DOI: 10.2478/bhee-2016-0011

Stručni rad/Professional paper

# NADZEMNI ELEKTROENERGETSKI 10 KV VODOVI SREDNJEG NAPONA KAO UZROK POŽARA: UZROCI, POSLJEDICE I ZAŠTITA

# *OVERHEAD MV 10 KV POWER LINES AS FIRE CAUSES: CAUSES, CONSEQUENCES AND PROTECTION*

Ivan Ramljak[1]

**Sažetak:** Kvar na nadzemnim elektroenergetskim vodovima pod naponom u određenom broju slučajeva može rezultirati zapaljenjem ispod i oko trasa vodova. To se kasnije, ovisno o vegetaciji i meteorološkim uvjetima, može pretvoriti u požar velikih razmjera s velikom materijalnom štetom. Malo je istraživačkih radova iz ovog područja i malo je dostupne literature koji opisuju ovu pojavu. U ovoj radnji obrađuje se problematika nadzemnih elektroenergetskih vodova kao uzročnika požara. Za objašnjenje ove pojave potrebno je poznavati kvarove koji potencijalno mogu izazvati požar, te vjerojatnost nastanka takvih kvarova što je detaljno analizirano s posebnim osvrtom na studiju slučaja srednjonaponske mreže. Također, analizirane su razne metode zaštite od nastanka požara zbog nadzemnih elektroenergetskih vodova.

**Ključne riječi:** nadzemni elektroenergetski vod, požar na vrhu stupa, pad vodiča na tlo, sudaranje vodiča, vegetacija kao uzrok požara, požar, monitoring nadzemnih vodova

**Abstract:** Failure on overhead lines under voltage in some cases can result in combustion under and around the overhead line route. Later, depending on the vegetation and weather conditions, wildland fire with great material damage can be started. There is a little research done in this field and there is little literature available describing this phenomenon. This paper deals with the problem of overhead lines as the fire causes. For an explanation of this phenomenon it is necessary to know what failures can potentially cause fire and the probability of such failures. The paper provides detailed analysis and a special review on MV case study. Additionally, it analyses various methods of fire protection due to overhead lines.

**Key words:** overhead line, pole top fire, conductor abruption, conductor clashing, vegetation as fire cause, wildland fire, monitoring of overhead lines

## UVOD

Svake godine, posebno u ljetnom periodu i za vrijeme suša, javljaju se požari diljem svijeta. Veći požari obično zahvaćaju prvo veća šumska područja i šire se sve do naseljenih područja te time, osim prirodne baštine, mogu ugroziti i ljude. Uzrok požara može biti različit: opušak, zaostala vatra, podmetnuti požar i sl. Požari se mogu ugasiti vrlo brzo ako se primijete na vrijeme, uzrokujući pri tome relativno male štete. U protivnom, požari mogu uzrokovati velike štete na velikim šumskim površinama i ostalim prirodnim bogatstvima, pri tom čak mogu dovesti i do ljudskih žrtava. Nije zanemariv ni trošak gašenja požara, troškovi angažiranja gasitelja i sredstava te kasnije troškovi saniranja terena. Uzrok požara mogu biti različite pojave kod kvara na nadzemnim elektroenergetskim vodovima (visokonaponskim, srednjonaponskim ili niskonaponskim). Postoji više načina kako električni vod može uzrokovati požar: požar na vrhu stupa kao uzrok požara, pad vodiča kao uzrok požara, sudaranje vodiča kao uzrok požara i vegetacija kao uzrok požara. Mnogi očevici koji su bili prisutni prilikom nastanka požara, tvrdili su da je u određenim slučajevima nadzemni elektroenergetski vod na jedan od spomenutih načina bio uzročnik požara. Primjeri nastanka velikih požara u prirodi zbog nadzemnih vodova električnih mreža mogu se naći u različitoj literaturi. Malo je istražnih radova iz ovog područja i malo je dostupne literature koji opisuju ovu pojavu. Još uvijek ima dosta nejasnoća u tom području pa čak i različitih rezultata u rijetkim eksperimentalnim simuliranjima navedenih pojava. Očito je potrebno još mnogo teorijskog i praktičnog istraživanja cjelokupne problematike. Statističkom analizom kvarova na daleko-

[1] J.P ''Elektroprivreda HZ HB'' d.d. Mostar, Bosna i Hercegovina
ivanramljak1985@gmail.com
Rad dostavljen: oktobar 2016. Rad prihvaćen: novembar 2016.

vodima može se utvrdi vjerojatnost pojave kvara u pripadnoj elektroenergetskoj mreži kojoj je moguća posljedica požar. Mjesto i prilike kod kvara na nadzemnom vodu pod naponom slučajne su veličine, pa je opravdano uvesti stohastički pristup mogućim požarima zbog određenih kvarova na nadzemnom elekteoenergetskom vodu.

## 1. KVAROVI NA NADZEMNIM ELEKTROENERGETSKIM VODOVIMA KAO UZROK POŽARA

Nadzemni elektroenergetski vodovi mogu uzrokovati požare u prirodi kojom se prostiru. Zbog svoje dužine, širok je spektar krajolika kojim se prostiru nadzemni vodovi, od gradskih, prigradskih i seoskih naselja do gustih i nepristupačnih šuma. Sve to utječe na tešku kontrolu i nadzor (monitoring) tih vodova. Naime, zbog svoje duljine i nedostupnih mjesta kojima prolaze teško je poznavati stanje pojedinih elemenata tih vodova i same trase u svakom trenutku. Zbog toga se podaci o elementima vodova i trasama dobivaju iz pregleda tih vodova koji se organiziraju periodički u ovisnosti o regulatoru sustava ili vlasniku voda. Iako se organizira periodički pregled vodova, ipak se i tada uvijek ne mogu dobiti potpuni podaci o stanju voda. Razlog tome je uglavnom ljudski faktor i slučajne greške (statističke prirode) koje nastaju prilikom obilaska dugih vodova. Kako je periodički pregled vodova organiziran svake dvije do tri godine, to je velika vjerojatnost da pojedini elementi vodova ili trase mogu biti oštećeni ili neispravni što traje ili do trajnog kvara elementa voda, ili do uvida prilikom sljedećeg obilaska voda. Dakle, trajni monitoring vodova nije prisutan, teško je kao takav i izvediv, i pitanje je njegove ekonomske opravdanosti.

Najčešći primjeri su:

- izolator može biti oštećen u toj mjeri da je izgubio svoja izolacijska svojstva da je to nemoguće otkriti sve dok izolacija na izolatorima ne postane vidno oštećena,
- moguće je da fazni vodič npr. niskonaponske mreže bude na tlu neko vrijeme prije nego se taj kvar otkrije. Uzrok tome je što pad vodiča jedne faze osjete samo trofazni potrošači. Osigurač koji štiti vod uglavnom “ne vidi’’ pad vodiča pa nema njegove prorade (jer je struja kvara manja od nazivne struje osigurača). Slične pojave (zemljospoji) su moguće i u mrežama srednjeg napona kod izoliranih zvjezdišta ako je prelazni otpor na mjestu kvara visok pa zaštita “ne vidi’’ struju kvara kao dovoljnu struju pri kojoj treba proraditi. Ova pojava je moguća i kod ispravno projektiranih zaštita u mrežama ovog tipa ako vodič kojim slučajem padne na tlo visokog specifičnog otpora,
- ispad izolatora iz svog ležišta može dovesti do toga da se jedan od vodiča približi ostalim vodičima pa često dolazi do pojave sudaranja vodiča,
- moguće je da se grane drveća svojim rastom približe vodiču ili vodičima što može dovoditi do privremenih kvarova.

### 1.1. Karakteristične pojave kod kvara nadzemnih elektroenergetskih vodova kao uzrok požara

Gore opisani primjeri su prolazni kvarovi ili kvarovi koji mogu dugo trajati, a da se ne primijete ili da ne izazovu stalan kvar.

Zajedničko tim kvarovima je da mogu uzrokovati požar (vatru) na površinama tla kojima ti nadzemni vodovi prolaze na mjestu gdje se dogodio kvar.

Karakteristične pojave prije opisanih kvarova su:

- požar na vrhu stupa kao uzrok požara,
- pad vodiča kao uzrok požara,
- sudaranje vodiča kao uzrok požara,
- vegetacija kao uzrok požara.

Požar na vrhu stupa (Slika 1) je moguć kod drvenih stupova koji imaju široku primjenu u distribuciji električne energije zbog svoje niske cijene i dugotrajnosti. Požar na vrhu stupa kao uzrok požara biomase na tlu je pojava koja se događa ponajprije zbog kombinacije električnog luka i postojanja klizne struje na izolatorima. Električni luk se pojavljuje u slučaju da je mali dio stupa suh, što je često poslije pljuskova tijekom vjetrovita dana. Otpor stupa postaje veoma nizak kada je mokar zbog povećane koncentracije vlage i taj mokri dio stupa čini serijsku kombinaciju sa suhim dijelom stupa koji ima visok otpor. Pad napona na suhom području stupa dovodi do električnog proboja u ovom području i formira se karbonizirana staza duž stupa. Male struje koje teku kroz stup zapaljuju ove karbonizirane staze. Klizna struja izolatora koja postoji zbog nesavršenosti izolatora također stvara određenu količinu topline zbog variranja otpornosti stupa. Naime, tijekom duljih suhih sušnih razdoblja onečišćenje se akumulira na izolatorskim površinama, a ako iza toga slijedi magla, kiša ili snijeg površinski otpor se smanjuje i dopušta kliznoj struji da teče preko izolatora na drvo [1]-[10]. Više o ovom tipu požara se još može naći u literaturi [11]-[13]. Prikaz požara na vrhu stupa je dat na Slici 1. Ova pojava je teško predvidiva pa se teško “boriti’’ protiv nje. Zaštita koja štiti vod na kojem se dogodio požar na vrhu stupa može reagirati tek kada se dogodi neki od klasičnih kvarova od kojih je vod štićen. Dakle, tek kada se zbog požara na vrhu stupa dogodi kratki spoj, najčešće zbog sudaranja vodiča ili zemljospoj zbog pada faznog vodiča na zemlju, proraditi će zaštita što može biti kasno jer požar na tlu već može nastati. Na ovu pojavu, kao uzročnika požara, može se djelovati jedino preventivno, redovnom kontrolom vodova, pranjem izolatora (Slika 2) i korištenjem izolatora sa duljim stazama kliznih struja. Jedno modernije rješenje ove problematike je dato i u [1] na način da se klizne struje odvode kabelima (koji su jednim krajem spojeni na izolatore, a drugim krajem na metalni obruč oko sredine ili pri dnu stupa) do metalnog obruča da ne bi završila preko izolatora na vrhu drveta i time potencijalno stvorila preduvjete za požar. Klizna struja s metalnog obruča jednostavno jednim dijelom završi na stupu, a zatim u zemlji, a jedan dio jedno-

stavo disipira zrakom. Opisana metoda je dosta skupa kada se uzme u obzir broj drvenih stupova u ukupnom broju stupova nadzemnih vodova.



Slika 1: Požar na vrhu stupa [14]



Slika 2: Pranje izolatora kao prevencija nastanku požara na vrhu stupa [14]

Kada vodič padne na tlo u niskonaponskoj mreži zaštita uglavnom taj kvar ne prepozna i vod može ostati pod naponom sve dok se kvar ne dojavi. Kod viših naponskih nivoa u slučaju pada vodiča mora proraditi ili kratkospojna zaštita kod mreža s uzemljenim zvjezdištima transformatora ili zemljospojna zaštita kod mreža s izoliranim zvjezdištima transformatora. U slučaju velikih prelaznih otpora postoji određena vjerojatnost da zaštita ne prepozna kvar i da opisano stanje ostane dok netko ne prijavi pad vodiča ili dok se potrošači na nižem naponskom nivou ne počnu žaliti na probleme s naponom. U slučajevima kada fazni vodič stoji na tlu, a zaštita ne reagira, postoji vjerojatnost da zbog velike količine topline koju taj vodič predaje biomasi na koje je pao nastane požar, jer su ovi kvarovi praćeni s iskrenjem na mjestu kontakta vodiča pod naponom i podloge na koju je vodič pao. Ovaj tip požara je opisan u literaturi [15]-[16].

Na Slici 3 prikazan je početak požara zbog vodiča koji je pao na tlo i ostao pod naponom. Kako je vodič pao na travu, količina topline koju je vodič prenio travi bila je dovoljna da se dosegne temperatura zapaljenja iste.



Slika 3: Pad vodiča kao uzrok požara [14]

Najbolje je djelovati preventivno kako bi se zaštitilo od požara uzrokovanih na ovaj način. To podrazumijeva obilazak trasa vodova, provjera provjesa i provjera stanja izolatora. U [16] su opisane metode zaštita od kvarova s visokim prelaznim otporom. Tako je u [16] predložena metoda monitoringa niskonaponske mreže preko releja na zadnjem stupu izvoda mreže koji bi preko GSM mreže javio dispečerskom centru da je određena faza bez napona, a istovremeno bi se isključio taj izvod ili cijelo područje napajanja iz dotične transformatorske stanice. U [17] i [18] opisana je zaštita vodova od prije navedenih kvarova putem razvijenih uređaja koji bi se spajali na sabirnice odvoda i na osnovu određenih algoritama za praćenje sinusnog oblika struje i napona prepoznavale ovaj tip kvara i štitile od požara i ostalih neugodnih situacija.

Dvopolni kratki spoj izazvan sudaranjem vodiča u zraku u pravilu rezultira stvaranjem iskri koje prilikom pada na biomasu (vegetaciju) na tlu mogu izazvati požar. Sudaranje vodiča mogu uzrokovatii: jaki vjetrovi, pad vodiča koji se odvojio od izolatora na drugi vodič, loše zategnuti vodiči, drveće ili neka druga vegetacija i sl. Više o sudaranju vodiča i posljedičnom nastanku požara može se naći u literaturi [18], [19]-[21].

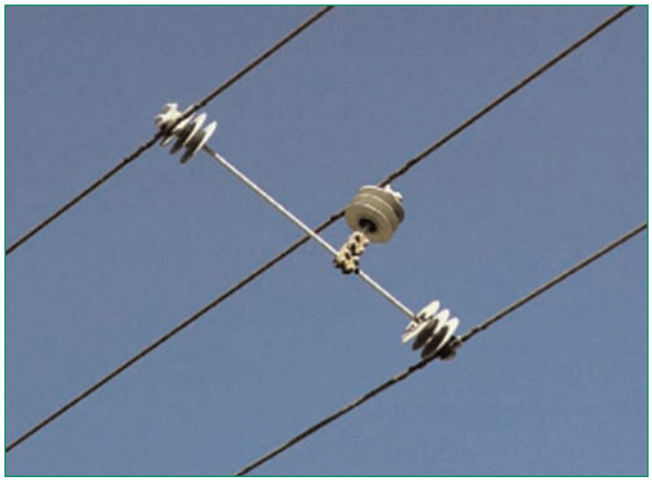
Na Slici 4 prikazan je sudar dvaju vodiča u niskonaponskoj distributvnoj mreži koji je izazvan izoliranom motkom.

Rješenje ovog tipa problema bilo bi pravilno dimenzioniranje duljine raspona, provjesa i razmaka između vodiča, ispravni izolatori i redovna prosjeka trase dalekovoda. Ne postoje algoritmi koji detaljno opisuju ovu pojavu i posljedično vjerojatnost nastanka požara. Moguće je kod nekih proizvođača spojne i ovjesne elektroopreme pronaći tzv. hvataljke (odstojnike, “distancere’’) koje služe da drže vodiče voda na stalnom rastojanju da ne bi došlo do eventualnog sudaranja vodiča (Slika 5).

Ovaj tip kvara trebala bi prepoznati kratkospojna zaštita i isključiti vod. U [17] je opisana ideja zaštite vodova od sudaranja vodiča putem razvijenih uređaja koji bi se spajali na sabirnice odvoda i koji bi na osnovu određenih algoritama za praćenje sinusnog oblika struje i napona



Slika 4: Sudar dvaju vodiča u niskonaponskoj distributvnoj mreži [14]



Slika 5: Hvataljke koje drže vodiče voda na rastojanju [14]

prepoznavali ovaj tip kvara (slično kao kod slučaja pada vodiča na tlo).

Vegetacija kao uzrok požara kod nadzemnih vodova najčešće se može pojaviti u sljedećim slučajevima [22]:

- kvarovi zbog grana koje nosi vjetar, a završe oko vodiča,
- kvarovi zbog dodira vodiča i grana u trasi voda.

Kvarovi u ova oba slučaja nastaju kada grana koja nije vlasništvo vlasnika voda ili završi oko vodiča (otkine se od stabla) ili jednostavno naraste do te mjere da se uplete među vodiče. U oba slučaja je moguće da vodič zapali granu ili lišće grane koje onda može pasti na tlo i zapaliti biomasu na tlu. U prvom slučaju je gotovo nemoguće preventivno spriječiti potencijani požar. Međutim, u drugom slučaju preventivno se može djelovati na način da se trasa voda redovno prosjeca. Također, grane upletene među vodiče mogu dovesti do sudaranja vodiča što posljedično stvara iskre koje mogu potencijalno zapaliti biomasu na tlu. Procentualno, 80% kvarova koje uzrokuje vegetacija dolazi od grana koje su se otkinule od stabla i završile u trasi vodiča [22]. Više o ovom načinu uzrokovanja požara može se naći u [18], [22], [23].

Na Slici 6 prikazan je izgled grane i vodiča nakon kontakta, gdje se vidi nagoreni vodič i praktično izgorena grana.



Slika 6: Izgled grane i električnog vodiča nakon kontakta [14]

Zemljospojne zaštite trebale bi proraditi kod kontakta grana i vodiča. Međutim, veliki prelazni otpori i grane koje se potencijalno nalaze u zraku mogu dovesti do toga da zaštita ne prepozna kvar što ponekad može dovesti do požara.

## 2. PRIMJER STATISTIČKE ANALIZE KVAROVA NA DISTRIBUCIJSKIM SREDNJENAPONSKIM MREŽAMA

Kvarovi nadzemnih elektroenergetskih vodova mogu uzrokovati požar s katastrofalnim štetama i ljudskim žrtvama. Pitanje je koliko je to česta pojava jer veoma rijetko se za neki požar može sa sigurnošću reći što mu uzrok. Velikom broju požara se uopće ne nađe uzrok.

U nastavku će biti statistički analizirani kvarovi na 10 kV nadzemnim vodovima u periodu od 10 godina na području Općine Široki Brijeg, koje pokriva JP "Elektroprivreda HZ-HB'' d.d. Mostar, poslovnica "Elektro Široki Brijeg''. Podaci su dobiveni iz Dispečerskog Centra (DC) Pogona Grude (DC Županije Zapadnohercegovačke) [24].

Cilj je dobiti sliku o kvarovima prema uzroku nastanka da bi se statistički odredila potencijalna povezanost s požarima.

Osnovne karakteristike 10 kV nadzemnog voda (DV) su:

- materijal vodiča: Al/Če (Al/Fe),
- tipovi stupova: oko 75% drvenih stupova,
- ukupna duljina vodova: oko 220 km,
- ukupna broj izvoda: 10.

Podjela kvarova prema uzroku nastanka:

- palo uže (PU),
- probio izolator (PI),
- probio kabel (PK),
- ispad DV radi kvara na TS (TS),
- šuma (Š),
- prolazni kvar (APU),
- preopterećenje (PO),
- kvar na Prijenosovim postrojenjima (KPP),
- pao stup (PS),
- nepoznat razlog (NR).

U Tablici I prikazan je broj kvarova po godinama prema uzroku nastanka. Ukupan broj kvarova u desetogodišnjem periodu je 2957 ili prosječno 295 kvarova po godini.

Na Slici 7 dat je grafički prikaz odnosa uzroka kvarova u postocima u višegodišnjem periodu (10 godina) od 2005. 2014. godine.

Opravdano se sumnja da:

- PU može dovesti do zapaljenja vegetacije na tlu ako vodič padne na tlo s visokim prelaznim otporom i ne proradi zemljospojna zaštita,
- PI može dovesti do požara na vrhu stupa,
- Š se može uplesti između vodiča i dovesti do sudaranja vodiča ili do zapaljenja samog drveta koje dodiruje vodič, naravno ako kratkospojna ili zemljospojna zaštita brzo ne prepoznaju i isključe vod,
- APU s jednom ili dvije prorade u kratkom vremenu daje za pravo vjerovati da je do kvara došlo ili sudaranjem vodiča ili dodirom vodiča i grane,
- PS s vodičima na zemlji može izazvati požar ili sudaranjem vodiča i stvaranjem iskri može također izazvati požar. To je moguće u slučajevima kada zaštitni uređaji ne registriraju ovaj uzrok kvara.

Može se primijetiti da je postotak kvarova koji mogu uzrokovati požar:

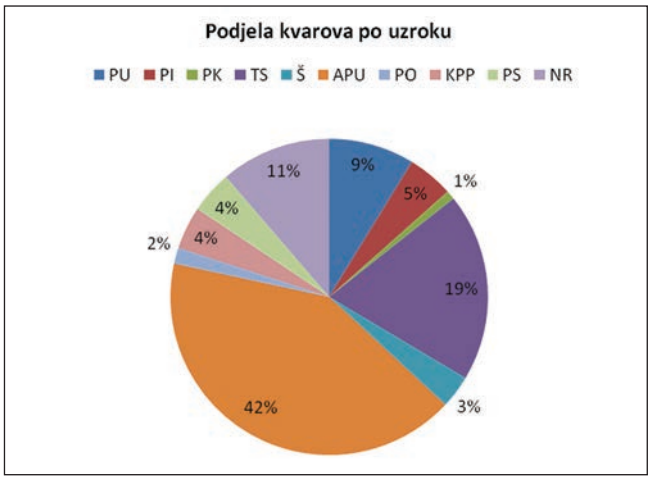
- PU: 8,76%,
- PI: 4,67%,
- Š: 3,38%,
- APU: 41,46%,
- PS: 4,33%.

Dakle, ukupno 62,60% kvarova u 10 godina na svim zračnim vodovima je moglo ili je izazvalo požar.

Spomenuti postotak je dosta visok i daje zabrinjavajuće visoku vjerojatnost za nastanak požara zbog kvara nadzemnih vodova. To zahtijeva istraživanje povezanosti kvara nadzemnih elektroenergetskih vodova i požara, te provođenje mjera za sprječavanje odnosno smanjivanje vjerojatnosti nastanka požara zbog nadzemnih vodova.

Tablica I: Godišnji broj kvarova prema uzroku nastanka

| God. | Broj ispada | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | PU | PI | PK | TS | Š | APU | PO | KPP | PS | NR |
| 2005 | 27 | 12 | 1 | 89 | 3 | 180 | 2 | 5 | 9 | 1 |
| 2006 | 25 | 20 | 0 | 81 | 10 | 182 | 21 | 26 | 21 | 0 |
| 2007 | 20 | 22 | 6 | 46 | 9 | 154 | 4 | 0 | 6 | 0 |
| 2008 | 24 | 18 | 5 | 61 | 5 | 133 | 2 | 20 | 8 | 2 |
| 2009 | 18 | 5 | 2 | 64 | 10 | 142 | 6 | 33 | 10 | 2 |
| 2010 | 28 | 16 | 3 | 54 | 14 | 124 | 2 | 32 | 11 | 40 |
| 2011 | 29 | 9 | 6 | 43 | 13 | 113 | 2 | 7 | 12 | 20 |
| 2012 | 15 | 7 | 1 | 19 | 12 | 52 | 0 | 2 | 10 | 50 |
| 2013 | 42 | 18 | 2 | 56 | 4 | 47 | 0 | 0 | 17 | 84 |
| 2014 | 31 | 11 | 1 | 55 | 20 | 99 | 9 | 4 | 24 | 135 |




Slika 7: Postotni odnos uzroka kvarova na nadzemnim vodovima u desetogodišnjem periodu

Nije poznato da postoji statistika požara po uzrocima za područje općine Široki Brijeg. Stoga je nemoguće reći koliko je stvarno požara nastalo zbog kvara elektroenergetskih vodova.

## 3. NAČINI ZA SMANJENJE VJEROJATNOSTI NASTANKA POŽARA ZBOG NADZEMNIH ELEKTROENERGETSKIH VODOVA

U prethodnom tekstu su spomenute neke od mjera za zaštitu od požara za karakteristične pojave kod nadzemnih vodova.

Sve te mjere mogu se općenito podijeliti na:

1. mjere održavanja vodova i trasa kojima vodovi prolaze,
2. mjere upravljanja (menadžmenta) vodovima,
3. mjere podešenja zaštita i monitoringa električnih parametara voda u svrhu prepoznavanja kvara koji može uzrokovati požar.

### 3.1. Mjere održavanja vodova i trasa vodova

Općenito, u [22], [25]-[30] su navedene najvažnije mjere predviđene na vodovima i njihovim trasama, a s ciljem da ti vodovi ne uzrokuju požare:

- sječa šume (raslinja) u trasi vodova tako da grane ne mogu narasti do vodiča,
- zamjena dotrajalih elemenata vodova: stupova, vodiča, izolatora i dr.,
- ugradnja stupova koji su teško zapaljivi,
- ugradnja silikonskih izolatora,
- ugradnja odstojnika na mjesta gdje se ponavlja sudaranje vodiča,
- pranje izolatora,
- pregled i zamjena dotrajalih spojeva.

Mjere upravljanja vodovima trebale bi rezultirati planovima, izvještajima, troškovnicima i ugovorima za provođenje gore navedenih radnji na vodovima, a u svrhu smanjenja vjerojatnosti nastanka požara. Navedene mjere bi morale biti provođene u praksi kod svih vlasnika vodova u periodičkim intervalima koje određuje regulator sustava.

### 3.2. Mjere upravljanja vodovima

Mjere upravljanja (menadžmenta) vodovima [25]-[31] mogu se podijeliti na:

- WEB GIS monitoring šuma gdje bi se požar uočio u samom nastanku dok se još ne proširi i uzme maha,
- plan redovitih i izvanrednih obilazaka trasa vodova uz inspekcijski pregled svih elemenata vodova: stupovi, izolatori, vodiči, raslinje oko vodova, spojevi, udaljenosti između vodiča i dr.,
- izrada godišnjeg plana zaštite od požara kojeg mogu uzrokovati vodovi,
- vođenje statistike o požarima nastalim na dionicama voda,
- predviđanje broja kvarova voda u ovisnosti o vremenskim prilikama kao mjera prevencije od nastanka požara i kao pokazatelj potrebnog financijskog ulaganja u pouzdanost i sigurnost voda,
- podjela terena gdje su trase vodova na različite požarne zone u svrhu donošenja plana zaštite od požara zbog elektroenergetskih vodova kao uzročnika i kao smjernica za financijska ulaganja u vodove,
- donošenje godišnjeg budžeta za investiranje u vodove koji imaju povećanu vjerojatnost da uzrokuju požar,
- vođenje baze podataka vodova.

Jedinstvena baza podataka nadzemnih vodova (GIS-geografski informacijski sustav) bi doprinio prevenciji velikog broja požara koji nastaju zbog elektroenergetskih vodova. Mjere upravljanja vodovima imaju za svrhu pravilnu eksploataciju vodova i kvalitetno upravljanje vodovima po pitanju zaštite okoliša od zapaljenja zbog vodova čije se trase nalaze u krajevima gdje je povećana opasnost od požara. Ove mjere doprinose racionalnijem trošenju raspoloživih novačnih sredstava.

### 3.3. Mjere podešenja zaštita i monitoring električnih parametara voda

Mjere za podešenje zaštita i monitoringa električnih parametara voda u svrhu prepoznavanja kvara koji može uzrokovati požar i isključenje tog voda suvremene su mjere zaštite krajolika od električnog voda kao uzročnika požara. Te mjere, odnosno primjena tih mjera je još u začetku i više je bazirana na teorijskim pretpostavka i praktičnim testiranjima, nego na stvarnoj eksploataciji.

To su mjere koje su razvijene posljednih godina [17], [18], [22], [32]. One mogu biti jednostavne poput mjere opisane kod zaštite od požara na vrhu stupa kao uzročnika požara ili složenije, kao mjera bazirana na GSM (engl. Global System for Mobile Comunications) tehnologiji. Mjera zaštite od kvarova s velikim prijelaznim otporom na mjestu kvara koje klasična zemljospojna zaštita ne prepoznaje može biti, kako je već spomenuto, i putem sofisticiranih uređaja koji su osmišljeni isključivo za tu namjenu. Ti uređaji bi se spajali na sabirnice odvoda preko strujnih i naponskih mjernih transformatora na pojedini odvod i na osnovu određenih algoritama za praćenje sinusnog oblika struje i napona prepoznavale ovaj tip kvara. Te mjere bi dovele do manje vjerojatnosti nastanka požara zbog kvara nadzemnih vodova. Ti uređaji su bazirani na višegodišnjim istraživanjima sinusnog oblika struje i napona kod različitih prije spomenutih kvarova (ali i ostalih kvarova koji mogu dovesti do požara). Kada uređaj prepozna iz valnog oblika struje i napona da se radi o kvaru kod visokih prijelaznih otpora, jednostavno može dati nalog zaštiti da isključiti vod. Upitna je komercijalna iskoristivost i praktična primjena većeg broja ovakvih uređaja. Naime, odvodi su već opremljeni uglavnom zaštitnim relejima, a pored uređaja za monitoring kvalitete električne energije koji polako ulaze u eksploataciju upitno je njihovo komercijalno korištenje. Opisani uređaji mogli bi doživjeti širu primjenu u pametnim mrežama. Prema [33] zaštita vodova koji prolaze područjem osjetljivim na zapaljenja biomase može se realizirati ultra brzim prekidačima koji isklapaju vod veoma brzo (praktički trenutno). Potencijalni problemi u tom slučaju bili bi selektiranje zaštite vodova.

## 4. ZAKLJUČAK

U radu je analizirana pojava mogućeg nastanka požara zbog nadzemnih elektroenergetskih vodova. Analizirano je više pojava kod nadzemnih elektroenergetskih vodova koji mogu dovesti do potencijalnog nastanka požara ispod/oko trase voda. Može se reći da je više načina na koje nadzemni vod može potencijalno uzrokovati požar. Vidljivo je da su ti kvarovi statističke prirode pa je stoga i vjerojatnost nastanka požara zbog pojava na nadzemnim vodovima statističke prirode. Urađena je studija slučaja kojoj je rezultat da postotno visok broj kvarova može uzrokovati požar. U radu su analizirane i neke metode koje bi dovele do smanjenja broja kvarova koji mogu uzrokovati požar, a posljedično i smanjiti beznaponske pauze. Daljnji rad bi se trebao sastojati u detaljnijoj analizi načina štićenja voda da isti ne uzrokuje požar, s posebnim osvrtom na podešenja električnih zaštita koje štite te vodove.

## LITERATURA

[1] R. Hewa Lunuwilage “Study of Pole-top Fire Development in Power Distribution Networks”, School of Electrical and Computer EngineeringCollege of Science, Engineering and Health RMIT University, Doctor of Philosophy disertation, 2013.

[2] S. Pathak, P. Sokolowski, A. Dwivedi, F. Buratto, X. Yu, K. Wong, “Investigation of Pole Fire on a 22kv Wooden Power Pole Structure,” presented at the Symposium onElectrical Energy Evolution in China and Australia, 2008.

[3] P. M. Ross, "Wood Structure Burning by Leakage Currents," Electrical Engineering, vol. 66, pp. 472-474, 1947.

[4] P. M. Ross, "Burning of Wood Structures by Leakage Currents," Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, vol. 66, pp. 279-287, 1947.

[5] K. L. Wong, M. F. Rahmat, "Investigation of Leakage Current in Wooden Pole Using Ladder Network Model," in Proceeding of Australasian Universities Power Engineering Conference, pp. 1-5, 2008.

[6] K. L. Wong, M. F. Rahmat, "Study of Leakage Current Distribution in Wooden Pole Using Ladder Network Model," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 25, pp. 995-1000, 2010.

[7] K. L. Wong, M. F. Rahmat, "Feasibility Study of Leakage Current Shunting Method Based on the Ladder Network Model," IEEE Transactions on Power Delivery,vol. 25, pp. 1133-1137, 2010.

[8] R. Filter, J. D. Mintz, "An improved 60 Hz Wood Pole Model," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 5, pp. 442-448, 1990.

[9] R. Filter, "The Influence of Wood Pole Preservatives on Wood Fire and Electrical Safety," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-103, pp. 3089-3095, 1984.

[10] K. L. Wong, M. F. Rahma "Feasibility Study of Leakage Current Shunting Method on Wooden Pole," Proceedings of the 16th International Symposium on High Voltage Engineering, Johannesburg, 2009.

[11] P. J. Sokolowski, A. Dwivedi, S. Pathak, F. Buratto, X. Yu "Investigating the Impedance of a Wooden Power Pole After a Pole Fire," Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC'08), 2008.

[12] K. V. Thejane et. Al. "Pole Top Fires: Review of Work to Date and a Case for Further Research," IEEE PES Power Africa 2012 Conference and Exposition Johannesburg, South Africa, 9-13 July 2012.

[13] K. L. Wong, S. Pathak, X. H. Yu "Leakage Current Flow through Wooden Pole Structures of Varying Age on Overhead Distribution System" Power Engineering Conference AUPEC 2007, Australasian Universities, pp. 1-6, 2007.

[14] I. Ramljak "Veličine iskri kod sudaranja vodiča kao dodatni kriterij zaštite elektroenergetskog voda," doktorska disertacija, FESB, Split, 2016.

[15] B. M. Aucoin, B. Don Russell "Distribution High Impedance Fault Detection Utilizing High Frequency Current Components," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-101, No. 6 June 1982.

[16] C.D. Halevidis, S.D. Anagnostatos, A.D. Polykrati, E.I. Koufakis, P.D. Bourkas "Proposal of a Protection Method Against Probable Consequences to Humans and Theenvironment From Short-Circuit or Abruption of a Low-Voltage Distribution Line Conductor," IET Gener. Transm. Distrib., Vol. 4, Iss. 7, pp. 793–800, 2010.

[17] R. Das, D. Bayoumi "System For Detection Of High Impedance Fault," 19th International Conference on Electricity Distribution CIRED, Vienna, 21-24 May 2007.

[18] URL: http://wildfiremitigation.tees.tamus.edu/faqs/detectable-line-phenomena, 19.12.2014.

[19] T. Blackburn "Conductor Clashing Characteristics of Overhead Lines," Electric energy conference, Newcastle, pp. 212-216, 1985.

[20] A. F Mills, X. Hang "Trajectories of Sparks from Arcing Aluminum Power Cables," Fire Technology, 20(2), pp. 5-14. 1984.

[21] URL: http://www.scvclassactions.com.au/Pombernet%20Fire%20Court%20Documents/Plaintiff%27s%20Closing%20Submissions.pdf. 01.05.2013.

[22] B. Don Russell, C. L. Benner, J.A Wischkaemper "Distribution Feeder Cause Wildfires: Mechanisms and prevention" Protective Relay Engineers, College Station TX, pp. 43-51, 2012.

[23] D.S Tse, A. Fernandez-Pello "On The Flight Paths of Metal Particles and Embers Generated by Power Lines in High Winds-a Potential Source of Wildland Fires," Fire Safety Journal, 30, pp. 333-356. 1998.

[24] Izvješća dispečerskog Centra Pogona Grude (Županije Zapadnohercegovačke) od perioda 2005.-2014.

[25] W. K. Daily "Engineering Justification for Tree Trimming," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 14, No. 4, October 1999.

[26] D. Stipaničev, M. Bugarić, Lj. Šerić, T. Jakovčević "Web GIS Technologies in Advanced Cloud Computing Based Wildfire Monitoring System," The 5th International Wildland Fire Conference, Sun City, South Africa, 9–13 May 2011.

[27] T. Perica "Iskustva Elektre Šibenik u Prevenciji, Gašenju u Sanaciji Posljedica Požara," HO CIRED, 1. Savjetovanje, Šibenik, 18. - 21. svibnja 2008.

[28] "Power Line Fire Prevention Field Guide," California, USA, November 2008.

[29] "Bushfire Management Plan," izdanje Elektroprivredne kompanije Western Power, Australia

[30] "Bushfire Mitigation Plan 2014-2019," izdanje Elektroprivredne kompanije Jemena Electricity Networks, Australia, 2014.

[31] Y. Zhou, A. Pahwa, S. Das "Prediction of Weather-Related Failures of Overhead Distribution Feeders," 8th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, Iowa State University, Ames, Iowa, September 12-16, 2004.

[32] J. A. Wischkaemper, C. L. Benner, B. Don Russell "Electrical Characterization of Vegetation Contacts with Distribution Conductors – Investigation of Progressive Fault Behavior," Transmission and Distribution Conference and Exposition, Chicago, Il, pp. 1-8, 2008.

[33] B. A. Watson "A Protection Scheme Using Ultra-fast Circuit Breakers for Wildfire Mitigation and Reliability Improvement for Rural Distribution," T&D Conference and Exposition, 4 IEEE PES, Chicago, Il., pp. 1-6, 2014.

## BIOGRAFIJA

**Ivan Ramljak** rođen je u Mostaru (BiH). Diplomirao je elektrotehniku na Fakultetu elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje (FESB) u Splitu 2009. godine, smjer elektroenergetski. Na istom fakulteteu je doktorirao 2016. godine, polje tehničkih znanosti, područje elektrotehnike, grana elektroenergetika. Od 2009. godine radi u Elektroprivredi HZ HB d.d. Mostar. Od 2011. godine radi i kao predavač na Visokoj školi Logos Mostar. Područje zanimanja: zaštita u elektroenergetskim mrežama, kvaliteta električne energije, obnovljivi izvori energije, upravljanje i ušteda u javnoj rasvjeti, planiranje upravljanje i održavanje distributivnih mreža, uzemljivači sustavi i dr. Autor je više znanstvenih i stručnih članaka. Individualni je član IEEE organizacije i BH K CIGRÉ.