Austriji, Mađarskoj, Srbiji i Bosni i Hercegovini. [3]

Neka svojstva sustava LINET su:

1. mogućnost detekcije i lociranja ukupnog atmosferskog pražnjenja s jednakom točnošću lociranja mjesta pražnjenja oblak-oblak (OO) i oblak-zemlja (OZ);
2. velika točnost lociranja obje vrste pražnjenja s niskim amplitudama struje;
3. nova 3D tehnika za pouzdano razlučivanje između OO i OZ pražnjenja;
4. izvještaj o nadmorskoj visini OO pražnjenja;
5. postizanje točnosti lokacije do 100 m.

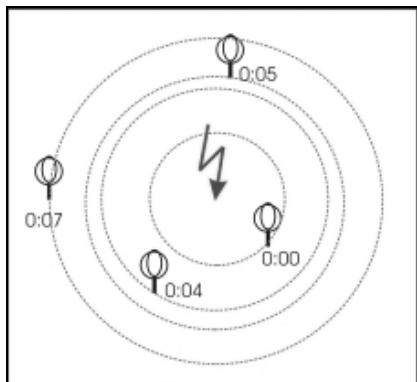
3.1. Princip rada

Sustav LINET koristi vrlo niski frekvencijski opseg i registrira gustoću magnetskog toka pri atmosferskom pražnjenju pomoću dva međusobno okomito postavljena bakrena prstena. Preporuča se da udaljenost između susjednih senzora ne bude veća od 200 km. Izvještaji LINET sustava daju lokacije udara munja većih i manjih amplituda. Veće amplitude struja obično potječu od udara munja oblak – zemlja (OZ), dok su manje amplitude posljedica pražnjenja među oblacima (OO).

Komponente magnetske indukcije detektiranog signala se mjere pomoću ortogonalne petlje (antene) u realnom vremenu. Mjerena veličina je inducirana struja, a ne napon te se kao rezultat dobije vremenska ovisnost magnetske indukcije u rasponu 0,1 – 130 nT. Frekvencijski raspon antene je 1 kHz – 1 MHz. U propisanim vremenskim intervalima, podaci dobiveni od vanjskih senzora se prenose u glavnu upravljačku stanicu gdje se vrši kombinirana analiza svih signala.

Sustav LINET koristi TOA (eng. Time-Of-Arrival, slika 1) metodu za određivanje lokacije atmosferskog pražnjenja potpomognutu metodom za određivanje pravca (DF, eng. Direction Finding). Primarno se

koristi TOA metoda za određivanje lokacije, pri čemu su potrebne najmanje četiri detekcije senzora. [5]



Sl. 1. TOA metoda za određivanje lokacije udara.

Senzori u ovom sustavu mjere gustoću magnetskog toka izravno u ovisnosti o vremenu. To svojstvo je korisno za obradu malih signala. Svi signali su obrađeni bez obzira na njihov valni oblik; to je moguće zbog toga što je OO-OZ razlučivanje izvršeno pomoću posebno razvijenog 3D algoritma u centralnoj upravljačkoj jedinici, a ne uz pomoć mjerenja valnog oblika u sensorima. Ova 3D tehnika je jako pouzdana, posebice ukoliko je omogućeno da najmanja udaljenost među sensorima ne prelazi 200 do 250 km.

Posebni naponi su učinjeni da bi se postigla visoka točnost lokacije mjesta udara u promatranom području. Danas je postignuto da srednja točnost lokacije iznosi otprilike 100 m. Izlazni podaci su vrijeme pražnjenja, lokacija pražnjenja, amplituda struje pražnjenja (uključujući i predznak), podjela na OO i OZ pražnjenja, visina za OO pražnjenja i 2D statistička greška pri određivanju lokacije pražnjenja [5].

4. PRIMJENA SUSTAVA U VOĐENJU ELEKTRIČNE ŽELJEZNICE

Za učinkovito korištenje podataka prikupljenih sustavom za lokaciju munja potrebna je prikladna osnovna i napredna programska podrška. Osnovna programska podrška podrazumijeva vizualizaciju i arhiviranje prikupljenih podataka. Napredna programska podrška odnosi se na prilagodbu specifičnim potrebama u vođenju, zaštiti i analizi utjecaja udara munja na rad električnih sustava kao što je npr. sustav električne željeznice.

Podaci o atmosferskim pražnjenjima koji su raspoloživi sadrže:

- datum i vrijeme pražnjenja (UTC, rezolucija 1ms),
- zemljopisna širina i dužina (GPS koordinate),
- amplituda struje pražnjenja (rezolucija 0,1 kA),
- tip pražnjenja (OO, OZ),
- visina za pražnjenja tipa OO,

- 2D statistička greška u određivanju lokacije pražnjenja (m).

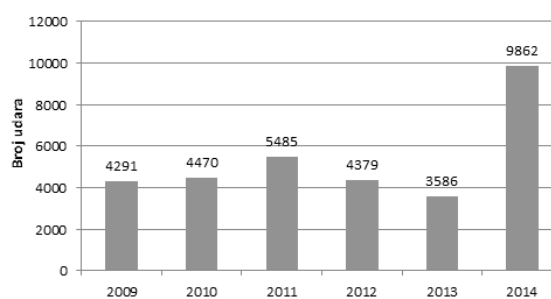
4.1. Analiza na dionici željezničke pruge Zagreb - Rijeka

Promatrana je dionica željezničke pruge na relaciji Zagreb – Rijeka, koja je prikazana na slici 2. Nakon unosa prostornih podataka u Sustav za lociranje atmosferskih pražnjenja moguće je obrađivati arhivirane podatke o atmosferskim pražnjenjima na području alarm zone oko zadane dionice. Alarm zona je površina koja pokriva područje unutar jednog kilometra s obje strane zadanog objekta, u ovom slučaju željezničke pruge. Linija promatranog dijela pruge je duljine 227.619 km, dok površina alarm zone iznosi 440.099 km².



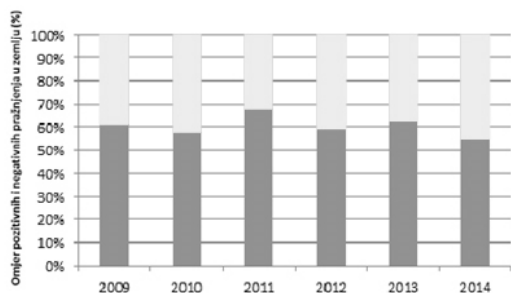
Sl. 2. Željeznica Zagreb - Rijeka

Iz raspoloživih podataka se može vidjeti da je u periodu od 1.1.2009. godine do 31.12.2014. godine, zabilježeno 32073 udara u području alarm zone željezničke trase. Na slici 3 je prikazan broj udara po godinama. Vidljivo je da je u 2014. godini registriran veliki broj udara (9862 udara).



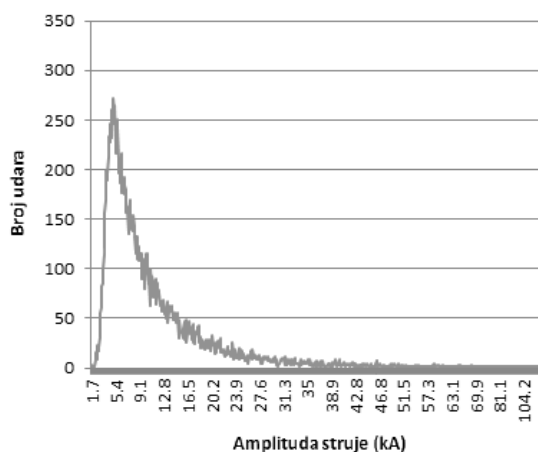
Sl. 3. Broj udara po godinama.

Slika 4 prikazuje broj detektiranih atmosferskih pražnjenja u zemlju pozitivnog (OZ+) i negativnog (OZ-) polariteta za područje Hrvatske po godinama.



Sl. 4. Omjer pozitivnih i negativnih OZ udara.

Slika 5 prikazuje raspodjelu detektiranih udara na području alarm zone po amplitudi struje za period od godinu dana. Sustav je registrirao vrlo velik broj atmosferskih pražnjenja malih amplituda struje (2 kA - 7 kA), s najvećim brojem atmosferskih pražnjenja amplitude struje oko 6 kA.



Sl. 5. Raspodjela udara po amplitudi struje u 2014. godini.

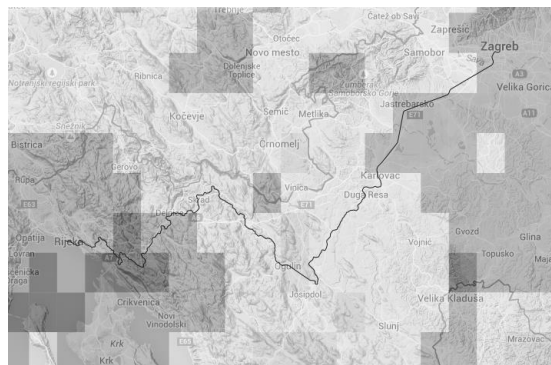
Gustoća udara za trasu određuje se prema slijedećem izrazu:

$$N_g = \frac{n}{A \cdot t} [\text{udara/km}^2/\text{god}] \quad (1)$$

gdje je: n – broj udara u trasu; A – površina trase; t – vremenski period detekcije.

Za slučaj trase Zagreb-Rijeka, u razdoblju od 6 godina (2009.-2014.) prema (1) dobiva se gustoća udara jednaka 12,146 [udara/km²/god]. Za uvid u gustoću udara, koristi se karta gustoće udara (slika 6).

Na slici 6 se može uočiti da je na pojedinim dijelovima aktivnost atmosferskih pražnjenja veća nego na ostalima (dionice Delnice-Rijeka, te Zagreb-Karlovac). U tim područjima valja osigurati veću mjeru zaštite zbog veće vjerojatnosti udara, a time i kvarova na mreži.



Sl. 6. Karta gustoće udara.

5. ZAKLJUČAK

Sustavi za lociranje munja nude dodatne informacije korisne u vođenju i analizi rada električnih željezničkih sustava te procjeni rizika od nastanka i analizi kvarova uslijed udara munja u elektrificiranim željezničkim mrežama.

Korelacijom podataka o udarima munja s podacima o događajima u elektrificiranoj željezničkoj mreži moguće je utjecati na poboljšanje kvalitete rada cjelokupnog sustava. Podatak o lokaciji udara munje može poslužiti za otkrivanje lokacije kvara, a poznavanje uzroka kvara i njegove lokacije može skratiti vrijeme potrebno za njegovo otklanjanje. Analizom kvarova nastalih udarima munja te poznavanjem parametara munja koje su prouzročile kvarove moguće je optimirati prenaponsku zaštitu sustava te smanjiti rizik od nastanka kvarova uslijed udara munja.

Upotrebom karata gustoće udara munja moguće je identificirati dijelove željezničke mreže koji su najizloženiji udarima munja te pomoći u odabiru i razmještanju optimalne zaštitne opreme.

6. LITERATURA

- [1] Uglešić I., Mandić M.: „Napajanje električne vuče“, Graphis d.o.o., Zagreb, 2014.
- [2] Radojković B.: „Električna vuča“, Naučna Knjiga, Beograd, 1974.
- [3] Uglešić, I., Milardić V., Franc B.; Filipović-Grčić B. Milešević B.: „Uspostava sustava za lociranje udara munja u Hrvatskoj”, 9. savjetovanje HRO CIGRE, Cavtat, Hrvatska, 8.-12.11.2009.
- [4] Franc B., Šturlan M., Uglešić I., Hebel Z.: „Primjena sustava za lociranje munja u vođenju elektroenergetskog sustava“, 10. savjetovanje HRO CIGRE, Cavtat, 6.-10. studenoga 2011.
- [5] Betz H. D., Schmidt K., Laroche P., Blanchet P., Oettinger W. P., Defer E., Dziewit Z., Konarski J.: “LINET – An international lightning detection network in Europe“, 2007.