

Deni Četković, mag.ing.el
HEP ODS, Elektroprimorje Rijeka
deni.cetkovic@hep.hr

Siniša Vučinić, mag.ing.el
HEP ODS, Elektroprimorje Rijeka
sinisa.vucinic@hep.hr

Mladen Zuzić
HEP ODS, Elektroprimorje Rijeka
mladen.zuzic@hep.hr

ISKUSTVA U PRIMJENI POLUIZOLIRANIH VODIČA PRI REKONSTRUKCIJI POSTOJEĆIH NADZEMNIH SN MREŽA

SAŽETAK

Rastom i razvojem postojećeg elektroenergetskog sustava, javlja se i potreba za povećanjem pouzdanosti i sigurnosti opskrbe krajnjih korisnika električnom energijom kao i zahtjevi vezani za zaštitu rijetkih ptica na područjima napajanim zračnim vodovima sa golim vodičima. Zato se, kao rješenje u rekonstrukciji zračnih vodova mogu koristiti poluizolirani vodiči čime se ujedno i smanjuje troškove održavanja prosjeke i samog voda te troškove uzrokovane nastalim kvarovima. U radu je prikazana konstrukcija poluizoliranog vodiča te oprema za ugradnju i zaštitu nadzemnog voda izvedenog poluizoliranim vodičima. U radu su prikazane prednosti i nedostaci korištenja poluizoliranih vodiča te problematika zadovoljavanja sigurnosnih visina i prenaponske zaštite nakon ugradnje.

Ključne riječi: dalekovod, poluizolirani vodiči, provjesi, sigurnosna visina, prenaponska zaštita.

EXPERIENCES IN USING COVERED CONDUCTORS FOR RECONSTRUCTION OF EXISTING MV OVERHEAD LINES

SUMMARY

With growth of existing distribution system, there is a need for a increase in system reliability of electric power supply of end customers, and also, a need for protection of rear wildlife such as rear birds in special areas with existing uninsulated overhead lines. So, for reconstruction of MV overhead lines there is a good solution of using covered conductors. Using covered conductors we reduce costs of overhead line maintenance and costs of cleaning bushes beneath, compared to uninsulated overhead line. Also, there is less chance of accruing fault on that overhead line. In this paper, covered conductor structure is explained. Also suitable mounting, joining and protective equipment is explained. This paper is about problems concerning safety hights, and overvoltage protection that occur with reconstructions of existing MV overhead lines and their solutions.

Key words: overhead line, covered conductors, safety hights, line sag, overvoltage protection

1. UVOD

Zbog povećanja sigurnosti opskrbe, kao i zaštite životinja (npr. ptica), traže se nova rješenja koja bi zamijenila dosad klasične neizolirane SN nadzemne vodove, a da to nisu SN kabelski vodovi. Kao primjereno i donekle jednostavno rješenje pojavljuju se poluizolirani vodiči koji ispunjavaju sve navedene uvjete. Zbog toga se odlučilo izvesti rekonstrukciju postojećeg dotrajalog nadzemnog voda prema TS Grmov na Cresu upotrebom poluizoliranih vodiča na postojećim stupovima.

2. OPIS RJEŠENJA

2.1. Opis konstrukcije poluizoliranih vodiča

Osnovnu konstrukciju poluizoliranih vodiča čini vodič koji može biti izrađen od Al/Fe ili danas nešto češće od alumijeve legure (AlMgSi) i sloj izolacije presvučen preko tog vodiča. Sloj izolacije se izrađuje od umreženog polietilena (XLPE) ili termoplastičnog polietilena (PE). Dodatno, preko vodiča se može presvući i tanki poluvodljivi sloj za izjednačavanje električnog polja i izravnavanje površinskih neravnina na samom vodiču.

Struktura poluizoliranih vodiča je strogo standardizirana po svojoj konstrukciji i debljini izolacije od umreženog polietilena (XLPE) ili termoplastičnog polietilena (PE) po normi EN 50397-1.

Debljina izolacije poluizoliranih vodiča iznosi:

- min. 2,3 mm za poluizolirane vodiče naponske razine 20(10) kV
- min. 4,0 mm za poluizolirane vodiče naponske razine 35 kV

Debljina izolacije S ne smije biti manja od 2,3 mm (po EN 50397-1 normi), a po potrebi debljina sloja izolacije može se računati po izrazu (2.1).

$$S = 0,11 \cdot U \quad (1)$$

gdje je: - U nazivni napon sustava u koji se instalira vodič.

Ukoliko vodič ima i poluvodljivi sloj, on se ne mjeri zajedno s glavnom izolacijom prilikom računanja debljine izolacije. Dopušteno odstupanje na bilo kojem dijelu vodiča je 0,1mm + 10% nazivne debljine.

2.2. Usporedba primjene poluizoliranih vodiča s neizoliranim vodičima

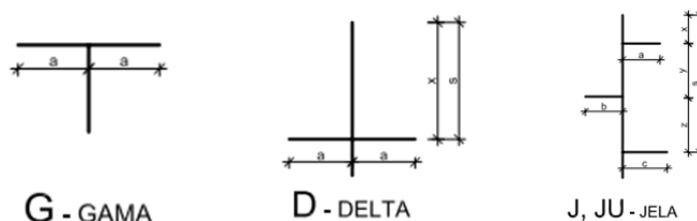
Prednosti poluizoliranih vodiča u odnosu na neizolirane vodiče:

- smanjena opasnost od slučajnog dodira za ljude i životinje
- u slučaju kratkotrajnog dodira faznih vodiča ne dolazi do međufaznog kratkog spoja
- u slučaju dodira s granama okolnog drveća ne dolazi do kvara
- manja širina trase voda
- manji međufazni razmak vodiča (cca. 1/3 širine klasične izvedbe voda s neizoliranim vodičima)
- smanjena vjerojatnost direktnog udara groma
- moguće povećanje naponske razine klasičnog voda na sljedeću veću ugradnjom poluizoliranih vodiča i prikladnih izolatora (10kV na 20kV ili 35kV i 20kV na 35kV)

Nedostaci poluizoliranih vodiča u odnosu na neizolirane vodiče:

- veća osjetljivost na eolske vibracije i osjetljivost na prenapone
- skuplje otklanjanje kvara
- skuplja izgradnja voda
- kompliciranije otklanjanje kvara
- manja strujna opteretivost voda (uspoređujući iste nazivne presjeke)
- veća težina i veće mehaničko opterećenje na uporišta
- veći provjesi vodiča

Novi nadzemni vodovi izvedeni poluizoliranim vodičima se preporuča izvoditi u gama obliku glave stupa. Prilikom rekonstrukcija postojećih vodova, moguće je izvesti nadzemni vod i u delta obliku glave stupa. Jedino što se nikako ne preporuča je jela oblik glave stupa. Poluizolirani vodiči se u pogledu zadovoljavanja sigurnosne visine i udaljenosti tretiraju jednako kao i neizolirani vodiči te kao takvi moraju zadovoljiti uvjete iz „Pravilnika o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1kV do 400 kV“. Razmaci izolatora na linijskim nosnim stupovima se preporuča da bude minimalno 400 mm, a na kutnim i zateznim minimalno 500 mm.



Slika 1. Gama, Delta i Jela oblik glave stupa

Za praktično pojašnjenje rješenja i problema koji nastaju prilikom rekonstrukcije postojećih nadzemnih vodova upotrebom poluizoliranih vodiča (PIV-a), prikazati će se dijelovi rješenja rekonstrukcije nadzemnog voda za TS 20/0,4 kV Grmov na Cresu. Na predmetnom nadzemnom vodu planirana je zamjena postojećeg Al/Fe 35/6mm² vodiča s poluizoliranim vodičem tip XLPE-Ay 35 mm² TIP 27.

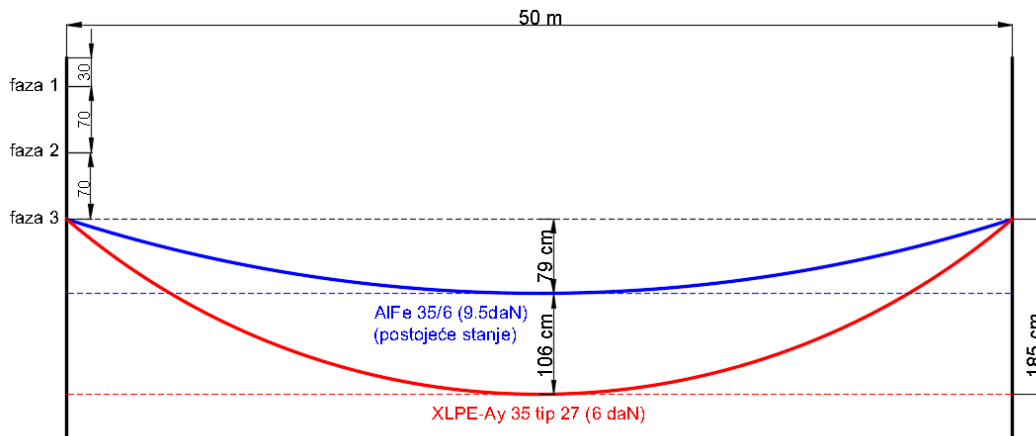
Postojeće stanje:

- Vodič: Al/Fe 35/6 mm² (radno naprezanje vodiča 9,5 daN)
- Stupovi (poveći broj nakošenih stupova uslijed udara bure i neadekvatno izvedenih temelja stupova):
 - 45 nosivih stupova od staklenih vlakana i jedan drveni te 3 čelično-rešetkasta NAH stupa
 - Zatezni stupovi čelično-rešetkasti tipa ZAE (5 stupova) i jedan zatezni A-stup
- Izolatori: Porculanski izolatori na metalnim poduporima
- Oblik glave stupa: Jela
- Rastavljač se nalazi na otcjepnom stupu
- Rasponi: rasponi se kreću između 45 i 60 m



Slika 2. Prikaz provjesa PIV-a na postojeću jela glavu DV- Grmov (varijanta 1)

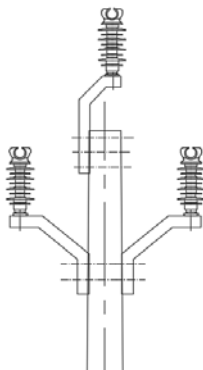
Za potrebe izrade projektnog rješenja, korišten je programski alat *Electra*. *Electra* je vrlo koristan alat koji služi za izradu uzdužnog profila nadzemnih vodova na kojem je prikazan položaj vodiča u odnosu na kote terena (visina vodiča i stupova nad terenom). Za potrebe analize, izrađen je proračun provjesa u programskom alatu *Excel* unutar koga se brzom promjenom parametara dobiju rezultati provjesa potrebnih za analizu prikazanu u ovom tekstu.



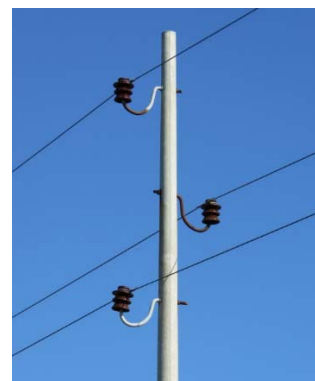
Slika 3. Prikaz provjesa PIV-a na postojeću jela glavu DV- Grmov (varijanta 1)

Ugradnjom PIV-a XLPE-Ay 35 mm² TIP 27 na postojeću jela glavu stupa, povećava se provjes vodiča. Provjes postojećeg Al/Fe vodiča je 79 cm na prosječnom rasponu od 50 m. Upotrebom PIV-a taj isti provjes bi se povećao za 106 cm (Slika 3.). Uzimajući u obzir da je zbog loše ukopanosti postojećih stupova dio stupova potrebno dodatno ukopati za 60 cm to bi značilo da će se u odnosu na postojeće stanje novi vodič na najkritičnijim točkama spustiti za 166 cm. Takvo spuštanje vodiča značilo bi da vodič na nekim dionicama neće zadovoljiti zahtjeve sigurnosne visine iz „Pravilnika o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1kV do 400 kV“.

Iz tog razloga predviđena je ugradnja glave prikazana na slici 4, tj. u delta rasporedu. Postojeća glava stupa (jela raspored) prikazana je na slici 5.

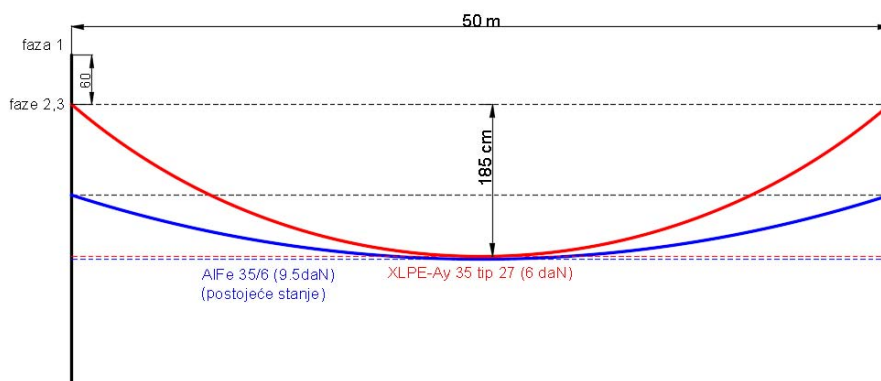


Slika 4. Novopredviđeni oblik glave stupa



Slika 5. Postojeći oblik glave stupa

Na slici 6. prikazan je tipski provjes nakon rekonstrukcije glave. Točka ovješnja vodiča podiže se za približno 110 cm. Kao posljedica toga novoprojektirani vodič neće ni na jednoj dionici biti ispod postojećeg vodiča. Iznimka su određeni rasponi gdje se postojeći stupovi dodatno ukopavaju a teren je takve konfiguracije da se ni tada ne ugrožava uvjet sigurnosne visine (visoki suhozidi, uzvisine na terenu i sl.). Te kritične situacije sagledane su zasebno te je na nekim mjestima predviđeno pojačano zatezanje u ukupnom iznosu od 6,5 daN/mm² u odnosu na ostatak voda gdje je PIV zategnut na 6 daN/mm².



Slika 6. Prikaz projektiranog provjesa za slučaj ugradnje PIV na delta glavu DV Grmov

U tablici I. je prikazana razlika u veličinama provjesa za Al/Fe (neizolirani vodič), XLPE-Ay (poluizolirani vodič s jednim slojem izolacije debljine 2,7 mm; prozv. ELKA Zagreb) te CCST WK (tzv. Greenpass, poluizolirani vodič s tri sloja izolacije; proiz. TFKabel). Tablica je izrađena koristeći postupak iz mehaničkog proračuna vodova, tj. formule za izračun provjesa upotrebom *Excel* programskog alata.

Tablica I. Provjes vodiča u odnosu na raspon i tip vodiča:

Provjes vodiča [m] (8 daN)							
Raspon [m]	40	50	60	80	100	120	140
Al/Fe 35/6 (9,5 daN/mm²)	0,5	0,79	1,13	2,01	3,15	4,53	6,17
XLPE-Ay 35 TIP 27 (6 daN/mm²)	1,18	1,85	2,66	4,74	7,4	10,7	14,5
Al/Fe 50/8 (9,5 daN/mm²)	0,41	0,63	0,91	1,62	2,53	3,64	4,96
XLPE-Ay 50 TIP 27	0,65	1,02	1,47	2,62	4,09	5,89	8,03
CCST 50AL-3 WK	0,65	1,01	1,46	2,6	4,05	5,84	7,95
Al/Fe 70/12 (9,5 daN/mm²)	0,33	0,51	0,74	1,31	2,05	2,95	4,01
XLPE-Ay 70 TIP 27	0,52	0,81	1,16	2,07	3,23	4,66	6,34
CCST 70AL-3 WK	0,51	0,8	1,15	2,05	3,2	4,61	6,27
Al/Fe 95/15 (9,5 daN/mm²)	0,28	0,43	0,62	1,1	1,72	2,48	3,38
XLPE-Ay 95 TIP 27	0,42	0,66	0,94	1,67	2,62	3,77	5,13
CCST 95AL-3 WK	0,41	0,64	0,92	1,63	2,54	3,66	4,98
Al/Fe 120/20 (9,5 daN/mm²)	0,24	0,38	0,54	0,96	1,51	2,17	2,95
XLPE-Ay 120 TIP 27	0,36	0,56	0,81	1,43	2,24	3,22	4,38
CCST 120AL-3 WK	0,35	0,55	0,79	1,4	2,18	3,14	4,28

Napomena: provjesi su računati uz faktor dodatnog opterećenja k=1,6
** Prikazani podaci odnose se na najkritičniju situaciju gdje je dobiven najveći provjes (-5+led)*

Poluizolirane vodiče malih presjeka nije preporučljivo uzimati za izgradnju vodova, već samo za priključke trafostanica, odvodnika prenapona na vod i sl. To je zbog toga što je poluizolirani vod osjetljiv na eolske vibracije. Eolske vibracije su mehaničke vibracije vodiča do kojih dolazi prvenstveno zbog strujanja zraka (vjetra). Prilikom vibriranja, na uporištima vodiča naposljetku dolazi do zamora materijala a na kraju do oštećenja izolacije i/ili vodiča. Zbog toga se na vodove izveden vodičima malih presjeka preporuča ugrađivati antivibracijske elemente te osigurati da rasponi ne budu premaleni (minimalno 40 m). U tablici je izrađen izračun provjesa vodiča s pretpostavkom da su vrhovi stupova na istoj visini, tj. da su stupovi na istoj nadmorskoj visini, na ravnom terenu, iste visine.

Iz tablice I. vidljivo je da se povećanje provjesa za dane raspone i presjeka vodiča kreće između 45% i 61%. S tim da je najveća razlika na manjim presjecima, a manja na većim presjecima. Npr. prosječno povećanje provjesa poluizoliranog vodiča u odnosu na neizolirani vodič, za presjek 50 mm² iznosi 61% za XLPE-Ay te 60% za CCST WK, dok za presjek 120mm² to povećanje iznosi 49% za XLPE-Ay te 45 % za CCST WK. Iz priloženog se ujedno vidi da na manjim presjecima nema neke značajne razlike u provjesu tipa poluizoliranog vodiča XLPE-Ay i tipa (CCST WK), dok se na većim presjecima vidi neka razlika u povećanju provjesa (do 5%) u korist CCST WK tipa poluizoliranog vodiča. Korisno je napomenuti da CCST WK tipovi poluizoliranih vodiča imaju manje dopušteno strujno opterećenje nego XLPE-Ay na presjecima manjim od 70 mm². Na presjecima 70 mm² i više, prijenosna moć se izjednačava.

2.3 Zaštita od prenapona

Problem za poluizolirane vodiče predstavlja bliski udar groma kraj voda, tada se u vodičima inducira prenapon. O parametrima tog udara i blizini udara, ovisi visina induciranog prenapona. Uslijed bliskog udara groma, u vodičima se inducira prenapon. Prenaponski val putuje po vodu, u sve tri faze, u oba smjera.

Zaštita od direktnog udara groma uporabom zaštitnog vodiča se ne prakticira na vodovima izvedenim poluizoliranim vodičima već drugačiji zaštitni uređaji.

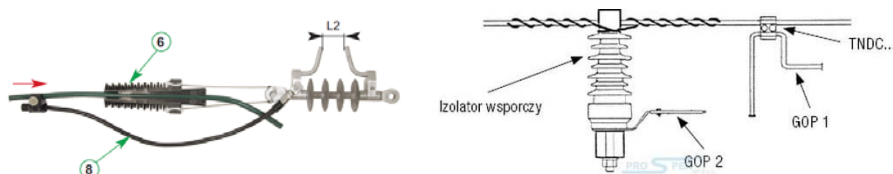
Problem koji se javlja kod poluizoliranih vodiča s prenaponima je sljedeći. Prilikom bliskog udara groma, u vodiču se inducira prenapon. Ukoliko je veličina prenapona veća od probojne vrijednosti izolacijskog sloja na poluizoliranom vodiču, doći će do proboja izolacije te pojave električnog luka. Na neizoliranom vodu bi se luk nakon pojave kretao dalje po vodu od izvora prema teretu, širio se te tako i prirodno ugasio. Kod poluizoliranih vodiča, to oštećeno mjesto (pregorene izolacije) sada predstavlja mjesto najnižeg otpora te luk nema kamo putovati. Stoga, luk gori na tom istom mjestu sve do reagiranja zaštite (bolji slučaj – obično impedancija kratkog spoja nije dovoljno malena da izazove proradu zaštite), ili do pregaranja vodiča (gori slučaj).

Prenaponska zaštita poluizoliranog voda se može izvoditi zaštitnim iskrištima, odvodnicima prenapona, zaštitnim iskrištima s odvodnikom prenapona. Odvodnici prenapona su najbolje rješenje, u normalnom pogonu ne vode, u slučaju nastanka prenapona, nelinearnim otporima unutar odvodnika se smanjuje otpor te postaju vodljivi tako vodeći prenapon u zemlju. Odvodnik prenapona je prikazan na slici 7. Karakterizira ga efikasnost i pouzdanost, besprekidno napajanje, ali i moguće uništenje velikom strujom groma te visoka cijena.



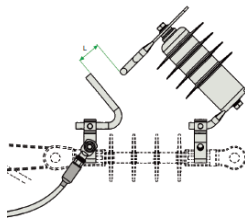
Slika 7. ZnO odvodnik prenapona

Zaštitno iskrište su jednostavno dvije metalne elektrode na određenom razmaku između kojih nastaje električni izboj prilikom nastanka prenapona. Zaštitno iskrište prikazano je na slici 8. Karakterizira ga niska cijena, jednostavnost, ali i prekid napajanja uslijed gašenja el. luka te je obično potrebna zamjena rogova svakih par prorada (tipično nakon 3 prorade). Ovo je ujedno i rješenje koje je odabrano na DV-u za TS Grmov.



Slika 8. Zaštitno iskrište ECL PSI 2870 i GOPk2

Neka sredina između odvodnika prenapona i zaštitnih iskrišta je zaštitno iskrište s odvodnikom prenapona. Prednost ovog je to što ne trebamo tako velik odvodnik prenapona kao bez iskrišta pa je povoljnije rješenje. Zaštitni uređaj prikazan je na slici 9. Karakterizira ga dobra kvaliteta sinusoide naponskog vala, besprekidno napajanje, teže pregaranje uslijed velikih struja, umjerena cijena.



Slika 9. Zaštitno iskrište s odvodnikom prenapona [6]

2.3.1. Izračun udaljenosti između zaštitnih naprava

Tip proračuna prikazan u ovom dijelu rada je izvorno izrađen za Norveški elektroenergetski sustav, odnosno za Norveške atmosferske uvjete. U dodatku „Pravilniku o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona 1-400 kV“ izrađenom na energetske institutu „Hrvoje Požar“ je izvedena prilagodba našim atmosferskim uvjetima. Prilagodba je bila potrebna zbog sljedećeg:

- broj grmljavinskih dana kod nas je nekoliko puta veći nego u Norveškoj te iznosi prosječno 30-40 dana/god. Točan broj se uzima s izokerauničke karte Hrvatske. U Norveškoj je prosječan broj grmljavinskih dana 7-12 dana/god.

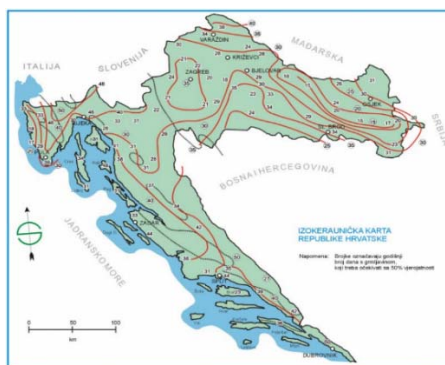
- Prosječan broj udara munje u Hrvatskoj je 3 – 5.5 ud./km²god, a u Norveškoj oko 0.5 ud./km²god (dakle 6 do 8 puta više u Hrvatskoj)

Tok proračuna:

1. Proračun gustoće udara munja po četvornom kilometru godišnje (relacija 2.):

$$N_g = 0.04 \cdot T_d^{1.25} \text{ (ud./km}^2\text{god)} \quad (2.)$$

Gdje je : T_d – izokeraunička razina
(broj grmljavinskih dana godišnje, vidi Sliku 10.)



Slika 10. Izokeraunička karta Hrvatske

2. Proračun vjerojatnosti udara munje u nadzemni vod (relacija 3.):

$$N_s = 0.017 \cdot N_g \cdot k_f \cdot h^{0.6} \text{ (ud./km god)} \quad (3.)$$

Gdje je: - k_f – koeficijent visine raslinja oko voda (vidi tablicu II.)

- h – visina stupa nadzemnog voda (m)

Tablica II. Koeficijent visine raslinja oko nadzemnog voda:

Visina raslinja (m)	k_f
0	1
3	0.71
6	0.21

3. Izračun razmaka zaštitnih naprava:

Posljednje potrebno je odrediti vjerojatnost preskoka H (relacija 4.). Ova vrijednost ovisi o duljini voda l te pretpostavke vremenskog perioda G , u kojem ne želimo da se dogodi preskok (izražen u godinama, standardno se uzima 20 godina po preporuci).

$$H = \frac{1}{l} \cdot \frac{1}{G} \quad (4.)$$

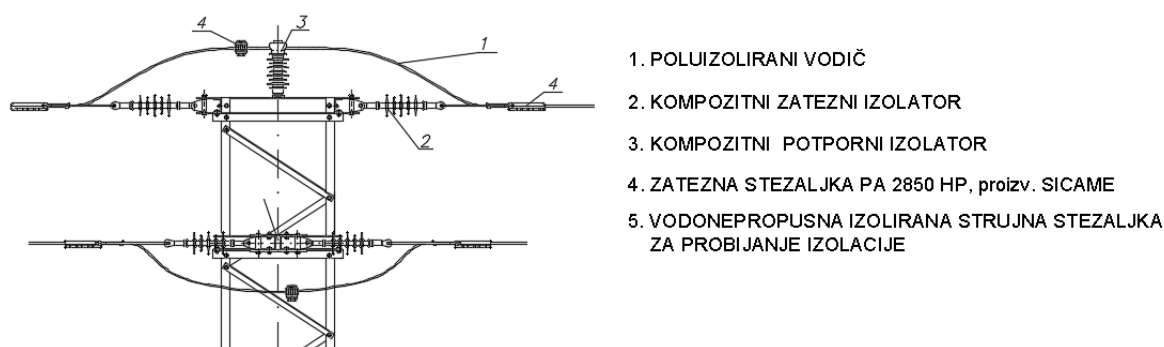
S svim gore izračunatim vrijednostima, odredi se omjer H/N_s te se nađe u tablici III. najbliža vrijednost s potrebnim pripadajućim zaštitnim razmakom zaštitnih naprava.

Tablica III. Tablica za određivanje razmaka zaštitnih naprava na nadzemnom vodu:

Visina raslinja (m)	N_s/N_g	H/N_s			
		Razmak zaštitnih naprava:			
		100 m	200 m	300 m	∞
0	0.07	0.25	0.50	0.65	1.0
3	0.05	0.25	0.50	0.65	1.0
6	0.015	0.25	0.50	0.65	1.0

2.4. Oprema za nadzemne vodove izvedene poluizoliranim vodičima

2.4.1. Zatezna stupna mjesta

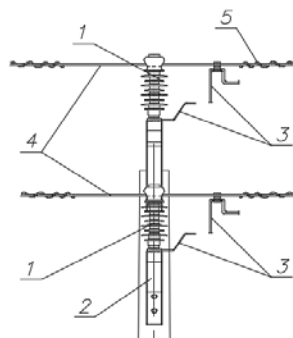


Slika 11. Nacrt glave zateznog stupa

Na slici 11. prikazan je oblik glave zateznog stupa u delta rasporedu kakva je planirana na vodu za TS Grmov. Pod brojem 2, prikazan je kompozitni zatezni izolator s očka-očka završetkom. Na metalne krajeve zateznih izolatora moguće je postaviti prenaponsku zaštitu opisanu u poglavlju 2.3. Zatezni izolator se s jedne strane pričvršćuje za stup, a s druge strane se prihvaća zatezna stezaljka (broj 4 na slici 11). Zatezna stezaljka izrađena je od aluminijske legure s plastičnim klinastim čeljusti koje čvrsto drže vodič a da ga pri tom ne oštete. Stezaljka dolazi opremljena vodonepropusnom izoliranom strujnom stezaljkom koja dovodi metalne dijelove stezaljke na potencijal vodiča. Time se sprječavaju pojave parcijalnih pražnjenja ili korone u okolini zateznog izolatorskog mjesta. Na glavi stupa se koristi jedan potporni kompozitni izolator koji prihvaća poluizolirani vodič iznad stupa. Poluizolirani vodiči se spajaju na strujnim mostovima upotrebom izolirane vodonepropusne strujne spojnice.

2.4.5. Nosiva stupna mjesta

Slika 12. prikazuje nosivi stup delta glave u bočnom pogledu. Prikazani oblik glave korišten je i na nadzemnom vodu prema TS Grmov. Glava stupa se sastoji od dijelova navednih u legendi na slici 10. Za odabir izolatora kao najbolji odabir se javlja potporni kompozitni izolator s glavom izrađenom od *PolyAmid-a* i to standardne izvedbe (lijevo na slici 11) ili U-izvedbe (desno na slici 11.) koja obuhvaća vodič sa svih strana i osigurava siguran prihvat vodiča. Ujedno, takva izvedba omogućava razvlačenje vodiča bez upotrebe kolutura. Također, smanjena je vjerojatnost pucanja predformiranog plastičnog veza uslijed nekog većeg mehaničkog naprezanja. Vodič se pričvršćuje za glavu vodiča predformiranim vezovima (bilo to plastičnim ili metalnim s slojem izolacije povrh).



LEGENDA:

1. KOMPOZITNI POTPORN IZOLATOR
2. NOSIVA KONZOLA
3. PRENAPONSKA ZAŠTITA
4. POLUIZOLIRANI VODIČ
5. ANTIVIBRACIJSKI ELEMENT

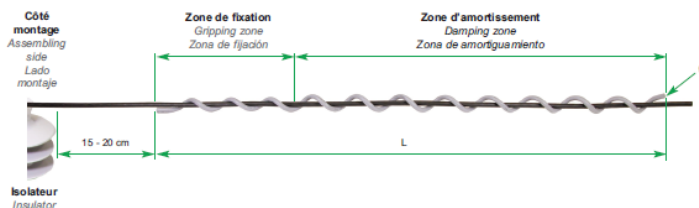
Slika 12. Skica glave nosivog stupa delta glave

Na svakih nekoliko stupova, ovisno o konfiguraciji terena, preporuka je postaviti prenaponsku zaštitu zbog razloga opisanih u poglavlju 2.3.



Slika 13. Kompozitni potporni izolatori

Kao zaštita od eolskih vibracija, proizvode se antivibracijski elementi (slika 14) koji se postavljaju na 15-ak cm udaljenosti od izolatora na stupovima. Antivibracijski elementi se mogu postavljati u svim rasponima ili samo kritičnim (obično onim najkraćim).



Slika 14. Antivibracijski element

3. EKONOMSKA ANALIZA

Ekonomska analiza je izrađena za dva slučaja. Prvi slučaj je usporedba izvođenja novog podzemnog kablenskog voda u zemljanom kanal u dužini od 1000 m, s rekonstrukcijom postojećeg nadzemnog voda dužine 1000 m. Pod rekonstrukcijom postojećeg nadzemnog voda se podrazumijeva zamjena neizoliranih vodiča poluizoliranim, ugradnja nove odgovarajuće spojne i ovisne opreme, novih kompozitnih izolatora i ostale opreme na postojeće stupova, bez većih građevinskih zahvata. U obzir je uzeto postavljanje uzemljenja i prenaponske zaštite na svaki 2-3 stup. Pod izvođenjem novog kablenskog voda podrazumijeva se polaganje kablenskog snopa, uzemljivačke trake i jedne PVC cijevi u zemljani kablenski kanal dimenzija 40x80 cm bez asfaltiranja. **Uz sve navedeno, zaključuje se da se takav postojeći nadzemni vod može rekonstruirati upotrebom PI vodiča za otprilike 40% cijene izvođenja novog kablenskog priključka.** Ujedno, treba napomenuti da je usporedba napravljena za DV i KB jednake dužine, ali u stvarnim uvjetima, obično je trasa kablenskog voda duža od trase DV-a jer prati neku postojeću prometnicu ili put.

Drugi slučaj se odnosi konkretno na spomenutu rekonstrukciju nadzemnog voda za TS Grmov na Cresu u dužini od 2,77 km. Za rekonstrukciju postojećeg nadzemnog voda je bilo potrebno izvesti nešto više građevinskih radova zbog ispravljanja nagnutih stupova. Dakle, na rekonstrukciji postojećeg nadzemnog voda dužine 2,77 km bilo je potrebno ispraviti povećati broj stupova (točnije 27 stupova), zamijeniti dva postojeća stupa, kao i izvršiti iskop kanala za postavljanje uzemljivačke trake oko stupova na kojima se postavlja prenaponska zaštita. Pritom, mijenja se postojeći neizolirani vodič za novi poluizolirani vodič uz postavljanje nove odgovarajuće spojne i ovisne opreme. Za usporedbu troškova je

uzet primjer kabelskog voda iste te dužine (2,77 km) u kabelskom kanalu u slobodnoj zemljanoj površini. Pod izvođenjem novog kabelskog voda podrazumijeva se polaganje kabelskog snopa, uzemljivačke trake i jedne PVC cijevi u zemljani kabelski kanal dimenzija 40x80 cm. Samo kao napomena, kada bi se izvodio kabelski vod umjesto postojećeg nadzemnog voda, isti bi bio i duži jer bi se polagao po postojećem putu za naselje Grmov, a koji je nešto duži od 2,77 km. **Uz navedene uvjete na DV-u Grmov, izlazi da se rekonstrukcija postojećeg nadzemnog voda upotrebom PI vodiča može izvršiti za otprilike 56% cijene izvođenja novog kabelskog priključka.**

Dakle, uspoređujući gore 2 opisana slučaja vidi se da su postotci približno jednaki, i u korist rekonstrukcije postojećih nadzemnih vodova. Kod projekta rekonstrukcije nadzemnog voda za TS Grmov se javlja 16% razlike prilikom usporedbe s slučajem 1 i slučajem 2 zbog dodatnih građevinskih radova ispravljanja stupova, organizacije gradilišta, čišćenja terena i zamjene 2 stupa na nadzemnom vodu za TS Grmov.

4. ZAKLJUČAK

Poluizolirani vodiči se pokazuju kao dobro, efikasno i pouzdano rješenje, a pritom ekonomski relativno povoljno rješenje prilikom rekonstrukcije postojećih nadzemnih SN vodova. Međutim, prilikom izrade takvih rješenja potrebno je posebnu pozornost posvetiti provjeri sigurnosnih visina poluizoliranog vodiča nadzemnog voda. Uz oprez na zadovoljavanje sigurnosne visine, potrebno je razmotriti i postaviti prenaponsku zaštitu uzduž rekonstruiranog voda. Ujedno, bitno je napomenuti problem detekcije kvara. Naime, moguće je da na vodu npr. leži grana ili neko manje stablo, a zbog izolacije na vodiču, zaštita ne očitava kvarno stanje (jer ni nije nastao kvar). Takve situacije je moguće vidjeti samo redovnim obilaskom voda. Ekonomska analiza pokazuje da trošak rekonstrukcije zračnog voda poluizoliranim vodičima može iznositi čak i do 40-45% vrijednosti potrebne za rekonstrukciju predmetne veze polaganjem podzemnog kabela. Pritom treba naglasiti da trošak izvođenja podzemnog kabela može u budućnosti biti značajno povećan ukoliko uslijed kapacitivnih struja kojima je doprinio bude bilo potrebno u 20 kV mreži ugrađivati prigušnicu ili filtre za kompenzaciju kapacitivne struje.

5. LITERATURA

[1] HRN EN 50397-1 „Izolirani vodiči za nadzemne vodove i njihov pribor za nazivne napone iznad 1kV ali ne veće od 36 kV izmjenične struje“

[2] „Preporuke za gradnju nadzemnih srednjenaponskih vodova s izoliranim vodičima“, HEP 27.05.1997.

[3] Pravilniku o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona 1 kV do 400 kV

[4] Vučinić Siniša: „Tehničko rješenje dalekovoda 20 kV sa poluizoliranim vodičima“ – Diplomski rad, Zavod za elektroenergetiku, Tehnički fakultet u Rijeci, rujana 2018.

[5] Brkić Nikica; „Mehanički proračun vodiča“-završni rad, Zavod za elektroenergetiku, Tehnički fakultet u Rijeci, rujana 2015.

[6] Komen Vitomir; „Prijenos i distribucija električne energije – Nadzemni elektronenergetski vodovi“, „Mehanički proračun vodiča“, Zavod za elektroenergetiku, Tehnički fakultet u Rijeci

[7] „Tehnička preporuka broj 10v“, Elektroprivreda Srbije

[8] Četković Deni, Vučinić Siniša "Zamjena vodiča na 20 kV DV za TS 20/0,4 kV Grmov“, Tehničko rješenje, TR-VS-90-19, HEP ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka, siječanj 2020.