

Mr.sc. Domagoj Milun, dipl.ing.el.
HEP-ODS d.o.o., Elektrodalmacija Split
domagoj.milun@hep.hr

Zdravko Caktaš
HEP-ODS d.o.o., Elektrodalmacija Split
zdravko.caktas@hep.hr

Ivica Katić, dipl.ing.el.
HEP-ODS d.o.o., Elektrodalmacija Split
ivica.katic@hep.hr

Zvonimir Zorić, dipl.ing.el.
Dalekovod Projekt d.o.o.
Zvonimir.Zoric@dalekovod.hr

TEHNIČKO-EKONOMSKI ASPEKTI PRI ZAMJENI AL/Č VODIČA VISOKOTEMPERATURNIM NISKOPROVJESNIM ACCC VODIČIMA NA DV 35 kV

SAŽETAK

Naglo i neplanirano povećanje vršnog opterećenja na nekim područjima, po godišnjoj stopi znatno većoj od planirane i očekivane, rezultira povećanjem vršne snage TS 35/10 kV te uvjetuje povećanje prijenosne moći vodova 35 kV. Jedno od rješenja na nadzemnim vodovima je zamjena postojećih Al/Č vodiča visokotemperaturnim niskoprovjesnim vodičima, kojima se značajno povećava prijenosna moć nadzemnog voda, uz zadržavanje svih bitnih mehaničkih i lokacijskih parametara voda (trasa, lokacije stupova, provjesi, sigurnosne visine i udaljenosti, mehanička naprezanja i dr.). Investicijski troškovi kod takvih zahvata su u pravilu značajno niži od gradnje novog nadzemnog voda većeg presjeka vodiča, a rokovi izvedbe, od ideje do realizacije su znatno kraći.

U ovom radu se analiziraju prethodno navedeni tehničko-ekonomski aspekti na primjeru zamjene Al/Č vodiča visokotemperaturnim niskoprovjesnim ACCC vodičima na DV 35 kV TS 110/35 kV Makarska – TS 35/10 kV Makarska.

Ključne riječi: vodič, visokotemperaturni, provjes, kompozit, obnova, gubici

TECHNICAL-ECONOMIC ASPECTS IN REPLACING ACSR CONDUCTORS WITH HIGH TEMPERATURE LOW SAG ACCC CONDUCTORS AT 35 KV OHL

SUMMARY

Sudden and unplanned increase in peak load in some areas, at an annual rate significantly higher than planned and expected, results in an increase of the peak load of TS 35/10 kV and requires an increase in the transmission capacity of 35 kV lines. One of the solutions is replacement existing ACSR conductors by high-temperature low-sag conductors, which significantly increases the transmission capacity of overhead lines, while retaining all essential mechanical and locational parameters of the line (corridor, tower locations, sags, clearances, mechanical stresses, etc.). Investments for such interventions are generally significantly lower than the construction of a new overhead line of larger conductor cross-section, and deadlines for implementation, from idea to realization are significantly shorter.

In this paper the previously mentioned technical and economic aspects are analyzed on the example of ACSR conductors replacement by high-temperature low-sag ACCC conductors at 35 kV line 110/35 kV Makarska - 35/10 kV Makarska.

Keywords: conductor, high temperature, sag, composite, renovation, power losses

1. UVOD

Nadzemni vodovi nazivnog napona 35(30) kV su sve do konca prošlog stoljeća bili „kralježnica“ hrvatskog distribucijskog sustava, koji se temeljio na konceptu dvostruke x/SN transformacije (110/35 kV i 35(30)/10 kV). Njihova izgradnja pratila je izgradnju TS 35/10 kV, koje su se, izuzevši urbana središta, u mrežu povezivale nadzemnim vodovima. Najintezivnija gradnja 35(30) kV nadzemnih vodova odvijala se u razdoblju između 1965. i 1985. godine, kada je izgrađen najveći dio danas postojećih nadzemnih vodova. S ciljem optimiranja mreže nazivnog napona 35(30) kV uvedena je i tipizacija izvedbe dalekovoda na čelično-rešetkastim stupovima s Al/Č vodičima nazivnog presjeka 120/20 mm². Udio tako tipiziranih vodova, izgrađenih u tom razdoblju, u ukupnom broju današnjih nadzemnih vodova nazivnog napona 35(30) kV procjenjuje se na oko 60%.

Opredjeljenjem za povoljniji koncept izravne transformacije 110/20 kV te postupno uvođenje nazivnog napona 20 kV umjesto 10 kV, s ciljem ukidanja napona 35(30) kV, koncem 80-tih godina naglo zastaje izgradnja novih dalekovoda 35 kV. Izuzevši troškove održavanja, značajnijih ulaganja u gradnju ili obnovu postojećih vodova gotovo da nije ni bilo.

Međutim, pokazalo se da se u nekim područjima izgradnja TS 110/20 kV i prelazak s nazivnog napona 10 kV na 20 kV odvija znatno sporije nego što to zahtijeva povećanje vršnog opterećenja, uslijed intezivne izgradnje, kao i povećanja potrošnje električne energije postojećih kupaca. Rezultati su: povećanje stupnja dotrajalosti elemenata vodova i povećanje vršnog opterećenja postrojenja i vodova do graničnih vrijednosti.

Posljedice ovakvog stanja su smanjenje pouzdanosti 35(30) kV mreže i ograničenje daljnjeg povećanja vršnog opterećenja u područjima intezivne izgradnje i povećanja potrošnje, čime se izravno ograničava razvoj u tim područjima.

S obzirom na to da je izgradnja novih postrojenja i vodova zahtjevan, skup, dugotrajan i neizvjestan proces, obnova postojećih vodova, uz eventualno povećanje njihove prienosne moći, gdje je to potrebno i moguće, nameće se kao logično rješenje.

Nadzemni vod se može promatrati kao sklop sačinjen od četiri skupine elemenata: stupovi, vodiči i zaštitna užad, izolacija te ovjesna i spojna oprema s ostalim priborom. Iako vrijednosti nekog voda najveći doprinos daju najvrjednije komponente, a to su u pravilu stupovi i sami koridor voda, svaka od komponenti pridonosi njegovoj pouzdanosti. Čak što više, može se reći da pouzdanost ovisi najviše o najlošijoj komponenti. S obzirom na to da stupovi imaju u pravilu znatno dulji životni vijek od ostalih elemenata, njihova dotrajalost i slabljenje mehaničkih svojstava se očekuje znatno kasnije od dotrajalosti ostalih komponenti, značajno kraćeg životnog vijeka. Dakle, nakon zamjene vodiča, izolacije, ovjesne i spojne opreme, uz obnovu površinske zaštite stupova, vod će, u pogledu pouzdanosti, imati svojstva gotovo kao i novi vod. Naravno, to ne vrijedi za vodove čiji su stupovi dotrajali u tolikoj mjeri, da im je ugrožena statika.

Postupci pri zamjeni postojećih vodiča, prema složenosti, troškovima i pristupu mogu se razvrstati u jednu od slijedećih skupina:

1. Zamjena istim ili podjednakim tipom i presjekom vodiča,
2. Zamjena drugim tipom ili presjekom vodiča, sa značajnim utjecajem na statiku stupova,
3. Zamjena drugim tipom ili presjekom vodiča bez značajnijeg utjecaja na statiku stupova.

Prvi slučaj je najjednostavniji i može se obaviti temeljem postojeće dokumentacije, bez potrebe izrade novog projekta. Ovakvim zahvatom se povećava pouzdanost, ali bez povećanja nazivne struje.

Drugi slučaj predstavlja značajnu rekonstrukciju, za koju je potrebno pojačati stupove ili ih zamijeniti drugim tipom. Primjer je zamjena Al/Č vodiča vodičima većeg presjeka zbog potrebe povećanja nazivne struje voda. Osim značajnih troškova projektiranja i građenja, potrebno je ishoditi i dozvolu za građenje. Cijeli postupak je skup i dugotrajan, a ukupni troškovi u krajnjem slučaju mogu premašiti troškove izgradnje potpuno novog voda.

Treći slučaj je zamjena postojećih vodiča drugim tipom, veće nazivne struje, ali podjednako promjera i mase. Takav zahvat najčešće zahtijeva izradu samo elektrotehničkog projekta, bez zadiranja u statiku stupova. Upravo s ovim ciljem su razvijeni visokotemperaturni niskoprovjesni vodiči (High Temperature Low Sag - HTLS), kod koji se postižu značajno veće gustoće struje, uz povećanje najviše dopuštene radne temperature. Iako je razvoj HTLS vodiča u početku bio usmjeren isključivo na

prijenosne vodove i veće presjeke, odnedavno se uvode i u sredjenaponske vodove, često kao optimalno tehničko rješenje obnove dalekovoda uz povećanje prijenosne moći.

2. PREGLED OSNOVNIH ZNAČAJKI VISOKOTEMPERATURNIH VODIČA

Aluminijski vodiči ojačani čeličnom jezgrom Al/Č, odn. ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced) dugo su vremena bili najpovoljniji tip vodiča i stoga su još uvijek najzastupljeniji kod prijenosnih i distribucijskih nadzemnih vodova, prvenstveno zbog jednostavnosti, robusnosti, male težine i povoljne cijene. No, s vremenom su do izražaja došla ograničenja ovog tipa vodiča, u prvom redu temperaturna.

Al/Č vodiči su izrađeni kao užad od tvrdo vučene aluminijske žice, s jezgrom od jedne ili više čeličnih pocinčanih žica. Tvrdo vučeni aluminij ima temperaturno ograničenje radne temperature na maksimalnih 90 °C, a hrvatski, još uvijek važeći, Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV [1], je još stroži, pa se u članku 16. navodi: „Presjek užadi mora biti dovoljno velik da ukupna temperatura užadi zbog zagrijavanja strujom ne bude viša od 80 °C, pri čemu se računa s temperaturom okoline od +40 °C.

Stoga se plaševi visokotemperaturnih vodiča izrađuju od legura koje dobro podnose povišene radne temperature, neke i preko 200 °C. No, nije problem samo u temperaturnom ograničenju aluminijskog plašta. Slijedeći problem koji se javlja kod pogona na višim temperaturama je povećanje provjesa, uslijed temperaturnog istezanja.

Visokotemperaturni niskoprovjesni (HTLS - High Temperature Low Sag) vodiči, osim što imaju plašt koji dobro podnosi povišene temperature, imaju i jezgru od materijala otpornog na visoke temperature, s niskim koeficijentom linearnog toplinskog istezanja. Najviše dozvoljene radne temperature takvih vodiča kreću se u rasponu od 150 °C do preko 200 °C, ovisno o tipu. Pored toga, s obzirom na to da su predviđeni za visoke gustoće struja, za takve vodiče se zahtijeva i smanjenje otpora, s ciljem smanjenja gubitaka.

2.1. Pregled najčešće korištenih visokotemperaturnih vodiča

S obzirom na to da su u [2] i [3] opisane osnovne značajke najčešće korištenih HTLS vodiča, u nastavku se daje pregled u najkraćim crtama.

2.1.1. G(Z)TACSR – Gap Type Thermal Resistant Aluminum Alloy Conductor, Steel Reinforced

Vodič od legure aluminija i cirkonija (TAL ili ZTAL) s razmakom između plašta i nosive jezgre od čeličnih žica. Ovisno o vrsti legure podnosi temperature do 150 °C (TAL), odnosno 210 °C (ZTAL).

2.1.2. ZTACIR – Ultra Thermal Resistant Aluminium Alloy Conductor, Invar Reinforced

Vodič od temperaturno otporne legure aluminija (ZTAL) ojačan žicama od invara (legura željeza i nikla) koje imaju nizak koeficijent linearnog temperaturnog istezanja. Ovisno o vrsti legure podnosi temperature i do 210 °C.

2.1.3. ACSS – Aluminum Conductor Steel Supported

Vodič slične konstrukcije kao i Al/Č, s tom razlikom da je aluminijski plašt načinjen od žica žarenog aluminija, koje mogu biti okrugle ili trapezne (ACSS/TW). Žice jezgre su izrađene od čelika povećane čvrstoće (10%). Temperaturno područje mu je i do 250 °C.

2.1.4. ACCR – Aluminum Conductor Composite Reinforced

Vodič s jezgrom od kompozitnog materijala – vlakana od aluminijskog oksida, koja ima znatno niži koeficijent linearnog toplinskog istezanja. Plašt je izrađen od žica legure aluminija i cirkonija (ZTAL). Temperaturno područje mu je do 240 °C. Zbog niske točke "temperaturnog koljena", provjesi na visokim

temperaturama su podjednaki kao kod Al/Č vodiča na niskim temperaturama. Vodič vrlo dobrih tehničkih svojstava, ali visoke cijene (cca 10 x skuplji od Al/Č vodiča sličnog promjera).

2.1.5. ACCC – Aluminum Conductor Composite Core

Ovaj vodič ima hibridnu kompozitnu jezgru od karbonskih vlakana povezanih epoksidnom smolom, s vanjskom ovojnicom od staklenih vlakana, čija je uloga mehanička zaštita središnje karbonske jezgre, a ujedno sprječava galvansku koroziju između karbonske jezgre i aluminijskih žica. Plašt je izrađen od mekanog (žarenog) aluminijskog, tip 1350-O, koji ima bolju vodljivost od tvrdo vučenog, kao i od ostalih Al legura koje se koriste za izradu vodiča. Osim toga, žice su trapeznog oblika, pa se za isti promjer postiže veći presjek aluminijskog, čime se dodatno smanjuje otpor [4].



Slika 1. Usporedni presjek Al/Č i ACCC vodiča sličnog promjera

Iako je ovaj tip vodiča noviji od ostalih navedenih, zbog svojih dobrih tehničkih svojstava ima široku primjenu. Do sada je ugrađeno više od 50.000 km ovih vodiča, uglavnom na prijenosnim vodovima, a u novije vrijeme se počeo primjenjivati i na srednjenaponskim vodovima. Ugrađen je i na nekoliko DV 110 kV u mreži HOPS-a [5], [6] i upravo su ta pozitivna iskustva potakla razmatranje njegove primjene za DV 35 kV. Osnovni nedostatak ovog tipa vodiča je njegova cijena. Cijena vodiča ACCC Silvassa 124/28 je cca 7,5 – 9,5 puta veća od cijene Al/Č 120/20.

3. USPOREDBA TEHNIČKIH ZNAČAJKI Al/Č I ACCC VODIČA

Pri zamjeni vodiča dalekovoda vodičima drugog tipa, a radi obnove i povećanja prijenosne moći (najveće dopuštene struje), uz zadržavanje postojećih stupova, postavljaju se slijedeći uvjeti:

- sile na stupove moraju biti manje ili jednake silama za koje su stupovi projektirani,
- provjesi novih vodiča moraju zadovoljiti uvjete najmanjih dopuštenih međusobnih udaljenosti, kao i udaljenosti od objekata, odn. sigurnosnih udaljenosti i visina,
- najveća dopuštena vrijednost struje, odn. temperature zamjenskog vodiča mora zadovoljiti zahtjeve za povećanjem nazivne struje voda,
- u cilju poboljšanja energetske učinkovitosti, gubici snage i energije s novim vodičima bi trebali biti manji nego s postojećim, za isti režim rada.

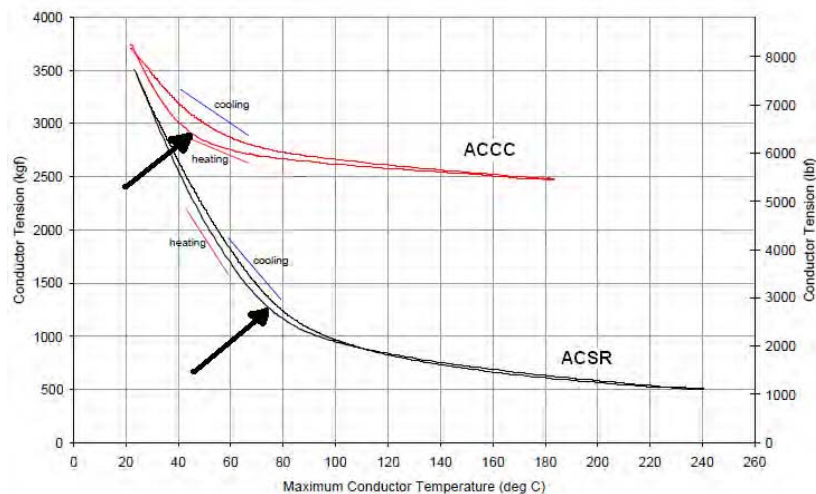
Iako se zadovoljenje navedenih uvjeta provjerava proračunom za odabrani vodič, u postupku izbora vodiča, njegove mehaničke i električke značajke se uspoređuju s istovjetnim značajkama postojećeg vodiča, uz pretpostavku da postojeći vod zadovoljava sve tehničke uvjete iz Pravilnika [1]. U tablici I su prikazane usporedne značajke Al/Č vodiča 120/20 i HTLS vodiča s trapezoidnim žicama od žarenog aluminijskog i s kompozitnom karbonskom jezgrom ACCC Silvassa 124/28.

Tablica I: Usporedba značajki Al/Č vodiča 120/20 i ACCC Silvassa 124/28

	Jed. mj.	Al/Č (ACSR) 120/20 122-Al1/20-ST1A	ACCC Silvassa 124/28
Mehaničke značajke			
Površina presjeka aluminijske jezgre	mm ²	121,6	122,7
Nazivna površina presjeka jezgre	mm ²	19,8	28
Promjer nosive jezgre	mm	5,7	5,97
Vanjski promjer vodiča	mm	15,5	14,35
Računski presjek vodiča	mm ²	141,4	150,7
Prekidna sila	kN	44,9	67,3
Uzdužna masa jezgre	kg/km	-	54
Uzdužna masa Al plašta	kg/km	-	339,9
Uzdužna masa vodiča	kg/km	494	393,9
Najveća dopuštena radna temperatura	°C	80	175 (180)
Koeficijent linearnog toplinskog širenja			
- Ispod točke toplinskog koljena	1/°C	18,9x10 ⁻⁶	16,4x10 ⁻⁶
- Iznad točke toplinskog koljena	1/°C	-	1,61x10 ⁻⁶
Modul elastičnosti			
- Ispod točke toplinskog koljena	N/mm ²	77.000	68.100
- Iznad točke toplinskog koljena	N/mm ²	-	112.300
Električke značajke			
DC otpor kod 20 °C	Ω/km	0.2374	0,2286 (0,2264*)
Temperaturni koeficijent otpora		0,00404	0,00403
AC otpor kod 25 °C	Ω/km	-	0,2312*
AC otpor kod 75 °C	Ω/km	-	0,2766*
AC otpor kod 175 °C	Ω/km	-	0,3680*
Najveća dopuštena trajna struja	A	410 (385)**	461 (100 °C) 673 (175 °C)
* Podaci su iz izvještaja o ispitivanju vodiča. Neznatno se razlikuju od kataloških (povoljniji su)			
** Podatak u zagradama je najveća dopuštena struja prema starijim podacima			

- **Površina presjeka aluminijske jezgre:** utječe na gustoću struje u Al plaštu, odn. otpor vodiča i najveću dopuštenu struju vodiča.
- **Vanjski promjer vodiča:** sila vjetrovanja na vodič je proporcionalna vanjskom promjeru vodiča. Zamjenski vodič bi trebao imati manji ili jednaki vanjski promjer od promjera postojećeg vodiča.
- **Prekidna sila:** Veća prekidna sila omogućava veću dopuštenu napretnu silu vodiča.
- **Uzdužna masa vodiča:** manja uzdužna masa pridonosi smanjenju sila, uz jednaki provjes, odnosno smanjenju provjesa uz definirane sile i napretnu silu.
- **Najveća dopuštena radna temperatura:** ova vrijednost može biti određena temperaturnim ograničenjima Al žice ili jezgre. Npr. Kod ACCC je određena temperaturnim ograničenjem jezgre. Veća vrijednost omogućava veću vrijednost najveće dopuštene struje.
- **Koeficijent linearnog toplinskog širenja:** niža vrijednost ukazuje na manje povećanje provjesa pri porastu temperature. Za visokotemperaturne vodiče se navode dvije vrijednosti: ispod i iznad točke temperaturnog koljena.

- **Modul elastičnosti:** omjer naprezanja i elastične deformacije. Niža vrijednost ukazuje na veće elastično izduženje pod djelovanjem jednake vlačne sile. Kod visokotemperaturnih vodiča, iznad točke temperaturnog koljena modul elastičnosti je određen modulom elastičnosti jezgre.
- **DC otpor kod 20 °C:** otpor vodiča pri protjecanju istosmjerne struje proporcionalan je specifičnom otporu materijala i obrnuto proporcionalan presjeku aluminija.
- **AC otpor:** otpor pri protjecanju izmjenične struje koji je veći od DC otpora, zbog utjecaja promjenljivog magnetskog polja što ga stvara izmjenična struja. U kataloškim podacima za Al/Č vodiče ovaj podatak nije dostupan.
- **Najveća dopuštena trajna struja:** određena je najvećom dopuštenom radnom temperaturom i otporom vodiča.
- **Točka toplinskog koljena:** temperatura pri kojoj, uslijed različitih koeficijenata linearnog toplinskog širenja jezgre i plašta, jezgra preuzima cijelo naprezanje. Kod Al/Č vodiča točka toplinskog koljena se nalazi iznad najveće dopuštene temperature, pa se ne razmatra (slika 2.) Obzirom da jezgra ima veći modul elastičnosti od plašta, cilj je pri razvoju HTLS vodiča da točka toplinskog koljena bude što niža.



Slika 2. Prikaz točaka temperaturnog koljena za ACCC i Al/Č (ACSR) vodiče

Iz tablice I je razvidno da vodič ACCC Silvassa 124/28 zadovoljava postavljene uvjete za zamjenu Al/Č vodiča 120/20 po postojećim stupovima, uz značajno povećanje najveće dopuštene struje:

- Uzdužna masa je manja 20% od mase Al/Č vodiča po km.
- Promjer vodiča je manji za 7,4%.
- Računski presjek povećan je za 6,6%.
- Prekidna sila je veća za 50%.
- DC otpor je niži za 7,4%.
- Najveća dopuštena trajna struja se povećava s 410 A na 673 A (64%).

Veličina koja je nepovoljnija kod ACCC vodiča nego kod Al/Č je modul elastičnosti kompozitne jezgre, koji je značajno manji od modula elastičnosti čelika. To je potrebno uzeti u obzir pri proračunu provjesa za slučaj dodatnog tereta.

Iako razmatrani vodič zadovoljava sve postavljene uvjete za zamjenu vodiča Al/Č 120/20, on ipak nije optimalan. Jezgra promjera 5,97 mm je predimenzionirana i ista se primjenjuje i za znatno veće presjeke vodiča, npr. tip Rovinj, koji je razvijen za zamjenu vodiča Al/Č 150/25 na vodovima HOPS-a. Nadalje, promjer ACCC vodiča je manji za 1,15 mm od promjera Al/Č vodiča 120/20. Time je izgubljeno još mogućih 26 mm² Al plašta. U slučaju povećanja promjera do 15,5 mm, koliko iznosi promjer Al/Č vodiča, moglo bi se postići smanjenje otpora, a time i gubitaka za dodatnih 20%.

4. UGRADNJA VISOKOTEMPERATURNOG NISKOPROVJESNOG VODIČA NA DV 35 kV TS 110/35 kV MAKARSKA – TS 35/10 kV MAKARSKA

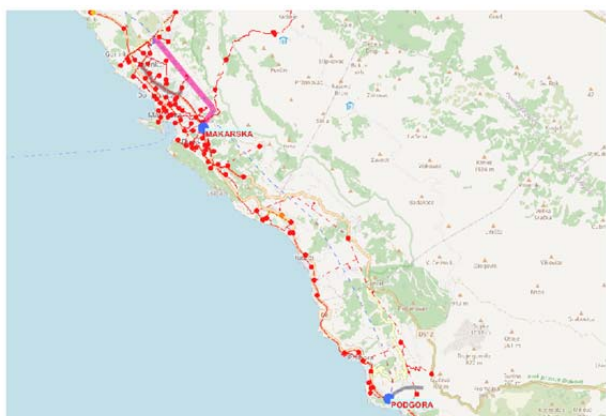
4.1. Opis postojećeg voda

Postojeći DV 35 kV TS 110/35 kV Makarska – TS 35/10 kV Makarska izveden je na jednosistemskim čelično-rešetkastim stupovima, oblika glave "jela". Temelji stupova izvedeni su kao betonski raščlanjeni. Na dalekovodu su primijenjeni slijedeći tipovi stupova (ukupno 16 kom):

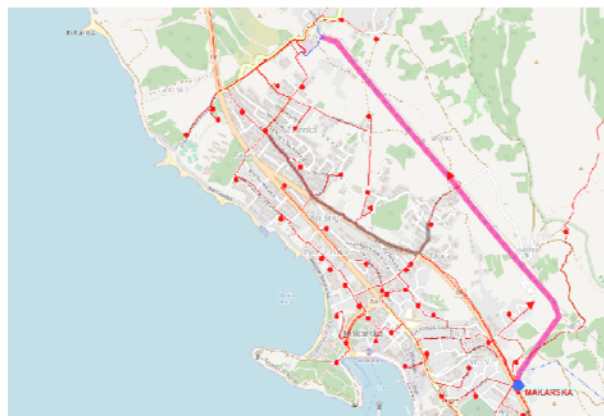
- nosivi stupovi: Nb4-T
- zatezni stupovi: Zc17.S, Zb1-T, Zb11-T

Na dalekovodu su prije zamjene vodiča bili ugrađeni alučelični vodiči Al/Č 120/20, ukupnog presjeka 141,40 mm² i promjera 15,5 mm². Na vrhovima stupova bilo je ugrađeno čelično zaštitno uže oznake Č III 50 ukupnog presjeka 49,48 mm² i promjera 9,0 mm. Vod je na TS 110/35 kV Makarska spojen podzemnim kabelom XHE 49-A 3x(1x185 mm²).

Trasa voda prolazi dijelom kroz borovu šumu, a dijelom preko maslinika ili neobrađenog šipražja i uglavnom je teško pristupačna. Duljina trase iznosi 2,7 km. Vod se nalazi u zoni izloženoj snažnim udarima bure, koji su, uz združeni utjecaj leda, znali izazvati značajna oštećenja vodiča, pa čak i rušenje stupova.

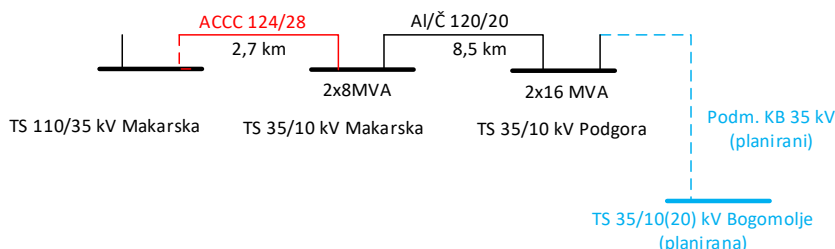


Slika 3. Situacija DV 35 kV Makarska – Makarska - Podgora



Slika 4. Situacija DV 35 kV Makarska - Makarska

Osim TS 35/10 kV Makarska, ovim vodom se prenosi i opterećenje TS 35/10 kV Podgora, a planovima razvoja je predviđeno da se, nakon polaganja podmorskog kabla između Podgore i otoka Hvara, iz TS 35/10 kV Podgora napaja i konzum buduće TS 35/10 kV Bogomolje na Hvaru.



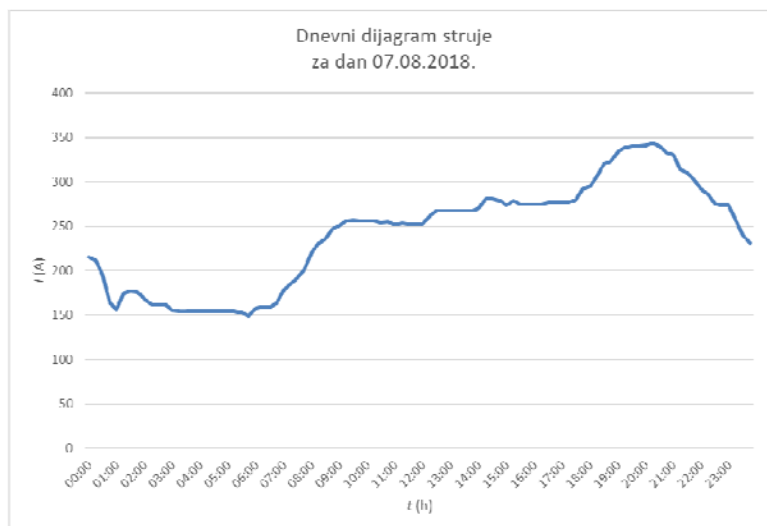
Slika 5. Osnovna shema napajanja TS 35 /10 kV Makarska i Podgora

4.2. Energetsko stanje

Ovo je izrazito turističko područje, s intezivnom gradnjom novih stambenih i turističkih objekata. To ima za posljedicu stalno povećavanje vršnog opterećenja zbog priključka novih, ali i zbog povećanja potrošnje postojećih kupaca. U tablici II su prikazane vršne i srednje vrijednosti snaga i struja dobivene analizom podataka registriranih u sustavu vođenja kao 15-minutne srednje vrijednosti.

Tablica II. Podaci o vršnim i srednjim vrijednostima struje, snage i energije

DV 35 kV TS 110/35 kV MAKARSKA - TS 35/10 kV MAKARSKA					
God	Ukupna godišnja energija Wgod	Godišnje vršno opterećenje Smax	Godišnje vršno opterećenje I _{max}	Srednje god. opterećenje I _{avg}	Faktor opterećenja m
	(MVAh)	(kVA)	(A)	(A)	
2017	77303,85	19195,05	304,86	144,51	0,46
2018	64738,14	20889,68	343,83	128,53	0,46
2019	63284,67	18203,02	297,48	118,31	0,46



Slika 6. Dnevni dijagram struje za dan kad je izmjereno najveće opterećenje

Tijekom ljeta izmjerena je vršna vrijednost struje od 343 A i približila se vrijednosti podešenja nadstrujne zaštite, koja iznosi 375 A. S obzirom na to da se TS 35/10 kV Makarska i Podgora napajaju iz TS 110/35 kV Makarska radialnim vodom, ne postoji mogućnost rasterećenja ovog voda niti je izgledno neko drugo rješenje poput izgradnje novog voda ili kabela. Stoga je bilo nužno povećati prienosnu moć dalekovoda. Uzevši u obzir krivulju opterećenja, iz koje se vidi da su visoka opterećenja kratkotrajna i javljaju se u poslijepodnevnom i večernjim satima i to samo tijekom tri ljetna mjeseca turističke sezone, zamjena vodiča visokotemperaturnim niskoprovjesnim uz zadržavanje postojećih stupova, se nametnula kao optimalno rješenje.

Gubici na vodu uslijed tereta nisu veliki bez obzira na visoke vršne vrijednosti struje zbog relativno niskog faktora opterećenja i male duljine dalekovoda. Snaga gubitaka u trenutku vršnog opterećenja iznosi 227 kW, što je 1,1 % vršne snage, a ukupni godišnji gubici energije iznose 339 MWh, što je 0,5 % ukupne energije prenesene vodom tijekom godine.

4.3. Projektna dokumentacija zamjene vodiča i revitalizacije dalekovoda

Nakon provedene analize i odabira vodiča ACCC Silvassa 124/28 prema kriterijima opisanim u poglavlju 3., izrađen je projektni zadatak te naručena izrada elaborata sanacije [7]. Predmetnim elaboratom nije obuhvaćena samo zamjena vodiča HTLS vodičima, nego i cjelovita obnova voda, koja je uključivala još i zamjenu zaštitnog užeta, kompletne ovjesne opreme i izolatorskih lanaca te antikoroziivnu zaštitu (bojanje) stupova.

Izradi elaborata prethodilo je geodetsko snimanje trase voda s izradom uzdužnog profila. Temeljem geodetskog snimka izrađen je 3D model voda u programskom paketu PLS CADD, kao podloga za izradu elaborata.

Odabrani vodiči su, prema postojećim Al/Č vodičima manjeg vanjskog promjera, manje mase, većeg presjeka, manjeg otpora i sa svim drugim električkim i mehaničkim značajkama koje omogućavaju

povećanje prijenosne moći. Tablica s usporednim prikazom tehničkih značajki oba vodiča dana je u poglavlju 3.

Maksimalna radna naprezanja vodiča su odabrana na način da ukupne horizontalne sile ne budu veće od postojećih horizontalnih sila vodiča Al/Č 120/20, a za koja su naprezanja preuzeta iz osnovnih projektnih dokumentacija predmetnog dalekovoda te iznose 82 N/mm^2 (umjesto projektiranih 95 N/mm^2 za Al/Č 120/20), 44 N/mm^2 (umjesto projektiranih 50 N/mm^2 za Al/Č). Iznosi naprezanja su smanjeni, budući da je presjek zamjenskih vodiča veći ($252,85 \text{ mm}^2$ umjesto $141,4 \text{ mm}^2$).

Odabrana maksimalna radna naprezanja vodiča osiguravaju potrebne sigurnosne visine i udaljenosti, a istodobno nisu veća od normalno dozvoljenih naprezanja vodiča, te su usklađena s dozvoljenim naprezanjima stupova.

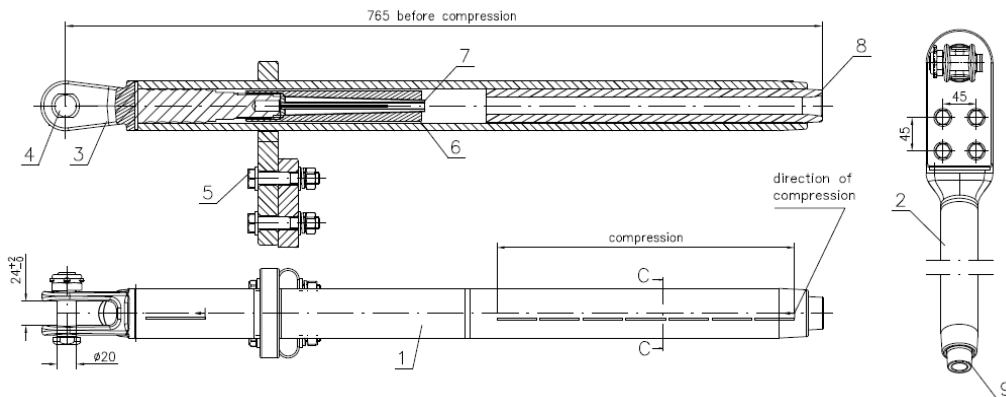
Obavljeni su proračuni naprezanja užadi u ovjesištima u PLS-CAD-u i to:

- pri temperaturi -5 °C s izuzetnim dodatnim teretom;
- kod srednje godišnje temperature (10 °C).

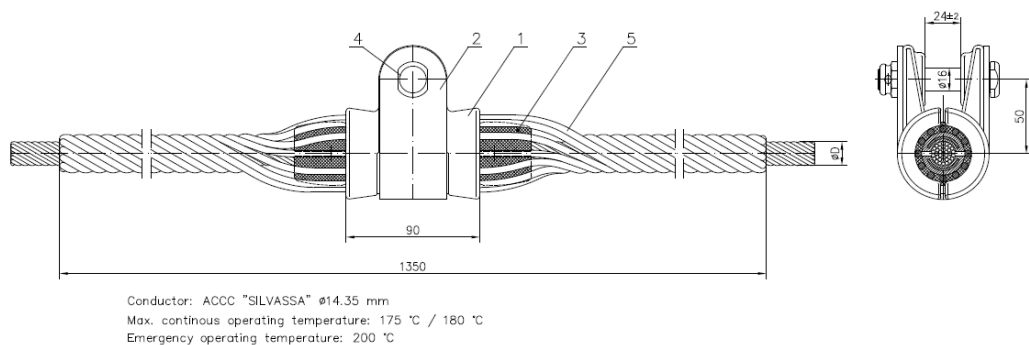
U elaboratu sa priložene izlazne liste proračuna naprezanja užadi u ovjesištima i montažne tablice provjesa i naprezanja.

4.4. Montaža ACCC vodiča i spojne opreme

Zbog mekog plašta i osjetljive jezgre, montažu ACCC vodiča treba izvoditi u skladu s uputama za montažu propisanima od strane proizvođača [8]. Pri montaži se mora koristiti specijalna mehanizacija i koloturnici, kojom se može osigurati trajna sila povlačenja, bez trzaja kao i minimalni radijus savijanja, na koji je posebno osjetljiva kompozitna jezgra. Za pričvršćenje užeta na zatezne i nosne izolatorske lance koriste se posebne, za to predviđene zatezne i nosne stezaljke. Nosive stezaljke, izrađene od aluminijske legure, tako su oblikovane da omogućuju slobodu gibanja u vertikalnom i horizontalnom smjeru. Oštećenja i deformacije užeta u stezaljci su onemogućene. Stezaljke su antimagnetske čime se smanjuju gubici. Zatezne stezaljke su kompresijskog heksagonalnog tipa i prilagođene za primjenjeni visokotemperaturni vodič i predviđeno termičko opterećenje.



Slika 7. Nacrt zatezne stezaljke



Slika 8. Nacrt nosne stezaljke

Montažu užeta i izradu spojnika mogu obavljati samo tvrtke i radnici koji su osposobljeni od strane proizvođača opreme, imaju potrebnu opremu i alat. Iako je preporučljivo prilikom izvođenja radova na montaži osposobiti i radnike koji rade na održavanju voda, s obzirom na to da HEP ODS – Elektrodalmacija Split ne raspolaže potrebnom opremom za izvođenje radova na ACCC vodičima, nije provedena ni obuka djelatnika. No, ako se broj vodova s ugrađenim ACCC vodičima bude povećavao, preporuča se osposobiti i opremiti jednu radnu skupinu montera, koja može obaviti ove specifične poslove u slučaju potrebe i za druga, susjedna distribucijska područja.

5. ZAKLJUČAK

Dalekovodi na čelično-rešetkastim stupovima s vodičima Al/Č 120/20 su najzastupljeniji među dalekovodima nazivnog napona 35(30) kV. S obzirom na vrijeme kada su građeni starost im se danas kreće između 40 i 60 godina, što je vrijeme za cjelovitu obnovu. U slučajevima, kada su ti vodovi još i značajno opterećeni, pokazuje se opravdanim, umjesto jednakim, vodiče zamijeniti visokotemperaturnim niskoprovjesnim. U ovom radu su kratko opisane osnovne značajke najčešćih tipova visokotemperaturnih vodiča, međutim od svih njih razmatrana je mogućnost primjene i analizirana svojstva samo jednog tipa HTLS vodiča za zamjenu Al/Č 120/20 i to ACCC Silvassa. Naime, već je i na temelju pregleda osnovnih svojstava razvidno da ACCC vodiči kao novija tehnologija imaju bolja tehnička svojstva od većine drugih razmatranih tipova vodiča, a osnovni nedostatak im je visoka cijena, višekratno veća od cijene Al/Č užeta, kao i od većine drugih tipova HTLS vodiča.

Navedene su značajke bitne za izbor vodiča za slučaj zamjene postojećeg, uz zahtjev za povećanje njegove prijenosne moći, ali bez potrebe za ojačanjem ili zamjenom ČR stupova. Iako se ACCC Silvassa može smatrati najpovoljnijim izborom za zamjenu vodiča Al/Č 120/20, on još uvijek nije optimalan. Naime, nakon usporedbe njegovih značajki sa istima kod Al/Č 120/20, može se zaključiti da nisu do kraja iscrpljene sve mogućnosti za poboljšanje. Bez obzira što zadovoljava sve postavljene uvjete, još ima prostora za poboljšanje. Povećanjem promjera vodiča do vrijednosti promjera Al/Č vodiča, uz zadržavanje iste jezgre, moguće je još dodatno povećati njegov presjek, odnosno smanjiti otpor, a time i gubitke.

Iako proizvođači i trgovci visokotemperaturnih vodiča navode značajno smanjenje gubitaka (i do 40%) kao jedno od opravdanja njihove primjene, na primjeru voda 35 kV TS 110/35 kV Makarska – Makarska to ne dolazi do izražaja. Dva su razloga za to: mala duljina voda (2,7 km) i samo nešto malo veći presjek Al plašta od presjeka plašta Al/Č vodiča, pa je smanjenje otpora od 7,4 %, a time i gubitaka, u većoj mjeri rezultat povećane vodljivosti žarenog aluminija koji se primjenjuje za izradu vodiča ovog DV-a, a u manjoj mjeri rezultat povećanja presjeka, što je slučaj kod nekih drugih tipova (dimenzija) ACCC vodiča.

Stoga se predlaže analiza cijele 35 kV mreže s ciljem utvrđivanja vodova, potencijalnih kandidata za zamjenu vodiča ovim tipom. Ako se pokaže da je riječ o značajnijim količinama, otvaraju se mogućnosti definiranja posebnog tipa vodiča, optimalno prilagođenog potrebama HEP ODS-a, kao što je to slučaj s ACCC vodičima uvedenim i optimiranim za potrebe prijenosnih vodova HOPS-a.

Iako je povećanje nazivne snage voda zamjenom vodiča visokotemperaturnim, uz zadržavanje postojećih stupova, s investicijskog stajališta, u pravilu najbrži i najjeftiniji način rješavanja problema povećanih opterećenja, on ne mora biti i energetski povoljan. Treba uvijek imati na umu da se kod svakog pogona na visokim temperaturama vodiča, u vodiču stvaraju značajni gubici. Dakle, hvalospjevi o smanjenju gubitaka primjenom HTLS vodiča, koje često ističu trgovci i proizvođači, vrijede samo za režime rada pri normalnim temperaturama.

6. LITERATURA

- [1] Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV, Službeni list br. 65, studeni 1988.
- [2] A. Antonić, V. Komen, T. Dolenc, T. Dropulić, "Primjena visokotemperaturnih vodiča u distribucijskoj mreži", 13. savjetovanje HRO CIGRÉ, Šibenik, studeni 2017. C6-05
- [3] T. Dolenc, T. Dropulić, A. Antonić, V. Komen, " Primjena visokotemperaturnih vodiča u distribucijskoj mreži", 6. (12.) savjetovanje HO CIREĐ, Opatija, svibanj 2018. SO1-17

- [4] Engineering Transmission Lines with High Capacity Low Sag ACCC Conductors, CTC Global, 2011.
- [5] D. Mihalic, V. Ilijanić, "Primjena visokotemperaturnih niskoprovjesnih (HTLS) vodiča u hrvatskoj prijenosnoj mreži – gdje i zašto", 13. savjetovanje HRO CIGRÉ, Šibenik, studeni 2017. B2-12
- [6] T. Dropulić, M. Kršić, G. Mirošević, G. Čubra, I. Modrić, "Ugradnja visokotemperaturnog niskoprovjesnog vodiča na DV 110 kV Sinj – Dugopolje i DV 110 kV Dugopolje – Meterize", 13. savjetovanje HRO CIGRÉ, Šibenik, studeni 2017. B2-11
- [7] Elaborat sanacije DV 35 kV TS 110/35 kV Makarska – TS 35/10 kV Makarska, DALEKOVOD-PROJEKT, siječanj 2018.
- [8] ACCC Conductor Installation Guidelines, CTC Global, 2017