

Dino Jakovčić
HEP – ODS d.o.o., Elektroistra Pula
Dino.jakovcic@hep.hr

Davor Mišković
HEP – ODS d.o.o., Elektroistra Pula
Davor.miskovic@hep.hr

Danilo Gambaletta
HEP – ODS d.o.o., Elektroistra Pula
Danilo.gambaletta@hep.hr

ISKUSTVA UPOTREBE LINIJSKIH ODVODNIKA PRENAPONA U SVRHU SMANJENJA ATMOSFERSKIH PRENAPONA NA SREDNJENAPONSKIM NADZEMNIM VODOVIMA

SAŽETAK

Susrevši se s problemom atmosferskih prenapona na srednjenaponskim zračnim vodovima koji su izloženi atmosferskim pražnjenjima poduzete su mjere kako bi se njihov utjecaj smanjio s obzirom na kvarove koji oni uzrokuju, a time i kvalitetnu distribuciju električne energije. Kako je dužnost HEP ODS-a d.o.o. omogućiti i osigurati kvalitetno i sigurno napajanje svim potrošačima na mreži, poduzimaju se tehničke mjere da se broj prekida smanji na najmanju moguću razinu. Ujedno godišnji broj prekida ulazi i kao parametar kvalitete električne energije te je također iz te perspektive potrebno prekide smanjiti na najmanju moguću mjeru. Kao rješenje problema atmosferskih pražnjenja nametnuli su se linijski odvodnici prenapona kojima je u seriji spojeno iskrište. U ovom radu govoriti će se o iskustvima primjene linijskih odvodnika prenapona s obzirom na smanjenje kvarova u periodu nakon njihove ugradnje.

Ključne riječi: atmosferski prenaponi, kvaliteta napajanja, radni otpor uzemljenja i impedancija uzemljenja, iskustva upotrebe linijskih odvodnika prenapona

EXPERIENCE OF USING LINE SURGE ARRESTERS FOR THE PURPOSE OF REDUCING ATMOSPHERIC OVERVOLTAGES ON MEDIUM VOLTAGE OVERHEAD LINES

SUMMARY

Encounter with a problem of atmospheric overvoltages on medium voltage lines, which are exposed thunder strikes, there are undertaken measures in order to reduce malfunctions that they cause, and to reduce influence on quality of distribution of electrical energy. The duty of HEP ODS d.o.o. is provide and ensure quality and safely power supply for all consumers on net. For that reason is necessary to undertake technical measures in order to reduce number of breakdowns on minimal. At the same time number of breakdowns per year is also included like a parameter of quality of electrical energy and for that reason is also very important to reduce number of breakdowns on to minimal possible measure. As a solution of atmospherics are imposed line surge arresters whit serial connections with spark gap. In this work the subject is experience of using line surge arresters regard to reduced number of breakdowns in a period after they are mounted on medium voltage line.

Key words: atmospheric overvoltages, quality of power supply, ground resistance and ground impedance, experience of using line surge arresters

1. UVOD

Problem odvodnje atmosferskih prenapona javlja se u područjima visokog specifičnog otpora tla. U područjima gdje je broj grmljavinskih dana 30 do 45 dana godišnje problem postaje još i veći. Specifični otpor tla u mnogim dijelovima Hrvatske prelazi i 1000 Ωm . Na takvim područjima uz veliki broj grmljavinskih dana problem stradanja opreme i javljanja kvarova je učestaliji te je shodno tome potrebno i djelovati.

Za rješavanje konkretnog problema na 20 kV dalekovodu Petehi odabrano je rješenje po kojem se duž trase dalekovoda na karakteristična mjesta postavljaju linijski odvodnici prenapona gdje se u seriji s njima postavlja iskrište. U ovom radu obradit će se općenito odvodnici prenapona i njihova primjena u elektroenergetici, utjecaj otpora uzemljenja, te će se izvršiti usporedba učestalosti nastajanja kvarova atmosferskog karaktera prije i nakon ugradnje linijskih odvodnika prenapona na spomenutom dalekovodu.

2. LINIJSKI ODVODNICI PRENAPONA

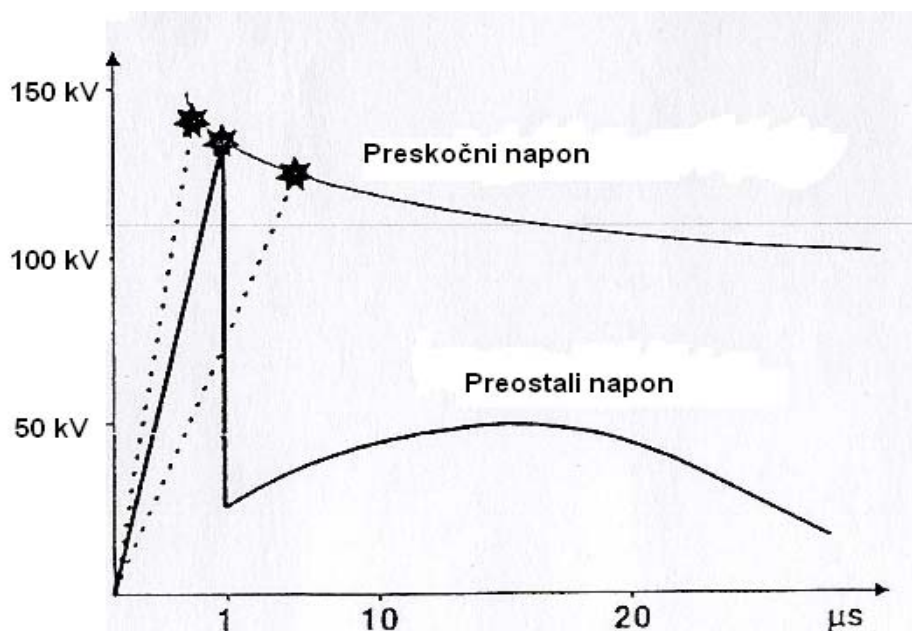
2.1. Dosadašnja primjena metaloksidnih odvodnika prenapona

Od svih uređaja koji štite od prenapona odvodnik je najpouzdanija zaštita električnih postrojenja. Na temelju dugogodišnjih ispitivanja utvrđena su točno određena pravila prema kojima se određuje ponašanje odvodnika prenapona u raznim stanjima postrojenja. Njegova je osnovna zadaća zaštita pojedinih uređaja ili cjelokupnih uređaja postrojenja od prenapona, prije svega atmosferskog podrijetla, a da se istodobno ne izazovu različiti poremećaji pri normalnom radu postrojenja.

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

Na početku primjene koristili su se isključivo odvodnici u porculanskim kućištima, da bi se postepeno prelazilo na polimerna kućišta. Danas više od 80% svih srednjenaponskih odvodnika instaliranih u Europi ima polimerno kućište.

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-u, Japanu, Kanadi, Brazilu i Meksiku, dok su velike europske elektroprivrede također započele s korištenjem ovakve vrste zaštite. Ovakav način zaštite primjenjuje se na vodovima nazivnih napona od 6 kV do 123 kV, pa sve do najviših napona 550 kV. Najviše ih ima u Japanu i to gotovo 90% na vodovima nazivnog napona 66 kV 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. Metaloksidni odvodnici prenapona, u svojstvu linijskih odvodnika mogu eliminirati prenapone bez prekida napajanja, pa čak i bez oscilacije napona. Na slici 1. može se zaključiti da odvodnik proradi prije nego proradi zaštita od zemnog spoja čije je vrijeme prorade 0,4 sekunde u konkretnom slučaju na 20 kV dalekovodu Petehi. Ukoliko zaštita proradi automatski ponovni uklop, koji je podešen na 2 sekunde uključuje dalekovod gdje su u međuvremenu prošle sve prijelazne pojave nakon udara groma.



Slika 1. Brzina prorade metaloksidnih odvodnika prenapona nakon udara groma

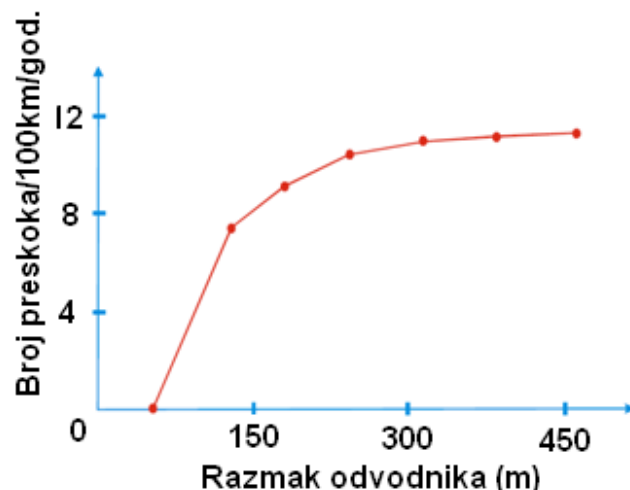
2.2. Mogući načini primjene i izvedbe linijskih odvodnika prenapona

Postoji više zahvata kojima se mogu smanjiti povratni preskoci na dalekovodu:

- Smanjenje otpora uzemljenja stupa
- Povećanje izolacijske razine voda
- Ugradnja dodatnih zaštitnih užeta
- Ugradnja zaštitnih užadi ispod faznih vodiča
- Ugradnja zateznih užadi

Međutim, nekako najekonomičnije, najjeftinije i lako za ugradnju je primjena linijskih odvodnika prenapona. Linijski odvodnici prenapona su se prvobitno koristili za štíćenje prijenosnih dalekovoda. Nakon toga započelo je njihovo uvođenje u distribucijske mreže gdje su uvjeti za njihovu ugradnju stroži nego kod ugradnje na prijenosnim dalekovodima. Naime, kod ugradnje metaloksidnih odvodnika prenapona u distribucijsku mrežu potrebno je osigurati dovoljno mali otpor uzemljenja zbog nižeg izolacionog nivoa distribucijskih vodova. Također postoji i problem induciranih prenapona koji su na niskom izolacionom nivou dovoljno visoki da dođe do povratnog preskoka. Svi prethodni uvjeti nisu problem kod prijenosne mreže.

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 zaštite ne koriste povećava se vjerojatnost preskoka na vodu. Učinak rasporeda odvodnika prenapona prikazan je na slici 2., gdje se na slici vidi da na vodu izolacijske čvrstoće 199 kV odvodnik mora biti na svakom stupu kako bi se vod zaštitio od direktnih udara groma. Razmicanjem odvodnika na određene udaljenosti povećava se vjerojatnost preskoka na vodu. Direktan 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 2. vidi se da će 75% direktnih udara groma uzrokovati preskok. Ovo se neće dogoditi ako susjedni uzemljeni stup ima ugrađene odvodnike.



Slika 2. 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 dva preostala fazna vodiča. Gornji vodič također mora 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 štićenja gornjeg vodiča. Taj broj je toliki da odvodnici najčešće moraju biti instalirani u sve tri faze da bi efikasno štitili vod od udara groma.

Za do sada predložene načine primjene odvodnika koriste se dva osnovna tipa i to odvodnici bez iskrišta i s ugrađenim iskrištima. U tablici I. su prikazana usporedna svojstva jednih i drugih, dobivena temeljem istraživanja njihovih tehničkih i ekonomskih karakteristika.

Tablica I. Karakteristike odvodnika prenapona s iskrištem i bez njega

KARAKTERISTIKE ODVODNIKA	
S 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, veći preostali napon i veći troškovi
Dodatni troškovi za iskrišta s 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

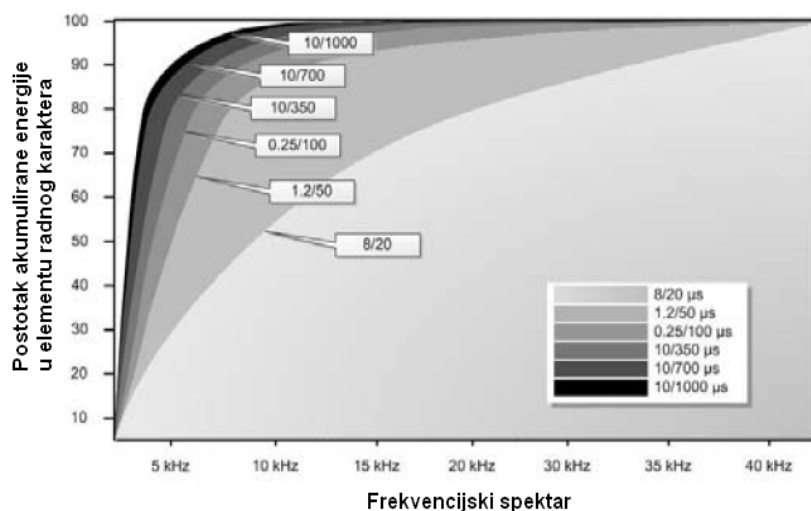
Očito je da postoje razlozi zbog kojih bi se ugrađivao jedan ili drugi od ova dva odvodnika, međutim to se ne može generalno odrediti, već je na korisniku da poznavajući karakteristike mreže izabere odgovarajući tip.

3. UTJECAJ OTPORA UZEMLJENJA I IMPEDANCIJE UZEMLJENJA

Uloga uzemljenja je u tome da se njime osigura dovoljno mali otpor kako bi se struja kvara, određene prijelazne pojave, struja groma odvele u zemlju. Uzemljivanje je u biti ostvarivanje dovoljno dobre električne veze s zemljom.

Kod promatranja općenito uzemljenja nije dovoljno osigurati dovoljno nizak radni otpor uzemljenja, nego i dovoljno nisku impedanciju uzemljenja. Tipični valni oblik koji se pojavljuje kod prijelaznih pojava nakon udara groma ili sklapanja uređaja sastoji se od visokofrekventnog i niskofrekventnog dijela valnog oblika. Dio vala prijelazne pojave visoke frekvencije ima vrlo strm porast čela (manje od 10 μ s vršne vrijednosti struje), dok se niskofrekventni dio prijelazne pojave odlikuje u tome što ima dugo opadajući karakter struje prijelazne pojave. Visokofrekventni dijelovi vala prijelazne pojave značajni su zbog induktivnih efekata, dok su niskofrekventni dijelovi značajni za akumuliranje energije u elementima radnog karaktera.

Slika 3. prikazuje postotak akumulirane energije u elementima radnog karaktera za određene frekvencije kod karakterističnih valnih oblika struje za udar groma.



Slika 3. Akumulirana energija u elementima radnog karaktera

Učinkovit sustav uzemljenja mora imati dovoljno nisku impedanciju uzemljenja i tako osiguravati i maksimizirati disipaciju energije u zemlju pri proradi odvodnika prenapona. Cijeli sustav uzemljenja se pri proradi odvodnika prenapona ne ponaša kao čisti radni otpor već se on može nadomjestiti impedancijom. Zbog toga je nama važno da imamo dovoljno nisku impedanciju, a ne samo radni otpor uzemljenja.

Kapacitet uzemljivačkog sustava dolazi do izražaja kod samog početka prijelazne pojave kad je važno da se sva ta količina energije sigurno odvede u zemlju. Kako bi se osigurao dovoljno velik kapacitet uzemljivačkog sustava koriste se plosnate trake jer one mogu na sebe preuzeti veću količinu naboja nego trake odnosno vodiči obliha profila. Induktivitet uzemljivačkog sustava dolazi do izražaja kod vrlo brzih promjena struje u vremenu, jer naravno uslijed promjene struje u vremenu dolazi do inducirana napona ($L \times di/dt$). Taj inducirani napon može porasti na vrijednost dostatnu da dođe do preskoka napona s uzemljivačkog sustava preko izolatora na zdravu fazu. To naročito dolazi do izražaja kod distribucijskih dalekovoda, jer izolatori nemaju tako visoki izolacioni nivo kao dalekovodi u prijenosnim mrežama. Sve to dovodi do zaključka da treba osigurati čim nižu vrijednost induktiviteta uzemljivačkog sustava. To se dijelom može postići da u uzemljivačkom sustavu koristimo plosnate vodiče, a nikako ne okrugle.

Na kraju dolazimo i do uloge radnog otpora uzemljenja čiji je glavni značaj u tome što on svojom što manjom vrijednosti osigurava sigurno odvođenje energije u zemlju u vrijeme kad val prijelazne pojave opada. Također ako se uzemljivač postavlja u područje vrlo visokog specifičnog otpora tla, kanal u koji se postavlja traka ispunjuje se zemljom ili nekim bolje vodljivijim materijalima (bentonit). Trake se postavljaju, gledajući presjek trake, tako da je duža stranica presjeka trake okomita na zemljinu površinu kako bi se ostvario što bolji kontakt između uzemljivača i zemlje i kako ne bi došlo pri ulegnuću zemlje do gubljenja kontakta između zemlje i trake.

Mjerenje otpora uzemljenja s klasičnim mjernim instrumentima koji nam u biti daju veličinu radnog otpora uzemljenja, nisu relevantni i ne daju nam dobar rezultat o tome da li će se udar groma odnosno naboj sigurno odvesti u zemlju. Ako zamislimo nadomjesnu shemu uzemljivača kao serijski spoj induktiviteta i radnog otpora može se napisati izraz gdje je u prijelaznoj pojavi napon uzemljivača jednak:

$$V = L \frac{di}{dt} + iR \quad (1)$$

Klasični instrumenti za mjerenje otpora uzemljenja u svojoj mjernoj metodi injektiraju istosmjernu struju ili struju niske frekvencije (127 Hz). Takav instrument ne može zadovoljiti gornju jednadžbu za izračun potencijala koji se pojavljuje na samom uzemljivaču. On uzima u obzir samo dio jednadžbe (iR) u svojoj mjernoj metodi.

Na primjer, zamislimo da radni otpor uzemljenja nekog uzemljivačkog sustava iznosi $5\ \Omega$, a induktivitet $50\ \mu\text{H}$. Pri uobičajenom udaru groma vršna vrijednost struje prvog direktnog udara može dosegnuti i do $50\ \text{kA}$ u vremenu porasta od $10\ \mu\text{s}$, a pri dodatnim udarima $25\ \text{kA}$ u vremenu porasta $0,5\ \mu\text{s}$. Tijekom prvog udara, ako bi se gledao samo radni otpor uzemljivača, potencijal uzemljivača iznosi:

$$VR=IR=50\ \text{kA} \times 5\ \Omega =250\ \text{kV} \quad (2)$$

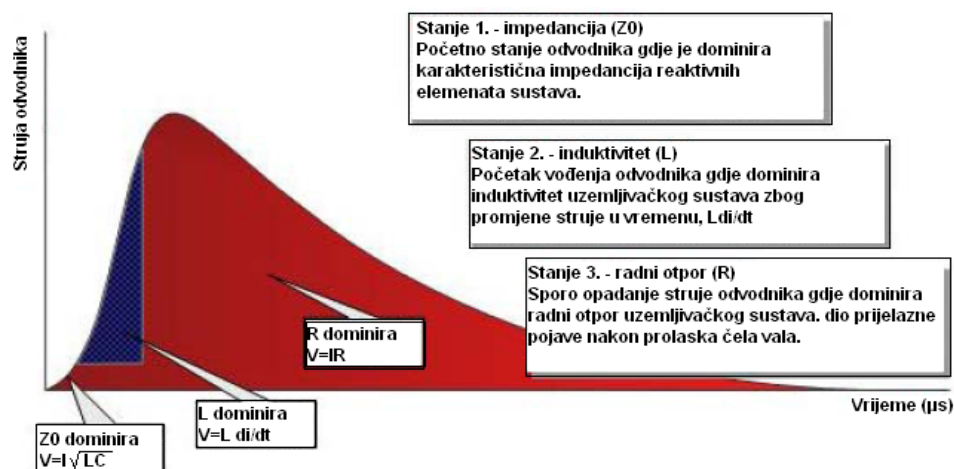
Međutim to nije pravo stanje stvari jer nije uzet u obzir i induktivitet samog uzemljivačkog sustava. Izračunavanjem izraza :

$$VL=L\ di/dt=50\ \mu\text{H} \times 50\ \text{kA}/10\ \mu\text{s} = 250\ \text{kV} \quad (3)$$

i zbrajanjem rezultata izraza (2) i (3) kako kaže izraz (1) dobije se da potencijal uzemljivačkog sustava postigne vrijednost $500\ \text{kV}$. U slučaju da dođe i do nekoliko naknadnih udara groma napon bi mogao porasti i do $2,5\ \text{MV}$.

Iz svega navedenog zaključuje se da rezultati koji se dobiju klasičnim mjerenjem otpora uzemljenja nisu relevantni kod promatranja odvodnje struje groma u zemlju jer se njima dobiva samo radni otpor sustava uzemljenja, a ne kako se vidi iz prethodno navedenog važnija impedancija uzemljenja. Impedanciju uzemljenja se može izmjeriti simulacijom. Naime u uzemljivački sustav se injektira struja karakterističnog oblika koja simulira struju groma. Tad se posebnim instrumentima mjeri impedancija uzemljivačkog sustava.

Na veličinu impedancije uzemljenja utječe također kompletna spojna oprema kojom se uzemljivač spaja na odvodnik prenapona. Na slici 4. može se vidjeti ponašanje sustava uzemljenja od prorade odvodnika prenapona do odvodnje kompletne struje groma u zemlju.



Slika 4. Karakterističan valni oblik struje groma kroz uzemljivački sustav

Kako je prethodno navedeno da bi se izmjerila impedancija uzemljenja, a ne otpor uzemljenja moramo imati posebne mjerne instrumente. Danas postoje u svijetu instrumenti koji mogu injektirati u zemlju struju visoke frekvencije i kvocijentom napona i injektirane struje odrediti impedanciju uzemljenja. U novije vrijeme postoje instrumenti čija frekvencija injektirane struje 'šeta' u rasponu od stotine hertza do nekoliko MHz. Ovaj instrument je moćniji od prethodnog i s njim se može mjeriti i radni otpor uzemljenja.

Koristeći takav instrument moguće je ocijeniti kvalitetu uzemljivačkog sustava ocjenjujući efektivnu vrijednost impedancije uzemljenja u rasponu frekvencije od $63\ \text{kHz}$ do $1\ \text{MHz}$ što propisuju standardi zaštite udara od groma. Tako, ako uzemljivački sustav ima:

- Z_{ef} manja od $10\ \Omega$: uzemljenje je izvrsno
- Z_{ef} između $10\ \Omega$ i $30\ \Omega$: uzemljenje je dobro
- Z_{ef} između $30\ \Omega$ i $40\ \Omega$: uzemljenje je prihvatljivo
- Z_{ef} veća od $40\ \Omega$: uzemljenje je slabo

Ove vrijednosti su vodilja kod uzemljivačkih sustava za odvodnju struje groma u zemlju.

4. UGRADNJA LINIJSKIH ODVODNIKA PRENAPONA NA 20 KV DALEKOVOD PETEHI

Problem atmosferskih prenapona na srednjenaponskim mrežama izražen je u cijelom distribucijskom području HEP ODS-a d.o.o. Elektroistre Pula. Broj grmljavinskih dana u godini kreće se u rasponu 30 do 45. Trasa dalekovoda Petehi prostire se od trafostanice Vinčent 110/20 kV prema unutrašnjosti Istre. Kroz svoju trasu dalekovod prolazi kroz kameniti dio koji je izložen udarima groma zbog svoje nadmorske visine (i do 340 m). Zadnji dio trase dalekovoda prolazi po rubu vrha kanjona rijeke Raše gdje su udari groma vrlo česti. Spomenuti dalekovod je prvotno bio 10 kV vod koji je 20.03.2007. prešao na 20 kV nivo. Na dalekovodu nema nekih značajnijih potrošača, ali ima dosta obrtnika koji u svojim zaseocima imaju privatne obrte te je zato od velike važnosti da imaju osiguranu kvalitetnu i sigurnu opskrbu električnom energijom. Dužina trase dalekovoda iznosi oko 17,5 km. Kvarovi pri direktnom udaru groma bili su neminovni. Udarci groma uzrokovali su oštećenja novih drvenih stupova (Slika 5.), puknuća izolatora, pregaranje strujnih mostova.



Slika 5. Oštećenje stupa

Prelaskom na 20 kV napon problem se povećava te se nakon razrade problema odlučuje na ugradnju linijskih odvodnika prenapona zajedno s iskrištima. Pregledom trase dalekovoda te analiziranjem povijesti kvarova na dalekovodu odabrano je 10 mjesta na kojima su ugrađeni linijski odvodnici prenapona u seriji s iskrištem na sve tri faze dalekovoda. Na određenoj mikrolokaciji odabrano je ono mjesto koje je bilo najizloženije udarcima groma i koje se ujedno nalazilo na najvećoj nadmorskoj visini.

Pripremni radovi obuhvaćali su sljedeće:

- Mjerenje specifičnog otpora tla
- Zamjenu oštećenih stupova te izradu uzemljivača oko stupnog mjesta na koji će se odvodnici ugraditi
- Mjerenje otpora uzemljenja

Rezultati mjerenja specifičnog otpora tla, te rezultati mjerenja otpora uzemljenja nakon izrade uzemljivača prikazani su u sljedećoj tablici:

Tablica II. Rezultati mjerenja specifičnog otpora tla i otpora uzemljenja

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\rho_e(\Omega m)$	126,4	37,8	157,6	39,5	68,3	14,9	16,8	9,6	27,5	129
$R_e(\Omega)$	33,2	10,28	39,7	25,3	24,7	6,06	9,12	3,79	14,76	24,26

U sklopu montaže linijskih odvodnika prenapona na svakom stupnom mjestu postavljen je brojač prorade. Brojač prorade odvodnika broji prorade u sve tri faze na jednom stupnom mjestu. U tom slučaju ne zna se koju fazu najčešće pogađa udar groma, ali znamo na kojim mjestima se najčešće događaju atmosferska pražnjenja.

Glava stupa s ugrađenim odvodnikom prenapona i svom spojnom opremom prikazana je na slici 6.



Slika 6. Glava 20 kV stupa s ugrađenim linijskim odvodnicima prenapona pojačana električki i mehanički zbog prijelaza preko ceste

5. ISKUSTVA NAKON GODINU I POL DANA PRIMJENE

Odvodnici prenapona ugrađeni su u travnju 2008. godine. Nakon punih godinu i pol dana primjene linijskih odvodnika prenapona može se reći da je njihova ugradnja bila ispravno rješenje u otklanjanju problema atmosferskih pražnjenja na 20 kV dalekovodu Peteši. Te činjenice proističu na temelju statistike koja jednostavno kazuje da je na spomenutom vodu bilo manje intervencija radi kvarova, a brojači prorade zabilježili su udare groma koji su u tom vremenskom razdoblju bili odvedeni u zemlju. Naravno svaki taj udar groma bio je potencijalni kvar ukoliko ne bi bio odveden u zemlju. Sam odvodnik je toliko brz da on u nekim slučajevima toliko brzo provede da zaštitna od zemnog spoja i ne proradi, jer njoj je vrijeme prorade duže od vremena odvodnje struje groma u zemlju. Na deset odabranih mjesta, koja su odabrana iskustveno na temelju lokacije gdje se događa najveći broj kvarova na vodu, broj prorada linijskih odvodnika prenapona u tromjesečnom razdoblju prikazani su u tablici III.

Tablica III. Broj prorada odvodnika prenapona nakon godinu dana na pojedinom mjestu ugradnje

Datum očitavanja	Mjesto ugradnje odvodnika										
		Bričanci (cesta)	Bričanci (polje)	Foli	Foli (polje)	Foli (cesta)	Draguzeti	Filini	J.kal	Bašići	Balići
	Početno stanje	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	5.mjesec 2008	6	7	8	7	7	6	6	-	6	6
	8.mjesec 2008	6	7	8	7	7	6	6	9	6	6
	11.mjesec 2008	6	7	8	7	7	6	6	9	10	7
	2.mjesec 2009	6	7	9	8	8	6	7	9	11	7
	5.mjesec 2009	6	7	9	8	8	6	7	9	11	7
	9.mjesec 2009	7	8	12	17	18	7	9	11	14	11
	Ukupno prorada	1	2	6	11	12	1	2	5	8	5

Početno stanje brojača nije bilo nula već zbog tvorničkih ispitivanja svi brojači su bili na broju šest. Iz tablice vidimo da je u godinu i pol dana bilo sveukupno 53 prorada linijskih odvodnika prenapona. Sve te prorade mogli su biti kvarovi, a to znači prekid napajanja potrošača. U tome se vidi ispravnost

odluke o ugradnji linijskih odvodnika prenapona kao mjera zaštite od prenapona atmosferskih pražnjenja. K tome analiza broja intervencija na 20 kV dalekovodu Petehi pokazala je da je u razdoblju od godinu dana prije i poslije ugradnje linijskih odvodnika prenapona broj intervencija bio smanjen. Naime, godinu dana prije ugradnje odvodnika na vodu je bilo 12 intervencija dok je nakon ugradnje bilo svega 3.

6. ZAKLJUČAK

Glavni cilj ovog projekta bio je smanjiti utjecaj atmosferskih pražnjenja na kvarove u srednjenaponskoj mreži. Prikazani rezultati i analize pokazuju da se u tome uspjelo. Od dalekovoda koji je bio nepouzdan u smislu sigurnosti napajanja dobiven je dalekovod koji praktički ima četiri puta manje intervencija tijekom godine nego što je bio slučaj prije ugradnje linijskih odvodnika prenapona. S obzirom na nisku cijenu odvodnika i laku ugradnju, a ogromnu korist koja se u ovom slučaju dobila investicija ugrađivanja odvodnika se više nego isplatila.

LITERATURA

- [1] S. SADOVIĆ: „Poboljšanje prenaponskih karakteristika visokonaponskih vodova primjenom linijskih odvodnika prenapona, CIGRE savjetovanje, Cavtat, listopad 1997.“
- [2] S. ŽUTOBRADIĆ, M. PUHARIĆ: „Suvremene tendencije u razvoju prenaponske zaštite distribucijskih postrojenja“, Energija 2 (1994)
- [3] S. ŽUTOBRADIĆ: „Zaštita nadzemnih vodova od atmosferskih prenapona“, Energija 1 (1995)
- [4] S. ŽUTOBRADIĆ, M. PUHARIĆ: „Uloga uzemljivača stupova u zaštiti distributivnih vodova od atmosferskih prenapona“, Energija 4 (1998)
- [5] I. 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
- [6] V. KOMEN: „Primjena metaloksidnih odvodnika prenapona za zaštitu distributivnih postrojenja“, magistarski rad, Zagreb 1993.
- [7] D. MIŠKOVIĆ: „Smanjenje broja povratnih preskoka na nadzemnim SN vodovima s visokim otporima uzemljivača“, magistarski rad, FER, Zagreb, 2001.,
- [8] „Kolokvij o metaloksidnim odvodnicima prenapona i njihovoj primjeni“, Zbornik radova Sarajevo 1990.
- [9] D. MIŠKOVIĆ, D. GAMBALETTA, D. JAKOVČIĆ: „Smanjenje utjecaja atmosferskih prenapona na dalekovode srednjeg napona ugradnjom linijskih odvodnika prenapona“ Prvo savjetovanje Hrvatskog ogranka međunarodne elektrodistribucijske konferencije, Šibenik, 18-21. svibnja 2008.
- [10] A.J. SURTEES, A. ROUSSEAU, F. MARTZLOFF: „Ground resistance versus ground impedance“, 28th international conference on lightning protection
- [11] <http://www.encron.hr>
- [12] <http://www.ieee.org/>
- [13] <http://www.lightning.ece.ufl.edu/>
- [14] <http://www.energy.tycoelectronics.com>
Prospektni materijali:
- [15] ABB
- [16] Tyco Electronics Raychem
- [17] Siemens