

mr. sc. Davor Mišković
HEP ODS d.o.o. Elektroistra Pula
davor.miskovic@hep.hr

Dino Jakovčić, dipl. ing.
HEP ODS d.o.o. Elektroistra Pula
dino.jakovcic@hep.hr

Danilo Gambaletta, dipl. ing.
HEP ODS d.o.o. Elektroistra Pula
danilo.gambaletta@hep.hr

SMANJENJE UTJECAJA ATMOSFERSKIH PRENAPONA NA SREDNJENAPONSKIM NADZEMNIM VODOVIMA UGRADNJOM LINIJSKIH ODVODNIKA PRENAPONA

SAŽETAK

Ideja o izradi ovog rada zasnovana je na činjenicama da još uvijek vrlo veliki broj ispada u SN mreži uzrokuju atmosferski prenaponi, da su metaloksidni odvodnici prenapona postali vrlo kvalitetni, uz sve nižu cijenu, a u svijetu postoje značajna iskustva u njihovoj primjeni kao linijskih odvodnika prenapona i na nižim naponima. Također je činjenica da su kupci sve osjetljiviji na prekide, pa je vrlo bitno i u nadzemnim mrežama, iz kojih se napajaju "manje značajni" kupci učiniti sve da se prekidi svedu na najmanju moguću mjeru, pogotovo ako je to moguće uz relativno mala ulaganja. Bit ovoga rada je pokušaj izrade metode, odnosno kriterija za korištenje linijskih odvodnika prenapona te načina šticeanja srednjonaponskih nadzemnih vodova, uz izradu tehno - ekonomske analize koja upućuje na isplativost ovakvih rješenja. Posebno je istaknut nedostatak podataka o kvarovima u mreži koji bi trebali biti glavni "input" za poduzimanje ovakvih aktivnosti.

Ključne riječi: atmosferski prenaponi, linijski odvodnici prenapona, statistika kvarova, otpor uzemljenja, dionice voda.

DECREASING OF ATMOSPHERIC OVERVOLTAGES INFLUENCE ON MEDIUM VOLTAGE OVERHEAD LINES WITH LINE SURGE ARRESTERS

SUMMARY

The idea of making this paper is based on the facts that yet now great number of faults in medium voltage network are caused by atmospheric overvoltages, that metal oxide surge arresters became of very high quality, with less prices, and there are important experiences in the world as line arresters on the medium voltages, too. It is fact also, that customers are more sensitive of outages, and it is very important in overhead line networks, too, which are supplying "less important" customers doing everything to make them shorter, if it is possible with relatively small investments. Main topic of this paper is attempt to making a method, with reference to criteria for using this way of protection of medium voltage lines, with techno - economic analysis which initiated on payability of solutions like this. It is specially pointed out a lack of good fault statistics which had to be the most important input for activities like these.

Key words: atmospheric overvoltages, line surge arresters, fault statistics, grounding resistance, line sections.

1. UVOD

Specifični otpor tla u mnogim područjima republike Hrvatske je veoma visok, te prelazi vrijednost od 1000 Ω m. Nisu rijetki slučajevi da ta veličina poprimi iznos od nekoliko tisuća Ω m. Može se procijeniti da je oko 30 – 35 % teritorija Hrvatske locirano na terenima takvih (nepovoljnih) karakteristika. Zbog toga je ispravno projektiranje i izvedba uzemljivača elektroenergetskih (i svih drugih) objekata od izuzetnog značaja. Osim toga veliki dio područja pripada zonama sa 30 do 45 grmljavinskih dana godišnje, što se smatra velikom izloženošću utjecaju atmosferskih prenapona.

Prisustvo navedene problematike, uz saznanje da se problem djelovanja atmosferskih prenapona do kraja nikada ne može u potpunosti riješiti, a pogotovo ne u kombinaciji sa tlom visokog specifičnog otpora otvorilo je mogućnost da se i u ovom radu pokuša dati doprinos u cilju povećanja sigurnosti rada elektroenergetskih objekata lociranih na ovakvim područjima. Ovdje će se istražiti mogućnosti smanjenja broja prekida na srednjonaponskim nadzemnim vodovima, uporabom linijskih odvodnika.

2. PRIMJENA LINIJSKIH ODVODNIKA PRENAPONA

2.1. Dosadašnja primjena metaloksidnih odvodnika prenapona, kod nas i u svijetu

U distribucijskim mrežama Hrvatske elektroprivrede, nazivnog napona 10, 20 i 35 kV započelo se sa uporabom metaloksidnih odvodnika prenapona početkom devedesetih godina. Nakon eksperimentalne uporabe, prešlo se na štice važnijih objekata nazivnog napona 35 kV, a nešto kasnije se krenulo i s njihovom primjenom u mreži 10 odnosno 20 kV.

Po vrsti kućišta na početku primjene koristili su se isključivo odvodnici u porculanskim kućištima, da bi se postepeno prelazilo na polimerna kućišta. Danas se koriste isključivo odvodnici u polimernim kućištima. Od 1992. godine ne nabavljaju se klasični odvodnici, a kroz nekoliko sljedećih godina - ovisno o uložnim sredstvima, bit će u mreži isključivo metaloksidni odvodnici prenapona. Iz praćenja evidencije kvarova, koja se na žalost ranije vodila na različite načine, ali je stavljanjem u obveznu uporabu programa DISPO i to riješeno, vidljivo je da se broj kvarova smanjuje gotovo proporcionalno sa brojem ugrađenih MO odvodnika, tako da se iskustveno može ocijeniti da je jedna od najisplativijih investicija u srednjonaponske mreže, bila upravo ugradnja metaloksidnih odvodnika prenapona.

Zahvaljujući razvoju tehnologije proizvodnje metaloksidnih odvodnika prenapona s kućištem od polimera, i njihovoj sve nižoj cijeni, značajno se proširila njihova uporaba za poboljšanje prenaponskih karakteristika visokonaponskih dalekovoda, ugradnjom odvodnika duž samog dalekovoda. Najveći broj ovakvih primjena poznat je u SAD, Japanu, Kanadi, Brazilu i Meksiku, dok su velike europske elektroprivrede također započele s korištenjem ove vrste zaštite. Ovakav način zaštite primjenjuje se na vodovima nazivnih napona 6 kV do 123 kV, pa i do najviših napona - 550 kV. Najviše ih ima u Japanu i to gotovo 90 % na vodovima nazivnog napona 66 i 77 kV, gdje se takav način primjene koristi već od 1980. godine. Glavna namjena ugradnje linijskih odvodnika na dalekovode je poboljšanje preskočnih karakteristika s obzirom na atmosferska pražnjenja, izbjegavanje istovremenih ispada kod dvostrukih vodova, te kod podizanja naponskog nivoa postojećih vodova (uprating), kao i kod kompaktnih vodova.

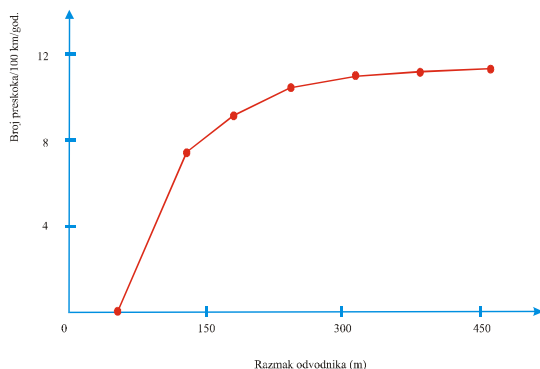
Metaloksidni odvodnici prenapona, u svojstvu linijskog odvodnika mogu eliminirati prenapone bez prekida napajanja, pa čak i bez oscilacija napona.

Upravo zbog sve veće kvalitete, a istovremeno i sve nižih cijena nameće se potreba za analizom mogućnosti korištenja metaloksidnih odvodnika prenapona u svojstvu linijskih odvodnika na srednjonaponskim nadzemnim vodovima naponskih nivoa 35, 20 i 10 kV.

2.2. Mogući načini primjene linijskih odvodnika prenapona

Uvođenje metaloksidnih odvodnika prenapona za štice distribucijskih dalekovoda, u svojstvu linijskih odvodnika, slijedilo je njihovu uspješnu primjenu u istoj funkciji na prijenosnim dalekovodima. Zahtjevi na uzemljenje stupova su mnogo strožiji nego za prijenosne vodove, zbog nižeg izolacionog nivoa distribucijskih vodova. Također je potrebno računati s utjecajem bliskih objekata kao i sa induciranim prenaponima, čiji su utjecaji kod prijenosnih dalekovoda zanemarivi. Inducirani prenaponi ne predstavljaju problem za dalekovode čiji je izolacioni nivo najmanje 300 kV, međutim to nije slučaj na distributivnim vodovima, a pogotovo ne na onima nazivnog napona 20 kV, pa se inducirani prenaponi na bliskim objektima moraju uzeti u obzir.

Najbolja kombinacija štíćenja voda je zaštitno uže i odvodnik prenapona na svakom stupu, uz kvalitetno uzemljenje stupova. U tom slučaju na vodu ne bi bilo preskoka. Ukoliko se pojedini elementi ovakve stopostotne zaštite ne koriste povećava se vjerojatnost preskoka na vodu. Učinak rasporeda odvodnika prenapona prikazan je na slici 1., gdje se iz dijagrama vidi da na vodu izolacijske čvrstoće 199 kV odvodnik mora biti na svakom stupu kako bi se vod zaštitio od direktnih udara groma. Razmicanje odvodnika na određene udaljenosti povećava se vjerojatnost preskoka na vodu. Direktni udar u stup s odvodnikom može prouzročiti povišeni napon na susjednom uzemljenom stupu, iznosa većeg od preostalog napona na odvodniku. Na primjer, s uzemljenjem na svakom stupu i odvodnicima na svakom drugom, iz slike 1. vidi se da će 75% direktnih udara groma uzrokovati preskok. Ovo se neće dogoditi ako susjedni uzemljeni stup ima ugrađene odvodnike.



Slika 1. Preskoci uslijed direktnog udara groma u zavisnosti od razmaka među odvodnicima

Za bliske udare, inducirani naponi su mnogo manji nego naponi uslijed direktnog udara za istu struju groma, tako da odvodnici mogu biti još više razmaknuti, a još uvijek će biti efikasna zaštita za preskoke uslijed bliskog udara groma. Ako se odvodnici ugrađuju samo u gornju fazu, posljedica je da gornji vodič postaje dozemno uže za vrijeme rada odvodnika. Otpor uzemljenja stupa mora biti dovoljno nizak da bi spriječio povratni preskok na jedan od preostala dva fazna vodiča. Gornji vodič mora također biti smješten dovoljno visoko kako bi prikupljao što više direktnih udara groma. Vanjski vodiči (ovisno o njihovom rasporedu) pokupit će značajan dio direktnih udara, obzirom na kut štíćenja gornjeg vodiča. Taj broj je toliki da odvodnici najčešće moraju biti instalirani u sve tri faze da bi efikasno štítili vod od udara groma.

2.3. Tipovi metaloksidnih odvodnika prenapona

Za do sada predložene načine primjene odvodnika koriste se dva osnovna tipa i to odvodnici bez iskrišta i sa ugrađenim iskrištima. U tablici 1. [5] su prikazana usporedbena svojstva jednih i drugih, dobivena temeljem istraživanja njihovih tehničkih i ekonomskih karakteristika.

Tablica 1. Usporedba dva osnovna tipa odvodnika

KARAKTERISTIKE ODVODNIKA	
SA ISKRIŠTIMA	BEZ ISKRIŠTA
Zaštita samo od atmosferskih prenapona	Zaštita od atmosferskih i sklopnih prenapona
MO blokovi nisu direktno spojeni na vod (nisu pod naponom) – prema tome manje blokova se koristi za isti napon, što znači manji nazivni napon, manji preostali napon i manji troškovi	MO blokovi su direktno spojeni na vod (pod naponom), dakle koristi se više blokova za isti napon, što znači veći nazivni napon, veći preostali napon i veći troškovi
Dodatni troškovi za iskrišta sa kućištem	-
Pronalaženje jedinica u kvaru je mnogo teže i skuplje	Uz upotrebu sustava za odvajanje, jedinice u kvaru otkrivaju se vizualno
Nema utjecaja zagađenja na MO blokove	Zagađenje kućišta može dovesti do pregrijavanja MO blokova
Preskok na iskrištu ovisi o vremenskim uvjetima	Odvodnik radi bez obzira na vremenske uvjete
Nije sigurno da će doći do dijeljenja energije pražnjenja među odvodnicima na istom vodu	Podjela energije je osigurana između nekoliko odvodnika na istom vodu

Očito je da postoje razlozi zbog kojih bi se ugrađivao jedan ili drugi od ova dva osnovna tipa odvodnika, međutim to se ne može generalno odrediti, već je na korisniku da poznavajući karakteristike mreže izabere odgovarajući tip.

3. TEHNO - EKONOMSKA ANALIZA

3.1. Mogućnost korištenja na srednjonaponskim nadzemnim vodovima

Ovdje će se razmotriti mogućnost primjene linijskih odvodnika na srednjonaponskim nadzemnim vodovima. U srednjonaponskim mrežama HEP-a danas postoje dalekovodi naponskog nivoa 10, 10(20), 20, 30 i 35 kV. Novoizgrađeni dalekovodi su isključivo nazivnog napona 20 kV, postojeći dalekovodi 10 kV pretvorit će se u 20 kV, a za postojeće dalekovode 30 i 35 kV vrijedi da će oni "robusniji" postati 110 kV vodovi, a preostalima će se nazivni napon spustiti na 20 kV. U tom svjetlu analizirat će se i mogućnost primjene navedene opreme.

3.1.1. Nadzemni vodovi naponske razine 10 - 20 kV

Nadzemni vodovi nazivnog napona 10 kV koji su u pogonu, stari su od 25 pa čak i do 60 godina. Građeni su na različitim vrstama stupova i sa različitim vrstama izolacije, uglavnom su bez zaštitnog užeta. Nadzemni vodovi nazivnog napona 20 kV građeni su u posljednjih 25 godina, pretežno na betonskim stupovima, odnosno ako su magistralni na čelično-rešetkastim. Većina je još uvijek pod naponom 10 kV.

Prenaponska zaštita se postavlja na izlazu voda iz TS X/10(20) kV, na prijelazu zračni vod – kabel, te na otcjepima kao zaštita opreme na stupnoj TS. U pravilu takvu prenaponsku zaštitu predstavljaju odvodnici prenapona, a dijelom iskrišta. SiC odvodnici su danas u velikoj mjeri zamijenjeni metaloksidnima. Na žalost nedostaju kvalitetne statistike kvarova da bi se moglo valjano analizirati učinkovitost ovakve zaštite. Iz statističkih podataka zapadnoeuropskih elektroprivreda [9] pokazuje se mnogo veća pouzdanost rada metaloksidnih odvodnika, jer vjerojatnost kvara SiC odvodnika klasične izvedbe iznosi:

$$\lambda_{SiC} = 2/100 \text{ kom.god.}$$

dok vjerojatnost kvara metaloksidnih odvodnika prenapona nazivnog napona 20 kV, iznosi:

$$\lambda_{MO} = 0,2/100 \text{ kom.god.}$$

Ovo ukazuje da metaloksidni odvodnici imaju približno deset puta manju vjerojatnost kvara, tako da se može prihvatiti da višestruko povećanje broja odvodnika u mreži (za slučaj šticešenja određenih dalekovoda linijskim odvodnicima prenapona), neće značiti povećani broj kvarova i intervencija radi kvarova samih odvodnika.

Primjer:

Pretpostavimo da je predmet razmatranja novi 20 kV dalekovod, maksimalno pojednostavljen, bez kutova, sa samo jednom vrstom izolatora, što zadovoljava za ovakvu vrstu analize:

- stupovi: betonski
- izolatori: potporni - silikonski (prosječna cijena je oko 30 €)
- dužina: 10 km \Rightarrow 90 stupova \Rightarrow 270 izolatora

Prosječna cijena ovakvog dalekovoda je oko 40.000 €/km.

Cijene (€):

- | | | |
|----------------|---------------------|-------------------------|
| a) dalekovod - | 40.000 €/km x 10 km | \Rightarrow 400.000 € |
| b) izolatori - | 30 € x 270 kom | \Rightarrow 8.100 € |

Udio cijene izolatora u ukupnoj cijeni ovakvog dalekovoda je dakle svega 2,02 %.

Današnji metaloksidni odvodnici prenapona u silikonskom kućištu mogu biti ugrađeni na vod i u funkciji potpornog izolatora, pa će se razmotriti dvije varijante njihovog korištenja:

- ugradnja paralelno sa izolatorom
- ugradnja umjesto izolatora

Cijena takvog odvodnika danas je na tržištu oko 100 €, pa se za slučajeve da se odvodnici ugrađuju u sve tri faze, u dvije ili u samo jednu fazu svakog stupa, dobije sljedeće:

- a) ugradnja paralelno sa izolatorom
- ugradnja 100% (270 kom) odvodnika ⇒ 270 x 100 = 27.000 €
 - ugradnja 66,6% (180 kom) odvodnika ⇒ 180 x 100 = 18.000 €
 - ugradnja 33,3% (90 kom) odvodnika ⇒ 90 x 100 = 9.000 €

Tablica 2. Usporedba cijena

varijanta	porast cijene "izolacije"	porast cijene dalekovoda
1.1.	333 %	6,75 %
1.2.	222 %	4,50 %
1.3.	111 %	2,25 %

- b) ugradnja umjesto izolatora
- uz korištenje mogućnosti da se odvodnik ugradi umjesto izolatora očito je da bi se radilo o još isplativijem zahvatu, ali kako to nije uvijek najbolje rješenje prepušta se odluci projektanta.

Iz ove jednostavne računice očito je da se o ugradnji odvodnika duž voda može razmišljati, jer njihova cijena podiže cijenu dalekovoda u granicama koje su prihvatljive s obzirom na povećanu sigurnost pogona koju dobivamo. Varijanta ugradnje umjesto izolatora, odnosno uporaba izolatora sa ugrađenim odvodnicima prenapona, je naravno jeftinija varijanta, međutim iz razloga održavanja, bolje ju je koristiti samo u posebnim slučajevima, a ne dužinom cijelog voda ili dionice.

3.1.2. Nadzemni vodovi naponske razine 35 kV

Nadzemni vodovi nazivnog napona 35 kV koji su u pogonu, stari su do 40 godina. Građeni su uglavnom na čelično-rešetkastim stupovima sa staklenim kapastim izolatorima i uglavnom sa zaštitnim užetom. Prenaponska zaštita se postavlja na izlazu voda iz TS 110/35 kV, odnosno TS 35/10(20) kV, odnosno na prijelazu iz kabela u zračni vod. U pravilu takvu prenaponsku zaštitu predstavljaju odvodnici prenapona, a dijelom iskrišta. Do sada su gotovo svi odvodnici zamijenjeni metaloksidnima.

Ukoliko se isplativost korištenja linijskih odvodnika prenapona analizira na sličan način kao što je učinjeno za 20 kV, dobiva se rezultat iz kojega je vidljivo da je ugradnja linijskih odvodnika za 35 kV vod relativno još manja investicija nego za 20 kV vod. Pogotovo je interesantno razmotriti njihovu ugradnju na 35 kV dalekovode sa zaštitnim vodičem, pa bi i ugradnja jednog odvodnika po stupu, u najnižu fazu bila vjerojatno kvalitetno rješenje, dok za dalekovode sa zaštitnim užetom vrijedi, da ugradnja odvodnika u sve tri faze u potpunosti eliminira mogućnost povratnog preskoka, bez obzira na otpore uzemljenja. Ukoliko dalekovod ima zaštitno uže i relativno malo problema s otporima uzemljenja, može biti isplativo dodatnim zahvatima smanjiti otpore kritičnih uzemljivača, te se povratni preskoci mogu izbjeći i bez upotrebe linijskih odvodnika. Prema tome, ovisno o broju uzemljivača na kojima bi trebalo intervenirati, lako je odrediti postupak kojega treba odabrati – sanaciju uzemljivača ili ugradnju linijskih odvodnika prenapona.

Također treba reći da su 35 kV nadzemni vodovi objekti koji se više ne bi trebali graditi radi napuštanja toga napona, pa bi i njihovu prenaponsku zaštitu trebalo razmatrati samo za slučaj postojećih vodova.

4. ODREĐIVANJE KRITERIJA OPRAVDANOSTI ZA UPORABU LINIJSKIH ODVODNIKA PRENAPONA

Kako bi se moglo govoriti o kriterijima za uporabu sredstava protiv štetnog djelovanja prenapona, najprije je potrebno odrediti željeni nivo zaštite od utjecaja atmosferskih prenapona. Da bi se kvalitetno utvrdio željeni nivo zaštite potrebno je izvršiti sljedeće:

1. Na osnovu kerauničkog nivoa (ili na temelju podataka iz sustava za detekciju munja (Lightning Location System) odrediti broj udara groma u blizini voda.
2. Izračunati u kojem dijelu (%) imaju utjecaj na vod.
3. Odrediti postotak udara u dijelove raspona ili u stupove.
4. Izračunati broj udara koji mogu uzrokovati prekid.
5. Ukoliko je vod postojeći, proučiti pogonske događaje u prošlosti.
6. Izabrati zaštitu koja će najekonomičnije postići traženi cilj.

Razmatrani dalekovodi mogu se podijeliti po:

1. naponskom nivou:
 - a) 10, 10(20) i 20 kV
 - b) 35 kV
2. vremenu izgradnje:
 - a) postojeći
 - b) novi

Kod dalekovoda nazivnog napona 10, 10(20) i 20 kV, bilo da su postojeći ili novi kao mjera za smanjenje povratnih preskoka koristit će se isključivo ugradnja linijskih odvodnika prenapona. Moguće varijante su:

- A) Ugradnja odvodnika duž cijelog voda (u sve tri, dvije ili samo jednoj fazi).
- B) Ugradnja odvodnika samo na kritičnim dionicama (u sve tri, dvije ili samo jednoj fazi).

Kod dalekovoda nazivnog napona 35 kV bez zaštitnog užeta, u obzir dolaze mjere kao i kod dalekovoda nižih naponskih nivoa, dok je kod 35 kV dalekovoda sa zaštitnim užetom, moguće sljedeće:

- A) Poboljšanje otpora uzemljenja duž dalekovoda.
- B) Poboljšanje otpora uzemljenja duž dalekovoda, uz ugradnju odvodnika prenapona na karakterističnim mjestima u donju fazu.
- C) Ugradnja odvodnika samo na kritičnim dionicama u sve tri faze.

Nakon odabira tehnički najboljeg rješenja, s obzirom na karakteristike dalekovoda, područja kojim on prolazi i konzuma kojega napaja, potrebno je odrediti ekonomsku prihvatljivost predloženog rješenja. Pitanje prihvatljivosti cijene je teško generalizirati, pa bi ga bilo potrebno analizirati za svaki slučaj posebno, sa pretpostavkom da neće značajno odstupati od cijena navedenih u tablicama iz poglavlja 3.1.

Ukoliko je rješenje preskupo treba pokušati iznaći jeftiniju, a još uvijek efikasnu varijantu (ako postoji), da bi se konačno odustalo od ovakvog načina zaštite, ili pak po predloženom rješenju izvelo radove. Nakon izvedenih radova i ponovnog stavljanja dalekovoda pod napon, nužno je voditi točnu evidenciju o pogonskim događajima na predmetnom dalekovodu, kako bi se mogla utvrditi stvarna efikasnost izvedene zaštite. Na slici 2. dat je dijagram toka ovdje predloženih radnji [8].

5. UGRADNJA LOP NA DV 20 KV FOLI - PETEHI

Dalekovod Foli - Petehi nalazi se u grmljavinskoj zoni 30 do 45 grmljavinskih dana na godinu i izrazito je podložan ispadima i kvarovima uzrokovanih prenaponima, najčešće atmosferskog podrijetla. Dalekovod se nalazi u području centralne Istre i iako duljine preko 20 km relativno je slabo opterećen, jer napaja isključivo seosko područje. Kako se od nedavnog prelaska na napon 20 kV i napajanje iz TS 110/20 kV Vinčent vodi statistika kvarova, očito je da je registrirani broj kvarova nedozvoljivo velik za konzum koji se napaja ovim vodom. Stoga je izvršena detaljna analiza stanja na dalekovodu: broj ispada, uzroci, pritužbe kupaca, intervjui s našim radnicima, obilazak dalekovoda, izrada profila, te određivanje kritičnih dionica. Nakon izvršene analize izrađeno je tehničko rješenje zaštite dalekovoda od atmosferskih prenapona uporabom linijskih odvodnika prenapona, a radi povećanja njegove raspoloživosti. Po izvršenoj ugradnji i nakon puštanja u pogon, potrebno je osigurati kvalitetno praćenje i vođenje podataka o pogonskim događajima na vodu.

6. ZAVRŠNA RAZMATRANJA

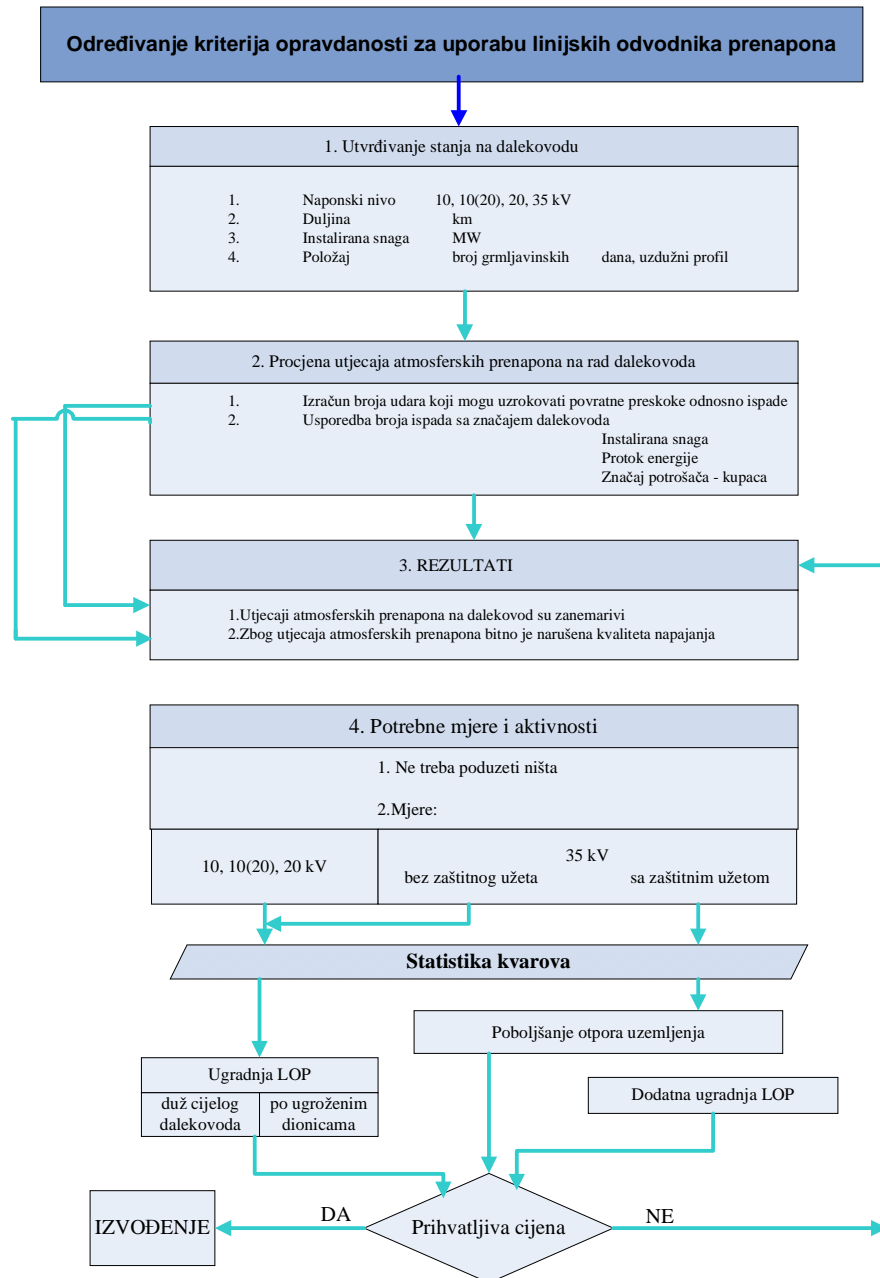
6.1. Sažetak postignutih saznanja

U ovom radu analizirana je primjena metode za poboljšanje prenaponskih karakteristika sredjonaponskih dalekovoda u područjima sa visokim specifičnim otporom tla ugrađivanjem linijskih odvodnika prenapona, uz eventualno smanjivanje otpora uzemljivača stupova.

Korištenje linijskih odvodnika prenapona dosta je rašireno u nekim zemljama, i to već od napona 6 kV, pogotovo u tome prednjače Japan i SAD. Na temelju njihovih iskustava, analizirana je mogućnost primjene na našim dalekovodima nazivnog napona 10, 20 i 35 kV. Zaključci su sljedeći:

1. Linijski odvodnici prenapona mogu ograničiti napon na nivo ispod iznosa preskočnog napona za određeni izolator.
2. Ovisno o količini u kojoj se ugrađuju na dalekovod mogu eliminirati prekide prouzrokovane preskokom i do 100%.

3. Mogu se koristiti cijelom dužinom dalekovoda ili samo na kritičnim dionicama.
4. Mogu se koristiti i uz visoke otpore uzemljenja.
5. Mogu se ugraditi na vodove sa zaštitnim vodičem da bi eliminirali povratne preskoke uzrokovane slabim uzemljenjem.
6. Mogu se koristiti kao dodatak i kao zamjena za zaštitni vodič. Postavljanje samo u gornju fazu odgovara postavljanju zaštitnog vodiča. U tom slučaju potreban je i kvalitetan otpor uzemljenja ($R_{uz} < 10 \Omega$).
7. Kvalitetnije rješenje je postavljanje odvodnika u sve tri faze, tada kvaliteta rada nije ograničena kvalitetom otpora uzemljenja, nema problema sa kvarovima zaštitnog vodiča, a povratni preskok je eliminiran u potpunosti. Vjerojatnost kvara metaloksidnog odvodnika prenapona je oko deset puna manja u odnosu na vjerojatnost kvara silicij karbidnog odvodnika.
8. Eliminiraju ili bitno smanjuju broj prorada prekidača što rezultira manjim održavanjem uz veću pouzdanost.
9. Tehno-ekonomska analiza odlučan je faktor prilikom odlučivanja o uporabi LOP.



Slika 2. Dijagram toka aktivnosti za smanjenje prekida

6.2. Usporedba sa dosadašnjim saznanjima

Iz analize izvršene u ovom radu vidljivo je da element mreže, odvodnik prenapona, koji je u prethodnoj tehnološkoj generaciji (SiC) predstavljao najmanje pouzdani element mreže, pa čak i sam često predstavljao uzrok kvara, danas kao metaloksidni odvodnik prenapona po svojim tehničkim karakteristikama, pouzdanosti, gabaritima i cijeni, predstavlja uređaj koji se može masovno postavljati i u srednjonaponske mreže. Također treba reći da je njegova ugradnja, odnosno zamjena vrlo jednostavna, pa i sa strane održavanja ne predstavlja promjenu na gore.

7. ZAKLJUČAK

Na kraju uvažavajući sve tehničke prednosti i nedostatke, cijenu, kao i potrebu za održavanjem, mogu se donijeti konačni zaključci, u obliku preporuke za budući način uporabe.

- A) Za srednjonaponske nadzemne vodove nazivnog napona do 20 kV (10, 10(20) i 20 kV), ovisno o ugroženosti od prenapona, mogu se koristiti linijski odvodnici prenapona, na način određen tehno-ekonomskom analizom izvršenom za svaki konkretni slučaj. Pri tom se radi o ulaganju iznosa između 2,25 i 6,75 % cijene voda, odnosno manjem ukoliko se odvodnici koriste samo na određenim dionicama, što se u svakom slučaju i preporučuje.
- B) Za srednjonaponske nadzemne vodove nazivnog napona 30 i 35 kV sa zaštitnim vodičem potrebno je izvršiti analizu. Ukoliko se intervencijom na malom broju uzemljivača može zadovoljiti zahtjeve prenaponske zaštite, opravdane su aktivnosti na poboljšanju uzemljenja. U protivnom mogu se na određene – najugroženije dionice postaviti linijski odvodnici prenapona, u varijantama a) u donju fazu ili b) u sve tri faze.

Naravno da je svaki slučaj potrebno razmotriti posebno i da gotovo nikad neće doći do ugradnje LOP-a na sve stupove, već samo na one za koje se to odredi i to na temelju iskustva, statistike kvarova, izloženosti pojedinog stupa atmosferskim prenaponima, kao i mogućnosti ugradnje.

LITERATURA

- [1] I. HRS, V. KOMEN, V. ILIJANIĆ: "Tehnoekonomska opravdanost uvođenja metaloksidnih odvodnika prenapona u distributivne mreže" studija IE, Zagreb 1992.
- [2] S. SADOVIĆ: "Poboljšanje prenaponskih karakteristika visokonaponskih vodova primjenom linijskih odvodnika prenapona, CIGRÉ savjetovanje, Cavtat, listopada 1997.
- [3] S. ŽUTOBRADIĆ, M. PUHARIĆ: "Suvremene tendencije u razvoju prenaponske zaštite distribucijskih postrojenja", Energija 2 (1994)
- [4] S. ŽUTOBRADIĆ: "Zaštita nadzemnih vodova od atmosferskih prenapona", Energija 1 (1995)
- [5] S. ŽUTOBRADIĆ, M. PUHARIĆ: "Uloga uzemljivača stupova u zaštiti distributivnih vodova od atmosferskih prenapona", Energija 4 (1988)
- [6] L. KEHL, J. BOŠNJAK: " *Primjena zaštitnih iskrišta sa strujnim ograničenjem u cilju poboljšanja pogonske sigurnosti srednjenaponskih nadzemnih vodova*" Drugi simpozij o elektrodistribucijskoj djelatnosti, Trogir, 10-13. svibnja 1998, Referat br. 3-03
- [7] V. KOMEN : "Primjena metaloksidnih odvodnika prenapona za zaštitu distributivnih postrojenja" magistarski rad, Zagreb 1993.
- [8] D. MIŠKOVIĆ: "Smanjenje broja povratnih preskoka na nadzemnim SN vodovima s visokim otporima uzemljivača", magistarski rad, FER, Zagreb, 2001.
- [9] "Kolokvij o metaloksidnim odvodnicima prenapona i njihovoj primjeni", Zbornik radova Sarajevo 1990.
- [10] IEC 60099-8 *Surge arresters - Part 8: Metal-oxide surge arresters with external series gap (EGLA) for overhead transmission and distribution lines of a.c. systems above 1 kV* Draft June 8, 2007
web:
- [11] <http://www.ieee.org/>
- [12] [http:// www.encron.hr](http://www.encron.hr)

- [13] [http:// www.lightning.ece.ufl.edu/](http://www.lightning.ece.ufl.edu/)
- [14] [http:// www.energy.tycoelectronics.com](http://www.energy.tycoelectronics.com)
Prospektni materijali:
- [15] ABB
- [16] Tyco Electronics Raychem
- [17] Siemens