

Mr.sc. Domagoj Milun, dipl.ing.
HEP ODS, Elektrodalmacija Split
domagoj.milun@hep.hr

Dinko Marijan, dipl.ing.
HEP ODS, Elektrodalmacija Split
dinko.marijan@hep.hr

Josip Srdanović struč.spec.ing.el.
HEP ODS, Elektrodalmacija Split
josip.srdanovic@hep.hr

RJEŠENJA PROBLEMA ZAPALJENJA DRVENIH STUPOVA USLIJED ONEČIŠĆENJA IZOLATORA - U TEORIJI I PRAKSI

SAŽETAK

S pojavom zapaljenja drvenih stupova na SN i VN vodovima, kao posljedicom onečišćenja površine izolatora, najčešće uslijed posolice, operatori distribucijskih i prijenosnih mreža širom svijeta, bore se još od prvih početaka elektrifikacije do danas. Sam proces zapaljenja glave ili dijelova konstrukcije drvenih stupova je složena pojava pri kojoj, da bi nastala, mora biti zadovoljeno više uvjeta. Stoga se i rješenja, kojima se smanjuje utjecaj onečišćenja izolatora na zapaljenje stupa, konceptijski razlikuju u velikoj mjeri, ovisno o tome koji od uvjeta za zapaljenje stupa se tim rješenjem eliminira ili smanjuje, te na koji način.

U radu je prikazan proces zapaljenja stupa, teoretski i iskustveno, temeljem dugogodišnjih opažanja. Analizirane su različite mjere i postupci za otklanjanje ili smanjenje vjerojatnosti zapaljenja. Nadalje, predstavljena su iskustva DP Elektrodalmacija Split u primjeni mjera zaštite od zapaljenja stupova uslijed posolice. Na koncu je opisana primjena jednog tipa kompozitnih izolatora s polimernim kućištem izrađenim od Etilen Vinil Acetata (EVA), prilagođenog za horizontalnu montažu, naročito prikladnog za ugradnju na drvene i betonske stupove 10(20) kV vodova na područjima izloženim posolici.

Ključne riječi: izolator, drveni stup, zapaljenje, posolica, kompozit, polimer

SOLUTIONS OF THE PROBLEM OF WOODEN POLES IGNITION DUE TO INSULATOR CONTAMINATION - IN THEORY AND PRACTICE

SUMMARY

Wooden poles ignition on MV and HV lines, as a result of the insulator surface contamination, most often due to salting, is the phenomenon that distribution and transmission network operators around the world have been struggling with, since the beginning of electrification until today. The process of igniting the top or parts of a wooden pole structure is a complex phenomenon where several conditions have to be satisfied. Therefore, solutions that reduce the impact of insulator contamination on poles burning differ greatly in concept. depending on which of the ignition conditions is eliminated or reduced by this solution, and how.

The paper presents the process of pole ignition, theoretically and experientially, based on long-term observations. Various measures and procedures for elimination or reduction of ignition probability have been analyzed. Furthermore, the experience in distribution area of "Elektrodalmacija Split" in the application of protective measures against pole burning due to salting is presented. Finally, the application of a type of composite insulator with a polymer housing made of Ethylene Vinyl Acetate

(EVA), particularly suitable for use on wooden and concrete poles of 10(20) kV lines in areas exposed to salt, is described.

Key words: insulator, wooden pole, ignition, salt contamination, composite, polymer

1. UVOD

Najzastupljenija izvedba dalekovoda nazivnog napona 10 kV, a dobrim dijelom i onih 20 kV, je ona na drvenim stupovima. Osnovni razlog je jednostavnost, a time i cijena izgradnje i održavanja voda. Uz probleme starenja (truljenja) drvenih stupova, izloženosti vremenskim uvjetima, insektima, pticama, požarima i sl., jedna od pojava koja izaziva štete i kvarove na ovoj vrsti voda je pojava zapaljenja drvenih stupova uslijed djelovanja struja odvoda preko površine onečišćenih izolatora, tzv. puzajućih struja. Dugogodišnja pogonska iskustva iz više distribucijskih područja na području Hrvatske, kao i iskustva brojnih distribucijskih tvrtki u svijetu, ukazuju na povezanost učestalosti pojava zapaljenja stupova sa stupnjem taloženja onečišćenja na površini izolatora, poglavito u područjima s većim udjelom soli, pepela, prašine i kemijskih tvari u zraku. Iako je problem najizraženiji na područjima u blizini mora i može se povezati s izrazito visokim stupnjem posolice u zraku, zapaljenja stupova se događaju i na područjima znatno udaljenim od mora, dijelom zbog morske soli nošene vjetrom na veliku udaljenost ili od drugih izvora onečišćenja, kao što su npr. sol za posipanje cesta, prašina s tla obogaćenog umjetnim gnojivima, pepelom i drugim česticama i kemijskim tvarima u blizini tvornica i sl.

Problem je uočen u svijetu već u samim počecima elektrifikacije na srednjem i visokom naponu. Istraživanja su se usmjerila u više smjerova:

- istraživanja puzajućih struja i mehanizma preskoka na površini izolatora,
- istraživanje utjecaja soli i drugih onečišćenja na veličinu i djelovanje puzajućih struja,
- istraživanje električnih svojstava drveta i konstrukcijskih elemenata drvenih stupova,
- proučavanje elektrotermičkog mehanizma paljenja stupa uslijed protjecanja struja odvoda,
- istraživanje i analiza različitih mjera smanjenja struja odvoda te mjera sprečavanja zapaljenja.

Kvarovi i ispadi vodova uslijed onečišćenja izolatora na SN vodovima na drvenim stupovima uglavnom nastaju kao posljedica izgaranja glave stupa, dok su ispadi i kvarovi na VN i SN vodovima na čelično-rešetkastim i betonskim stupovima najčešće posljedica preskoka, odnosno proboja izolatora. Stoga je pozornost pri istraživanju problema onečišćenja na VN vodovima usmjerena u prvom redu na izolatore, dok se u slučaju SN vodova na drvenim stupovima istraživanja provode na cjelokupnom sustavu kojeg tvore: izolatori, nosači izolatora, konzole i ostali konstrukcijski elementi te sam drveni stup.

U proučavanjima pojave zapaljenja glave drvenog stupa od strane brojnih autora unatrag 80 godina, dana su objašnjenja te pojave, koja se možda nisu u cijelosti podudarala, no utvrđena su neka osnovna načela, iz kojih su onda proizašle mjere za sprječavanje negativnog utjecaja onečišćenja. Stoga je korisno razmotriti iskustva u primjeni različitih pristupa rješavanju tog problema te izabrati one mjere koje najbolje odgovaraju pojedinim okolnostima.

2. OPIS POJAVE ZAPALJENJA DRVENOG STUPA

2.1. Utjecaj onečišćenja površine izolatora na struje odvoda

2.1.1. Proces taloženja soli na površini izolatora

Iako onečišćenje izolatora može imati različito porijeklo, ipak je najizraženije ono nastalo taloženjem morske soli, svojstveno područjima u blizini mora, a poglavito onim izloženim vjetrovima iz smjera mora. Iskustvo pokazuje da je taloženje soli najveće na područjima sjevernodalmatinskih otoka i u podvelebitskom primorju [1], [2], izloženim vrlo snažnim udarima bure, koja s površine zapjenjenog mora podiže i nosi značajne količine morske vode u obliku sitnih kapljica. Vjetrom nanese kapljice na površini izolatora se vrlo brzo suše, ostavljajući talog morske soli, s pretežnim sadržajem natrijevog klorida (NaCl). Ta pojava taloženja morske soli iz vjetrom nanesenih sitnih morskih kapljica, naziva se posolica. Intenzitet nakupljanja posolice u velikoj mjeri ovisi o brzini vjetra, udaljenosti i vlažnosti zraka, pa je tako najveći na područjima sa najsnažnijim udarima bure, koju, osim velike brzine vjetra, karakterizira smjer puhanja takav da podiže kapljice s vrhova valova te niska vlažnost zraka, koja dodatno ubrzava isušivanje kapljica i kristalizaciju soli na površini izolatora.

Osim izravnog nanošenja kapljica vjetrom u prizemnom sloju, dio slane maglice se diže u srednji i gornji sloj atmosfere, odakle nošen vjetrom dopire i na udaljenost više kilometara od obale pa se i na tim, udaljenijim područjima primjećuje nakupljanje posolice.

Iskustveno je uočeno da se problemi koje stvara posolica povećavaju s količinom nataložene soli, ali i kemijskim sastavom nataložene tvari, pa se pojavila potreba njenog kvantificiranja. Uvodi se pojam ekvivalentne gustoće slanog taloga (*ESDD – Equivalent Salt Deposition Density*), koji se definira kao masa otopljene kuhinjske soli (NaCl) po jedinici površine i iskazuje se u mg/cm^2 :

$$ESDD = S/A_0 \quad (\text{mg/cm}^2) \quad (1)$$

S – masa ekvivalenta kuhinjske soli u otopini (mg)

A_0 – površina uzorka (mm^2).

Dakle, apsolutna masa nataložene tvari se preračunava na ekvivalentnu masu kuhinjske soli u otopini jednake vodljivosti, tako da se s *ESDD* ne iskazuje samo masa nego se uzima u obzir i vodljivost slanog taloga.

Osim o atmosferskim uvjetima, površinska gustoća nakupljene soli ovisi i o obliku, izvedbi, materijalu i starosti izolatora. Tako da dva različita izolatora, podvrgnuta istim uvjetima, odnosno na istom mjestu, mogu imati različite površinske gustoće nataložene tvari.

2.1.2. Puzajuće struje

Pored struja dielektričkih gubitaka u materijalu izolatora, kod izolatora na nadzemnim vodovima ukupnoj struji odvoda pridonose i vanjske, puzajuće, odnosno klizne struje, koje teku po površini izolatora i posljedica su određene vodljivosti površinskog sloja i pojave parcijalnih izbijanja u zraku po površini izolatora. U slučajevima u kojima su izolatori pričvršćeni na vodljivu i uzemljenu konstrukciju stupa, veličina puzajućih struja ovisi samo o prilikama na površini izolatora, odnosno vodljivosti puzne (klizne) staze. No, kada su izolatori pričvršćeni na drveni stup, tada na veličinu puzajućih struja utječe i vodljivost strujne staze kroz, odnosno po površini drvenog stupa.

Kada se uslijed određenih meteoroloških uvjeta, kao što je npr. kondenzacija u uvjetima vlažnog zraka, magla, rosa ili kiša i sl., nakupljena sol otapa, stvara se na površini izolatora vodljivi sloj kojem vodljivost potječe od disocijacije (razlaganja) elektrolita na vodljive ione. Iako pozitivni i negativni ioni već postoje u kristalima soli (npr. natrijevi, kalijevi ili magnezijevi kloridi ili sulfati), takvi suhi elektroliti nisu vodljivi jer su svi ioni čvrsto povezani u njihovim kristalnim rešetkama. Tek se otapanjem u vodi ioni oslobađaju kristalnih veza, razlažući se na pozitivne ione (katione) metala i negativne ione (anione) klora i sulfata. S povećanjem vlažnosti, povećava se broj slobodnih iona, a time i vodljivost površinskog sloja izolatora, što rezultira povećanjem puzajućih struja.

Pored elektrolitskog vođenja struje, na površini izolatora događa se još jedna pojava. Dijelom zbog vodoodbojnosti (hidrofobnosti), a dijelom zbog zagrijavanja i isušivanja stvaraju se naizmjenični vlažni i suhi, nevodljivi pojasevi. Kad je električno polje između vodljivih, vlažnih zona dovoljno jako, ono može izazvati pojave kapljičaste korone i parcijalnih preskoka između vodljivih zona na površini izolatora. Pojava je popraćena svjetlosnim i zvučnim efektom („cvrčanje“). Osim oštećenja površine izolatora, ovo u ekstremnim okolnostima može rezultirati i potpunim preskokom te pojavom električnog luka [3].

Istraživanja [4], [5] su pokazala da s povećanjem ekvivalentne gustoće slanog taloga (*ESDD*) raste vodljivost strujne staze i to naglo pri nižim vrijednostima *ESDD* te sve sporije kako se *ESDD* povećava prema ekstremnim vrijednostima. S druge strane, preskočni napon izolatora linearno opada s povećanjem površinske gustoće nataložene soli, pa pri visokim vrijednostima *ESDD* pada na vrlo nisku vrijednost.

2.2. Pojava zapaljenja stupa

2.2.1. Iskustvena zapažanja

Kao što je već u uvodu rečeno, pojava paljenja drvenih stupova pri uvjetima visoke vlage u zraku, magle, rose i kiše, uočena je davno i vrlo brzo je povezana s onečišćenjem izolatora, prvenstveno morskom soli. Iskustva u distribucijskom području Elektrodalmacije Split slična su iskustvima drugih priobalnih DP-ova, kao i iskustvima operatora distribucijskih sustava širom svijeta.

Iskustvo pokazuje da je problem, u pravilu, izraženiji na otocima nego na kopnu. To se može objasniti činjenicom da su otoci sa svih strana okruženi morem, tako da su izloženi vjetrovima iz svih smjerova, za razliku od kopnenih područja, gdje posolicu prenose uglavnom vjetrovi koji pušu iz smjera

mora prema kopnu. Karakteristična je situacija na otoku Hvaru [6], s nadzemnim vodovima različitih izvedbi na svim dijelovima otoka. Neka su područja izloženija djelovanju bure, dok su druga više izložena južnim vjetrovima:

- na području Vrboske i okolice grada Hvara, dalekovodi su na sjevernoj strani otoka i izloženiji su udaru bure,
- DV 10 kV na jugu otoka je izloženiji onečišćenjima po južnom vjetru, što ne isključuje da na njega utječe i onečišćenje po buri, ali naravno u manjoj mjeri,
- DV 10 kV prema istoku otoka je dug cca 50 km te dijelom trase prolazi sjevernom stranom, većinom preko "hrpta" te dijelom južnom stranom otoka. Zbog toga je podložan onečišćenju po burnom i po suhom, južnom vjetru.

Svi navedeni dalekovodi su udaljeni od mora što znači da su sva promatrana onečišćenja isključivo prenesena zrakom, odnosno nisu nastala direktnim raspršivanjem mora na elemente mreže. Takva onečišćenja su jedva vidljiva prostim okom, jer zbog periodičkog ispiranja kišom ne dolazi do nakupljanja veće količine soli i ostalih onečišćenja na dijelovima mreže.

Uočeno je da do zapaljenja stupova dolazi kada nakon duljih sušnih razdoblja ili snažnih vjetrova počne padati ili rositi kiša ili nastupe uvjeti pri kojima se javlja kondenzacija vlage na izolatorima. Vjerojatnost zapaljenja je to veća što je sušno razdoblje trajalo dulje, odnosno što su vjetrovi puhali dulje i snažnije. Tako je 02. rujna 2018. godine, nakon dugog, ljetnog sušnog razdoblja, zabilježeno tridesetak zapaljenja stupova. Ovisno o trajanju takvih vremenskih uvjeta, onečišćenje se može manifestirati i na dijelovima mreže koji su na sasvim suprotnom dijelu otoka. Posebno se po burnom vremenu pojava odražava i na dalekovode na jugu otoka. Slično vrijedi i za južni vjetar, samo što je pojava dužeg trajanja tzv. "suhog juga" rjeđa.

Kvarovi izazvani onečišćenjem posolicom na području otoka Hvara, kao i na ostalim dijelovima distribucijskog područja Elektrodalmacije, u najvećoj se mjeri svode na dalekovode na drvenim stupovima te u znatno manjoj mjeri na neke izvedbe SN postrojenja i kabelskih kućica. Kod spomenutih dalekovoda prevladavaju drveni nosni stupovi s "jela" rasporedom vodiča na glavi stupa te potpornim porculanskim izolatorima tip VHD 10, 15, 20 i 25. Ovjes je izveden pretežno na savijenim čeličnim nosačima uvijenim u stup te na ravnim nosačima na čeličnim linijskim, kutnim ili rasteretnim konzolama. Većina kutnih i rasteretnih stupova na ovim dalekovodima, izvorno izvedenih drvenim "A" stupovima je prije dvadeset godina zamijenjena centrifugiranim armiranobetonskim stupovima. Izolacija na tim betonskim stupovima je izvedena porculanskim štapnim i potpornim izolatorima s punom jezgrom.

Elementi stupa na kojima dolazi do kvarova (drveni stupovi sa savijenim ili ravnim nosačima na konzolama u jela rasporedu) nisu međusobno kratko spojeni, nego su pričvršćeni kroz drvo. Kvarovi su mehaničke prirode, jer se uslijed gorenja stupa na mjestu na kojem je nosač pričvršćen za stup, nosač sa izolatorom odvoji od stupa, pa kvar nastaje zbog dodira s drugim vodičem ili zemljom.



Slika 1. Gorenje glave stupa u uznapređevaloj fazi

Nerijedak događaj je kada se cijela glava stupa zbog izgaranja odvoji (slika 1), svi izolatori ostanu na njoj a vodno polje i dalje ostane pod naponom, bez prorade zaštite, pa nema nikakve informacije o kvaru. Istovremeno iskre padaju na tlo sa oba odvojena dijela zapaljenog stupa. Važno je naglasiti da, uslijed puzajućih struja i parcijalnih preskoka na površini onečišćenih izolatora, koji nisu dovoljni za uspostavu luka, ne dolazi do prorade zemljospojne ni druge zaštite, jer je veličina tih struja znatno manja i od najnižih pragova prorade zaštite.



Slika 2. Zapaljeni dijelovi drvenog stupa

Pokazalo se da vjerojatnost zapaljenja stupa raste s brojem izolatora na konzoli, npr. na stupovima s pojačanom mehaničkom zaštitom, odnosno dvostrukim izolatorima na konzoli. Tako su posebno ugroženi drveni "A" stupovi s rasteretnim ili kutnim konzolama. U tim slučajevima, ukupnoj struji odvoda jedne konzole pridonose puzajuće struje oba izolatora, čime se povećava vjerojatnost zapaljenja. Iako praćenjem na području terenske jedinice Hvar nisu uočena zapaljenja drvenih stupova s čeličnim gama konzolama ili rastavljačima na glavi stupa, na nekim drugim područjima je bilo i takvih slučajeva, iako rijetkih.

Zanimljiv je slučaj početka paljenja drvenih stupova na otoku Šolti, početkom ožujka 2019. Tada je, nakon višednevne snažne bure sa orkanskim udarima, zapuhalo jugo, uz značajno povećanje vlažnosti zraka, ali bez kiše. U tim uvjetima, na izolatorima i stupovima se pojavila velika kondenzacija, što je rezultiralo tinjanjem i početkom paljenja drvenih stupova. Odmah nakon dojave, dispečer je isključio sve dalekovode, a stupovi na kojima je započelo tinjanje ili početak gorenja su ugašeni od strane vatrogasaca ili djelatnika HEP ODS-a. Djelatnici su oprali i obrisali izolatore na najkritičnijim rasteretnim i kutnim drvenim stupovima, te su nakon toga dalekovodi ponovno uključeni. Nakon ponovnog uključivanja, nije bilo naknadnih paljenja, što se može objasniti povišenjem temperature zraka i sušenjem izolatora i stupova. Slična je pojava zabilježena istog dana i u drugim terenskim jedinicama u priobalju i otocima. Tom prilikom je na jednom kutnom "A" stupu uočen jedan neuobičajeni slučaj. Na njemu, paljenje nije započelo na mjestu pričvršćenja konzole na stup, nego na metalnoj šipci koja drži prečku na sredini stupa i prolazi kroz oba stupa.

Na izolatorima čelično-rešetkastih i armirano-betonskih stupova nisu zabilježeni kvarovi izazvani onečišćenjem posolicom. No, na nekim od tih izolatora je primijećena pojava plavičaste svjetlosti – maglice, koja se može pripisati kapljičastoj koroni, odnosno parcijalnim preskocima puzajućih struja. Pojava obično traje neko vrijeme dok kiša ne ispere elektrolit s površine izolatora ili dok se površina ne osuši uslijed zagrijavanja nastalog djelovanjem puzajućih struja. Iz navedenog se može zaključiti da stupanj onečišćenja nije toliki da izazove preskoke na izolatorima na betonskim i čelično-rešetkastim stupovima (kao što ima slučajeva na otocima zadarskog i podvelebitskog primorja), ali je dovoljan da prouzroči zapaljenje drvenih stupova.

2.2.2. Opis procesa zapaljenja stupa

Prethodno opisane okolnosti upućuju na puzajuće struje, koje u povećanom iznosu teku površinom vlažnih ili mokrih onečišćenih izolatora, kao uzrok zapaljenja drvenog stupa. No, kako objasniti zapaljenje uslijed tako malih struja, koje su kod vodova nazivnog napona 10 kV i 20 kV, na drvenim stupovima, uobičajeno reda veličine mA i manje i to u vlažnim ili mokrim uvjetima. Činjenica da nisu zabilježene prorade zaštite prije ili u početku zapaljenja stupa, otklanja struje zemjospoja ili kratkog spoja kao uzrok.

Prema istraživanjima i laboratorijskim testovima objavljenim u [7] i [8], već i male struje reda veličine mA mogu u određenim uvjetima izazvati toliko zagrijavanje na spoju metala i suhog drveta pri kojem započinje tinjanje, a nakon određenog vremena, pogotovo ako je potaknuto vjetrom, tinjanje prelazi u otvoreni plamen. Ovisno o okolnostima i struji, vrijeme proteklo od početka tinjanja do otvorenog plamena, može varirati od nekoliko minuta do nekoliko sati. U testovima provedenim u laboratoriju [7], pri struji od 10 mA, tinjanje koje započinje u zatvorenom "džepu", na kontaktu suhog drveta i metalnog nosača, prelazi u otvoreni plamen već za 10 min. To je u skladu sa zapažanjima na terenu, pri kojima je uočeno da paljenje uvijek nastaje na spoju, odnosno prolazu metalnih dijelova kroz drvo (Slika 1. i 2).

Uvjeti za nastanak tinjanja su vlaga i onečišćena površina izolatora, kao uvjet nastanka puzajućih struja, te kombinacija mokrog (vlažnog) i suhog drveta. Pojednostavljeno, strujni krug tvore serijski spojene impedancije puzne staze izolatora, impedancija suhog drveta i impedancija vlažnog drveta. Ovisno o količini vlage u drvetu, vodljivost vlažnog drveta može biti i do tisuću puta veća od vodljivosti suhog drveta. U serijskom strujnom krugu, to znači da je gotovo sav narinuti napon na dijelu suhog drveta. Na glavi stupa, savijeni nosač potpornog izolatora ili vijak metalne konzole prolaze kroz suho drvo visokog otpora. S druge strane, kišom namočena površina drvenog stupa je dobro vodljiva i što je ta vodljivost veća, to je veća i struja, a time i disipacija I^2R na suhom dijelu.

Obzirom da se drvo pri sušenju skuplja, s vremenom se kontaktni otpor dodatno povećava zbog pojave zračnog raspora između drveta i metalnog nosača ili vijka. Povećanju kontaktnog otpora pridonosi i oksidacija metalnog nosača izolatora. Zato, tinjanje u pravilu započinje u unutrašnjosti stupa, na spoju metalnog nosača ili vijka i suhog drveta. U slučajevima visoke vrijednosti kontaktnog otpora javlja se i iskrenje između metalnog nosača i drveta.

Upravo je gore navedeni uvjet za početak gorenja: spoj metalnog nosača, suhih dijelova i vlažnih dijelova stupa, doveo do prvih rješenja za suzbijanje pojave paljenja [7], kojima se vodljivim trakama s metalnog nosača ili vijka za učvršćenje konzole, struja odvodi izravno na bolje vodljivu, navlaženu površinu drveta, čime se premošćuje spoj metalnog nosača/vijka sa suhim drvetom.

Jednom započeto tinjanje u unutrašnjosti drveta ne mora uvijek rezultirati gorenjem. U slučaju da se struja smanji zbog ispiranja izolatora snažnom kišom ili prekine uslijed isključenja dalekovoda, tinjanje će prestati i ostati će samo ugljeni trag. S druge strane, strujanje vjetra pospješuje izbijanje otvorenog plamena, tako da na tijek procesa zapaljenja značajan utjecaj imaju vremenski uvjeti.

Osim vodljivosti drveta i puzne staze, na veličinu struje utječe i ukupan broj izolatora preko kojih teku struje. To znači da je veća vjerojatnost zapaljenja stupa s dvostrukim izolatorima (mehanički pojačana izolacija), rasteretnih stupova i stupova s rastavljačima. Iako je veća vjerojatnost zapaljenja u slučaju puzajućih izbijanja na izolatorima različitih faza i zatvaranja struje kroz samu glavu stupa, pogrešno je smatrati da će do zapaljenja teško doći u slučaju izbijanja na samo jednoj fazi. Naime, zbog dobre vodljivosti vlažnog stupa, struja će se bez većeg otpora zatvoriti prema tlu.

Suprotno očekivanju, prema istraživanjima objavljenim u [8], zasoljavanje površine stupa nema značajnijeg utjecaja na veličinu struje u drvetu i proces zapaljenja. No, može imati za posljedicu stvaranje puznih staza na površini drveta, što se u nekim slučajevima može vidjeti na drvetu u obliku mrežastih pougljenjenih tragova nagaranja površine (*tracking*), ali to najčešće ne rezultira zapaljenjem.

Dakle, temeljem svega navedenog u prethodnim poglavljima može se zaključiti da su uvjeti za zapaljenje drvenog stupa povećana vrijednost puzajućih struja i zagrijavanje na prijelaznom otporu spoja metalnog nosača i suhog drveta te visoka vrijednost električnog polja na tom prijelazu. Tome pridonose:

- pojačano taloženje soli na površini izolatora,
- stvaranje vodljivog filma na površini izolatora u vlažnim i mokrim uvjetima,
- otežano ispiranje izolatora,
- kratka specifična puzna staza na površini izolatora,
- visoka vrijednost prijelaznog otpora na spoju metalnog nosača i drveta.

3. MJERE ZA SPRJEČAVANJE ZAPALJENJA DRVENIH STUPOVA

Osnovna dva preduvjeta za zapaljenje glave stupa zbog onečišćenja izolatora su puzajuće struje po površini izolatora dovoljnog iznosa i trajanja te visoka vrijednost prijelaznog otpora i električnog polja na spoju između metalnog nosača i drveta. Prema tome se i mjere za smanjenje vjerojatnosti zapaljenja drvenih stupova mogu svrstati u dvije osnovne skupine:

- sprječavanje ili smanjenje puzajućih struja,
- smanjenje prijelaznog otpora i električnog polja na spoju metalnog nosača i drveta.

3.1. Postupci za sprječavanje ili smanjenje puzajućih struja po površini izolatora

3.1.1. Ispiranje izolatora

Jedan od najstarijih postupaka za sprječavanje puzajućih struja je ručno ispiranje i brisanje izolatora u beznaponskom stanju. To se pokazalo kao najpouzdanija metoda prevencije nakon dugotrajnih sušnih razdoblja ili pojačanog zasoljavanja izazvanog snažnim vjetrom (najčešće burom u našem priobalju). No, zbog potrebnog velikog broja radnika i dugotrajnog isključenja voda, ovaj postupak se rijetko ili gotovo nikako ne primjenjuje, osim u iznimnim situacijama.

Pranje mlazom vode pod tlakom sa zemlje, koje se u nekim distribucijama u svijetu obavlja pod naponom, jednom ili dva puta godišnje, prema programu pranja, uglavnom se kod nas na DV 10(20) kV ne primjenjuje, zbog velikog broja stupova s otežanim ili nemogućim pristupom.

U ovu skupinu se može svrstati i prirodno ispiranje izolatora jačom kišom i pljuskom. U prošlosti su dispečeri preventivno isključivali dalekovode za koje su s terena imali informaciju o pojačanom onečišćenju, u početku kiše ili pljuska te ih ponovno uključivali nakon cca 15 min, za koje bi se vrijeme izolatori isprali dovoljno da se spriječi zapaljenje stupova. Danas je to neprihvatljivo zbog sve strožih zahtjeva za neprekidnošću opskrbe.

3.1.2. Premazivanje površine izolatora

Pokazalo se da se premazivanjem postojećih porculanskih izolatora silikonskim mastima ili uljima može značajno povećati vodoodbojnost (hidrofobnost) površine izolatora čime se postiže razdvajanje vodenog filma u kapljice i prekidanje puznih staza. No, i ta mjera, kao i prethodna, zahtjeva angažman većeg broja radnika i dugotrajno isključenje, a zaštitni sloj je potrebno i periodički obnavljati, pa to sve zajedno izaziva značajne troškove i zbog toga se kod nas također rijetko primjenjuje.

3.1.3. Povećanje strujne staze izolatora

Produljenje strujne staze ima izravni utjecaj na veličinu puzajućih struja u neprekinutom vodljivom filmu. U slučaju prekinutog vodljivog sloja i razdvajanja u kapljice ili pojaseve, produljenjem strujne staze se smanjuje električno polje između kapljica ili vodljivih pojaseva, pa se time sprječava pojava kapljičaste korone i parcijalnih preskoka po površini izolatora.

Jedan od najvažnijih parametara koji ima utjecaj na puzajuće struje i neovisan je o nazivnom naponu je *specifična nazivna strujna staza*, definirana kao omjer ukupne duljine strujne staze izolatora (izolatorskog lanca) i najvišeg napona opreme:

$$\lambda = S/U_m \quad (\text{mm/kV}) \quad (2)$$

- S - duljina strujne staze izolatora (izolatorskog lanca) (mm)
 U_m - najviši napon opreme (efektivna linijska vrijednost) (kV).

Pravilnikom o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV [9], određene su specifične nazivne strujne staze za četiri stupnja onečišćenja (Tablica I). Množenjem s najvišim naponom opreme U_m izračunate su minimalne duljine strujne staze izolatora za tri uobičajena distribucijska nazivna napona ($U_n = 10 \text{ kV}, 20 \text{ kV}$ i 35 kV).

Tablica I. Specifične nazivne strujne staze definirane Pravilnikom [9]

Stupanj onečišćenja	Specifična nazivna strujna staza λ (mm/kV)	Minimalna duljina strujne staze izolatora S (mm) za najviši napon opreme U_m		
		$U_m = 12$ kV	$U_m = 24$ kV	$U_m = 38$ kV
I	16	192	384	608
II	20	240	480	760
III	25	300	600	950
IV	31	372	744	1178

Zanimljivo je usporediti duljine strujnih staza iz Tablice I. s podacima o duljini strujnih staza najčešće korištenih izolatora.

Tablica II. Duljine strujnih staza najčešće korištenih izolatora u nadzemnoj SN mreži

Tip:	VHD 10	VHD 15	VHD 20	VHD 25	VHT 22T	R12,5 125L	U120B S	RST DS27R	RLP 31R
S (mm)	230	280	350	430	460	530	320	687	770

Ako se uzme da je većina nadzemnih vodova u priobalju izložena II i III, a samo iznimno IV stupnju onečišćenja, iz gornjih tablica je vidljivo da potporni porculanski izolator VHD 10 ne zadovoljava uvjete minimalne strujne staze za nazivni napon mreže 10 kV, a VHD 15 zadovoljava samo za II stupanj. Niti jedan od navedenih VHD izolatora ne zadovoljava uvjet specifične nazivne strujne staze pri prijelazu na nazivni napon 20 kV niti za II stupanj onečišćenja. U područjima III stupnja onečišćenja, kriterij specifične strujne staze za nazivni napon 20 kV zadovoljavaju samo kompozitni izolatori sa $S > 600$ mm.

Ovdje je potrebno naglasiti da je zadovoljenje kriterija specifične strujne staze samo nužan, ali ne i dovoljan uvjet za sprječavanje zapaljenja stupa. Iskustvo je pokazalo da u uvjetima intenzivnog zasoljavanja može doći do zapaljenja stupa i kod $\lambda > 30$ mm/kV.

3.1.4. Oblik izolatora i položaj na glavi stupa

Osim duljine strujne staze, na veličinu puzajućih struja bitan utjecaj ima i oblik izolatora. Izolatori su takvog oblika da im se na svakom malom dijelu strujne staze mijenja polumjer, a time i površinska gustoća struje. Stoga je i ukupni površinski otpor izolatora određen njegovom geometrijom, odnosno faktorom oblika. Faktor oblika, kao značajka svakog tipa izolatora, se definira kao omjer njegovog ukupnog površinskog otpora i otpora kvadrata jednake površine. Što je faktor oblika veći, veći je i površinski otpor strujne staze.

Drugi utjecaj oblika i položaja izolatora se odražava kroz svojstvo samoispiranja površine na kiši. Tako na primjer, kod većine potpornih izolatora, postavljenih vertikalno, postoje zone ispod „šešira“, čija je uloga produljenje strujne staze, a koje su zaštićene od izravnog ispiranja kišom. Taj problem je naročito izražen u donjem dijelu potpornih porculanskih izolatora tipa VHD i staklenih VHT, koji je praktično potpuno zaklonjen od kiše. Ispiranje izolatora s punom jezgrom, kao npr. R12,5 je puno bolje od izolatora na ravnim ili savijenim nosačima, jer nema zaklonjenih zona.

Praksa je pokazala da se štapni zatezni izolatori i zatezni izolatorski lanci puno bolje ispiru od vertikalnih nosnih ili potpornih. To svojstvo najbolje dolazi do izražaja kod horizontalno postavljenih kompozitnih potpornih izolatora, koji istodobno imaju ulogu nosača i izolatora, kao npr. tip Tyco RLP 31R-HG (Slika 4).

3.1.5. Primjena kompozitnih izolatora s polimernim plaštom

Pored osnovnih mehaničkih i električkih značajki, na materijal izolatora izloženih onečišćenju postavljaju se dodatni zahtjevi: kao što su: vodoodbojnost, UV otpornost, dugačka strujna staza,

samočišćenje, otpornost na puzajuće struje, otpornost na preskoke, otpornost na otapala i kiseline, otpornost na eroziju i stvaranje vodljivih staza (*tracking*), otpornost na gorenje. U zadovoljavanju većine ovih svojstava, moderni kompozitni i hibridni izolatori su se pokazali boljima od konvencionalnih porculanskih i staklenih izolatora.

Kompozitni i hibridni izolatori sastavljeni su od tri osnovna dijela:

- metalnih završetaka,
- jezgre od staklom ojačane smole (najčešće epoksidne),
- vanjskog plašta od umjetne mase (EVA, silikon, EPDM i dr.).

Upravo je materijal plašta taj o kojem ovise gore navedena svojstva. Etilen Vinil Acetat (EVA) i silikon pokazuju jako visok stupanj vodoodbojnosti, otpornosti na puzajuće struje, preskoke, eroziju i stvaranje staza. Imaju i dobra svojstva samočišćenja i samoobnove vodoodbojnosti (naročito silikon). Konstrukcija s većim brojem tankih rebara rezultira znatno dužom strujnom stazom.

Nedostaci kao što su: UV osjetljivost, starenje, gorivost i kemijska otpornost, po kojima su porculanski izolatori u prednosti, u velikoj se mjeri otklanjaju dodavanjem posebnih aditiva, pa i po tim kriterijima polimerni kompozitni izolatori pokazuju zadovoljavajuća svojstva. No, upravo je ta činjenica, da svojstva materijala plašta u velikoj mjeri ovise o primijenjenim aditivima u procesu proizvodnje, uzrok velike neujednačenosti kvalitete proizvoda između različitih proizvođača, čemu treba obratiti posebnu pozornost pri definiranju tehničkih specifikacija u postupcima nabave.

Zbog svega prethodno navedenog kompozitni polimerni izolatori zauzimaju sve veći udio na vodovima nazivnog napona 10 kV i 20 kV, a poglavito na područjima s višim stupnjem onečišćenja (na otocima i priobalju).

3.2. Smanjenje prijelaznog otpora i električnog polja na spoju metalnog nosača i drveta

3.2.1. Kratko spajanje metalnih konzola i nosača izolatora na glavi stupa

Iskustvo je pokazalo da se međusobnim vodljivim povezivanjem metalnih konzola ili savijenih nosača izolatora smanjuje vjerojatnost zapaljenja stupa. Tim postupkom se spojnim vodičem premošćuje spoj drveta i metalnih nosača, mjesta na kojima započinje paljenje. Na taj se način linijske sastavnice puzajućih struja između izolatora različitih faza vode izravno povezujućim vodičem, umjesto kroz drvo. No, postupak nije potpuno pouzdan jer uvijek postoji nulta sastavnica, koja teče prema zemlji kroz spoj nosača i suhog drveta, na kojem može doći do zapaljenja.

Osnovni problem kod ovakvog postupka je osiguranje dugotrajnog pouzdanog spoja, zbog oksidacije. Nadalje, ovakvim povezivanjem, u slučaju izrazitih zasoljavanja, dodatno se povećavaju puzajuće struje i povećava rizik od kratkog spoja, jer se ovim postupkom premošćuje otpor kroz i po površini drveta. Problem može nastati i u slučaju pucanja spojnog vodiča ili odvajanja s nekog od nosača, kad slobodni kraj može dotaknuti fazni vodič.

3.2.2. Premoštenje metalnog nosača na površinu stupa

Obzirom da je uočeno da tinjanje i paljenje u pravilu započinje na mjestu prolaska metalnog nosača ili vijka konzole kroz drvo, zbog visokog prijelaznog otpora prema suhom drvetu, premoštenjem struje izravno na vlažnu površinu drveta, izbjegavaju se lokalna zagrijavanja. Premoštenje se izvodi predformiranim trakama od pocinčanog lima, učvršćenim s jedne strane na metalni nosač, a s druge strane se trake omotaju oko stupa u dva sloja (prstena) i pričvrste za stup čavlima ili vijcima. Time se stvara velika kontaktna površina i smanjuje električno polje na mjestu prodora nosača kroz stup.

Na području Elektrodalmacije Split, ovaj se postupak standardno primjenjivao do prije 20 godina pri izgradnji svih novih i održavanju postojećih DV 10(20) kV. No, tijekom 10-godišnje primjene, uočeni su brojni problemi, uglavnom izazvani korozijom i cikličkim promjenama promjera stupa uslijed promjene vlažnosti. To izaziva slabljenje kontakta, odnosno smanjenje efektivne kontaktne površine, a time i učinkovitosti premoštenja. Uočeno je i ispadanje čavala te oslobađanje trake sa stupa, koja onda može doći u kontakt s faznim vodičem. Iako je u samom početku tehnika "prstenovanja" davala dobre rezultate, s vremenom je zbog navedenih razloga postala neučinkovita. Tijekom godina primjene, uočena su zapaljenja i "prstenovanih" stupova (Slika 3), pa je ta praksa napuštena zbog neučinkovitosti.



Slika 3. Otpali vrh zapaljenog stupa s prstenima za sprječavanje zapaljenja

4. PRIMJENA KOMPOZITNIH EVA IZOLATORA U ELEKTRODALMACIJI SPLIT

Učestali problemi s izgaranjem drvenih stupova na dalekovodima nazivnog napona 10 kV na otoku Šolti zahtijevali su poduzimanje mjera za smanjenje utjecaja posolice na zapaljenje stupova. Prethodni postupci ugradnje prstenova od pocinčanog lima za povećanje kontaktne površine između nosača izolatora i drvenog stupa te ugradnja porculanskih izolatora VHD 20 umjesto izolatora VHD 15 davale su primjetni, ali ne i dostatni učinak [10]. Duljina strujne staze izolatora VHD 20 iznosi 350 mm, što daje 29 mm/kV za najviši napon 12 kV. Time je premašen uvjet iz Pravilnika [9] za uvjete visokog stupnja onečišćenja, ali to ipak nije bilo dovoljno. Očigledno je da nije bitna samo duljina strujne staze, nego i vrsta materijala te oblik izolatora i mogućnost ispiranja nataloženih nečistoća.

Nakon razmatranja više različitih rješenja, odabrano je rješenje s EVA kompozitnim potpornim i štapnim zateznim izolatorima tip:

- RLP-31R-HG (potporni za horizontalnu montažu),
- RST-DS31-TTP (štapni-zatezni).

Kućište ovih izolatora je napravljeno od Etilen-Vinil-Acetat polukristalnog materijala, specijalno je dizajnirano i obogaćeno mineralima, ima nekoliko puta veću mehaničku čvrstoću, otpornost na trganje te je elastičnije u odnosu na silikonske materijale. Također ovaj materijal posjeduje vrhunsku otpornost na djelovanje ptica i glodavaca, otpornost u kiselim okruženjima, te otpornost na stvaranje tragova i eroziju. Materijal je UV- otporan, samogasiv i samočistiv u uvjetima nastanka lokalnih preskoka na suhim zonama. Odlikuje ga i izrazita vodoodbojnost, što je vrlo važno svojstvo u uvjetima posolice. Voda, odnosno elektrolit se na površini skuplja u kapljice, čime se onemogućava stvaranje neprekinutog vodljivog filma [11].

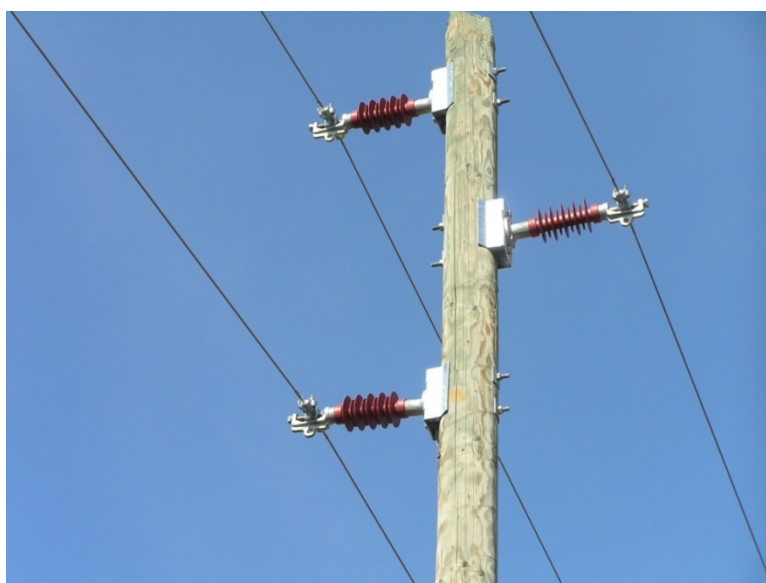
Iako se zastupljenost izolatora sa silikonskom kućištem iz godine u godinu, u svijetu sve više povećava, prvenstveno zbog njihovih dobrih svojstava, prethodna negativna iskustva sa silikonskim izolatorima loše kvalitete, presudila su pri odabiru već provjerenog materijala renomiranog proizvođača, umjesto silikona. Čak je uočeno više slučajeva gdje su ptice nagrizle silikonske izolatore do te mjere da ih je bilo potrebno zamijeniti.

U Tablici III. su prikazane osnovne tehničke značajke odabranih izolatora u usporedbi s postojećim VHD izolatorima. Strujne staze od 770 mm, odn. 791 mm odabranih izolatora zadovoljavaju uvjete za specifičnu duljinu strujne staze za vrlo visoko onečišćenje, ne samo za nazivni napon mreže 10 kV, nego i za najviši napon 24 kV (32 mm/kV, odnosno 33 mm/kV), koji se očekuje nakon prijelaza na nazivni napon 20 kV.

Posebno je zanimljiva izvedba potpornih izolatora za horizontalnu montažu, s "H" glavom, prikazana na Slici 4. Izolator je opremljen gibljivom stezaljkom te montažnom pločom s vijcima kojima se jednostavno pričvršćuje na već postojeći stup, pod kutem od 5°. Montaža je vrlo jednostavna, uz zadržavanje jednakih razmaka i rasporeda vodiča na glavi stupa. Ovakva izvedba, s gotovo horizontalnom montažom kompozitnih izolatora, se u svjetskoj praksi pokazala najboljom u pogledu ispiranja izolatora od nakupljenog onečišćenja (posolice).

Tablica III. Osnovne tehničke značajke odabranih izolatora u usporedbi s postojećim

NAZIVNE VELIČINE	VHD 15	RLP-31R-HG	RST-DS31-TTP
Nazivni napon	17,5 kV	24 kV	24 kV
Duljina klizne staze	280 mm	770 mm	791 mm
Težina izolatora	2,4 kg, 5,2 s ,poduporom	5,3	5,3
Nazivni izmjenični podnosivi napon u mokrom	45 kV	81 kV	80 kV
Preskočni izmjenični napon u mokrom		101 kV	90 kV
Nazivni preskočni udarni napon u suhom (1,2/50 μ s)	120 kV	194 kV	170 kV



Slika 4. EVA kompozitni izolatori za horizontalnu montažu

Od 2008./09. godine do danas ugrađeni su ovakvi izolatori na približno 100 stupova na nekoliko DV 10 kV na otoku Šolti i to pretežno na nosnim stupovima. Na drvenim "A" stupovima (kutnim i zateznim) uglavnom još nisu zamijenjeni izolatori jer je predviđena njihova zamjena betonskim stupovima na mjestima gdje to pristup dopušta. Tom prilikom je planirana primjena zateznih izolatora tip: RST-DS31-TTP. Tijekom praćenja zadnjih 10 godina nakon ugradnje, nije zabilježen niti jedan kvar, oštećenje izolatora ili zapaljenje glave na stupovima na kojima su ugrađeni ovi izolatori.

Temeljem pozitivnih iskustava s primjenom EVA izolatora na Šolti, započela je sustavna zamjena izolatora na nekoliko DV 10 kV na otoku Hvaru. Do sada su na području terenske jedinice Hvar ugrađeni potporni EVA izolatori za horizontalnu montažu na približno 65 stupova, na vodovima sa sjeverne strane otoka, izloženim taloženju posolice u uvjetima sjevernih vjetrova (bure i tramontane).

5. ZAKLJUČAK

U prethodnim poglavljima su navedena pogonska iskustva te opisani problemi koje izaziva sol nataložena na površini izolatora. Temeljem vlastitih iskustava, iskustava drugih operatora distribucijskog sustava u svijetu te objavljenih rezultata istraživanja, opisani su procesi taloženja soli, stvaranja vodljivog sloja na površini izolatora, povećanja struja odvoda (puzajućih struja) po površini izolatora te konačno proces zapaljenja drvenog stupa uslijed povećanih struja odvoda. Navedene su i analizirane najčešće mjere i postupci sprječavanja i smanjenja vjerojatnosti zapaljenja stupova.

Prvobitni postupci su bili pranje i čišćenje izolatora te sprječavanje posljedica povećanja puzajućih struja međusobnim kratkim spajanjem metalnih nosača izolatora i premoštenjem visokoomskog prijelaznog otpora na spoju metalnog nosača i suhog drveta stupa. Razvitkom izolatora i izolacijskih materijala stvoreni su preduvjeti za značajno smanjenje puzajućih struja, a time i smanjenje vjerojatnosti zapaljenja stupa.

Moderne izvedbe kompozitnih i hibridnih izolatora primijenjene na distribucijskim i prijenosnim vodovima pokazuju jako dobre rezultate u pogledu smanjenja puzajućih struja i sprječavanja zapaljenja drvenih stupova te preskoka na čelično-rešetkastim i betonskim stupovima. No, u primjeni su se pokazala i velika odstupanja u kvaliteti određenih materijala za izradu vanjskog plašta izolatora, prvenstveno silikonskih, zbog toga što svojstva polimernih materijala u velikoj mjeri ovise o primijenjenim aditivima i procesu proizvodnje. Pri odabiru izolatora, uz osnovne električke i mehaničke značajke, potrebno je uzeti u obzir i druga svojstva kao što su: vodoodbojnost, otpornost na starenje i UV zračenje, otpornost na eroziju i stvaranje staza (*tracking*), negorivost, otpornost na djelovanje ptica i glodavaca i dr.

U radu je prikazan pristup i navedena pozitivna iskustva u višegodišnjoj primjeni kompozitnih izolatora s EVA (Etilen Vinil Acetat) kućištem. EVA je materijal dokazane kvalitete, koji ispunjava gore navedena svojstva i u širokoj je primjeni u izolacijskoj tehnici u distribuciji već preko 30 godina, bez uočene značajnije degradacije tijekom vremena. Iako je silikon danas u svijetu najrašireniji materijal za kompozitne izolatore i njegova se svojstva stalno poboljšavaju, zbog velike neujednačenosti u kvaliteti i postojanosti svojstava, prednost je dana provjerenom i iskušanom materijalu pouzdanog proizvođača.

Obzirom na pokazana dobra svojstva, trend razvoja i povećanja zastupljenosti polimernih materijala u izolacijskoj tehnici, potrebno je kroz tehničke specifikacije i kontrolu kvalitete u postupcima nabavke izolatora osigurati ne samo ispunjavanje osnovnih električkih i mehaničkih svojstava, nego i ostala pethodno navedena svojstva.

6. LITERATURA

- [1] N.A. Dellavia, B. Burčul, "Problematika održavanja nadzemnih vodova u uvjetima jakih bura i zasoljavanja", 1. savjetovanje HO CIREC, Šibenik, 18. - 21. svibnja 2008., referat SO1-16
- [2] B. Jurić, B. Burčul, "Utjecaj bure i posolice na pokazatelje pouzdanosti napajanja električnom energijom distribucijske mreže na području Elektre Zadar", 6. savjetovanje HO CIREC, Opatija 13. - 16. svibnja 2018., referat SO2-07
- [3] S. Vinter, M. Perčec Tadić, M. Šutej, S. Pandža, "Mogućnosti povećanja pogonske pouzdanosti dalekovoda izloženih djelovanju posolice", 13. savjetovanje HRO CIGRE, Šibenik 5. - 8. studenog 2017., referat B2-01
- [4] A. Banik, S. Dalai, B. Chatterjee, "Studies the effect of equivalent salt deposit density on leakage current and flashover voltage of artificially contaminated disc insulators", 1st Conference on Power, Dielectric and Energy Management at NERIST (ICPDEN), 10-11 Jan. 2015
- [5] A. Hossam-Eldin, I. Madi, S. Sharaf, "Study and investigation of medium voltage polluted insulators in Alexandria distribution grid", 21. International conference on electricity distribution, CIREC, Frankfurt 6. - 9. lipnja 2011., paper 0117
- [6] J. Srdanović, D. Marijan, D. Milun, "Pogonska iskustva - metode za prevenciju štete uzrokovane posolicom na nadzemnim vodovima", 14. savjetovanje HRO CIGRE, Šibenik 10. - 13. studenog 2019.
- [7] P. M. Ross: "Burning of wood structures by leakage currents", AIEE Transactions, vol: 66, 1947., pp. 279-287

- [8] 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, Sydney 14.-17. Prosinca 2018. paper P-098
- [9] Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV, Službeni list br. 65/88
- [10] F. Šodan, N. Vujević: "DV 10 kV Priobalje i otoci – rekonstrukcija DV u cilju smanjenja utjecaja posolice", HEP ODS d.o.o. Elektrodalmacija SPLIT, Split studeni 2008.
- [11] <http://encron.hr/proizvodi/izolatori-1-1100-kv/sn-kompozitni-izolatori/> - 24.05.2019.