



## MODERNI ODVODNICI PRENAPONA – SREDSTVO KOORDINACIJE IZOLACIJE U RAZDJELNIM MREŽAMA

### SAŽETAK

U referatu se daje pregled konstrukcije modernih odvodnika prenapona s polimernim kućištem, te njihov odabir za distribucijske razdjelne mreže. Također je prikazana efikasnost zaštite tako odabranim MO odvodnicima prenapona s aspekta koordinacije izolacije.

Na kraju, dat je osvrt na ugradnju MO odvodnika u distributivne mreže s praktičnim primjerima.

**Gljučne riječi:** MO odvodnici prenapona, koordinacija izolacije, efikasnost zaštite, distribucijske mreže

## THE MODERN SURGE ARRESTERS - MEANS FOR INSULATION CO-ORDINATION IN DISTRIBUTION NETWORKS

### SUMMARY

In this paper was given a review of modern construction of polymeric housed surge arresters and their selection for distribution networks. Also it was described protection that's selected MO surge arrester from the viewpoint of co-ordination insulation.

Finally, it was given a comment of installation MO surges arrester in electric power networks with practical examples.

**Keywords:** MO surge arresters, insulation coo-ordination, protection effectiveness, distribution networks

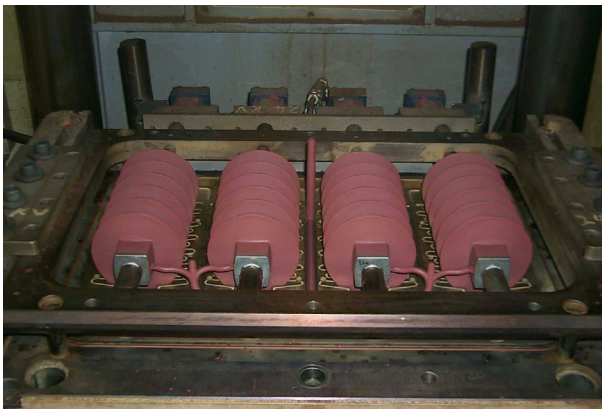
### 1. UVOD

Oprema u elektroenergetskim mrežama i postrojenjima izložena je u svom pogonu mnogim opterećenjima. Jedan od najvećih rizika te izloženosti zasigurno je prenapon. Visoka cijena koštanja, unaprijed isključuje za strojeve i opremu mogućnost da od samog početka budu konstruirani tako da im izlaganja izdrže proizvoljno visoke napone, već se uz određeni rizik taj nivo smanjuje. Po prirodi se općenito smatra da se rizik ne može eliminirati, već samo smanjiti. Praksa potvrđuje ovo pravilo, tako da se u mreže ugrađuju zaštitne naprave s ciljem smanjenja rizika od nedozvoljeno visokih napona (prenapona). Stalni napreci na području znanosti o materijalima, rezultirali su sredinom 80-tih ugradnjom MO odvodnika prenapona u srednjenaponske, a ubrzo zatim i u niskonaponske distributivne mreže. Danas je tako više od 80% svih srednjenaponskih MO odvodnika prenapona u Europi ugrađeno s polimernim kućištem, koje je dodatno doprinijelo ekonomičnosti ove zaštite. Paradoks ovome je tek 1999. godine pojava prvog nacrtu Amandmana 2 na IEC 60099-4 a kojim je obuhvaćena konstrukcija MO

odvodnika s kućištem od polimera. U referatu se daje kratak pregled konstrukcije druge generacije polimernih kućišta MO odvodnika prenapona, njihovo ispitivanje, te na kraju odabir i ugradnja odvodnika u mrežu.

## 2. KONSTRUKCIJA MO ODVODNIKA PRENAPONA

Na aktivnu jezgru sastavljenu od serijski spojenih otporničkih blokova (varistora) i međusobno učvršćenih specijalno ojačanom ovojnicom (najčešće od staklenih niti) postavlja se vanjsko izolacijsko kućište. U tom postupku došlo je do najvećeg napretka, tako da se sada kompaund izolacijske mase tali i brizga direktno u kalupu na prethodno postavljenu jezgru od otporničkih blokova. Ovdje je bitno da kompaundni materijal prijanja i lijepi za stijenke jezgre, bez zračnih šupljina kako između kućišta i metaloksidnih blokova, tako i u samom kućištu (tzv. "void free design"). Primjer brizganja kućišta MO odvodnika prikazan je na slici 1.



Slika 1: Primjer nove metode proizvodnje kućišta MO odvodnika prenapona (brizganje direktno u kalupu)

Najveći udio unutarnjih šupljina u odnosu na ukupni volumen odvodnika nije veći od 1%.

Prianjajuća veza između kućišta i metaloksidnih blokova mora biti dovoljno jaka kako bi se spriječilo njeno pucanje i odvajanje kućišta od blokova, a za vrijeme temperaturnih ciklusa koji često prate rad odvodnika u pogonu. Radi postizanja dovoljne dužine klizne staze i za najteže uvjete rada (industrijsko ili atmosfersko onečišćenje) sastavni dio kućišta čine izolacijski šesirići različitih veličina i oblika (ovisno o dizajnu).

Pregled tehničkih zahtjeva za konstrukciju MO odvodnika prenapona dat je u Tablici 1.

Tablica 1. Tehnički zahtjevi za konstrukciju MO odvodnika prenapona, prema [1]

1.	Standard mjerodavan za konstrukciju	IEC 60099-4 te važeći amandmani
2.	Nazivna odvodna struja ( $I_n$ )	10 kA
3.	Klasa linijskog pražnjenja	1
4.	Otpornost na struju KS-a	20 kA, min. 0,2 s
5.	Izvedba spoja kućišta i metaloksidnih blokova	"void free design" (bez zračnih šupljina)
6.	Min. promjer nelinearnog otporničkog bloka	40 mm
7.	Otpornost na savijanje (minimum)	200 Nm
8.	Moment uvijanja (maksimum)	50 Nm
9.	Čvrstoća na vlak (minimum)	1000 Nm
10.	Dužina klizne staze	min. 25 mm/kV $U_m$ klasa III prema IEC 815
11.	Visina unutarnjih parcijalnih pražnjenja	maks. 10 pC
12.	Sposobnost apsorpcije energije	min. 4,5 kJ/kV $U_c$ za nazivnu struju pražnjenja ( $I_n$ ) min. 2,3 kJ/kV $U_c$ za sklopnu udarnu struju
13.	Učvršćenje odvodnika za podlogu	vijak M12, nerđajući čelik
14.	Priključak odvodnika na energetske vodič	stezaljka ili vijak M12, nerđajući čelik

Radi jednostavne i mehanički robusne konstrukcije jezgre i smanjenog rizika u slučaju kvara, odvodnici s polimernim kućištem mogu se koristiti također u dosta slučajeva, kao potporni izolatori što pojednostavljuje njihovu ugradnju.

### 3. ISPITIVANJE ODVODNIKA PRENAPONA

Radi provjere konstruktivnih svojstava odvodnika prenapona, isti se podvrgava sveobuhvatnim **tipskim ispitivanjima** prema [2], a u slučaju nadopuna odnosno amandmana i sukladno njihovim odredbama [3].

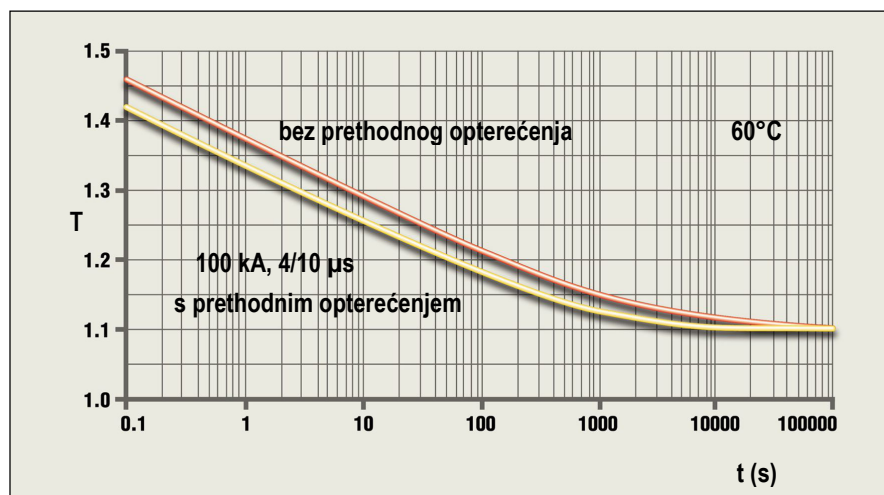
Pregled tipskih ispitivanja za MO odvodnike prenapona dat je u [1] Tablica 2.4.

Od novijih ispitivanja koja čine komplet tipskih ispitivanja valja istaći ona prema Amandmanu 2 na IEC 60099-4 i to:

- ispitivanje strujom kratkog spoja:
  - nazivnom 20 kA – 0,2 s
  - reduciranom 12 kA – 0,2 s
  - niskom 600 A – 1 s
- ispitivanje parcijalnih pražnjenja
- ispitivanje zabrtvljenosti
- ispitivanje na ubrzano starenje pod vanjskim utjecajima
  - serija A : 1000 h
  - serija B : 5000 h.

Radi provjere kvalitete proizvedenih odvodnika prenapona, proizvođač mora iste podvrci pojedinačnim (rutinskim) ispitivanjima i kupcu predočiti dobivene rezultate. Pregled pojedinačnih ispitivanja dat je u [1] Tablica 2.5.

Nadzorna ispitivanja ili ispitivanja kod preuzimanja provode se prema sporazumu između kupca i proizvođača, a na količini uzoraka koja se određuje kao najbliži niži cijeli broj od trećeg korijena ukupne količine koja se nabavlja ( $\sqrt[3]{n}$ ) a navedena su u [1] (Tablica 2.6.).



Slika 2. Značajka otpornosti odvodnika na trajanje privremenog prenapona ( $T = \frac{U_{TOV,max}}{U_c}$ )

### 4. ODABIR MO ODVODNIKA PRENAPONA

Odabir karakteristika MO odvodnika prenapona je, ustvari, kompromis između nastojanja da njegov zaštitni nivo bude što niži, da bude što otporniji na privremene prenapone ( $U_{TOV}$ ), da ima što veću sposobnost apsorpcije energije (energetsku podnosivost), te da njegova cijena bude ekonomična. Obzirom da moderne konstrukcije odvodnika nemaju integrirano iskrište, to su njihovi otpornički blokovi trajno priključeni na napon pogonske frekvencije. U normalnom pogonskom stanju, kroz odvodnik

protječe u suštini kapacitivna struja opterećena s vrlo malom nesinusnom radnom komponentom. Ova radna komponenta kontinuirano proizvodi gubitke u odvodniku, što ima za rezultat lagano zagrijavanje odvodnika iznad temperature okoline u kojoj se nalazi. U slučaju kada se napon povisi, radna komponenta struje i s njom u vezi gubici se rapidno povećavaju. Međutim, zahvaljujući njegovoj termičkoj masi, odvodnik neće biti trenutno uništen, nego će umjesto toga biti zagrijan za više ili manje stupnjeva. Ukoliko ovo opterećenje nastane uslijed privremenog prenapona prihvatljive visine i dozvoljenog vremena trajanja, na odvodniku se po svojoj prilici neće pojaviti trajna oštećenja.

Krivulje vrijednosti privremenog prenapona (sl. 2) pokazuju koliko dugo odvodnik može izdržati određeni napon bez nastanka "termičkog pobjega".

Vrijednost otpornosti na privremeni prenapon prikazani su kao apsolutni brojevi ili kao relativni odnos prema trajnom radnom naponu ( $U_c$ ).

#### 4.1. Određivanje trajnog radnog napona ( $U_c$ )

Prema definiciji iz [2] trajan radni napon ( $U_c$ ) je najveća dopuštena efektivna vrijednost izmjeničnog napona pogonske frekvencije koji može biti trajno primijenjen između priključaka odvodnika. Ukoliko želimo da odvodnik uspješno radi u mreži, kod odabira  $U_c$  moraju biti ispunjena dva slijedeća uvjeta:

1.  $U_c$  mora biti veći ili jednak trajnom pogonskom naponu priključenom na odvodniku. Za odvodnik spojen između faznog vodiča i zemlje treba koristiti slijedeći uvjet:

$$U_c \geq \frac{U_m}{\sqrt{3}} \quad \text{gdje je } U_m \text{ najviši napon opreme.} \quad (1)$$

2. Opterećenje odvodnika podvrgnutog privremenim prenaponima mora biti ispod ili na krivulji otpornosti odvodnika na trajanje privremenog prenapona (sl. 2). Za ovu provjeru potrebno je poznavanje vremena trajanja privremenog prenapona (vrijeme djelovanja zaštite) a vrijedi slijedeći uvjet:

$$U_c \geq \frac{U_{TOV}}{T} \quad \text{gdje je } T \text{ određeno vremenom prorade zaštite (t)} \quad (2)$$

i karakteristikom privremenog prenapona (sl. 2).

Radi sigurnosnih razloga uvijek treba koristiti od dvije ponuđene, donju krivulju koja je više realna situaciji u pogonu. Ukoliko se radna točka nalazi iznad ove krivulje, promatrani se odvodnik ne može koristiti u toj mreži. Mora se ići na odabir odvodnika s višim trajnim radnim naponom  $U_c$ .

Visina privremenog prenapona ( $U_{TOV}$ ) određuje se za mreže s **iskapčanjem kvara** (izolirano ili otporno uzemljeno zvjezdište) prema izrazu:

$$U_{TOV} = k_z \cdot \frac{U_m}{\sqrt{3}} \quad \text{gdje je } k_z \text{ faktor zemljospoja i ključni čimbenik} \quad (3)$$

za određivanje amplitude privremenog prenapona

dok se privremeni prenapon za mreže s izoliranim zvjezdištem i **bez iskapčanja kvara** određuje kao:

$$U_{TOV} = U_m \quad \text{smatra se } U_{TOV} \text{ trajnim prenaponom.} \quad (4)$$

Vrijednosti faktora zemljospoja  $k_z$  objavljene su u studiji Instituta za elektroprivredu i energetiku d.d.[5].

Konkretno odabrane vrijednosti trajnog radnog napona ( $U_c$ ) u ovisnosti o načinu uzemljenja zvjezdišta i trajanju kvara za distribucijske razdjelne mreže 10, 20, 30 i 35 kV prikazane su u Tablici 2.

Različiti primjeri i specijalni slučajevi određivanja trajnog radnog napona ( $U_c$ ) dati su u [4].

#### 4.2. Određivanje nazivnog napona odvodnika ( $U_r$ )

Prema definiciji iz [3] nazivni napon odvodnika definiran je kao najviši napon odvodnika pogonske frekvencije, a koji se u trajanju od 10 sek. može narinuti na odvodnik bez njegovog oštećenja.

Određuje se prema slici 2 i to za  $t = 10$  sek kao:

$$U_r = T \cdot U_c = 1,25 \cdot U_c \quad (5)$$

Postoje i drugi načini za određivanje nazivnog napona odvodnika  $U_r$  (primjerice preko poznavanja ili mjerenja  $U_{TOV}$ ), međutim za moderne konstrukcije odvodnika preporuča se ovdje opisani način određivanja.

### 4.3. Nazivna odvodna struja ( $I_n$ ) i klasa odvodnika prenapona

Kao što je to već potvrđeno i određeno u ranijim studijama i radovima u [1], [5], [6] i [7] za prenaponsku zaštitu u distributivnim SN razdjelnim mrežama svrsishodno je i ekonomično korištenje MO odvodnika prenapona nazivne odvodne struje 10 kA i klase 1. S druge strane proračuni potrebne specifične energije koju odvodnik apsorbira tijekom svog pogona [5], [6] i [7] pokazuju da te vrijednosti niti približno ne dostižu vrijednosti koje su određene kao uvjet za klasu 1 u Tablici 1 (iz Biltena HEP-a br. 90).

Tablica 2. Vrijednosti parametara MO odvodnika prenapona za ugradnju u distribucijsku mrežu HEP-a (Tablica 2.2. iz Biltena HEP-a br. 90)

Nazivni napon mreže $U_n$ (kV) Max. pogonski napon $U_m$ (kV)	10		20		30 i 35			
	12		24		38			
Zvezdište transformatora	izolirano		uzemljeno $I_{IKS} \leq 300A$		izolirano		uzemljeno $I_{IKS} \leq 1000A$	
Trajanje kvara $t$ (s)	bez iskapćanja $t = \infty$	$t \leq 10$	$t \leq 10$	bez iskapćanja $t = \infty$	$t \leq 10$	$t \leq 10$	$t \leq 10$	$t \leq 10$
Faktor zamjospoja $k_z$	1,8	1,8	1,7	1,8	1,8	1,7	1,9	1,6 – 1,8
Otpornost odvodnika na privremene prenap. T (za $t = 10$ s)	-	1,25	1,25	-	1,25	1,25	1,25	1,25
Visina privremenog prenapona $U_{TOV}$ (kV)	12	12,5	12,6	24	25	25,2	41,7	40
Trajni radni napon $U_c$ (kV)	12	10	10	24	20	20	33	32
Nazivni napon $U_r$ (kV)	15	12,5	12,5	30	25	25	41	40
Nazivna struja pražnjenja odvodnika $I_n$ (oblika 8/20 $\mu$ s)	10	10	10	10	10	10	10	10
Max. preostali napon na odvodniku $U_{res}$ (kV) za nazivnu odvodnu struju $I_n$ (kA)	40	33,5	36,5	80	67	73	110	116,8

## 5. EFIKASNOST ZAŠTITE MO ODVODNICIMA PRENAPONA

### 5.1. Zaštitna razina odvodnika ( $U_p$ )

Zaštitna razina odvodnika ( $U_p$ ) definira se kao najviši preostali napon na stezaljkama odvodnika kod proticanja nazivne odvodne struje oblika vala 8/20  $\mu$ s. Najveći broj odvodnika koji se danas ugrađuju u razdjelne distributivne mreže HEP-a imaju nazivnu odvodnu struju 10 kA pa je za određivanje zaštitne razine odvodnika upravo to mjerodavna vrijednost uz oblik vala 8/20  $\mu$ s. Obaveza je proizvođača da u tehničkim podacima istakne preostali napon odvodnika za nazivnu odvodnu struju od 10 kA te za multiplicirane vrijednosti iste ( $0,5xI_n$  i  $2xI_n$ ).

Sklopni prenaponi imaju daleko nižu amplitudu nego atmosferski prenaponi. To je razlog zbog čega je interesantno poznavanje maksimalnog preostalog napona kod sklopnih impulsa oblika 30/60  $\mu$ s. Ovi podaci su također obavezni i sastavni dio tehničkih podataka proizvođača odvodnika i to za amplitude struje 125 A i 500 A.

## 5.2. Zaštitna udaljenost odvodnika (L)

Pod zaštitnom udaljenošću odvodnika (L) podrazumijeva se maksimalna udaljenost između odvodnika i štice pogonskog sredstva, kod kojeg je ovo još dostatno zaštićeno. Za dimenzioniranje prenaponske zaštite i koordinaciju izolacije, važno je poznavati ovu udaljenost.

U SN razdjelnim distributivnim mrežama zaštitna udaljenost (zaštitna zona) odvodnika približno se određuje kao:

$$L = \frac{v}{2 \cdot S} \cdot \left[ \frac{\text{BIR}}{1,2} - U_p \right]$$

gdje je:

$v = 300 \text{ m}/\mu\text{s}$  (brzina svjetlosti)

BIR = podnosivi atmosferski udarni napon štice pogonskog sredstva odnosno Bazna udarna Izolacijska Razina (*engl.* basic impulse level)

za  $U_m = 12 \text{ kV}$ , BIR = 75 kV

za  $U_m = 24 \text{ kV}$ , BIR = 125 kV

za  $U_m = 38 \text{ kV}$ , BIR = 170 kV

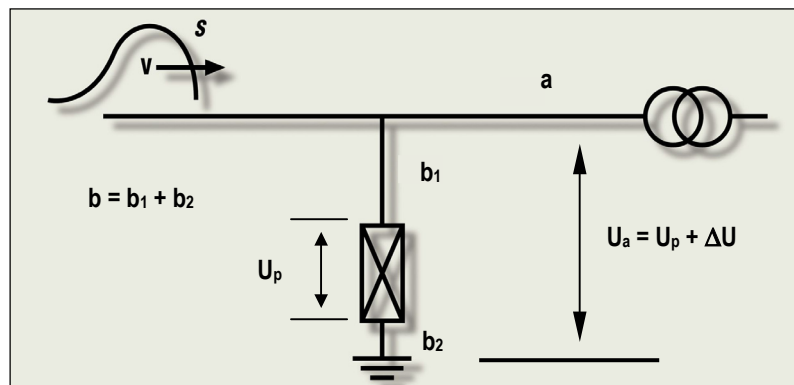
$U_p$  = zaštitna razina odvodnika (kV)

(preostali napon kod nazivne odvođe struje)

$S$  = strmina čela prenaponskog vala (kV/ $\mu\text{s}$ )

za nadzemne vodove s drvenim stupovima  $S = 1550 \text{ kV}/\mu\text{s}$

za nadzemne mreže s uzemljenim konzolama  $S = 800 \text{ kV}/\mu\text{s}$



Slika 3: Shematski prikaz nailaska putujućeg vala na odvodnik prenapona

Uzimajući u obzir sve gornje parametre dobivaju se približno slijedeći rezultati:

$L = 2,3 \text{ m}$  za nadzemne vodove s drvenim stupovima

$L = 4,5 \text{ m}$  za nadzemne vodove s uzemljenim konzolama.

Prema shematskom prikazu na slici 3, zbroj pojedinačnih udaljenosti  $a$  i  $b$  ne smije prelaziti zaštitnu udaljenost  $L$  tj. vrijedi:

$$a + b \leq L$$

Ovaj proračun podrazumijeva da je spojni vodič odvodnika sa zemljom tako kratak da se može zanemariti. Ako to ne bi bio slučaj, ta dužina bi se morala dodati dužini  $b$ . U praksi, se utjecaj kapaciteta transformatora na zaštitno područje ne može jednostavno zanemariti. Kapacitet može ponekad voditi k dramatičnom smanjenju zaštitne udaljenosti  $L$ : ovisno o udaljenosti  $b$ , ovo može biti i do 80%. Ovo je osobito ozbiljno kod nadzemnih mreža s drvenim stupovima. Primjera radi, za nazivni napon mreže do 24 kV, udaljenost  $b$  približno 1 m te zaštitnu udaljenost  $L$  od približno 2 m, dobivamo da je zaštitna

udaljenost  $a$  samo približno 1 m. Za nazivne napone iznad 24 kV (primjerice 38 ili 42 kV) najveća zaštitna udaljenost  $b$  iznosi samo 0,6 m.

Konačno, mogu se navesti tri opća pravila za smještaj odvodnika u odnosu na štice uređaj:

Pravilo 1: Uređaj ili aparat i zaštitna naprava, odnosno odvodnik trebaju biti spojeni na isti uzemljivački sustav. Galvanski spoj između dozemne strane zaštitnog uređaja i opreme treba biti što je moguće kraći. Primjena ovog pravila garantira da je naponsko naprezanje na aparatu samo zbroj od  $U_p$  i  $\Delta U$ .

Pravilo 2: Ukupna duljina duž spoja "a" između dijela voda i štice aparata, te spojeva "b" od voda preko odvodnika do zemlje treba biti što kraća. Primjena ovog pravila svodi na minimum pad napona  $\Delta U$ .

Pravilo 3: Treba težiti da spojevi "b" budu kraći od spoja "a". Posljedica je opet smanjenje  $\Delta U$ , a u konačnici se smanjuje očekivani broj slučajeva kod kojih će prenapon na aparatu premašiti baznu izolacijsku razinu (BIR).

Navedena pravila su od posebnog značaja kod zaštite transformatora (i malih generatora) direktno spojenih na nadzemni vod. Međutim, osim primjene gornjih triju pravila i praktičnih preporuka za tzv. zaštitnu udaljenost, kod zaštite transformatora SN/NN treba obratiti pažnju zaštiti izolacije niskonaponskog namotaja i priključaka, ali to je posebna tema.

## 6. UGRADNJA MO ODVODNIKA PRENAPONA U MREŽE

### 6.1. Uvod

Jedna od definicija discipline koordinacije izolacije kaže da je to postupak dovođenja u skladan odnos dielektričke čvrstoće izolacije električne opreme s očekivanim prenaponima i karakteristikama prenaponskih zaštitnih uređaja. Obično se koordinacija izolacije dijeli u onu za vodove i postrojenja, a svaka od njih za prijenosne i distributivne mreže. U koordinacijama izolacije distributivnih vodova i distributivnih postrojenja iznimnu ulogu imaju moderni metaloksidni odvodnici prenapona. Danas su metaloksidni odvodnici prenapona pravilo za većinu distributivnih mreža u svijetu, a u Hrvatskoj i obaveza prema najnovijoj normi HEP-a, Direkcije za distribuciju [1]. Stoga moderni odvodnici prenapona direktno utječu na osnovnu svrhu koordinacije izolacije, a to je postizavanje prihvatljivog rizika kvara vodova i postrojenja. Za distributivne vodove on se izražava kroz nisku razinu grmljavinskih preskoka na 100 km god, a za postrojenja kroz visoku srednju vrijednost vremena između ispada na 100 ili 500 godina.

Optimalna zaštita opreme distribucijskih mreža može se postići putem modernih metaloksidnih odvodnika (i dijelom iskrišta) prikladno dimenzioniranih i pozicioniranih. Za distribucijske mreže obično se daju jednostavni postupci i formule, koje se koriste u postupku koordinacije izolacije uz pomoć modernih odvodnika prenapona i to:

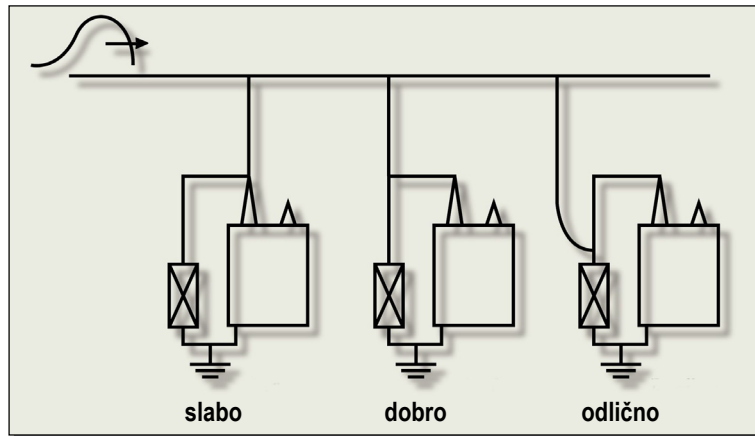
- dimenzioniranje odvodnika prenapona
- ocjena preskočnih karakteristika tipične SN izolacije u slučaju atmosferskih prenapona
- pozicioniranje modernih odvodnika posebno u odnosu na transformatore i kabele
- ocjena efekata prenaponske zaštite na kvalitetu napajanja.

Točka a) je obrađena u poglavljima 4. i 5., a u daljnjem tekstu će se obraditi neki aspekti točke c). Preostale točke prelaze okvir ovog referata.

### 6.2. Opće pozicioniranje odvodnika kod zaštite transformatora

Slika 4. prikazuje 3 (tri) načina priključka odvodnika prenapona namijenjenih za zaštitu transformatora. Najbolji je treći način ( $b = 0$ ) iako bi se i on mogao poboljšati smanjenjem udaljenosti  $a$ .

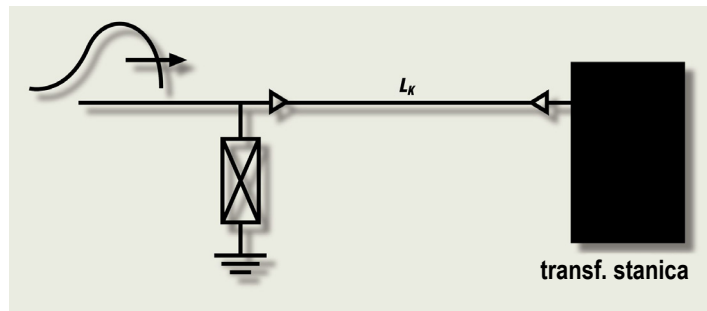
U nekim slučajevima iz prakse, primjerice kod nadzemnog voda na drvenim stupovima, može biti vrlo teško ili gotovo nemoguće postići maksimalno dozvoljenu udaljenost  $b$  od 1 m ili 0,6 m. U tom slučaju, može pomoći mala izmjena konfiguracije voda tako da se na zadnja 3 stupa prije transformatora uzemlje nosive konzole izolatora. Ovime se smanjuje strmina čela prenaponskog vala (S) a time povećava zaštitna udaljenost odvodnika. Postoji i jedna druga, elegantnija metoda, tako da se odvodnici ugrade na jednom stupu prije transformatora umjesto uzemljivanja konzola. Ovo također smanjuje strminu čela prenaponskog vala, ali bez povećanja broja dozemnih ili kratkih spojeva.



Slika 4. Vrednovanje i način priključka odvodnika i štice objekta na mrežu

### 6.3. Pozicioniranje odvodnika kod kabela u spoju s nadzemnim vodom

U mnogim slučajevima, neophodno je zaštititi odvodnicima oba kraja jedne dionice kabela. Za vrlo kratke dionice, biti će dovoljno zaštititi kabel samo na jednom kraju (slika 5).



Slika 5. Priključak nadzemnog voda na transformatorsku stanicu preko kratke dionice kabela

Kabel spojen između nadzemnog voda i transformatorske stanice, izložen je riziku od atmosferskih prenapona koji u ovom slučaju dolaze samo iz nadzemnog voda. Zbog toga, odvodnici prenapona moraju biti postavljeni na mjestu prijelaza nadzemnog voda u kabel. Ugradnja drugog odvodnika (u transformatorskoj stanici) nije neophodna ukoliko dužina kabela  $L_k$  ne prelazi vrijednosti u Tablici 3. U suprotnom slučaju, oprema unutar transformatorske stanice spojena na ovu kratku dionicu kabela, bit će izložena riziku refleksije vala na kraju. Ova pojava, čini ugradnju odvodnika na kraju dionice kabela, neophodnom.

Tablica 3: Maks. dužina kabela  $L_k$  između transformatorske stanice i nadzemnog voda štice odvodnicima samo s jedne strane

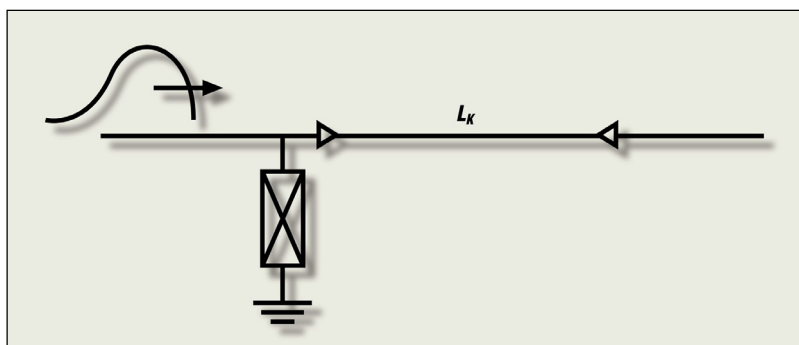
$U_m$ (kV)	$L_k$ (m)			
	Drveni stupovi		Uzemljene konzole	
$Z(\Omega)$	30	60	30	60
12	40	30	40	32
24	28	23	28	24
36	22	20	22	20

Za optimalnu zaštitu kabljskih završetaka i za smanjenje fenomena putujućih valova, odvodnici moraju biti ugrađeni što je moguće bliže kabljskim završecima (slika 6). Svi spojevi kabela na odvodnik (uključujući i spoj uzemljenja!) moraju biti što je moguće kraći, radi održavanja niskih napona u cjelokupnoj konfiguraciji vodiča. Električna zaštita kabela (ekran) mora pri tome biti spojen na uzemljenje odvodnika.



#### 6.4. Pozicioniranje odvodnika za kratke dionice kabela interpolirane u nadzemnom vodu

Ukoliko je kabel interpoliran kao dio neuzemljene nadzemne mreže na drvenim stupovima (slika 6), njegova zaštitna zona  $L_k$  je vrlo kratka.



Slika 6. Kratka dionica kabela u nadzemnom vodu

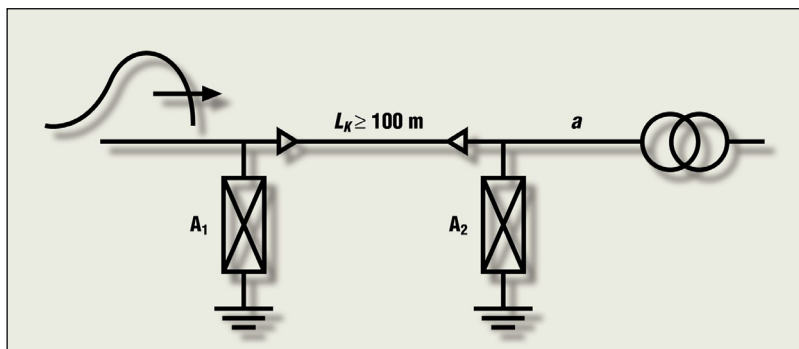
Vrijednosti zaštitne zone  $L_k$  dane su za odvodnik prenapona nazivne odvodne struje  $I_n = 10$  kA i pod uvjetom da je visokofrekventna impedancija kabela konstantna duž cijele dionice.

Tablica 4. Maks. dužina  $L_k$  kabela interpoliranog u nadzemnu mrežu i štice s odvodnikom samo s jedne strane

$U_m$ (kV)	$L_k$ (m)			
	Drveni stupovi		Uzemljene konzole	
$Z(\Omega)$	30	60	30	60
12	9	4	19	14
24	10	5	17	15
36	8	4	15	14

#### 6.5. Pozicioniranje odvodnika kod transformatora na kraju priključnog kabela

Ukoliko dužina kabela  $L_k$  prelazi vrijednosti dane u Tablici 3 i 4 potreban je i drugi odvodnik. Postavlja se pitanje u kojoj mjeri će drugi odvodnik  $A_2$  zaštititi nizvodno postavljeni transformator. U primjeru na slici 7, transformator je spojen na nadzemni vod, preko kabela dužine  $L_k \geq 100$  m.



Slika 7. Drugi odvodnik instaliran između kraja kabela i transformatora

Kao što je već objašnjeno, jedan će odvodnik trebati na strani prijelaza s nadzemnog voda u kabel, a drugi na kraju kabela. Odvodnik  $A_1$  pruža zaštitu od strane voda, a odvodnik  $A_2$  limitira prenapone nastale refleksijom putujućeg vala na kraju kabela.

Tablica 5. Maks. udaljenost  $a$  između kraja kabela i transformatora kada je drugi odvodnik postavljen direktno na kraju kabela

$U_m$ (kV)	$a$ (m)			
	Drveni stupovi		Uzemljene konzole	
$Z(\Omega)$	30	60	30	60
12	20	14	20	14
24	19	12	19	12
36	16	11	20	11

U ovom slučaju, pridržavajući se uvjeta da udaljenost  $a$  ne prijeđe vrijednosti iz Tablice 5, transformator će biti odgovarajuće zaštićen odvodnikom A2.

## 7. ZAKLJUČAK

Ovdje opisana konstrukcija modernih metaloksidnih odvodnika prenapona s polimernim kućištem, u cijelosti zadovoljavaju zahtjevima iz važeće norme IEC 60099-1 te njihov odabir prema IEC 60099 5 + A1. Također u potpunosti zadovoljavaju uvjete iz Biltena HEP-a br. 90 "Kriteriji za izbor i ugradnju prenaponske zaštite mreža i postrojenja srednjeg napona", od 20. veljače 2001 godine.

Samo ispravan odabir odvodnika uz prethodno poznavanje prilika u mreži, garancija su njegovog uspješnog rada te dobre koordinacije izolacije.

Također mjesto i način ugradnje odvodnika kao što je pokazano, vrlo su bitni za ispravnu zaštitu pogonskog sredstva, na što projektanti i inženjeri mreža moraju obratiti više pažnje.

## LITERATURA

- [1] Granska norma HEP-a, N.053.01 klas.br.4.33/00, Bilten HEP-a broj 90/2001: Kriteriji za izbor i ugradnju prenaponske zaštite mreža i postrojenja srednjeg napona
- [2] IEC 60099-4 Part 4; 1991 god. Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems
- [3] EN 60099-5; 1996 god. Surge Arresters – Part 5: Selection and application recommendations modified + A1; 1999 god.
- [4] Raychem: Metal-Oxide Surge Arresters: Selection and Application in Medium Voltage Networks; 2001 god.
- [5] Dr. I. Hrs i autori: Tehnoekonomska opravdanost uvođenja metaloksidnih odvodnika prenapona u distributivne mreže; 1992 god.
- [6] V. Kolega: Prilog poboljšanju prenaponske zaštite distribucijskih mreža srednjeg napona, Magistarski rad; 1998 god.
- [7] V. Komen: Primjena cink-oksidnih odvodnika prenapona za zaštitu distributivnih elektroenergetskih postrojenja, Magistarski rad; 1993 god
- [8] J. Bošnjak: MO odvodnici prenapona za SN distributivne mreže; Časopis ELEKTRO broj 08/2000 god.
- [9] FGH Mannheim-Rheinau: Test Certificate No. HV 99041/1E for Raychem surge arrester type HDA-xxNA; 09/1999 god.
- [10] A. Porrino, I. Alexandri, M. Clement et al.: Protection of MV and LV networks against lightning, Part I: Basic information; CIGRE WG 33.01, 25 IWD, Cavtat 1998 god.
- [11] A. Porrino, I. Alexandri, M. Clement et al.: Protection of MV and LV networks against lightning, Part II: Application to MV networks; CIGRE WG 33.01, 25 IWD, Cavtat 1998 god.
- [12] N. Mikli, G. H. Wiseman: Metalloxid-Überspannungsableiter mit Kunststoffgehäuse; Elektrizitätswirtschaft, Jg.92(1993), H 7,S.314-322
- [13] N. Mikli: Performance Testing of Polymeric Housed Surge Arrester; CIGRE International Conference Zagreb, 9.-12. rujna 1998 god.