

Igor Đurić  
HEP ODS  
[igor.duric@hep.hr](mailto:igor.duric@hep.hr)

Željko Sokodić  
HEP ODS  
[zeljko.sokodic@hep.hr](mailto:zeljko.sokodic@hep.hr)

Josip Kožar  
HEP ODS  
[josip.kozar@hep.hr](mailto:josip.kozar@hep.hr)

## ULAGANJE U SUSTAVE UZEMLJENJA NEUTRALNE TOČKE RURALNE SREDNJONAPONSKE ELEKTRODISTRIBUCIJSKE MREŽE 20 KV

### SAŽETAK

U proteklih nekoliko godina HEP ODS ubrzava aktivnosti prijelaza na 20 kV i povećava udio mreže u pogonu na 20 kV naponu. Prijelaz na 20 kV i povećanje duljine kabela srednjonaponske mreže priključene na pojedinačnu transformatorsku stanicu nepovoljno utječe na porast struje jednog polnog kvara. Postrojenje za uzemljenje neutralne točke srednjonaponske mreže napona 20 kV je točka u kojoj se moraju uskladiti tehničke značajke srednjonaponskog postrojenja u transformatorskoj stanici i tehničke značajke priključene srednjonaponske mreže sa pogonskim pravilima i zahtjevima zakonskog okvira.

Među mogućim tehničkim rješenjima za uzemljenje neutralne točke nužno je izabrati tehnički zadovoljavajuće i financijski optimalno. U radu su prenesena iskustva prikupljena kroz nedavne projekte prijelaza na 20 kV i rekonstrukcije pojmih transformatorskih stanica.

**Ključne riječi:** 20 kV pogonski napon, elektrodistribucijska mreža, uzemljenje neutralne točke,

## INVESTMENTS IN NEUTRAL EARTHING IN RURAL MEDIUM VOLTAGE POWER NETWORK 20 KV

### SUMMARY

One of recent trends in power distribution network managed by HEP ODS (DSO) is speed-up of 20 kV transition. Transition from 10 to 20 kV voltage and increase in length of MV network connected to a SS 35/10(20) kV has negative impact on rise of earth fault current. Earthing equipment in 20 kV network neutral is point where technical aspects of MV switchgear and technical aspects of connected MV network have to be selected to comply with network rules, regulatory and operational demands.

Technical solution for earthing of MV neutral has to comply with technical requirements at optimal cost. Following paper presents some of the experience from recent projects of 20 kV transition and SS reconstruction.

**Key words:** 20 kV, electrical power distribution network, neutral earthing

## 1. UVOD

### 1.1. Razvoj srednjonaponske mreže i prijelaz na 20 kV

Glavne značajke razvoja srednjonaponske mreže u nadležnosti HEP ODS-a su:

- 1) porast udjela energetskih kabela u elektrodistribucijskim mrežama
- 2) porast udjela mreže u pogonu na 20 kV
- 3) porast broja izvora energije priključenih na srednjonaponsku mrežu
- 4) pad tereta u ruralnim područjima
- 5) starenje mreže i porast složenosti zahtjeva za održanje kvalitete i pouzdanosti pogona

Strateške smjernice razvoja srednjonaponske mreže predstavljene su u studijama razvoja distribucijskih područja i u desetogodišnjem planu razvoja elektrodistribucijske mreže [1]. Planiranje prijelaza na 20 kV provodi se u suradnji timova distribucijskog područja i stručnjaka u Sektoru za upravljanje imovinom. Operativne aktivnosti vezane uz izgradnju i održavanje elektrodistribucijske mreže provode se u distribucijskim područjima. Širi okvir aktivnosti na planiranju, pripremi i provedbi prijelaza na 20 kV predstavljen je kroz radove na nedavnim savjetovanjima hrvatske stručne zajednice [2],[3].

Sukladno studiji razvoja elektrodistribucijske mreže, a uvažavajući stanje i perspektive promjene opterećenja – odabire se područje (omrežja) koja će prijeći na 20 kV pogonski napon. U razdoblju neposredne pripreme prijelaza na 20 kV pogonski napon detaljno se snima stanje mreže planirane za prijelaz i planiraju nužni zahvati. Zahvati se provode na vodovima, sklopnim/rastavnim aparatima, transformatorskim stanicama  $x/0,4$  kV i u transformatorskim stanicama  $x/10(20)$  kV. Ovisno o složenosti i opsegu zahvata, za pojedine se dijelove zahvata planira izrada projektne dokumentacije, ishođenje potrebnih dozvola i tehnički pregled.

Ključan preduvjet sigurnog pogona je uzemljenje srednjonaponske mreže sukladno zakonskom okviru i regulativi primjenjivoj za elektroenergetska postrojenja i vodove nazivnog napona većeg od 1 kV. U završnoj fazi prijelaza na 20 kV provodi se tehnički pregled. Predmet interesa elektroenergetskog inspektora su dokazi o spremnosti za siguran pogon vodova, sklopnih/rastavnih uređaja, uzemljivača, uređaja i opreme u rekonstruiranoj mreži. Proračunima, koji su dio elaborata prijelaza na 20 kV i elaborata uzemljenja neutralne točke srednjeg napona – dokazuje se usklađenost odabrane opreme sa odabranom strujom jednopolnog kratkog spoja i spremnost ugrađenih uzemljivača i opreme za siguran pogon. Sva projektna i tehnička dokumentacija uključivo sa dokaznicama sukladnosti i ispitnim izvješćima se primjereno pohranjuje za potrebe održavanja i planiranja.

### 1.2. Uzemljenje neutralne točke u pojnoj transformatorskoj stanici

Uvodno je napomenuto da podsustav za uzemljenje neutralne točke (u daljem tekstu UNT) u transformatorskoj stanici povezuje srednjonaponsko postrojenje i srednjonaponsku mrežu u sigurnu pogonsku cjelinu. Zbog značajne uloge podsustava za UNT, smjernice za projektiranje i tehnički detalji bili su predmet brojnih studija [4],[5],[6]. Tehnološki razvoj uređaja i opreme za UNT potiče nas na analizu mogućnosti modernih tehničkih rješenja i usvajanje znanja za njihovu pravilnu pripremu.

U elektrodistribucijskoj mreži u RH, primjenjuju se četiri pristupa uzemljenju neutralne točke srednjonaponske mreže:

- 1) neuzemljena neutralna točka
- 2) uzemljenje primjenom otpornika za uzemljenje neutralne točke
- 3) uzemljenje primjenom paralelnog spoja otpornika i prigušnice za nepotpunu kompenzaciju kapacitivnog doprinosa struji jednopolnog kratkog spoja
- 4) uzemljenje primjenom prigušnice za potpunu kompenzaciju struje jednopolnog kratkog spoja<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> U primjeni u RH su prigušnice za gotovo potpunu kompenzaciju struje jednopolnog kratkog spoja s automatskom regulacijom i naprednim sekundarnim sustavom za utvrđivanje srednjonaponskog voda kvaru.

Analize i iskustva korisnika različitih varijanti podusustava za UNT opisani su u radovima pripremljenim za stručne časopise ili savjetovanja hrvatske stručne zajednice [7],[8],[9],[10],[11] i trajno se prikupljaju i sistematiziraju. U nastavku rada žarište interesa je na optimalnom pristupu rekonstrukciji primarne i sekundarne opreme podsustava UNT u transformatorskim stanicama 35/10(20) kV koje napajaju elektrodistribucijske mreže u slabije urbanim (srednji gradovi) i ruralnim (sela i manji gradovi) područjima.

Kod navedenih transformatorskih stanica neprimjereno odabrano postrojenje za UNT može imati veliki utjecaj na konačnu cijenu rekonstrukcije, a slična načela su primjenjiva i za transformatorske stanice izravne transformacije (TS 110/10(20) kV).

### 1.3. Uzemljenja neutralne točke u transformatorskim stanicama HEP ODS

Ključni dokumenti za područje uzemljenja NT u HEP ODS su studije iz 1993.[4],[5]. Prošlo je desetak godina od izrade zadnjeg opsežnog studijskog dokumenta koji se bavio problematikom uzemljenja neutralne točke u SN mrežama. Studija [6] je otvorila brojna područja tehnike i pogona koja utječu na odabir optimalnog tehničkog rješenja, prenijela neka od iskustava elektrodistribucijskih tvrtki i dala preporuke za unaprijeđenje pristupa uzemljenju. S druge strane nismo imali dovoljno sistematiziranih podataka o stanju i pogonu srednjonaponskih postrojenjima i mreža za dublje pogonske analize, a regulativa se nalazila u tranziciji zbog novelacije pravilnika o tehničkim zahtjevima za elektroenergetska postrojenja nazivnog napona preko 1000 V. U konačnici je izostao argumentirani sustavni prijedlog nove tipizacije. Stoga smo u okviru redovitih poslova na pripremi rekonstrukcija transformatorskih stanica i pripremi prijelaza na 20 kV - nastavili rad na unaprijeđenju pristupa uzemljenju NT SN na slijedeći način:

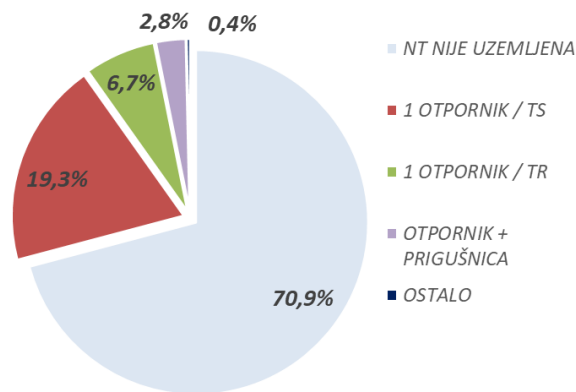
- 1) formirana je baza podataka o elementima SN mreže (Aplikacija planiranje razvoja)
- 2) Izrađene su dugoročne studije razvoja distribucijskih područja u kojima su proračunati trendovi porasta struje jednopolnog kratkog spoja i kapacitivnog doprinosa, s obzirom na razvoj mreže i perspektivu prijelaza na 20 kV,
- 3) kod pripreme kapitalne rekonstrukcije transformatorske stanice izrađuje se dodatna tehnička analiza (elaborat) s usporedbom varijanti tehničkog rješenja uzemljenja NT SN,
- 4) faze opremanja UNT se vežu uz faze razvoja 20 kV mreže,
- 5) prati se stanje na tržištu opreme za UNT i stvara baza cijena potrebna za ocjene troškova i koristi,
- 6) prate se pogonska iskustva nakon rekonstrukcije transformatorske stanice i iskustva stručnih timova zaduženih za održavanje,
- 7) kod prijelaza na 20 kV se provjerava stanje uzemljivača u dubini mreže i usklađuje sa pristupom UNT.

U razdoblju 2010. do 2019. izgrađeno je i pušteno u pogon 11 novih, a dovršena je cjelovita rekonstrukcija 26 transformatorskih stanica TS 110/x. U istom razdoblju je izgrađeno 6 novih, a potpuno rekonstruirano 25 transformatorskih stanica TS 35/10(20) kV sa još 6 rekonstrukcija u tijeku u 2020. Navedeni projekti čine gotovo 16% ukupnog portfelja pojmih točaka HEP ODS (*443 pojne točke srednjonaponske mreže prema [1]*), za koje je provedena sustavna projektna i tehnička priprema i koje tako predstavljaju bogati izvor tehničkih iskustava.

Nažalost, stanje uzemljenja neutralnih točaka u postrojenjima HEP ODS (slika 1. u nastavku) pokazuje dvije važne stvari:

- postoji značajan prostor za unaprijeđenje tehničkog stanja srednjonaponskih mreža i transformatorskih stanica i na tome će se raditi i dalje.sukladno perspektivi i ulozi pojedine pojne točke u mreži (prema [1]).
- pad tereta u ruralnim područjima otežava i prolongira donošenje odluke o pokretanju cjelovite rekonstrukcije srednjonaponske mreže.

Sve navedene tehničke podloge i iskustva koristimo za ojačanje sustavnog tehničkog pristupa ključnom izazovu razvoja srednjonaponske mreže u razdoblju pred nama, a to je: **razdoblje pojačanih aktivnosti na prijelazu na 20 kV**. U tom smislu dolazeće razdoblje trebamo iskoristiti za rekonfiguraciju i obnovu srednjonaponske mreže vođeni načelima tehničkog optimiranja i učinkovitog gospodarenja raspoloživim financijskim sredstvima.



Slika 1. Uzemljenje neutralne točke u transformatorskim stanicama 35(30)/10(20) kV u HEP ODS

## 2. REKONSTRUKCIJA SREDNJONAPONSKE MREŽE SLABIJE URBANOG PODRUČJA ZBOG PRIJELAZA NA 20 kV POGONSKI NAPON

### 2.1. Elaborat pripremnih aktivnosti

Elaborat pripremnih aktivnosti prijelaza na 20 kV sustavno prikazuje stanje srednjonaponske mreže koja mijenja pogonski napon. Podloga je snimka stanja transformatorskih stanica i vodova sa pripadnom opremom [12],[13],[14]. Na temelju snimke stanja izrađuje se program pripremnih aktivnosti i program operativnih aktivnosti. Prijelaz na 20 kV je kruna višegodišnjih aktivnosti ulaganja u zamjenu opreme, a aktivnosti se intenziviraju kad je cca 80% postrojenja i vodova spremno za pogon na 20 kV [15]. Izrada i revidiranje elaborata u distribucijskom području pomaže da dionici projekta u distribucijskom području prepoznaju svoje mjesto u projektu i osiguraju potencijale (resurse) za svoje sudjelovanje u zahvatima.

### 2.2. Uzemljenje neutralne točke u pojnoj točki planiranoj za prijelaz na pogonski napon 20 kV

Kod prijelaza na 20 kV nužno je uzemljenje neutralne točke srednjonaponske mreže. U SN mrežama u pogonu na 10 kV imamo veliki broj neuzemljenih zvjezdista i često se odgađa uzemljenje neutralne točke dok god je moguće. Razlozi su raznoliki: od organizacijskih izazova, neiskustva i zapuštanja tehničkih znanja vezanih uz uzemljenja i uzemljivače pa do pada tereta/značaja srednjonaponskih izvoda koji otežavaju donošenje investicijske odluke. Najgora je svakako situacija kad distribucijsko područje pokuša zapuštenu i neodržavanu srednjonaponsku mrežu ili nedosljedan razvoj srednjonaponske mreže kompenzirati skupim tehničkim rješenjima u pojnoj transformatorskoj stanici. Uvedenom praksom izrade elaborata uzemljenja neutralne točke, kroz stručnu i argumentiranu raspravu, raste svijest i znanje o:

- tehnološkoj cjelini pojne točke i srednjonaponske mreže,
- potrebama korisnika, perspektivi promjene opterećenja i smjernicama razvoja mreže,
- specifičnosti pojedinog područja (specifični otpor tla, specifična pogonska stanja, veliki udio zračne ili kableske mreže),
- mogućnostima postojećih uređaja relejne zaštite i druge opreme,
- troškovima,
- potrebi usvajanja novih specijalističkih znanja i vještina.

U konačnici, provodi se revizija projektnog prijedloga i odabire se optimalno tehničko rješenje uzemljenja neutralne točke. Iskustvo pokazuje da je za najveći dio transformatorskih stanica SN/SN u RH – primjenjivo

uzemljenje neutralne točke primjenom otpornika ili primjenom otpornika u paralelnom spoju sa prigušnicom za nepotpunu kompenzaciju struje jednopolnog kratkog spoja.

Cijena primarne opreme postrojenja za UNT (uključivo sa građevinskim i elektromontažnim radovima, na tržištu u RH) iznosi 150.000 kn / TR za slučaj otpornika odnosno 350.000 kn / TR za slučaj otpornika u paralelnom spoju sa prigušnicom. Što u slučaju cjelovite rekonstrukcije transformatorske stanice na razini 9,0 mil.kn (iskazano bez zamjene energetske transformatora) iznosi prihvatljivih 3,3 – 7,8 % ukupnog ulaganja (odnosno još povoljnijih 1,6 – 3,8 % u slučaju sheme 1 komplet po TS).

### 3. PRIPREMA PRIJELAZA NA 20 kV ZA PODRUČJE ČAZME

#### 3.1. Osnovni podaci o TS 35/10(20) kV Čazma i pripadnoj SN mreži

Predmetna stanica se napaja jednim vodom naponske razine 35 kV, izvedenim vodičima AlČe 120/15 mm<sup>2</sup> položenim na čelično-rešetkastim stupovima, ukupne duljine 9,5 km iz TS 110/35 kV IVANIĆ kao glavnog izvora (preko sabirnice TS 35/10 kV Šumećani). Osim standardnog napajanja sabirnice 10 kV povezane su preko tri relativno duga spojna voda naponske razine 10 kV na postrojenja susjednih transformatorskih stanica 35/10 kV Kloštar Ivanić, Šumećani i Križ napajanih iz istog izvora (110/35 kV Ivanić). Na pripadnoj mreži 10 kV instalirana je i integrirana u elektroenergetski sustav i jedna elektrana na bioplin snage 2 MW, priključena na vod 10 kV Martinac na udaljenosti od oko 2,5 km od 10 kV sabirnice. Stanica Čazma je izgrađena u tipskom zidanom objektu, s otvorenim klasičnim ćelijama nazivnog naponskog nivoa 35 i 10 kV, s instalirana dva energetska transformatora 35/10 kV snage po 8 MVA i sabirnicama niže-naponske strane podijeljenim u dvije sekcije i u toku je zamjena opreme postrojenja 10 kV opremom nazivnog napona 20 kV. Postrojenje 10 kV napaja ukupno 5 nadzemnih i 2 kabela voda kako slijedi u tablici:

Tablica 1 – instalirana snaga i parametri vodova 10 kV napajanih iz TS 35/10 kV Čazma (podaci ažurirani pomoću aplikacije GIS, siječanj 2020. godine, D. Đukec)

Redni broj	Vodno polje		Broj TS 20/0,4 kV (kom.)	Instalirana snaga TR (kVA)	Pripadni broj kupaca	Duljina vodova (m)		
						DV	KB	UKUPNO
1.	=K09	Martinac	20	1.630	1.034	24.366	2.445	26.811
2.	=K07	Štefanje	20	2.320	768	27.774	1.994	29.768
3.	=K06	Draganac	17	2.970	746	14.222	1.508	15.730
4.	=K04	Dubrava	32	4.150	1.395	38.187	2.061	40.248
5.	=K02	Vrtlinska	15	1.390	494	21.037	84	21.121
6.	=K01	TEP	5	2.010	287	0	1.773	1.773
7.	=K05	Česma	14	5.750	518	0	6.212	6.212
		Ukupno:	123	20.220	5.242	125.586	16.077	141.663

Trase vodova prolaze preko šumovitog i poljoprivrednog zemljišta. Vodovi su osjetljivi na atmosferska pražnjenja i utjecaj atmosferilija i izloženi raslinju. Zadnja veća analiza stanja i procjena kretanja opterećenja ove transformatorske stanice napravljena je u Studiji razvoja mreže Elektre Križ za razdoblje od 2006. do 2026. godine, pri čemu je procijenjen rast vršnog opterećenja na 8,7 MW u 2017. godini. Međutim, zbog izostanka bržeg razvoja izgrađenih poduzetničkih zona, te promjene tehnologije u industriji koja je bila glavni pokretač rasta potrošnje električne energije, rast vršne snage i isporučenih količina električne energije nije se odvijao prema zacrtanom planu. Ostvarena vršna snaga tokom 2018. godine samo kratkotrajno dostiže vrijednost od 6,86 MW.

Tijekom 2013. donesena je odluka o prelasku na 20 kV za područje TS 35/10(20) kV Čazma, te su pokrenute aktivnosti intenzivnijeg održavanja i zamjene opreme na postrojenjima i vodovima.

### 3.2. Priprema prijelaza na 20 kV

Pripreme za prelazak na pogonski napon 20 kV distribucijske mreže u Elektri Križ provedene su na temelju slijedećih dokumenata:

- „Razvoj 110 kV i 20 kV mreže na području Elektre Križ u razdoblju 2006 – 2026. godine“, Studija, FER Zagreb, 2006.
- „Programa prelaska Elektre Križ sa 110/35/10(20) kV na 110/20 kV“, Elaborat, FER Zagreb, prosinac 2009.
- „Zamjena primarne opreme postrojenja 10 kV opremom nazivnog napona 20 kV u TS 35/10 kV Čazma“, Glavni projekt, Dalekovod Projekt, Zagreb, 2018.
- interni dokumenti s nalazima snimanja pogonskog stanja postrojenja i operativnog programa prelaska na 20 kV.

Do kraja 2019. godine provedena je zamjena i koordinacija izolacije, zamjena kabela i zamjena rastavnih naprava koje nisu bile odgovarajuće za primjenu novog pogonskog napona na svim DV 10(20) kV zračne ili kabelaške izvedbe. Također kod svih TS 10/0,4 kV u našem vlasništvu u kojima nije bila zadovoljavajuća oprema ista je zamijenjena novom (sklopni blokovi, rastavljači, izolacija, transformatori). Prema općim uvjetima uskoro namjeravamo obavijestiti vlasnike transformatorskih stanica koje nisu u nadležnosti HEP-ODS o prelasku na 20 kV naponski novo. Do sada nisu provedeni radovi na sanaciji uzemljivača, a trenutno je u toku zamjena primarne opreme postrojenja 10 kV opremom 20 kV u TS 35/10 kV Čazma.

Kao jedna od pripremnih radnji za prelazak na 20 kV izrađen je i projekt izgradnje postrojenja za uzemljenje zvjezdišta mreže 10(20) kV. U skladu s tehničkim preporukama i praksom u HEP ODS, glavnim projektom je predviđeno uzemljenje neutralne točke primjenom malog otpora za ograničenje struje JKS na 150 A u paralelnom spoju sa prigušnicom za nepotpunu kompenzaciju kapacitivnog doprinosa struji JKS. U izvedbi jedan komplet opreme po TS.

### 3.3. Pogonski uvjeti, norme i pravilnici

Gledano sa strane važećih normi i propisa koji obuhvaćaju izgradnju i održavanje elektroenergetskih postrojenja nazivnog napona iznad 1 kV relevantni su slijedeći dokumenti:

- a) Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona 1 kV do 400 kV (*Službeni list SFRJ 65/88; Zakon o standardizaciji NN 53/91, 26/93, 29/94 i 25/96; čl. 53. Zakona o normizaciji, NN 55/96; Pravilnik o izmjenama Pravilnika o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1kV do 400 kV, NN 24/97; čl. 26. Zakona o tehničkim zahtjevima za proizvode i ocjenjivanju sukladnosti, NN 80/13*),
- b) Pravilnik o tehničkim zahtjevima za elektroenergetska postrojenja nazivnih izmjeničnih napona iznad 1 kV, NN 105/10, koji zapravo upućuje na normu HRN HD 637 S1 koja je zamijenjena normama HRN EN 61936-1:2012 (uz ispravak 2013. i izmjene A1:2014) i HRN EN 50522:2012.
- c) Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu niskonaponskih mreža i pripadnih transformatorskih stanica (preuzet na temelju člana 30. st. 1. i 5. Zakona o standardizaciji iz "Službeni list", br. 38/77).

Prema najnovijoj normi HRN EN 61936-1:2012 (ispravak 2013. i izmjene A1:2014) više se ne određuju fiksno postavljene dozvoljene napone dodira, već se otpor uzemljivača podvrgava kontroli uzimajući kao ključni faktor znanstvene spoznaje o utjecaju struje na ljudsko tijelo. U skladu s navedenim predmetna norma definira krivulju dozvoljenog dodirnog napona u ovisnosti o trajanju kvara (slika 12 prenesena iz HRN EN 61936-1:2012):

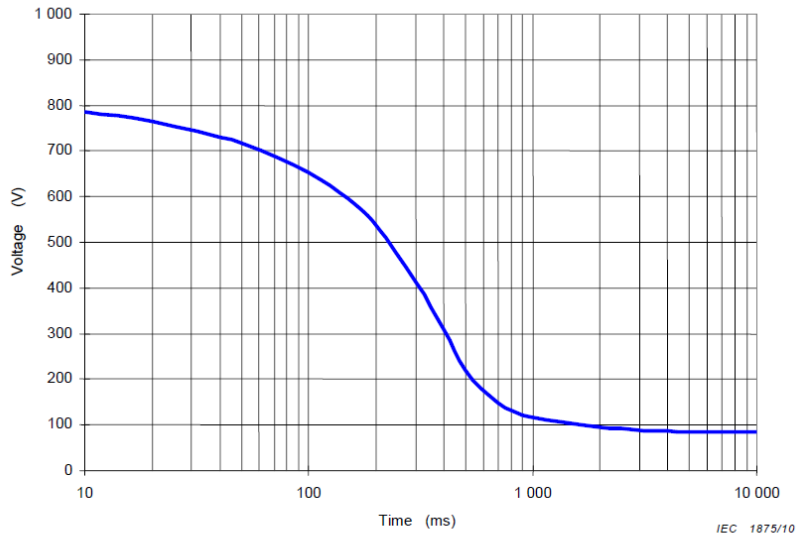


Figure 12 – Permissible touch voltage  $U_{TP}$

Slika 2. Krivulja dozvoljenog napona dodira u ovisnosti o trajanju kvara (prema HRN EN 61936-1:2012)

te formulu za izračun dozvoljenog napona dodira:

$$U_{TP} = I_B(t_f) \frac{1}{HF} Z_T(U_T) BF$$

Pri čemu su:

- $U_T$  – dodirni napon
- $U_{TP}$  – dozvoljeni dodirni napon
- $t_f$  – trajanje kvara
- $I_B(t_f)$  – dozvoljena struja kroz tijelo ovisno o trajanju (IEC/TS 60479-1:2005)
- $HF$  – faktor srca (IEC/TS 60479-1:2005)
- $Z_T(U_T)$  – impedancija tijela
- $BF$  – faktor tijela

Granične vrijednosti otpora združenog uzemljenja prema važećoj normi HRN EN 61936-1:2012 (ispravak 2013. i izmjene A1:2014) za srednjenaponske mreže uzemljene preko maloohmskog otpornika s ograničenjem struje na 150 ili 300 A i tipičnim trajanjem kvara od 0,5; 1 i više od 10 sekundi izračunate su u skladu s formulom:

za NN mrežu tipa TN	$R_{zdr} = \frac{X U_d}{r I_z}$	$U_{d(1'')} = 117 \text{ V}, X = 2 \text{ i } r = 1$ $U_{d(0,5'')} = 225 \text{ V}, X = 2 \text{ i } r = 1$
za NN mrežu tipa TT	$R_{zdr} = \frac{1200 \text{ V}}{r I_z}$	za kvarove trajanja do 5 s
	$R_{zdr} = \frac{250 \text{ V}}{r I_z}$	za kvarove trajanja preko 5 s

Tablica 2 – Granične vrijednosti otpora združenog uzemljenja prema važećoj normi HRN EN 61936-1:2012 (ispravak 2013. i izmjene A1:2014) za srednjenaponske mreže uzemljene preko maloohmskog otpornika s ograničenjem struje na 150 ili 300 A i tipičnim trajanjem kvara od 0,5; 1 i više od 10 sekundi

Trajanje zemljospoja	Granična vrijednost $R_{zdr}$ ( $\Omega$ )					
	$I_{1KS} = 150$ A			$I_{1KS} = 300$ A		
	t = 0,5 s	t = 1 s	$\geq 10$ s	t = 0,5 s	t = 1 s	$\geq 10$ s
<b>NN mreža tipa TN</b>	3,0	1,56	1,06	1,5	0,78	0,53
<b>NN mreža tipa TT</b>	8		1,67	4		0,83

Srednjenaponska mreža 10(20) kV Elektre Križ je mješovitog tipa, s prevladavajućim udjelom nadzemnih vodova a vodovi su izvedeni bez zaštitnog užeta. U našem slučaju većinom se koriste NN mreže tipa TN **stoga prema odabranoj struji jednopolnog kvara ograničenoj na 150 A, te odabranom trajanju zemljospoja od 1 sekunde dobijemo dozvoljeni otpor uzemljenja od  $R=1,56 \Omega$ .**

### 3.3. Rezultati mjerenja otpora uzemljenja

Sanacija uzemljivača odnosno otpora uzemljenja u dosadašnjim pripremama za prelazak srednjenaponske mreže na rad s 20 kV naponom ostavljena je za završnu fazu pripreme. Tijekom 2018. i 2019. godine su provedena mjerenja otpora uzemljenja svih stupova DV 10(20) kV s instaliranim rastavnim napravama i svim TS 10(20)/0,4 kV ove mreže, odnosno postrojenja. Pogonska mjerenja obavljena su od zaposlenika Elektre Križ a podaci su upisani u MS Excell tablice za dalju analizu.

Nakon detaljnog snimanja tehničkih podataka i unošenja u bazu GIS-a svih nadzemnih vodova i kabela 10(20) kV, pomoću programskog alata NEPLAN napravljen je izračun kapacitivne struje ove mreže i ona iznosi 31 A. Pogonskim mjerenjima zabilježena je kapacitivna struja od 24 A. Proračun i mjerenje su provedeni pri 10 kV pogonskom naponu stoga očekujemo da će se kod 20 kV ovi iznosi udvostručiti. U skladu sa projektom za uzemljenje zvjezdista mreže 20 kV preko malog otpora s ograničenjem struje na 150 A i prigušnice za kompenzaciju kapacitivnog doprinosa struji jednopolnog kratkog spoja – zaoštavaju se tehnički uvjeti za dimenzioniranje uzemljivača, tako da uz ciljano trajanje kvara do 1 s otpor uzemljenja ne bi smio prelaziti vrijednost od 1,56  $\Omega$ . **Primjenom navedenog uvjeta na rezultate mjerenja otpora uzemljenja za TS 10/0,4 kV i za stupove DV 10 kV sa instaliranim rastavnim napravama, dolazimo do zaključka da preko 90 % postojećih uzemljivača stupova DV s rastavnim napravama i preko 76 % postojećih uzemljivača TS 10(20)/0,4 kV razmatrane mreže ne zadovoljava postavljene uvjete, odnosno da je potrebna njihova sanacija.**

Uz procijenjene jedinične troškove sanacije uzemljivača na stupovima DV 10 kV s ugrađenim LR od cca 6.500 kn/kom te sanacije uzemljivača na TS od cca 12.500 kn/kom, troškovi sanacije uzemljivača na ovoj mreži iznositi će približno 1.900.000 kn što predstavlja ozbiljan trošak i organizacijski izazov.

### 3.3. Revidirano tehničko rješenje

U raspravi o mogućem tehničkom rješenju, pojavila se i ideja o ugradnji otpornika za ograničenje djelatne komponente struje jednopolnog kratkog spoja na 50 A u paralelnom spoju s prigušnicom. Postoje reference za slična tehnička rješenja u srednjenaponskim mrežama u Hrvatskoj [16] i takva tehnička rješenja su predviđena studijama mreže HEP ODS-a [4],[5],[6]. U svjetlu novih propisa i sankcioniranja nedostatne razine kvalitete isporučene EE, poželjno je sve prekide svesti na minimum. Sa gledišta investicija - obaveza operatora je osigurati pouzdanu i sigurnu isporuku EE uz optimalni trošak. U ruralnim područjima kao što je i područje koje napaja i ova TS, srednjenaponske mreže su u pravilu mješovite, s pretežitim udjelom nadzemnih vodova. Kod ovakve vrste mreža većinu kvarova čine prolazni kvarovi prema zemlji ili prema uzemljenim dijelovima uzrokovani udarom groma, padom grana, raslinja ili preskokom malih životinja i ptica. Iskustva pokazuju da današnji tipični numerički terminali relejne zaštite i upravljanja (terminali polja) i standardni strujni mjerni transformatori imaju zadovoljavajuću osjetljivost za pravodobno otkrivanje i isključivanje jednopolnih kratkih spojeva (u velikom broju TS 35/10 kV su revitalizirani sekundarni sustavi). Istovremeno, zbog smanjenja djelatne komponente struje JKS poznato je da prijeti rizik sklopnih i pogonskih prenapona iako treba naglasiti da je predmetna mreža na području vrlo povoljne



vodljivosti tla. U literaturi [17] postoje smjernice proračuna za procjenu razine prenapona. U konačnici se postiže cilj: značajno snižavanje tehničkih zahtjeva za dimenzioniranje uzemljivača. Procjena je da bi uz primjenu otpornika za ograničenje struje JKS na 50 A – u SN mreži napajanoj iz buduće 35/20 kV Čazma zadovoljilo preko 80% svih uzemljivača što bi snizilo troškove pripreme prijelaza na 20 kV za gotovo 1,5 mil.kn.

Tablica 3 – Granične vrijednosti otpora združenog uzemljenja prema važećoj normi HRN EN 61936-1:2012 (ispravak 2013. i izmjene A1:2014) za srednjenaponske mreže uzemljene preko maloohmskog otpornika s ograničenjem struje na 50 A i tipičnim trajanjem kvara od 0,5; 1 i više od 10 sekundi

	Granična vrijednost $R_{zdr}$ (ohm)		
	$I_{1KS} = 50 \text{ A}$		
Trajanje zemljospoja	$t = 0,5 \text{ s}$	$t = 1 \text{ s}$	$\geq 10 \text{ s}$
<b>NN mreža tipa TN</b>	9,0	<b>4,68</b>	3,18

U Elektri Križ je donesena odluka da će se izraditi dodatne analize mogućih učinaka ograničenja struje na 50 A i ovisno o rezultatu primjeniti revidirano tehničko rješenje. Dodatna analiza će se provesti za područja:

- 1) proračun prenaponske zaštite, dimenzioniranje i ugradnja odvodnika prenapona [17]
- 2) usklađenje kapacitivnih doprinosa vodova struji jednopolnog kratkog spoja, udešenja prigušnice i relejne zaštite – kako bi se osiguralo da u slučaju isključenja pojedinog voda, preostala struja ostane unutar karakteristike i osjetljivosti usmjerene zemljospojne relejne zaštite
- 3) primjenjivost tehničkog rješenja u slučaju povezane 20 kV mreže napajane iz susjedne TS 35/20 kV

#### 4. ZAKLJUČAK

Namjera rada je otvoriti stručnu raspravu o pristupu uzemljenju neutralne točke u slabo opterećenim ruralnim mrežama koje prelaze na pogonski napon 20 kV napajane iz ruralne TS 35/20 kV. Predloženo tehničko rješenje bi moglo smanjiti troškove pripreme i pojednostavniti pripremu prijelaza na 20 kV, ali nipošto ne smije biti zamjena za redovito održavanje i za poštivanje regulative iz područja sigurnog pogona srednjenaponske mreže.

U podlogama za izradu rada koristio sam informacije i korisna iskustva iz prijelaza na 20 kV kolega iz: Elektre Križ, Elektre Sisak, Elektre Zabok, Elektre Koprivnica, Elektre Bjelovar i Elektre Slavonski Brod na čemu zahvaljujem.

#### 5. LITERATURA

- [1] „Desetgodišnji 2020. – 2029. plan razvoja distribucijske mreže HEP ODS“, HEP ODS, 2019.
- [2] E.Mihalek, T.Baričević, A.Tunjić, K. Ugarković, „Ocjena prioriteta ulaganja u prijelaz na 20 kV uz pomoć AHP metode i metode upravljanja portfeljem“, 1. savjetovanje HO-CIRED, Šibenik, 2008.
- [3] B.Wolf, S.Jonjić „Priprema pogona Našice za prelazak na 10 kV mreže na 20 kV pogonski napon“, 5.savjetovanje, Osijek, 2016.
- [4] „Tipizacija rješenja za provedbu uzemljenja zvjezdišta mreža srednjeg napona“, IEE, Zagreb 1993.
- [5] „Alternativni način uzemljenja zvjezdišta u uvjetima visokog spec. otpora tla“, IEE, Zagreb 1993.
- [6] I.G.Kuliš, I.Ladišić, T.Baričević, „Tipizacija rješenja za provedbu uzemljenja neutralne točke mreže srednjeg napona“, Končar Institut za elektrotehniku, Zagreb, 2010.
- [7] „Prijedlog primjene kompenzacijske prigušnice s ručnom regulacijom u sprezi s otpornikom u mreži 10(20) kV Elektroistre“, Energija, 2005.
- [8] V.Komen, V.Sirotnjak, R.Čučić, „Pristup uzemljenju zvjezdišta srednjenaponskih mreža“, 1.savjetovanje HO-CIRED, Šibenik, 2008.

- [9] M.Škarpona, R.Ćučić, K.Meštrović, „Uzemljenje neutralnih točki distributivnih mreža u HEP ODS Elektra Zadar“, 9.savjetovanje HRO-CIGRE, Cavtat, 2009.
- [10] G.Šagovac, „Uzemljenja neutralne točke u SN distribucijskoj mreži“, 3.savjetovanje HO-CIRED, Sv.Martin na Muri, 2012.
- [11] D.Znika, „Problematika pogona 20 kV mreže uzemljene primjenom petersen prigušnice u TS 110/20 kV Krapina, 6.savjetovanje HO-CIRED, Opatija 2018.
- [12] S.Hutter, G.Šagovac, „Provjera stanja uzemljivačkih sustava distribucijskih stanica TS 10(20)/0,4 kV u rezonantno uzemljenim mrežama“, 2. savjetovanje HO-CIRED, Umag, 2010.
- [13] „Kriteriji za kontrolu uzemljivača“, HEP ODS Elektra Koprivnica 2017.
- [14] „Glavni projekt TS 35/10(20) kV Zlatar Bistrica, Prilog knjige EL1: Izmjereni otpori rasprostiranja uzemljivača TS 10(20)/0,4 kV i rezultati proračuna kapacitivnih struja 10(20) kV mreže“, TELENERG, 2015.
- [15] „Prijelaz 10 kV mreže Elektre Sisak na 20 kV“, HEP ODS Elektra Sisak, Sisak/Zagreb 2019.
- [16] E.Sterpin “Prijedlog primjene kompenzacijske prigušnice s ručnom regulacijom u sprezi s otpornikom u mreži 10(20) kV Elektroistre“, Energija,god.54. 441-446, 2005.
- [17] J.Nahman „Uzemljenje neutralne tačke distributivnih mreža“, Naučna knjiga, Beograd 1980.