

Tibor Dolenc, mag.ing.el.
Dalekovod-Projekt
Tibor.dolenc@dalekovod.hr

Anamarija Antonić, mag.ing.el.
HEP-ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka
Anamarija.antonc@hep.hr

Mr.sc. Toni Dropulić, dipl.ing.el.
Dalekovod-Projekt
Toni.dropulic@dalekovod.hr

Dr. sc. Vitomir Komen, dipl.ing.el.
HEP-ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka
Vitomir.komen@hep.hr

PRIMJENA VISOKOTEMPERATURNIH VODIČA U DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI

SAŽETAK

Na znatnom dijelu nadzemnih vodova 35 kV distribucijske elektroenergetske mreže Republike Hrvatske ugrađeni su vodiči tipa 120/20-Al/Č i 95/15-Al/Č. Na pojedinim se područjima, uslijed procesa urbanizacije, novih distribuiranih proizvođača električne energije i turističkog procvata, pojavila povećana potražnja za električnom energijom. Imajući na umu rastući operativni i financijski izazov osiguravanja koridora za nove nadzemne vodove bilo je potrebno razmotriti alternativna rješenja koja bi zadovoljila rastuću potražnju. U tom smislu, analizirana je opcija povećanja prijenosne moći postojeće nadzemne infrastrukture ugradnjom visokotemperaturnih vodiča.

Dan je pregled nekoliko tipova visokotemperaturnih vodiča koji svojim tehničkim karakteristikama udovoljavaju za ugradnju na postojeće dalekovode, kao i njihova tehnička usporedba, uzevši u obzir i gubitke u prijenosu.

Rezultati analize dati će operateru distribucijske elektroenergetske mreže znatan broj informacija i podataka potrebnih kod donošenja odluke o primjeni nekog od tipova visokotemperaturnih vodiča.

Ključne riječi: 35 kV nadzemni vodovi, povećanje prijenosne moći, visokotemperaturni vodiči

APPLICATION OF HTLS CONDUCTORS IN POWER DISTRIBUTION NETWORK

SUMMARY

A significant part of the overhead lines of the 35 kV distribution network of the Republic of Croatia is strung with type 120/20-Al/Č and 95/15-Al/Č conductors. In some areas, due to the process of urbanization, new distributed generation and tourism, an increased demand for electricity has arisen. Bearing in mind the growing operational and financial challenge of securing the corridor for new overhead lines, it was necessary to consider alternative solutions that would meet the growing demand. In this respect, the option of uprating the existing overhead infrastructure by installing high-temperature conductors has been analysed.

This article provides a review of several types of applicable high-temperature conductors on existing transmission lines, as well as their technical comparison, taking into the account the loss of transmission.

The results of the analysis will give the distribution system operator a significant amount of information and data needed to make a decision on the application of one of the types of high-temperature conductors.

Key words: 35 kV overhead lines, uprating, HTLS conductors

1. UVOD

U Republici Hrvatskoj je na snazi „Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV“ [1] (dalje u tekstu: Pravilnik) u kojem su jasno definirane odredbe prihvatljivih vodiča te njihove primjenjivosti. Temeljem istoga definira se i prijenosna moć dalekovoda putem determinističkog postupka koji u obzir uzima termički kritične uvjete koje uzrokuju temperaturu vodiča $+40^{\circ}\text{C}$, a koja odgovara kritičnoj temperaturi okoline.

Također, navedenim pravilnikom [1] je najviša dopuštena temperatura klasične, užadi jednaka $+80^{\circ}\text{C}$, dok za specijalnu užad, u koju se ubrajaju i visokotemperaturni vodiči, nema ograničenja u iznosu najviše dozvoljene temperature, osim da pri toj temperaturi ti vodiči moraju biti mehanički postojani.

Elektroenergetska mreža Republike Hrvatske doživljava znatne promjene u dnevnim i sezonskim opterećenjima. Takve promjene nisu rezultat izdvojenog događaja već su navedene promjene posljedica utjecaja više faktora poput razvoja urbanih sredina, mikrolokacijski razvoj industrije, turizam, vjetroelektrane i ostali distribuirani proizvođači električne energije. Uslijed navedenog potrebno je razmotriti nova tehnološka rješenja u svrhu zadovoljavanja povećanih sezonskih i dnevnih potreba, poput ugradnje visokotemperaturnih vodiča na postojeće nadzemne vodove.

Povećanje prijenosne moći postojećih dalekovoda je moguće izvesti ugradnjom klasičnog alučeličnog vodiča većeg poprečnog presjeka, s nižim iznosom električnog otpora, što rezultira povećanim statičkim opterećenjima stupova kao posljedica većih horizontalnih sila na stupove uslijed zatezanja vodiča i sila od vjetra, odnosno većih vertikalnih sila uslijed veće težine vodiča i dodatnog tereta. Ovakvo tehničko rješenje povećanja prijenosne moći postojećeg dalekovoda, uzevši u obzir preostale statičke rezerve u postojećim stupovima, najčešće zahtijeva opsežne zahvate na konstrukciji postojećih stupova te na pripadajućim temeljima.

Imajući na umu navedeno, nedvojbeno je potrebno razmotriti mogućnosti koje pruža ugradnja visokotemperaturnih vodiča čija fizikalna svojstva dopuštaju znatno povećanje prijenosne moći dalekovoda, uz zadržavanje postojećih koridora dalekovoda i razina sigurnosnih visina uz značajno smanjenje potrebnih zahvata na konstrukciji i temeljima.

Posebnu pozornost u ovom slučaju treba posvetiti visokotemperaturnim niskoprovjesnim vodičima, HTLS (engl. High Temperature, Low-Sag), čija je osobina da, pri visokim temperaturama zadržavaju svoja elektromehanička svojstva te imaju znatno reducirano povećanje provjesa s porastom temperature.

Negativna osobina visokotemperaturnih vodiča je da kod velikih opterećenja njihovi gubici (I^2R) imaju značajno veće iznose u odnosu na standardni Al/Č vodič iste prijenosne moći koji je kod tih istih struja na znatno nižoj temperaturi.

2. PREGLED POSTOJEĆIH VRSTA VISOKOTEMPERATURNIH VODIČA

U posljednjih tridesetak godina došlo je do značajnijeg razvoja materijala i tehnologije izrade vodiča koja je omogućila znatno poboljšane električke i mehaničke karakteristike i ponašanje vodiča u eksploataciji. Prvenstveno se to odnosi na materijale jezgre i plašta vodiča, pouzdanje te oblik žica. Optimizacija navedenih parametara omogućila je blagotvornije ponašanje vodiča pri promjenama temperature, prvenstveno u smislu međuovisnosti provjesa/naprezanje.

Prema [3], visokotemperaturnim vodičima se smatraju vodiči čija je dopuštena trajna temperatura u pogonu iznad 100°C , odnosno za vodiče kojima je u izvanrednim situacijama dopuštena temperatura od 150°C . Iz ovog razloga, iz ovog pregleda su izostavljeni vodiči tipa AAAC (engl. All Aluminium Alloy Conductor) i ACAR (engl. Aluminium Conductor Alloy Reinforced) koji su u cijelosti izrađeni od legure aluminija (AAAC), odnosno kombinacije aluminija i legura aluminija (ACAR), ali su u pogonu ograničeni na temperature od najviše 100°C [2, 4].

Iako je u prijenosnim elektroenergetskim sustavima visokotemperaturni vodič našao široku primjenu, u distribucijskim sustavima takva se rješenja tek počinju primjenjivati. Primjer za to je i distribucijska elektroenergetska mreža u Hrvatskoj u kojoj je tek 2016. godine prvi puta izvedena ugradnja visokotemperaturnog vodiča, i to na nadzemnom vodu 35 kV Krk – Cres. Razlog tome leži u činjenici da su proizvođači visokotemperaturnih vodiča prilagođavali karakteristike vodiča onima iz prijenosne mreže gdje je povoljnije ponašanje visokotemperaturnih vodiča još izraženije. Međutim, posljednjih se godina proizvode i visokotemperaturni vodiči manjih poprečnih presjeka i promjera, a sve u svrhu zadovoljenja potreba distribucijske mreže.

U tom smislu u nastavku slijedi popis do sada najčešće korištenih tipova visokotemperaturnih vodiča uz pripadne u struci uvrježene kratice:

- **ACCR** - Aluminium Conductor, Composite Reinforced,

- **ACCC** - Aluminium Conductor, Composite Core, trapezoidne žice
- **ZTACIR** - Ultra Thermal Resistant Aluminium Alloy Conductor, Invar Reinforced.
- **GZTACSR** - Gap Type Ultra Thermal Resistant Aluminium Alloy, Steel Reinforced,
- **(Z)TACSR** – (Ultra) Thermal Resistant Aluminium Alloy Conductor, Steel Reinforced,
- **ACSS i ACSS/TW** - Aluminium Conductor, Steel Supported, za /TW dodatno: trapezoidal wire

Od navedenih tipova vodiča tek su tri tipa visokotemperaturnih vodiča za sada našla svoju primjenu u distribucijskoj mreži: ACCR, ACCC i ZTACIR.

U tom smislu, u ovom će se članku pozornost usmjeriti na navedena tri tipa vodiča .

2.1. Materijali u sastavu visokotemperaturnih vodiča

Visokotemperaturni vodiči se sastoje od različitih kombinacija žica iz aluminija i legura aluminija u plaštu vodiča i različitih materijala u sastavu jezgre. Značajke aluminija i legura aluminija koji se koriste u visokotemperaturnim vodičima je dan u tablici I [4].

Tablica I. Karakteristike aluminija i visokotemperaturnih legura aluminija [4]

Opis	Ime	ASTM specifikacija	(% IACS*)	Min. Prekidna sila (MPa)	Termička ograničenja (°C)	
					Trajno	Izvanredno (<10 sati)
Tvrdo vučeni	1350-H19	B230	61.2	162-172	90	120
Ekstra čvrsta aluminijaska legura	5005-H19		53.3	248	90	120
Aluminijaska legura visoke čvrstoće	6201b-T81	B398		317-331	90	120
Žareni	1350-0	B609	63	55-96	250	250
Toplinski otporna legura	TAL		60	165-186	150	180
Toplinski otporna legura aluminija visoke čvrstoće	KTAL		55	186-252	150	180
Toplinski ultra otporna legura aluminija	ZTAL&UTAL		60	165-186	200	240
Toplinski ekstra otporna legura aluminija	XTAL		58	165-186	230	260

* %IACS (engl. International Annealed Copper Standard) označava postotnu vodljivost materijala u odnosu na električnu vodljivost tržišnog čistog žarenog bakra čija je vodljivost jednaka 5.8001×10^7 S/m

Značajke materijala koji se koriste u jezgrama „klasičnih“ i visokotemperaturnih vodiča je prikazan u tablici II [4].

Tablica II. Karakteristike materijala koji se koriste u jezgrama vodiča [4]

Opis	ASTM specifikacija	Modul elastičnosti (GPa)	Min. Prekidna sila (MPa)	Koeficijent temperaturnog izduženja ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	Uzdužna masa (mg/mm^3)
Čelik visoke čvrstoće (HS)	B498	200	1379-1448	11.5	7.778
Čelik ekstra visoke čvrstoće (EHS)	B606	200	1517	11.5	7.778
Čelik ekstra visoke čvrstoće presvučen galvanom (EXHS)		200	1965	11.5	7.778
Čelik presvučen aluminijem (20.3%IACS)	B502	162	1103-1345	13.0	6.588
Galvanizirani Invar	B388, B753	162	1034-1069	1.5-3.0	7.778
Čelik visoke čvrstoće (HS) presvučen mischmetalom	A856, A857	200(I)-186(F)	1379-1448 1517-1620	11.5	7.778

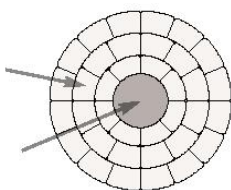
Aluminij-oksidsna matrica		215	1310	6	3.322
Uglična vlakna		124	4295	1.61	1.938

2.2. ACCC vodiči

ACCC (Aluminum Conductor Composite Core) koristi prednosti žica iz žarenog aluminija (1350-0) použenih oko kompozitne jezgre napravljene od vlakana i polimerne smole. Takav izbor materijala omogućava vodiču trajni rad na temperaturi 175 °C. Prilikom porasta temperature vodiča, žarene aluminijske žice brže se izdužuju od jezgre i postaju neopterećene. Sav teret preuzima vlaknasta jezgra, koja ima znatno niži t-koeficijent rastezljivosti od čelika i mnogo veći omjer čvrstoća/masa, iz čega proizlazi znatno manji provjes na visokim temperaturama.

trapezoidalne
žice iz žarenog
aluminija

hibridna
kompozitna
jezgra visoke
čvrstoće



Slika 1. Izgled i presjek ACCC vodiča

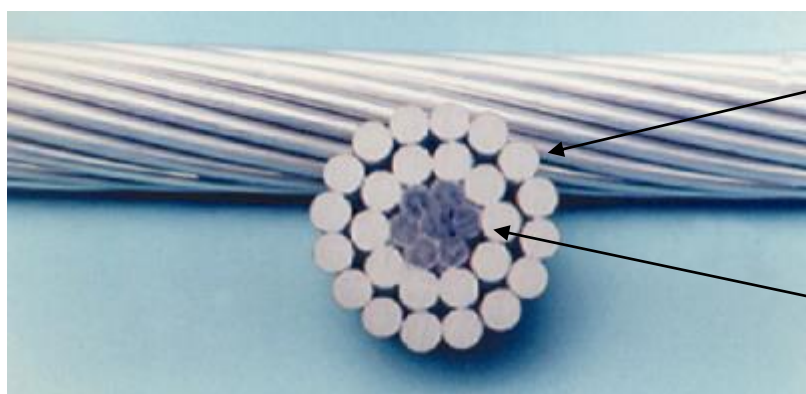
Prema dostupnim podacima, ACCC vodiči mogu prenijeti dva puta veću struju od klasičnih ACSR (alučeličnih) vodiča te imaju 30-40% manje električne gubitke od vodiča slične veličine i mase pri istom opterećenju. ACCC vodiči imaju tzv. „koljeno“ nakon kojeg je provjes gotovo konstantnog iznosa.

Svi ACCC vodiči su kompaktirani vodiči čiji je plašt izveden od aluminijevih žica trapezoidalnog oblika, što pozitivno djeluje na smanjenje ukupnog promjera vodiča u odnosu na vodič istog presjeka aluminija izvedenog s okruglim žicama.

2.3. ACCR i ACCR/TW vodiči

Kod ACCR (Aluminum Conductor, Composite Reinforced) vodiča tradicionalna čelična jezgra alučeličnog vodiča zamijenjena je jezgrom napravljenom od kompozitnog aluminij-keramičkog materijala. Žice plašta su iz ZTAL žica (žice od aluminijske legure s dodatkom cirkonija otporne na visoke temperature - Super Thermal Resistant).

ACCR/TW je kompaktirani ACCR vodič čiji je vanjski plašt izveden od aluminijevih žica trapezoidalnog oblika, što pozitivno djeluje na smanjenje ukupnog promjera za otprilike 10% u odnosu na standardni ACSR vodič istog presjeka koji je sastavljen od žica okruglog presjeka.



plašt iz žica od Al
legure (ZTAL)

Kompozitna jezgra
(aluminij-oksida
vlakna)

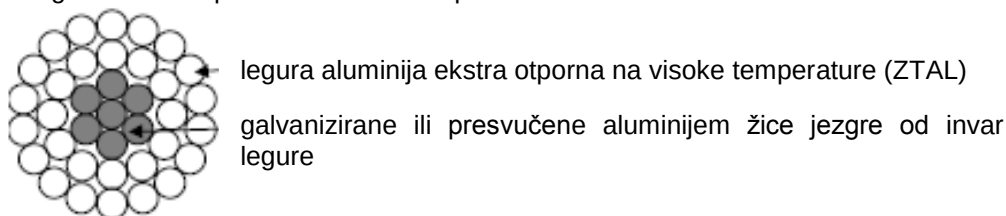
Slika 2. Izgled i presjek ACCR vodiča

ACCR vodič ima jezgru izvedenu od kompozitnog materijala iz vlakana izrađenih od aluminij-oksida unutar aluminijske matrice. Čvrstoća takve jezgre usporediva je sa čeličnom jezgrom i pokazuje mnoga pozitivna svojstva. Aluminij-oksidsna vlakna imaju manju toplinsku rastezljivost od aluminija (25% od rastezljivosti aluminija) ili čelika (50% od rastezljivosti čelika), jezgra je izrazito otporna na koroziju,

ne pokazuje nepoželjna magnetska svojstva i može biti u pogonu na visokim temperaturama. Masa jezgre, a samim time i ukupna masa užeta po dužnom metru, manja je od mase klasičnog ACSR užeta istog promjera.

2.4. ZTACIR vodiči

ZTACIR (Ultra Thermal Resistant Aluminium Alloy Conductor, Invar Reinforced) vodiči imaju jezgru od galvaniziranih žica od invara (legura željeza i nikla: Fe-36%Ni), koje su okružene plaštom od ZTAL žice - aluminijske legure ekstra otporne na visoke temperature.



Slika 3. Presjek ZTACIR vodiča

Invar je legura željeza i nikla (Fe-36%Ni) s izrazito malim koeficijentom toplinske rastezljivosti koji iznosi jednu trećinu koeficijenta toplinske rastezljivosti galvanizirane čelične žice presvučene aluminijem.

ZTACIR vodiči mogu biti trajno u pogonu na temperaturi od 210 °C. Nakon zagrijavanja ZTACIR vodiča iznad određene temperature, aluminijske žice izduže se više od žica u jezgri vodiča i prebace svoje opterećenje na invar jezgru, koja ima niski koeficijent linearnog istezanja. Zbog toga provjes ZTACIR vodiča na visokoj temperaturi može biti jednak provjesu ACSR vodiča na njegovoj radnoj temperaturi. Kao i kod ostalih visokotemperaturnih vodiča, povećano izduženje aluminijskih žica u odnosu na žice u jezgri vodiča uzrokuje prebacivanje opterećenja na invar jezgru, koja ima niski koeficijent linearnog istezanja. Zbog toga provjes ovih vodiča na visokoj temperaturi može biti jednak provjesu ACSR vodiča na njegovoj radnoj temperaturi.

3. ANALIZA OBNOVE POSTOJEĆEG 35 KV DV CRES - LOŠINJ

Nadzemni vod 35 kV Cres – Lošinj izgrađen je 60-ih godina prošlog stoljeća, što znači da je u pogonu više od 50 godina. Tijekom dugogodišnje eksploatacije, dalekovod je održavan u pogonski ispravnom i sigurnom stanju, međutim nije izvođena sveobuhvatna obnova. U 60-im godinama prošlog stoljeća primjenjivali su se tadašnji tipski presjeci i materijali vodiča, u ovom konkretnom slučaju bakreni vodič, Cu 50 mm².

Tijekom godina na urbanim područjima napajanim preko navedenog 35 kV dalekovoda došlo je do razvoja turizma i povećanja prosječne i vršne potrošnje električne energije. U tom smislu, na navedenom su dalekovodu uočeni povećani gubici kod prijenosa električne energije, učestala preopterećenja, konstruktivna i elektromontažna dotrajalost te ugroza minimalno propisanih sigurnosnih visina i udaljenosti.

Navedeni su nedostaci identificirani i u desetogodišnjem planu razvoja prijenosne mreže 2016-2025 [5] u kojem je utvrđeno da ispadom paralelnog 110 kV dalekovoda u periodima vršnih opterećenja dolazi do redukcije dijela potrošnje radi ograničenja koja ima predmetni 35 kV dalekovod.

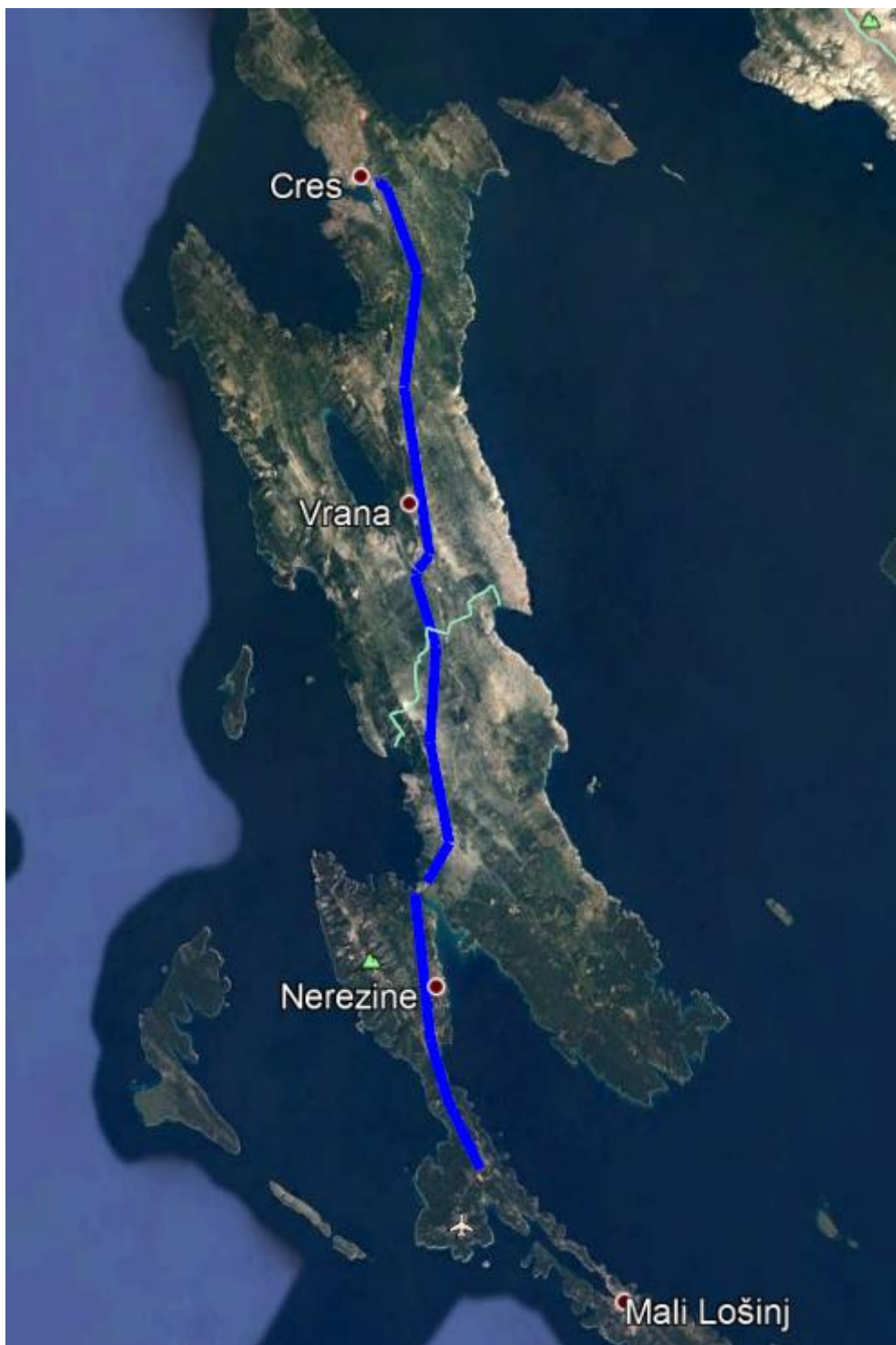
Kako je već navedeno, na navedenom 35 kV dalekovodu ugrađeni su bakreni vodiči 3×Cu 50 mm², koji omogućavaju trajno fazno strujno opterećenje od 231 A. Zaključno s time, prijenosna je moć dalekovoda Cres – Lošinj 14 MVA.

U svrhu rješavanja navedenih problema, bilo je potrebno analizirati mogućnosti povećanja prijenosne moći uz zadržavanje postojećeg koridora dalekovoda te izvršiti analizu potrebnih konstrukcijskih zahvata koji se javljaju kao posljedica ugradnje nove užadi.

Na trasi analiziranog nadzemnog voda vrijede sljedeći klimatski parametri, sukladno [1]:

- osnovni tlak vjetra (za visinsku zonu do 40 m): **900 N/m²**
1100 N/m²
- koeficijent djelovanja vjetra:
 - na stupove **2,6**
 - na užad **1,0**

- normalni dodatni teret: $1,0 \times 0,18 \times \sqrt{d} \text{ kg/m}$
- minimalna temperatura: $- 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- maksimalna temperatura: $+ 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- srednja godišnja temperatura: $+ 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- temperatura kod koje se pretpostavlja pojava dodatnog tereta: $- 5 \text{ }^{\circ}$



Slika 4. Trasa DV 35 kV Cres - Lošinj

Analizom je obuhvaćeno nekoliko potencijalnih rješenja u vidu zamjene postojećeg vodiča. Konkretno, analizirane su mogućnosti ugradnje triju tipova vodiča:

- ZTACIR Invar Ø12,7,
- ACCC 115
- ACCR 131-T58

Usporedba osnovnih podataka postojećeg vodiča i analiziranih visokotemperaturnih vodiča nalaze se u nastavku:

Tablica III. Podaci o analiziranim vodičima

	Jedinica mjere	Cu 50	ACCC 115		ZTACIR Invar Ø12,7		ACCR 131-T58	
Presjek užeta	mm ²	49.5	140.8		99.8		105	
Promjer užeta	mm	9.0	13.6		12.7		13.3	
Uzdužna težina užeta	N/m	4.395	3.573		3.409		3.120	
Računska sila kidanja	kN	19.81	63000		28980		60000	
Modul elastičnosti (plašt/jezgra)	N/mm ²	105000	< term koljeno	68000	< term koljeno	73000	/*	
			> term koljeno	112300	> term koljeno	132000		
Koef. linearnog toplinskog širenja (plašt/jezgra)	×10 ⁻⁶ /°C	17.0	< term koljeno	15.97	< term koljeno	16.8	< term koljeno	15.9
			> term koljeno	1.61	> term koljeno	6.3	> term koljeno	6.3
Električni otpor na 25°C	Ω	0.3764	0.2518		0.3399		0.3595	

*do trenutka predaje rada podatak o modulu elastičnosti visokotemperaturnog vodiča ACCR 131-T58 nije bio dostupan

3.1. Izračun najviših temperatura vodiča pri najnepovoljnijim uvjetima okoline

Proračun ustaljene temperature vodiča kod zadanih uvjeta okoline i kod određene fazne struje je izvršen prema normi IEEE 738-2006, „IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors“ [6]. Proračun je integriran i proveden u programskom paketu PLS-CADD, te se temelji na ustaljenom stanju u kojem nema promjene uvjeta okoline niti strujnog opterećenja dalekovoda te je vodič dosegnuo ustaljenu temperaturu.

Ulazni podaci za proračun najviše temperature vodiča su sljedeći:

- fazna struja vodiča: 500 A,
- temperatura okoline: 40 °C,
- intenzitet sunčevog zračenja: 1000 W/m²,
- brzina vjetra: 0,6 m/s, vjetar struji okomito na vodiče (90°).

Dodatno su za koeficijente emisije i apsorpcije uzete za sve vodiče sljedeće vrijednosti:

- koeficijent emisije: 0.5
- koeficijent apsorpcije: 0.5

Proračun je izvršen za strujno opterećenje u iznosu od 500 A iz razloga što je u analizi mreže koja je prethodila izboru vodiča [7] utvrđeno da je u vršnim periodima potrebno osigurati povećanu prijenosnu moć kako bi se osigurao potrebni konzum i sigurnost opskrbe.

U tablici IV su prikazani iznosi temperatura vodiča kod gore zadanih uvjeta okoline i struje 500 A.

Tablica IV. Iznosi temperatura vodiča kod fazne struje od 500 A, pri temperaturi okoline 40 °C, vjetru 0.6 m/s i intenzitetu sunčevog zračenja 1000 W/m²

	Jedinica mjere	ACCC 115	ACCR 131-T58	ZTACIR Invar Ø12,7
Temperatura vodiča	°C	121	163	158

3.2. Izračun najviših trajnih strujnih opterećenja vodiča pri najvećem dopustivom temperaturnom opterećenju vodiča

Proračun najvećeg dopustivog trajnog strujnog opterećenja izvršen je prema [6]. Proračun je također integriran i izveden u programskom paketu PLS-CADD.

Ulazni podaci za proračun najvećeg dopustivog strujnog opterećenja su:

- Najveća temperatura vodiča: vidjeti *Tablicu V*
- temperatura okoline: 40 °C,
- intenzitet sunčevog zračenja: 1000 W/m²,
- brzina vjetra: 0,6 m/s, vjetar struji okomito na vodiče (90°).

Dodatno su za koeficijente emisije i apsorpcije uzete za sve vodiče sljedeće vrijednosti:

- koeficijent emisije: 0.5
- koeficijent apsorpcije: 0.5

Tablica V. Iznosi strujnog opterećenja vodiča pri najvećem dopustivom temperaturnom opterećenju vodiča

	Jedinica mjere	Cu 50 mm ² (postojeći vodič)	ACCC 115	ACCR 131-T58	ZTACIR Invar Ø12,7
Najveća dopustiva temperatura vodiča	°C	80	175	210	180
Strujno opterećenje pri najvećoj dopustivoj temperaturi vodiča	A	258	624	572	535

Iz tablice V, a imajući na umu izneseno u točki 3.1., je očito kako postojeći vodič Cu 50 mm² svojim električkim karakteristikama nije u mogućnosti zadovoljiti potrebe opskrbe na promatranom području te da je bilo potrebno analizirati koji navedenih visokotemperaturnih vodiča zadovoljava potrebe u smislu opskrbe i isplativosti.

3.2. Izračun provjesa vodiča pri referentnim temperaturama vodiča

Provjesi svih analiziranih vodiča izračunati su za temperature vodiča pri referentnim uvjetima okoline (40°C i 80°C) te pri odgovarajućoj temperaturi vodiča uz strujno opterećenje u iznosu 500 A. Svi izračuni su napravljeni u programskom paketu PLS-CADD, za koji proizvođači visokotemperaturnih vodiča na osnovu ispitivanja vodiča daju na korištenje odgovarajuću datoteku, te preporučuju sve proračune raditi u PLS-CADD-u radi uzimanja u obzir nelinearne karakteristike istezanja vodiča.

Za potrebe ovog članka naprezanja visokotemperaturnih vodiča su izračunata na način da postojeće horizontalne sile zatezanja na stupove od vodiča Cu 50 mm² ne budu premašene, tako da se ne premaše postojeće horizontalne zatezne sile od zatezanja vodiča.

U tablici VI su prikazani i iznosi provjesa dobiveni za navedena naprezanja i klimatske parametre, kod temperatura visokotemperaturnih vodiča iz tablice V, dok su za Cu 50 mm² vodiče provjesi prikazani kod +40°C, prema Pravilniku [1].

U tablici VI su također prikazana korištena naprezanja vodiča analiziranih u ovom radu. Sva navedena maksimalna radna naprezanja vodiča nastaju pri temperaturi -5°C i normalnom dodatnom teretu. Svi su provjesi dani za stanje nakon neelastičnog izduženja vodiča.

Tablica VI. Provjesi kod primijenjenih maksimalnih radnih naprezanja vodiča, raspon 270 m, idealni raspon 270 m i koeficijent dodatnog tereta 1.0

	Jedinica mjere	Cu 50 mm ²	ACCC 115	ACCR 131-T58	ZTACIR Invar Ø12,7
Presjek užeta	mm ²	49.5	140.8	105.0	99.8
Naprezanje	N/mm ²	120	42	56.5	59.5
Provjes kod 40°C	m	15.3	15.3	15.0	14.8
Provjes kod 80°C	m	15.8	15.4	15.2	15.0
Provjes kod temperatura iz tablice IV (500 A)	m	15.3*	15.5	15.6	15.4

*Napomena: provjes prikazan za temperaturu +40 °C

4. CIJENE ANALIZIRANIH VISOKOTEMPERATURNIH VODIČA

U nastavku je dan prikaz relativnog omjera cijena analiziranih visokotemperaturnih vodiča u odnosu postojeći vodič Cu 50 mm².

Tablica VII. Relativan odnos cijena analiziranih vodiča

Omjer cijena	Cu 50 mm ²	ACCC 115	ACCR 131-T58	ZTACIR Invar Ø12,7
po metru užeta	1.0	1.8	3.0	1.0

Valja istaknuti da je u Tablici VII prikazan isključivo aproksimativan omjer cijena visokotemperaturnih vodiča u odnosu na cijenu postojećeg vodiča Cu 50 mm² te da su navedeni omjeri podložni variranju ovisno o cijeni sirovina na tržištu te tržišnim cijenama analiziranih vodiča ovisno o proizvođaču istih.

Također, za visokotemperaturne vodiče je potrebno uzeti u obzir i povećane cijene ovjesne i spojne opreme, eventualnu ugradnju prigušivača vibracija ali i, za pojedine tipove vodiča, vremenski i financijski zahtjevniju ugradnju.

Također, bitno je naglasiti da hrvatska distribucijska mreža, iako u sve većoj mjeri podržana alu-čeličnim vodičima, još uvijek na pojedinim nadzemnim vodovima sadrži bakreni vodič Cu 50 mm². Ta je činjenica relevantna iz razloga što u današnje vrijeme još uvijek ne postoje rješenja visokotemperaturnih vodiča koji bi svojim presjekom i promjerom odgovarali onome bakrenog vodiča Cu 50 mm². U tim slučajevima, uz pretpostavku da se ugrađuje visokotemperaturni vodič umjesto postojećeg bakrenog vodiča uslijed potrebe za povećanjem prijenosne moći dalekovoda i rješavanjem problema sigurnosnih visina, nužno je izvršiti statičku analizu stupova i temelja kako bi se utvrdila potreba za pojačanjima čelično rešetkaste konstrukcije i temelja.

5. ZAKLJUČAK

Uslijed stalnog razvoja urbanog područja, zaštite prirodnih staništa i ugroženih područja, povećanja vrijednosti zemljišta i ostalih relevantnih faktora, osiguravanje slobodnih koridora za nove nadzemne vodove postaje vodeći izazov, što s financijske, što s operative strane. Iz toga je razloga nužno razviti nova izvediva i isplativa rješenja kojima bi se zadržala ili povećala prijenosna moć postojeće infrastrukture. Posljednje navedeno u Hrvatskoj također postaje izazov uslijed povećanja ukupne potražnje za električnom energijom, što zbog razvoja urbanog područja i načina života, što zbog turizma kao vodeće grane hrvatskog gospodarstva koji uzrokuje visoka vršna opterećenja tijekom ljetnih mjeseci. Također, na nekim trasama dalekovoda uslijed povećane urbanizacije dolazi i do potrebe za pojačanjima postojećih razina sigurnosnih visina, što se također, do određene mjere, može realizirati ugradnjom visokotemperaturnih niskoprovjesnih vodiča.

Kod izbora vodiča je potrebno razmotriti više faktora, prije svega značajke analiziranog dalekovoda, u smislu klimatskih parametara, postojeće sigurnosne visine te zahtjeve na povećanje prijenosne moći.

Naravno, tu je i ekonomski aspekt, kojeg treba razdvojiti prema trošku investicije same zamjene vodiča, ali i prema ukupnom trošku pojedinog tipa vodiča u smislu sume troška investicije same zamjene vodiča i troškova gubitaka električne energije tijekom životnog vijeka vodiča.

Kod troška investicije, dominantni faktor čine trenutne tržišne cijene pojedinih tipova vodiča, potom cijena posebne ovjesne i spojne opreme, eventualno potrebne posebne opreme potrebne za ugradnju vodiča, te cijena obuke i nadzora proizvođača vodiča prilikom montaže određenih tipova visokotemperaturnih vodiča. U slučaju potrebe za dodatnim zahvatima na postojećim stupovima, isti također imaju značajan udio u ukupnoj investiciji.

Također je bitno napomenuti kako je nezahvalno razmatrati pojedino rješenje visokotemperaturnog vodiča isključivo kroz prizmu jedinične cijene samog vodiča po dužnom metru ili kilogramu iz razloga što se, ovisno o opterećenjima konkretnog dalekovoda, inicijalno skuplje rješenje, gledajući ukupne troškove tijekom životnog vijeka vodiča, u konačnici može pokazati kao najpovoljnije tehničko rješenje.

U ovom je članku, u smislu odabira najpovoljnijeg rješenja za zamjenu postojećeg vodiča visokotemperaturnim razmatran slučaj povećanja prijenosne moći DV 35 kV Cres – Lošinj s ugrađenim bakrenim vodičima Cu 50 mm². Za navedeni su slučaj razmatrana tri tipa visokotemperaturnih vodiča pri čemu su dane usporedne karakteristike razmatranih varijanti.

Na osnovu svega navedenoga, može se zaključiti da ne postoji jedno rješenje koje zadovoljava u svim slučajevima, već je potrebno u inicijalnoj fazi kroz detaljnu tehno-ekonomsku analizu uzeti u obzir sve specifičnosti konkretnog dalekovoda te na temelju iste dati konačnu preporuku o optimalnom načinu povećanja prijenosne moći razmatranog nadzemnog voda.

6. LITERATURA

- [1] *Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV*, Službeni list SFRJ br. 065/1988 i NN br. 24/97, preuzet na temelju Zakona o preuzimanju Zakona o standardizaciji koji se u Republici Hrvatskoj primjenjuje kao republički zakon (NN br. 53/91)
- [2] *Conductors for the uprating of overhead lines*, Cigré technical brochure 244, Working group B2.12, travanj 2004.,
- [3] *Considerations relating to the use of high temperature conductors*, Cigré technical brochure 331, Working groups B2.03, B2.12, B2.11, listopad 2007.,
- [4] *Increasing capacity of overhead transmission lines – needs and solutions*, Cigré technical brochure 425, Working groups B2/C1.19, kolovoz 2010.
- [5] *Desetogodišnji plan razvoja prijenosne mreže 2016.-2025., s detaljnom razradom za početno trogodišnje i jednogodišnje razdoblje*, HOPS, ožujak 2016.
- [6] IEEE 738-2006, *IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors*, siječanj 2007.
- [7] *Izrada projekta postojećeg stanja i projekta revitalizacije DV 35 kV Krk – Cres i DV 35 kV Cres – Lošinj*, EIHP, prosinac 2017.