

Deni Četković, mag.ing.el.  
HEP ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka  
[deni.cetkovic@hep.hr](mailto:deni.cetkovic@hep.hr)

Siniša Vučinić, mag.ing.el.  
HEP ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka  
[sinisa.vucinic@hep.hr](mailto:sinisa.vucinic@hep.hr)

Mladen Zuzić, dipl.ing.el.  
HEP ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka  
[mladen.zuzic@hep.hr](mailto:mladen.zuzic@hep.hr)

## ISKUSTVA U PRIMJENI SAMONOSIVOG KABELSKOG SNOPA (SKS-a) PRI REKONSTRUKCIJI POSTOJEĆIH NADZEMNIH SN MREŽA

### SAŽETAK

Zbog potrebe za zaštitom ugroženih vrsta ptica u određenim područjima napajanim nadzemnim vodovima sa golim vodičima traže se nova rješenja izvođenja srednjenaponskog napajanja. Kako bi se izbjegli povećani troškovi izgradnje podzemnog SN voda kao rješenje se odabralo postavljanje samonosivog kabelskog snopa (SKS-a) na postojeće i novopredviđene stupove. SKS je kabelski snop s punom izolacijom čime se povećava sigurnost opskrbe. U radu su prikazani prednosti i nedostaci korištenja SKS-a te problematika zadovoljavanja zahtjeva sigurnosnih visina i nosivosti stupova nakon ugradnje.

**Ključne riječi:** samonosivi kabelski snop, zaštita ptica

## EXPERIENCES IN APPLICATION OF SELF-SUPPORTING CABLE BUNDLE (ABC) IN RECONSTRUCTION OF EXISTING OVERHEAD MV NETWORKS

### SUMMARY

With the increasing demand for the protection of rare bird species in certain areas of overhead power lines with bare conductors, new solutions for the medium voltage power supply are being sought. In order to avoid the cost of constructing underground MV cable line, the installation of a self-supporting cable on existing and new metal poles was chosen as a solution. Self-supporting cable is a fully insulated cable bundle that enhances the security of supply. The paper presents the advantages and disadvantages of using the self-supporting cable system as overhead line solutions and the problems of meeting the requirements of the safety heights and bearing capacity of the metal poles after installation.

**Key words:** self-supporting power cable, birds protection

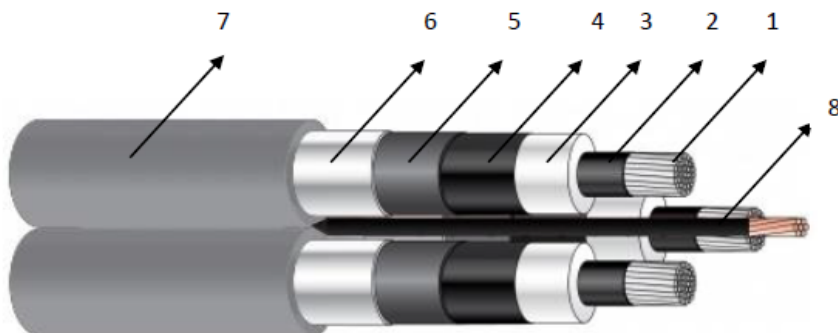
## 1. UVOD

Zbog potrebe za zaštitom ugroženih vrsta ptica u određenim područjima napajanim nadzemnim vodovima sa golim vodičima traže se nova rješenja izvođenja srednjenaponskog napajanja. Kao jedno od standardnih rješenja nameće se polaganje podzemnog kabela čije polaganje zahtjeva značajne građevinske radove. Kako bi se izbjeglo povećane troškove izgradnje podzemnog SN voda kao rješenje napajanja postojećih TS Srem, TS Plat i TS Verin se odabralo postavljanje samonosivog kablenskog snopa (SKS-a) na postojeće i novopredviđene stupove.

## 2. OPIS RJEŠENJA

### 2.1. Podaci o 20 kV samonosivom kablenskom snopu i pripadajućoj opremi

Kao samonosivi kablenski snop korišten je SKS-Y 3 x1x35 mm<sup>2</sup>+50Y. Predmetni SKS sastoji se od tri međusobno prepletена vodiča presjeka 35 mm<sup>2</sup> te nosivog užeta presjeka 50 mm<sup>2</sup>. Vodič je izrađen od aluminija te ima XLPE izolaciju i zaslon od poluvodljivog XLPE-a. Masa kabela iznosi 2 kg/m. Standardno se isporučuje u tromelima duljine 700m ± 5% .



Slika 1. Samonosivi kablenski snop SKS-Y 3 x1x35 mm<sup>2</sup>+50Y

Konstrukcija samonosivog kablenskog snopa prikazana je na Slici 1. Elementi samonosivog kablenskog snopa su:

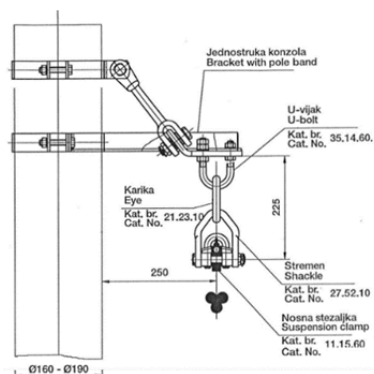
- 1. vodič: Al uže, zbijeno
- 2. ekran vodiča: poluvodljivi sloj na vodiču
- 3. izolacija: XLPE
- 4. ekran izolacije: poluvodljivi sloj na izolaciji
- 5. separator: poluvodljiva traka
- 6. električna zaštita/ekran: od Al trake
- 7. vanjski plašt: PE
- 8. nosivo uže: čelično pocinčano uže 50mm<sup>2</sup>, zaštićeno sa PE oblogom

Za spojnice je korištena hladnoskupljajuća spojnica (Slika 2.) sa vijčanom čahurom za samonosivi kablenski snop, tip: CSJA-24B/1XU-1XU-HR01, proizvođač Raychem.



Slika 2. Spojnica za 20 kV SKS

Pri ovješenu SKS-a korištena su modificirana nosiva ovješnja za SKS za ovješenu na betonskom stupu kao što je modificirano nosivo ovješnje, kat.br. 43.17.14., proizvođač: Dalekovid, prikazano na Slici3.



Slika 3. Prikaz ovješnja SKS-a na postojeći betonski stup

## 2.2. Problematika pojačanog utjecaja vjetra kod SKS-a

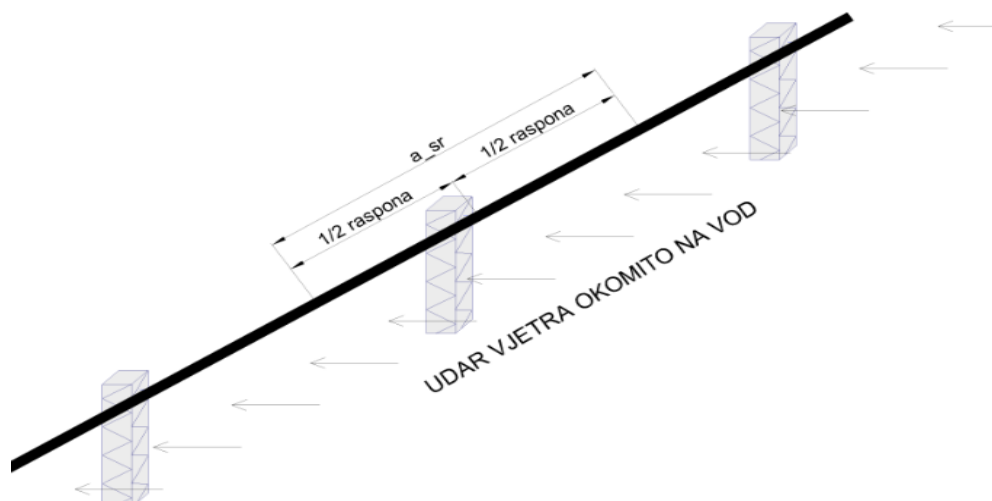
Samonosivi kabelski snop u presjeku je značajno veće površine u odnosu na uobičajenu varijantu sa golim AIFe vodičima. Promjer jednog golog vodiča AIFe 35mm<sup>2</sup> koji je prethodno bio ugrađen na dalekovod iznosi 8,1mm dok je promjer samonosivog kabelskog snopa značajno veći, 60mm.

Sila uslijed djelovanja vjetra računa se prema relaciji (1):

$$F_{vjetar} = p \cdot d_v \cdot a_{sr} \quad (1)$$

U relaciji (1)  $p$  predstavlja pritisak vjetra,  $d_v$  predstavlja promjer vodiča odnosno zbroj promjera svih vodiča dok  $a_{sr}$  predstavlja zbroj susjednih poluraspona. Prikaz udara vjetra na vodič i poluraspona koji se uzimaju u obzir za kontrolu opterećenja stupa dat je na Slici 4.

Iz relacije (1) jasno je kako će povećanje zbroja promjera svih vodiča na dalekovodu linearno povećati i sile na stup uslijed djelovanja vjetra.



Slika 4. Prikaz udara vjetra na vodič i poluraspona koji se uzimaju u obzir za kontrolu opterećenja stupa

U slučaju da ovješnje vodiča na vrhu stupa ne zadovoljava maksimalno dopušteno opterećenje stupa vodič je moguće spustiti niže. U tom se slučaju rezultanta sila uslijed utjecaja vjetra reducira na vrh stupa te se u idealnim uvjetima može izračunati prema relaciji (2).

$$R_{vjetar} = F_{vjetar} \cdot \frac{h_{vodič}}{h_{stup}} \quad (2)$$

U gorenavedenoj relaciji  $h_{vodič}$  predstavlja visinu na kojoj je izvršeno ovješnje vodiča a  $h_{stup}$  predstavlja visinu vrha stupa odnosno visinu točke na stupu za koju je proizvođač stupa definirao maksimalno opterećenje.

Na području rekonstruiranog dalekovoda za pritisak vjetra uzima se vrijednost od 750 N/m<sup>2</sup>. Zbroj susjednih poluraspona na najkritičnijim dionicama doseže gotovo 80 m. Promjer samonosivog kabelskog snopa iznosi 60 mm. Uvrštavanjem navedenih vrijednosti u relaciju (1) izračunava se sila uslijed djelovanja vjetra od 360 daN. Obzirom da veći dio nosnih stupova ima maksimalno opterećenje na vrhu stupa od 315 daN predmetni stupovi ne zadovoljavaju novonastalo opterećenje uslijed djelovanja vjetra. Opterećenje je moguće malo smanjiti ovješnjem vodiča na nižoj visini.

Projektom rekonstrukcije dalekovoda [1] kao rješenje zadovoljavanja statike postojećih nosnih stupova preporuča se sidrenje nosnih stupova ili zamjena novopredviđenim stupovima sa nazivnim opterećenjem 500 daN.

### 2.3. Usporedba provjesa novopredviđenog SKS-a sa postojećim AIFe 35 zračnim vodom

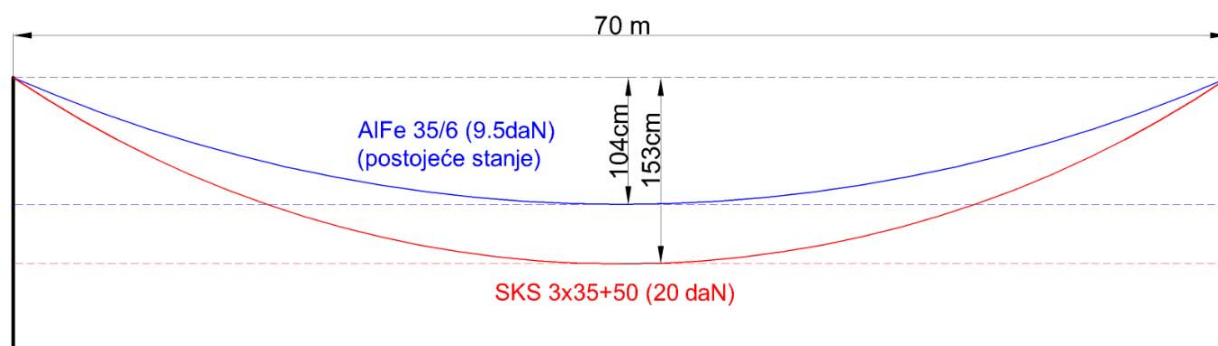
Precizna analiza provjesa uobičajeno se radi u programu za grafički proračun provjesa i sigurnosnih visina 'Electra' gdje se krivulja provjesa nadomještenu lančanicom. Za potrebe brze analize potencijalne ugradnje različitih vrsti vodiča na postojeće koridore zračnih vodova razvijen je Excel proračun koji je baziran na približnom proračunu gdje je krivulja provjesa nadomještenu parabolom [2] [3]. Rezultantni podaci provjesa predmetnog Excel proračuna se u provjerama za različite situacije poklapaju sa rezultatima programskog paketa 'Electra' do preciznosti od  $\pm 2$  cm.

Na Tablici I. prikazana je dobivena usporedba Alfe 35 mm<sup>2</sup> i SKS 3x35+50mm<sup>2</sup> pri različitim provjesima. U proračunima je za radno naprezanje  $\sigma_{max}$  odabrano 95 N/mm<sup>2</sup> za Alfe 35 te 200 N/mm<sup>2</sup> za SKS. Prikazani podaci odnose se na najkritičniju situaciju gdje je dobiven najveći provjes (-5+led).

Duljina raspona	40	50	60	70	75	80	90
f_AIFe 3x35 (m)	0,34	0,53	0,76	1,04	1,2	1,37	1,73
f_SKS 20 kV 3x35+50 (m)	0,5	0,78	1,13	1,53	1,76	2,001	2,53

Tablica I. Prikaz usporedbe AIFe 35 i 20 kV SKS-a pri različitim rasponima

Iz Tablice I. je vidljivo kako je pri manjim rasponima povećanje provjesa neznatno a pri većim rasponima raste. Na Slici 5. prikazan je tipični slučaj raspona nadzemnog 20 kV dalekovoda Srem-Plat-Verin gdje ovješnje SKS-a sa radnim naprezanjem 200 N/mm<sup>2</sup> dovodi do povećanja provjesa za gotovo pola metra.



Slika 5. Prikaz usporedbe AIFe 35 i 20 kV SKS-a pri rasponu 70 m

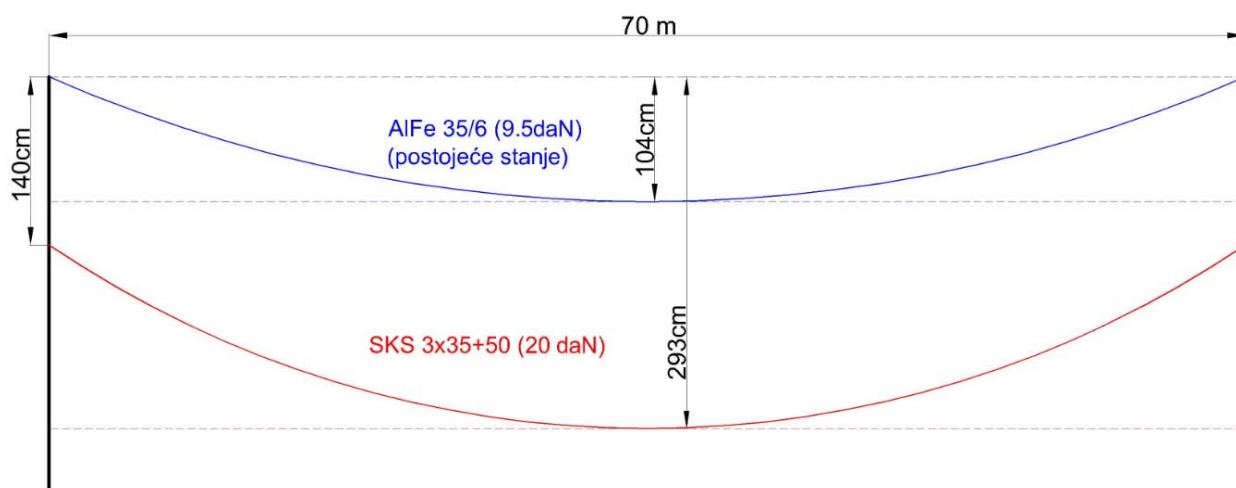
Na svim dionicama gdje se vrši rekonstrukcija bilo je potrebno voditi računa o sigurnosnim udaljenostima i visinama te uzeti u obzir podatke iz Tablice I. odnosno grafički skicirati provjese u programu 'Electra' vodeći računa o sigurnosnim visinama koje su definirane pravilnikom [4] a iznose:

- 4,0m za nepristupačna mjesta
- 5,0m za mjesta nepristupačna vozilima
- 6,0m za mjesta pristupačna vozilima

## 2.4. Odabir optimalne visine ovješnja SKS-a

Obzirom da su nosni stupovi kritično opterećeni na bočne udare vjetra osim sidrenja stupova kao jedna od mjera može se koristiti ovješnje vodiča na nešto nižoj visini od vrha stupa. Pritom naravno treba voditi računa o sigurnosnim visinama.

Na Slici 6. prikazana je usporedba AlFe 35 vodiča i SKS-a nakon spuštanja točke ovješnja SKS-a za 1,4 m. Vidljivo je kako će u idealnim uvjetima vodič na mjestu najvećeg provjesa sada biti spušten 2,93 m od vrha stupa. Obzirom da su na zračnom vodu Srem-Plat-Verin izvedeni 12-metarski stupovi čija visina neukopanog dijela iznosi 10 m, u idealnim uvjetima bi na najbližem mjestu vodič bio udaljen 7,07 m od zemlje.



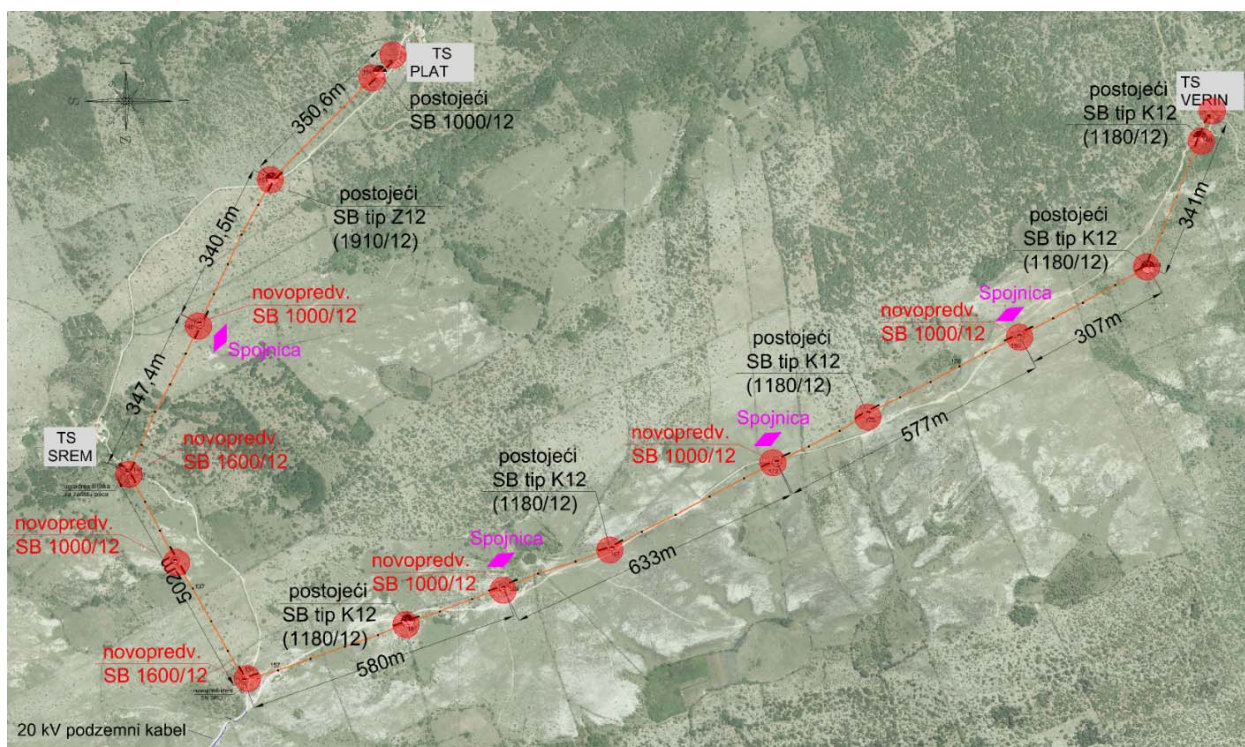
Slika 6. Prikaz usporedbe AlFe 35 i 20 kV SKS-a nakon spuštanja točke ovješnja SKS-a

U neidealnim uvjetima gdje su stupovi ugrađeni na neravnom terenu situacija je nepovoljnija te će SKS biti puno bliže zemlji. U slučaju zračnog voda Srem-Plat-Verin povoljno je što značajni dio koridora dalekovoda prolazi mjestima koja su nepristupačna vozilom pa minimalna sigurnosna visina iznosi 5,0 m. Uzevši u obzir sve navedeno visinu mjesta ovješnja potrebno je prilagoditi uzevši u obzir geodetski profil terena.

## 2.5. Odabir pozicije i tipova novopredviđenih stupova

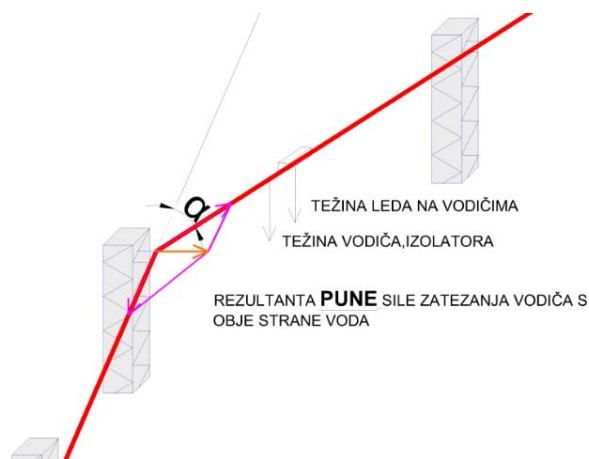
Prilikom rekonstrukcije zračnog voda i određivanja novih zateznih polja uz sve ranije navedene zakonske uvjete vođeno je računa i o optimalnom iskorištenju nabavljenog 20 kV samonosivog kabelskog snopa namotanog na tromele, u ukupnoj duljini 650-700 m. Također se uzelo u obzir i postojeće zatezne stupove koji su veće nosivosti pa mogu zadovoljiti ovješnje.

Temeljem svega navedenog pronađeno je optimalno rješenje prikazano na Slici 7. Predmetnim rješenjem maksimalno je iskorišten SKS te minimiziran broj potrebnih spojnica kao i broj novopredviđenih stupova.



Slika 7. Situacija dalekovoda Srem-Plat-Verin

Svaki od navedenih stupova mora zadovoljiti maksimalno dopuštene sile naprezanja na vrhu stupa uzrokovane zatezanjem SKS-a. Pritom su se najkritičnijima pokazali kutni stupovi gdje se zatega vrši na obje strane.



Slika 8. Prikaz sile koje utječu na opterećenje stupa prema članku 68.1.a. referentnog pravilnika

Stup na kojem se pojavljuju najveće sile uslijed zatezanja vodiča je početni stup dalekovoda gdje se na dvije strane vrši ovješnje SKS-a. Ovdje se dva samonosiva kabelska snopa granaju u dva smjera pri čemu je kut među njima  $103^{\circ}$ .

Sila koja će se javiti na stup uslijed zatezanja vodiča izračunava se prema relaciji (3).

$$F_{stup} = 2 \cdot \sigma_v \cdot A_v \cdot \sin(\alpha/2) \quad (3)$$

U navedenoj relaciji  $\sigma_v$  predstavlja naprezanje vodiča (za SKS se odabire približno 200 N/mm<sup>2</sup>),  $A_v$  predstavlja presjek zateznog užeta koji iznosi 50 mm<sup>2</sup> dok  $\alpha$  predstavlja kut otklon trase u odnosu na horizontalnu liniju prikazan na Slici 8. Za slučaj predmetnog kritičnog stupa kut  $\alpha$  iznosi 77°.

Uvrštavajući sve navedene podatke u relaciju (3) dobiva se kritična rezultantna sila na stup od 1245 daN te se odabire novopredviđeni stup 1600 daN. Predmetni stup potrebno je još provjeriti uzevši u obzir i težinu potencijalnog leda na vodičima.

Za novopredviđene zatezne stupove gdje nema loma trase odabrani su stupovi 1000 daN. Ovi stupovi mogu prilikom montaže biti kratkotrajno opterećeni silom od 1000 daN dok će se nakon izvođenja zračnog voda sile zatezanja u oba smjera poništiti pa stup neće biti opterećen uslijed sile zatezanja vodiča.

### 3. ZAKLJUČAK

Samonosivi kabelski snop moguće je koristiti pri rekonstrukciji postojećih zračnih mreža izvedenim golim vodičima. Pritom treba pripaziti na bitne elemente kao što su zadovoljavanje uvjeta sigurnosnih visina. Posebnu pozornost treba posvetiti provjeri opterećenja postojećih nosnih stupova. Obzirom da je samonosivi kabelski snop u presjeku znatno širi od tri gola vodiča javljaju se znatno veće sile na nosne stupove uslijed utjecaja vjetera. U slučaju velikih raspona postojećih dalekovoda (>80m) mogu se javiti problemi uzrokovani značajnom bočnom silom vjetera koja može biti veća od sile koju nosni stupovi mogu izdržati. Također se pri većim rasponima pojavljuju i povećani provjesi koji mogu značajno premašiti provjese postojećih zračnih vodova izvedenih sa golim vodičima pa je i tome potrebno posvetiti posebnu pozornost pri rekonstrukciji dalekovoda samonosivim kabelskim snopovima.

### 4. LITERATURA

[1] Zorić Zvonimir, Pavić Slavko, "Ugradnja 20 kV SKS-a na DV TS 20/0,4 kV SREM-TS 20/0,4 kV PLAT-TS 20/0,4 kV VERIN", Izvedbeni projekt, DA1787, Dalekovod projekt, rujana 2019.

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

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

[4] Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV ("Službeni list" broj 65/88, "Narodne novine" broj 53/91 – Zakon o standardizaciji, 24/97)

[5] Četković Deni, "Odabir opreme za ovješeno i spajanje 20 kV SKS-a na DV TS 20/0,4 kV SREM-TS 20/0,4 kV PLAT-TS 20/0,4 kV VERIN", Tehničko rješenje, TR-VS-34-19, HEP ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka, ožujak 2019.