

# REVITALIZACIJA VODIČA NA DV 220 kV ZAKUČAC-KONJSKO

---

**Modrić, Božo**

**Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split / Sveučilište u Splitu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:228:339288>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-12**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of University Department of Professional Studies](#)



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE**

Specijalistički diplomski stručni studij Elektrotehnika

**BOŽO MODRIĆ**

**ZAVRŠNI RAD**

**REVITALIZACIJA VODIČA NA DV 220 kV**  
**ZAKUČAC – KONJSKO**

Split, lipanj 2023.

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE**

Specijalistički diplomski stručni studij Elektrotehnika

**Predmet:** Elektroenergetski kabeli

**ZAVRŠNI RAD**

**Kandidat:** Božo Modrić

**Naslov rada:** Revitalizacija vodiča na DV 220 kV Zakučac – Konjsko

**Mentor:** Eduard Škec, dipl. ing. el.

Split, lipanj 2023.

# SADRŽAJ

Sažetak.....	1
1. UVOD.....	3
2. OPĆENITO O ELEKTRIČNIM VODIČIMA I NADZEMNIM VODOVIMA .....	5
2.1. Temelji.....	6
2.2. Stupovi.....	7
2.3. Izolatori.....	9
2.4. Vodiči.....	11
2.5. Spojni, ovjesni i zaštitni pribor .....	13
2.6. Zaštitno uže i uzemljenje .....	15
3. VISOKOTEMPERATURNI NISKOPROVJESNI VODIČI.....	18
3.1. TACSR vodič.....	20
3.2. ACCR vodič.....	21
3.3. ACCC vodič.....	22
3.4. ACSS vodič.....	24
3.5. ZTACIR vodič .....	25
4. ACCC VODIČ.....	28
4.1. Sastav i primjena.....	29
4.2. Svojstva vodiča .....	30
4.3. Tipovi ACCC vodiča .....	34
4.4. Montaža vodiča.....	36
4.5. Rukovanje vodičem .....	40
5. REVITALIZACIJA DV 220 kV D274 ZAKUČAC – KONJSKO.....	41
5.1. Tehničke specifikacije – projektni zadatak.....	42
5.2. Opis predviđenih zahvata.....	45
5.3. Izvedeni radovi .....	46
5.3.1. Temelji .....	47
5.3.2. Stupovi .....	47
5.3.3. Vodiči.....	48
5.3.4. Zaštitno uže .....	54
5.3.5. Uzemljenje .....	55



5.3.6. Natpisne ploče s identifikacijskim oznakama, sustav za penjanje .....	55
6. ZAKLJUČAK.....	58
7. LITERATURA .....	60
POPIS SLIKA .....	61
POPIS TABLICA.....	63
PRILOZI.....	64

## **Sažetak**

### **Revitalizacija vodiča na DV 220 kV Zakučac – Konjsko**

U završnom radu na početku je radi lakšeg razumijevanja tematike dat kratki pregled i opis karakteristika sastavnih dijelova nadzemnog voda elektroenergetske mreže. Potom slijedi pregled novih tipova vodiča za prijenosne nadzemne vodove, koji spadaju u grupu visokotemperaturnih niskoprovjesnih vodiča (engl. *HTLS, High Temperature Low Sag*). Navedena su osnovna svojstva, prednosti i usporedba s „klasičnim“ alučeličnim vodičem (engl. *ACSR, Aluminium Conductor Steel Reinforced*) koji je gotovo u potpunosti zastupljen u prijenosnim mrežama RH (npr. Hrvatski operator prijenosnog sustava d.d. u Prijenosnom području Split trenutno od 98 dalekovoda u svome vlasništvu ima samo jedan 110 kV nadzemni vod s bakrenim faznim vodičima). Poseban osvrt dan je za HTLS vodič tipa ACCC (engl. *Aluminium Conductor, Composite Core*) te su kao primjer primjene navedenog HTLS vodiča analizirani radovi na revitalizaciji dalekovoda 220 kV Zakučac – Konjsko.

Ključne riječi: nadzemni vod, HTLS vodič, ACSR vodič, dalekovod 220 kV Zakučac – Konjsko

## **Summary**

### **Revitalization of conductors on the 220 kV transmission line Zakučac – Konjsko**

In this final paper, a brief overview and description of the main characteristics of the components of the overhead line of the electric power network was given at the beginning for easier understanding of the topic. This is followed by an overview of new types of conductors for transmission overhead lines, which belong to the group of high temperature low sag conductors (HTLS). The basic properties, advantages and comparison with the "classic" aluminum conductor (ACSR, Aluminum Conductor Steel Reinforced) are listed, which is almost completely represented in the transmission networks of the Republic of Croatia (e.g. Croatian transmission system operator Plc. in the Transmission area of Split at

the moment, out of 98 transmission lines owns only one 110 kV overhead line with copper phase conductors). A special review was given for the HTLS conductor type ACCC (Aluminum Conductor, Composite Core) and as an example of the application of the mentioned HTLS conductor, the works on the revitalization of the 220 kV transmission line Zakučac - Konjsko were analyzed.

Keywords: overhead line, HTLS conductor, ACSR conductor, transmission line 220 kV Zakučac – Konjsko

## 1. UVOD

Elektroenergetski sustav kao složena tehničko-tehnološka cjelina neke zemlje ili područja obuhvaća objekte, postrojenja i procese proizvodnje, prijenosa, distribucije i potrošnje električne energije. Glavna zadaća elektroenergetskog sustava je osigurati u svakom trenutku svakom potrošaču priključenom na sustav isporuku onoliko električne energije koliko taj potrošač zahtijeva. Nakon proizvodnje u elektranama (hidroelektrane, vjetroelektrane, solarne elektrane, termoelektrane, nuklearne elektrane) električna energija se do potrošača prenosi kabelskim ili nadzemnim prijenosnim i/ili distribucijskim vodovima.

Za vodiče nadzemnog voda možemo reći da su jedini aktivni i najvažniji dio nadzemnog voda. Već više od stotinu godina kao jezgra faznih vodiča nadzemnih vodova (dalekovoda) koristi se čelična užad za povećanje vlačne čvrstoće i smanjenje toplinskih progiba, odnosno provjesa, u rasponima između stupova. Uz pretpostavku svakodnevnog porasta potražnje za električnom energijom, i uvjeta osiguranja kriterija tehničke sigurnosti  $n-1$ , pred operatore prijenosnog sustava stavljen je zadatak i izazov povećanja kapaciteta, odnosno prijenosne moći i učinkovitosti postojećih nadzemnih vodova. Razlog tome je, u novije vrijeme, često u nemogućnosti izgradnje novih visokonaponskih prijenosnih vodova zbog novčanih, prostornih, ekoloških i drugih ograničenja.

Napretkom u projektiranju i mogućnostima proizvodnje različitih vrsta materijala tijekom posljednjih desetljeća na tržištu je ponuđeno nekoliko novih tipova vodiča. Oni zavisno od svoje izvedbe posjeduju manji električni otpor i/ili u mogućnosti su biti u normalnom pogonu na visokim temperaturama. Takvi tipovi vodiča dobili su naziv visokotemperaturni niskoprovjesni vodiči (engl. *HTLS, High Temperature Low Sag*). Zbog navedenih svojstava takvih vodiča se posljednjih godina vlasnici prijenosnih nadzemnih vodova često odlučuju za rekonstrukcije postojećih vodova ugradnjom takvih tipova vodiča umjesto postojećih „klasičnih“ alučeličnih vodiča.

Upotrebom HTLS vodiča općenito se ostvaruje znatno povećanje prijenosne moći nadzemnog voda uz eventualne minimalne ili nikakve dodatne zahvate na ostalim sastavnim dijelovima dalekovoda, bilo temeljima ili metalnoj konstrukciji stupova. Nadalje,

korištenjem takvih tipova vodiča proračunski se predviđa smanjenje radnih gubitaka na vodovima od 20 do čak 40%, što u konačnici na godišnjoj razini može predstavljati značajne novčane iznose, zavisno od naponskog nivoa nadzemnog voda. Još jedna bitna prednost HTLS vodiča je smanjenje provjesa nadzemnih vodova, što je često ograničavajući faktor pri osiguranju sigurnosnih udaljenosti dalekovoda od ostalih građevina u prostoru koji ga okružuju. konstrukcija.

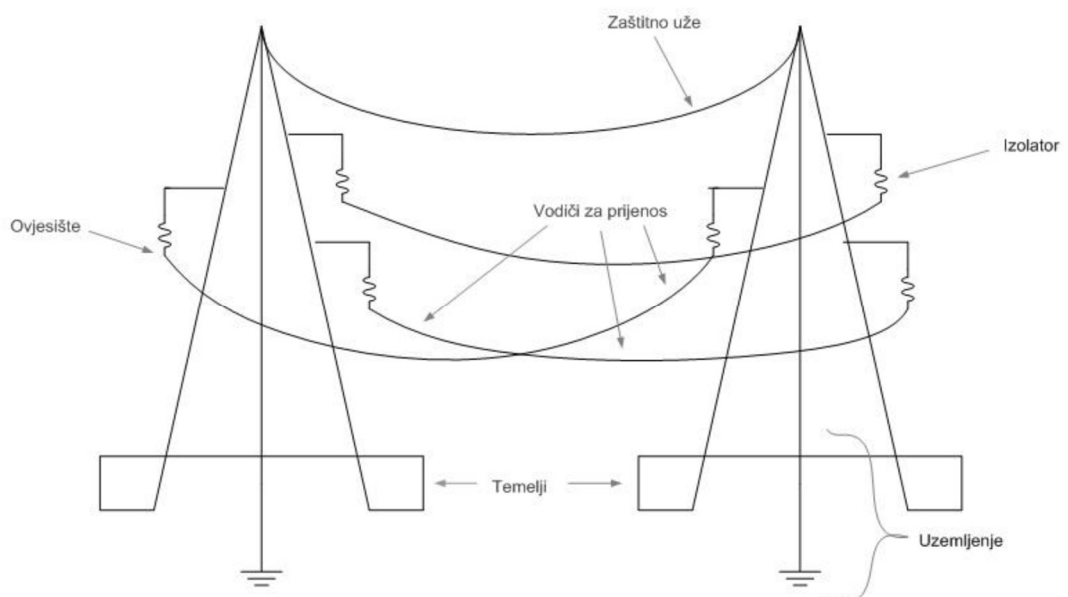
Naveden je primjer iz prakse i analiza izvedenih radova na rekonstrukciji DV 220 kV Zakučac – Konjsko, gdje je između ostalog izvršena i zamjena već ostarjelog alučel vodiča s HTLS vodičem tipa ACCC (engl. *ACCC, Aluminum Conductor Composite Core*).

## 2. OPĆENITO O ELEKTRIČNIM VODIČIMA I NADZEMNIM VODOVIMA

Električni vodič je električki vodljiva tvar kroz koju električna struja može kontinuirano teći. U elektroenergetskom sustavu, vodičem se smatra dio (komponenta) koji tokom normalnog pogona trajno vodi struju opterećenja voda. Elektroenergetski vod je skup jednog ili više električnih vodiča, izolacije i ostale električne opreme koji služi za prijenos električne energije. Elektroenergetski vod, ovisno o tipu i namjeni, odnosno mjestu ugradnje, može biti smješten pod zemlju (kabelski vod), pod vodu (podmorski vod) ili nad zemljom (zračni ili nadzemni vod).

Visokonaponski nadzemni vod za prijenos električne energije na velike udaljenosti naziva se još i dalekovod. Osnovni sastavni dijelovi nadzemnog voda (Slika 2.1.) su:

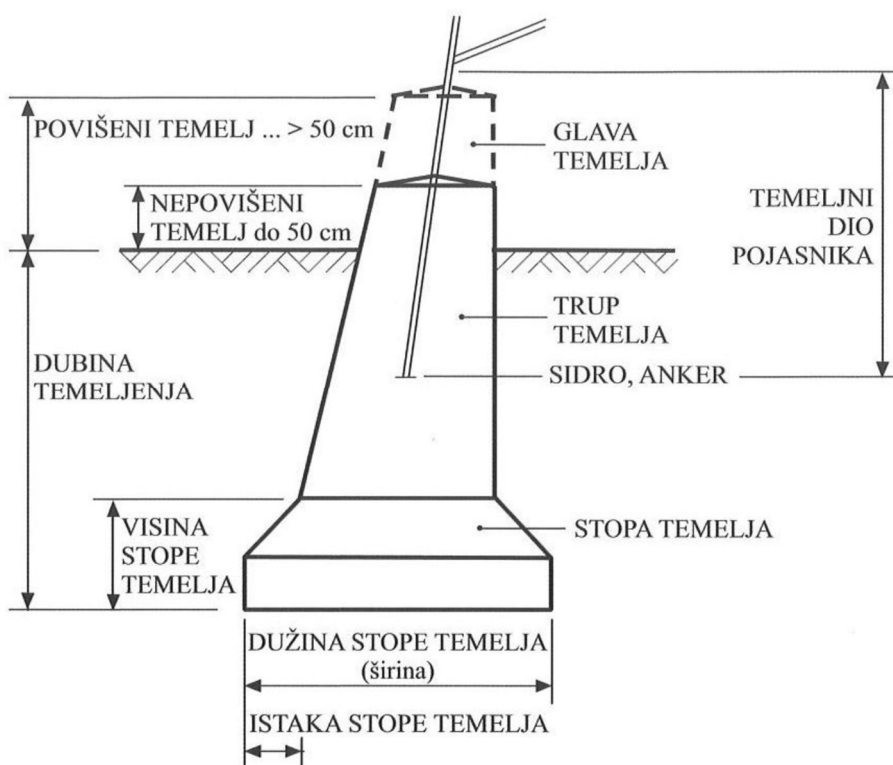
- temelji,
- stupovi,
- izolatori,
- vodiči,
- spojni, ovjesni i zaštitni pribor,
- zaštitno uže i uzemljenje.



Slika 2.1. Osnovni dijelovi nadzemnog voda [1]

## 2.1. Temelji

Stupovi nadzemnog voda moraju biti dobro ukopani u tlo. Drveni stupovi se ukopavaju direktno u zemlju ili dodatno pojačavaju s betonskim elementima. Za armiranobetonske i čelično-rešetkaste stupove upotrebljavaju se betonski temelji. Temelj se izrađuje u iskopanom tlu u koji se ubetonira temeljni dio metalne konstrukcije, odnosno pojasnika stupa. Osnovni dijelovi temelja prikazani su na slici 2.2.



Slika 2.2. Dijelovi temelja [2]

Temelji stupova prema osnovnom tlocrtnom obliku mogu se podijeliti na raščlanjene temelje prizmatičnih oblika, piramidalnih oblika, valjkastih oblika, stožastih oblika te zajedničke temelje koji mogu biti blok temelji, ploče, roštilji, piloti i bunari. Izgled samog temelja ovisi o obliku i konstrukciji stupa, kao i vrsti tla u kojem se izvodi temelj. Primjer izgleda jednog oblika temelja čelično-rešetkastog stupa je dat na slici 2.3.



Slika 2.3. Temelj čelično-rešetkastog stupa

## 2.2. Stupovi

Stup je dio nadzemnog voda koji nosi vodiče i ostalu opremu. Materijali koji se koriste za izradu stupova mogu biti drvo, armirani beton i čelik. Zbog svoje mehaničke čvrstoće za visokonaponske prijenosne dalekovode u Republici Hrvatskoj najčešće se koristi metalna čelično-rešetkasta konstrukcija.

Prednost čelično-rešetkaste konstrukcije u odnosu na drvenu i armirano betonsku konstrukciju je u lakšem transportu, i može se lako sastaviti na samom mjestu izgradnje stupa. Najvažnija prednost čelično-rešetkaste konstrukcije je ta što stupovi mogu biti vitkiji i zbog svoje elastičnosti prilagodljivi svim opterećenjima koja djeluju na konstrukciju stupa.

Ovisno o konfiguraciji terena projektiraju se visine stupova tako da se osigura dovoljna visina voda s ovješanim vodičima iznad tla. Stupovi se projektiraju i da mogu preuzeti sva mehanička opterećenja koja mogu djelovati na konstrukciju stupa. U takva opterećenja ubrajaju se težina vodiča, naprezanja vodiča, djelovanje vjetra i leda i sama težina konstrukcije stupa.



Gornji dio stupa naziva se glava stupa i na njemu se nalaze konzole na koje su ovješeni izolatorski lanci, odnosno fazni vodiči i na vrhu zaštitno uže. Osnovna podjela stupova je na zatezne i nosive (nosne) stupove (Slika 2.4.).



Slika 2.4. Zatezni i nosivi stup nadzemnog voda

Nosivi stupovi su u pravilu viši od zateznih stupova i na njima izolatori stoje okomito prema tlu. Na nosnim stupovima vodiči i zaštitna užad nisu kruto pričvršćeni. Zatezni stupovi moraju osigurati dovoljnu zategnutost, odnosno napetost vodiča u zateznom polju. Zatezno polje je duljina ili dio nadzemnog voda između dva zatezna stupa. Iz tog razloga su zatezni stupovi mehanički čvršći i konstrukcijski robusniji, jer moraju izdržati veća mehanička opterećenja, za razliku od nosnih stupova koji imaju ulogu osigurati dovoljnu visinu vodiča iznad zemlje. Zatezni stupovi se uglavnom nalaze na mjestima gdje se trasa nadzemnog voda lomi pa se nazivaju još i kutni stupovi.

Ukoliko se trasa nadzemnog voda sastoji od dugih ravnih dionica, na određena mjesta u trasi se ubacuje zatezni stup koji se naziva rasteretni stup. Zatezni stup mora biti projektiran tako da njegovi temelji i konstrukcija budu u mogućnosti izdržati jedan od najtežih kvarova nadzemnog voda, prekid svih faznih vodiča s jedne strane.

Nedostatak čelično-rešetkaste konstrukcije je korozija koja se izbjegava najčešće cinčanjem metalne konstrukcije prilikom proizvodnje, ili se konstrukcija naknadno premazuje zaštitnim antikorozivnim sredstvima.

### 2.3. Izolatori

Izolatori se upotrebljavaju na mjestima veze vodiča nadzemnog voda sa stupovima i drže vodiče u određenom položaju te prenose njihovu težinu i mehanička naprezanja na stupove.

Najčešći materijal korišten za izradu izolatora u prošlosti je bio porculan, a koriste se još kaljeno staklo i umjetne mase. Prednost staklenih izolatora je vidljivost oštećenja, jer u slučaju proboja staklo puca i raspada se, dok se kod porculanskog i silikonskog (kompozitnog) izolatora proboj može utvrditi često samo penjanjem na stup i vizualnim pregledom izolatora. Na slici 2.5. prikazan je izgled proboja štapnog silikonskog izolatora.



Slika 2.5. Proboj štapnog silikonskog izolatora

Prednost izolatora od kompozitnih materijala nad kapastim izolatorima je u tome što su lagani, i imaju dobru mehaničku i električku postojanost. Jezgra im je od kompozitnih materijala tipa staklena vuna ili kevlar, a prekrivena je s polimernim kućištem najčešće od silikona.

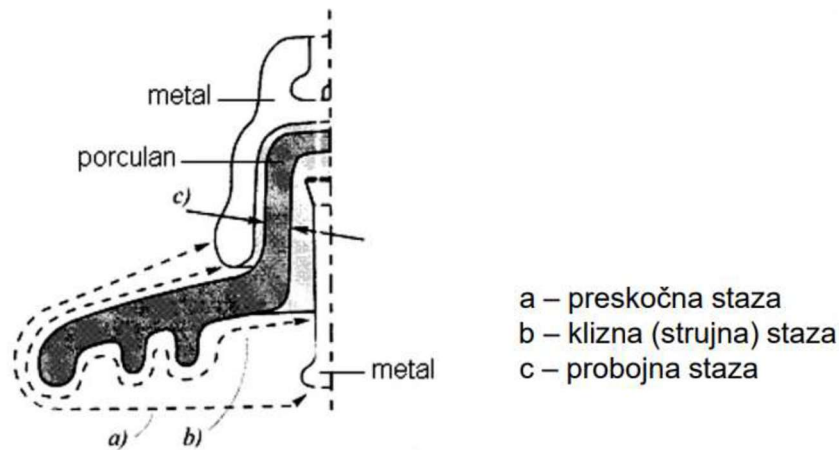
Osnovna podjela izolatora je na potporne i ovjesne. Potporni izolatori koriste se na niskonaponskim i sredjenaponskim nadzemnim vodovima do 35 kV. Ovjesni izolatori se koriste na visokonaponskim nadzemnim vodovima, a mogu biti lančani (kapasti) ili štapni. Broj članaka izolatorskog lanca ovisi o naponskom nivou nadzemnog voda.

Zahtjevi koje izolatori moraju ispunjavati su:

- električna čvrstoća na preskok (ovisi o vanjskim dimenzijama i obliku izolatora),
- električna čvrstoća na proboj (ovisi o unutrašnjim dimenzijama i svojstvima materijala),
- mehanička čvrstoća (da ne dođe do loma izolatora pod utjecajem sila koje djeluju na njega u pogonu),
- otpornost na promjene temperature (u slučaju kratkog spoja s pojavom električnog luka duž izolatora),
- otpornost na atmosferske utjecaje,
- trajnost,
- laka proizvodnja i povoljna cijena,
- lako održavanje u pogonu.

Na slici 2.6 je prikazan jedan članak kapastog izolatora i geometrijske veličine za njegovo dimenzioniranje. Preskočna staza je najkraća udaljenost između dva metalna dijela kroz zrak. Klizna (strujna) staza je najkraća udaljenost između dva metalna dijela po površini izolatora. Određene vrste zagađenja (vlaga, kemijski spojevi, atmosferska zagađenja) doprinose povećanju vodljivost površine izolatora i smanjenju klizne staze. Probojna staza je najkraća udaljenost između dva metalna dijela kroz tijelo izolatora.

U određenim slučajevima tehnički propisi i norme traže pojačanu mehaničku čvrstoću izolacije, npr. kada nadzemni vod prelazi preko građevina, cesta, željezničke pruge i slično. Ukoliko potporni izolator ili izolatorski lanac ne zadovoljava u mehaničkom pogledu u zadanim uvjetima, dodaje se paralelno s njim više potpornih izolatora ili izolatorskih lanaca koji zajedno preuzimaju ukupnu silu. U tome slučaju čak i kod prekida jednog izolatorskog lanca, preostali izolatorski lanci s dovoljnom sigurnošću mogu preuzeti postojeće sile i spriječiti da vodiči padnu na zemlju do sanacije nastalog oštećenja.



Slika 2.6. Dimenzioniranje izolatora [4]

Električki pojačan izolatorski lanac dimenzionira se prema visini unutarnjih prenapona zbog naglih promjena stanja u mreži i određuje se propisima koliki napon izolacija treba biti sposobna podnijeti bez preskoka ili proboja. Izolatorski lanac se sastavlja od potrebnog broja članaka dok se dobije potrebni podnošljivi napon.

## 2.4. Vodiči

Za vodiče nadzemnog voda možemo reći da su jedini aktivni i najvažniji dio nadzemnog voda. Oni služe za vođenje električne struje. Vodiči nadzemnog voda se dimenzioniraju u električnom i mehaničkom smislu. Električno dimenzioniranje se vrši s obzirom na struju koja u njima teče i naponski nivo. Gubici u otporu vodiča ne smiju biti preveliki, zagrijavanje ne smije prekoračiti dozvoljene vrijednosti i jakost električnog polja oko vodiča ne smije biti prevelika. Mehaničko dimenzioniranje se odnosi na usklađivanje mehaničkog naprezanja vodiča i njegove visine iznad tla.

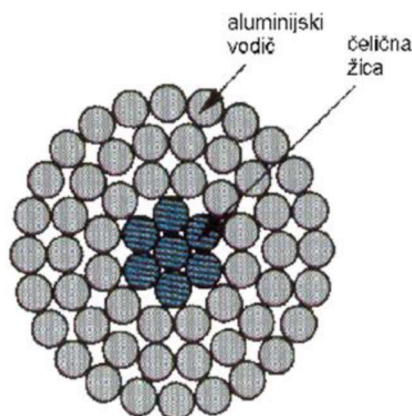
Na stupovima vodiči su izolatorima zavješeni na konzole stupa. Točke zavješanja se nazivaju još i ovjesišta, a razmak između njih rasponom između dva stupa. Pri projektiranju vodiča ukupni teret vodiča je vlastita težina i težina dodatnog tereta. Dodatni teret može biti utjecaj vjetra, leda i snijega na vodič, kao i kombinacija više faktora istovremeno. Time se povećava mehaničko naprezanje i opasnost od prekida vodiča. Prema važećim propisima za izgradnju nadzemnih vodova u RH, za temperaturu na kojoj nastupa dodatni teret uzima se  $- 5 \text{ } ^\circ \text{C}$ .

Vodiči nadzemnih vodova najčešće nisu obloženi izolacijom (goli vodiči), pa zbog sigurnosti moraju biti dovoljno visoko iznad tla i dovoljno međusobno udaljeni. Za srednjenaponske i niskonaponske nadzemne vodove upotrebljavaju se i vodiči s izolacijom (izolirani vodiči). Raspored vodiča na stupu ovisi o konstrukciji stupa i o tome da li se na istom stupu vodi jedan ili dva trofazna voda (jedna ili dvije trojke).

Vodiči nadzemnog voda su izrađeni od čistih metala ili slitina s dobrom električnom vodljivošću i zadovoljavajućom mehaničkom čvrstoćom. Danas se najviše upotrebljava aluminij i njegove slitine. U prošlosti se za izradu vodiča najviše upotrebljavao bakar zbog boljih električnih i mehaničkih svojstava, ali u novije vrijeme se zbog svoje cijene sve manje koristi za izradu vodiča.

Osnovni oblik vodiča nadzemnog voda je kružnog presjeka, izrađen použavanjem više slojeva helikoidalno namotanih žica, zavisno o nazivnom presjeku vodiča. Prednost tako izrađenih vodiča je tome što imaju veću elastičnost i prekidnu čvrstoću i manju osjetljivost na utjecaje vjetra od vodiča izrađenih punom žicom.

Kako bi se dodatno povećala potrebna mehanička čvrstoća kod dugih raspona između stupova, a ujedno osigurala dobra električna vodljivost, najčešća izvedba vodiča za nadzemne vodove je kombinacija žica aluminija i čelika, tzv. alučel vodič (engl. *ACSR, Aluminium Conductor Steel Reinforced*), čiji je presjek prikazan na slici 2.7. Kod alučel vodiča vanjski aluminijski plašt služi za vođenje električne struje, a čelična jezgra preuzima na sebe mehanička naprezanja vodiča između pojedinih stupova nadzemnog voda. Faktor punjenja alučel vodiča iznosi oko 75%, jer použavanjem žica ostaju praznine ispunjene zrakom.



Slika 2.7. Presjek alučel vodiča [1]



## 2.5. Spojni, ovjesni i zaštitni pribor

Spojni, ovjesni i zaštitni pribor i oprema se dimenzionira i usklađuje s obzirom na naponsku razinu za koju je nadzemni vod namijenjen, silama koje se javljaju, vodičima i zaštitnim užetima koja se koriste, dodatnim atmosferskim uvjetima i naprezanjima koja spojna oprema mora podnijeti.

Pribor se sastoji od različitih dijelova koji ne moraju uvijek biti upotrijebljeni, a ovisno o parametrima nadzemnog voda mogu biti i različito izvedeni. Pribor može biti opterećen termički zbog prolaza električne struje kroz njega, ali i mehanički. Ne postoji stroga podjela pribora, jer pojedini elementi istovremeno mogu imati više različitih uloga na samome stupu.

Spojni pribor ima električnu i mehaničku ulogu. Pribor mora biti sposoban omogućiti dobro vođenje električne struje kroz element, i mora biti sposoban izdržati mehaničke sile koje djeluju na njega. U spojni pribor spadaju različite kompresijske i vijčane spojnice za vodiče, strujne stezaljke i odstojnici za vodiče u snopu (Slika 2.8.).



Slika 2.8. Spojni pribor

Ovjesni pribor mehanički povezuje izolatore i vodič sa stupom. U ovjesni pribor spadaju različite zatezne i nosive stezaljke (Slika 2.9.). Zatezne stezaljke mogu biti kompresijske ili vijčane. Preko elemenata ovjesnog pribora sve mehaničke sile koje se javljaju u vodičima se prenose na stupove.



Slika 2.9. Ovjesni pribor

Zaštitni pribor obavlja različite zaštitne uloge. U zaštitni pribor spadaju zaštitni rogovi (iskrišta) ili zaštitni prstenovi, prigušivači vibracija (vibratori) i utezi.

Zaštitni rogovi u slučaju kratkog spoja preuzimaju električni luk i sprečavaju štetni utjecaj toplinskog zračenja na izolatore, ostali ovjesni pribor i vodiče. Zaštitni prstenovi dodatno povoljnije oblikuju električno polje. Prigušivači vibracija služe za prigušivanje vibracija vodiča nastalih zbog djelovanja vjetera. Neki oblici zaštitnog pribora su prikazani na slici 2.10.



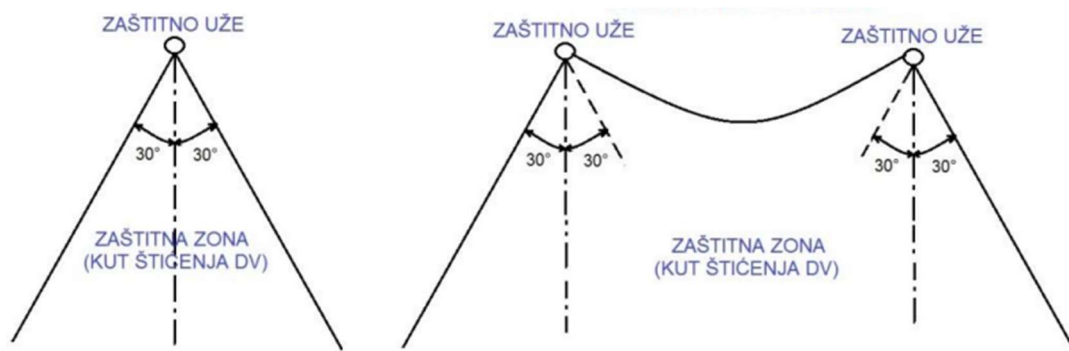
Slika 2.10. Zaštitni pribor

## 2.6. Zaštitno uže i uzemljenje

Zaštitno uže instalirano je na vrhu stupova na nadzemnom vodu i ono ima dvostruku ulogu. Služi za zaštitu od atmosferskih prenapona nastalih udarom munje u nadzemni vod. Zaštitno uže se zato spaja na konstrukciju stupa. Kako bi vodiči bili dovoljno zaštićeni od direktnog udara munje potrebno je da se nalaze unutar zaštitne zone od  $30^\circ$  koju tvori zaštitno uže. Ako se ne može postići dovoljno široka zaštitna zona za vodiče s jednim zaštitnim užetom, tada se koriste dva zaštitna užeta (Slika 2.11.).

Isto tako, zaštitno uže mora osigurati dovoljno nisku nultu impedanciju voda zbog kvalitetnog rada zaštite prilikom jednofaznih kvarova koji mogu nastati na nadzemnom vodu.





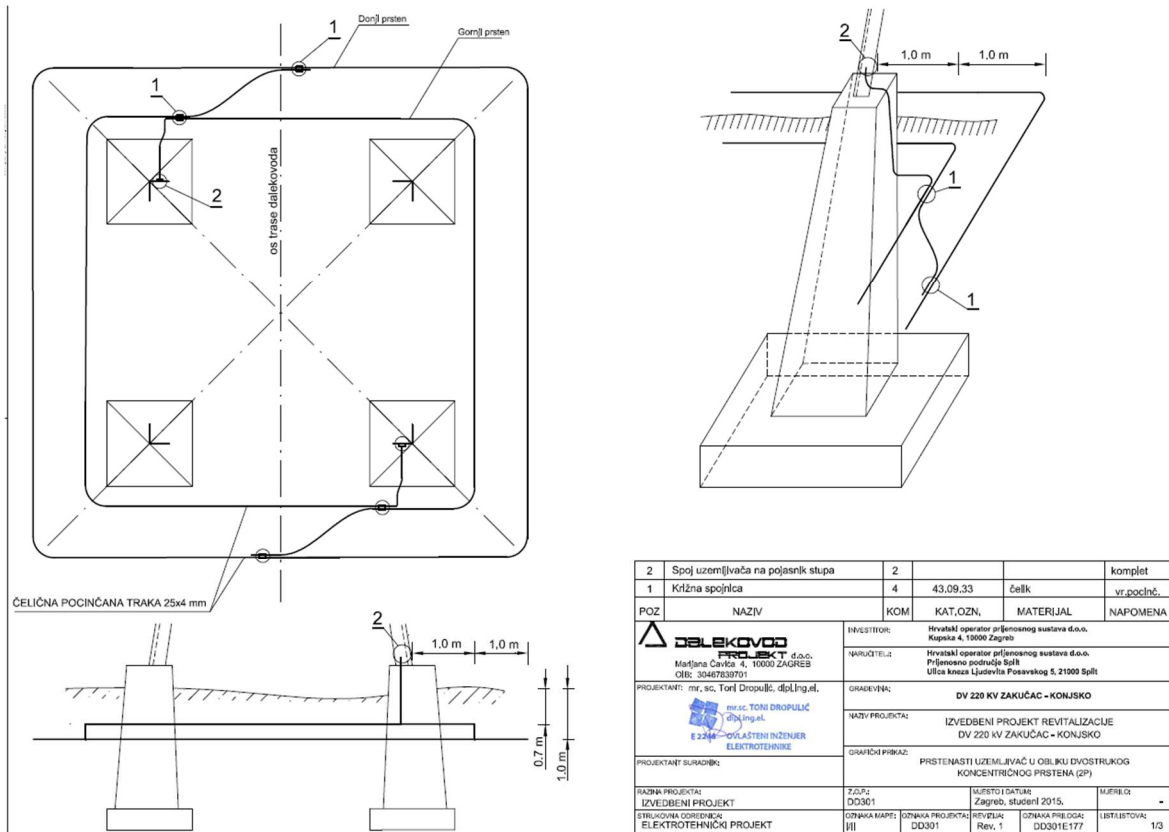
Slika 2.11. Zaštitna zona s jednim odnosno dva zaštitna užeta [3]

U velikoj većini slučajeva materijal za izradu zaštitnog užeta je isti kao i za izradu vodiča, ali s manjim omjerom aluminija prema čeliku. Ako zaštitno uže ima samo ulogu zaštite od atmosferskih prenapona, najčešće se izrađuje kao homogeno uže od čelika. Zaštitno uže na prijenosnim nadzemnim vodovima može služiti i za prijenos informacija. U tom slučaju se u zaštitno uže umjesto jedne žice ugrađuje optički kabel (*engl. OPGW, Optical Ground Wire*) s različitim brojem optičkih niti (najčešće 24, 2 x 24 ili 48 optičkih niti).

Uzemljenje općenito ima ulogu da se struje koje mogu poteći u slučaju kratkog spoja između vodiča i zemlje ili udara munje u nadzemni vod, sigurno odvedu u zemlju. Uzemljenje nadzemnog voda se sastoji najčešće od uzemljivača ukopanog u zemlju i dozemnog dijela koji povezuje točke metalne konstrukcije stupa s uzemljivačem.

Pravilnim dimenzioniranjem uzemljivača sprečava se povratni preskok sa stupa na vodiče do kojega može doći zbog velikog pada napona na otporu uzemljenja.

Za uzemljivač se na nadzemnim vodovima najčešće koristi plosnata pocinčana metalna traka. Oblik uzemljivača može biti trakasti, prstenasti ili kombinacija oba oblika. Primjer jednog oblika uzemljivača izvedenog na stupnom mjestu prilikom revitalizacije DV 220 kV Zakučac – Konjsko dan je na slici 2.12.



Slika 2.12. Prstenasti uzemljivač u obliku dvostrukog koncentričnog prstena [5]

### 3. VISOKOTEMPERATURNI NISKOPROVJESNI VODIČI

Posljednjih 20-tak godina je na svjetskom tržištu dostupan veći broj vodiča koji se mogu svrstati u grupu zajedničkog naziva visokotemperaturnih niskoprovjesnih vodiča (engl. *HTLS, High Temperature Low Sag*). Oni se međusobno razlikuju po materijalu od kojih je izrađena jezgra i vanjski plašt, prema načinu pouzavanja žica, obliku žica te mehaničkim i električkim karakteristikama. Sve navedene karakteristike u konačnici rezultiraju razlikama u maksimalnoj dozvoljenoj temperaturi pojedinog vodiča i njihovom ponašanju pri promjenama temperature koja imaju utjecaj na naprezanja i provjes vodiča.

Zbog stalnih potreba za povećanjem prijenosnih kapaciteta elektroenergetskog sustava, a istovremeno raznih društvenih, ekonomskih i političkih faktora u novije vrijeme koji ograničavaju izgradnju novih nadzemnih prijenosnih vodova, vlasnici elektroenergetskih nadzemnih vodova često se odlučuju za ugradnju novih tipova HTLS vodiča na postojećim dalekovodima. Takvi vodiči imaju manji električni otpor i / ili sposobni su biti u pogonu na visokim temperaturama u odnosu na postojeće „klasične“ alučel (ACSR) vodiče. Rekonstrukcijom takvog tipa ostvaruje se znatno povećanje prijenosne moći postojećih nadzemnih vodova uz nikakve dodatne ili eventualne zahvate manjeg opsega na temeljima ili konstrukciji stupova.

Atraktivna svojstva HTLS vodiča utječu na njihovu povećanu cijenu u odnosu na ACSR vodiče, koja kod nekih tipova vodiča nije zanemariva. Stoga je prethodno potrebno procijeniti ekonomsku prihvatljivost takvog tehničkog rješenja za povećanje prijenosne moći nadzemnog voda. Druga važna razlika je u načinu instalacije pojedinih tipova HTLS vodiča, što zahtijeva korištenje posebnih alata i opreme u odnosu na klasične ACSR vodiče.

Osnovne prednosti HTLS vodiča su:

- potencijalno su prihvatljivo tehničko rješenje za revitalizaciju postojećih nadzemnih vodova,
- omogućuju prijenos veće snage usporedno s klasičnim ACSR vodičima istog ili sličnog presjeka, te zbog gotovo identičnih elektromehaničkih karakteristika uglavnom nisu potrebna pojačanja temelja ili konstrukcije stupova,
- HTLS vodiči imaju provjese manje nego klasični ACSR vodiči kod istih temperatura.

Kao eventualni nedostatak, odnosno moglo bi se reći dodatni izazov u primjeni HTLS vodiča na nadzemnim vodovima, smatra se nešto složeniji postupak razvlačenja i montaže vodiča prilikom ugradnje, robusniji ovjesni i spojni pribor, a u toku eksploatacije i moguće sanacije kao posljedica oštećenja vodiča, što zahtijeva veći opseg radova na stupu u usporedbi s klasičnim ACSR vodičem.

Kako pogonska temperatura vodiča raste, povećanje struje utječe na otpor materijala te on raste. Obzirom da gubici rastu s  $I^2R$ , gubici na visokim temperaturama znatno se povećaju. Troškovi gubitaka nadzemnog voda su prihvatljiviji ako je povećanje prijenosne moći zbog zadovoljavanja n-1 kriterija sigurnosti, nego ako je povećanje zbog razloga povećanja osnovnog opterećenja. Povećanja prijenosne moći pomoću povećanja strujne opteretivosti i povećanja temperaturnog ograničenja atraktivnija su za nepredvidive pogonske slučajeve nego za slučajeve osnovnog opterećenja. Projektanti i planeri prijenosnih visokonaponskih vodova svjesni su da će gubici na visokim temperaturama biti posebno modelirani prilikom tehničkog i ekonomskog procjenjivanja novih vodiča.

Obzirom da su HTLS vodiči relativno kratko vrijeme na tržištu te su pogonska iskustva na nadzemnim vodovima još nepotpuna, osim podataka i ispitivanja proizvođača vodiča, svakim novim danom i novom pogonskom situacijom se dobiva kvalitetniji uvid u njihovu primjenjivost i realnu ocjenu karakteristika i životnog vijeka vodiča. Svi ti podaci će omogućiti nove podatke za kvalitetnu analizu isplativosti, tehničke karakteristike i montažu HTLS vodiča u budućnosti.

Za svaki konkretni projekt na kojem se želi razmotriti mogućnost ugradnje HTLS vodiča preporučuje se detaljna analiza pogonskih iskustava, stanja čelične konstrukcije stupova, sigurnosnih visina i udaljenosti, klimatskih prilika, te provesti modeliranje postojećeg nadzemnog voda s novim vodičima kako bi se na temelju analize nekoliko različitih tipova vodiča moglo odabrati optimalno tehničko rješenje.

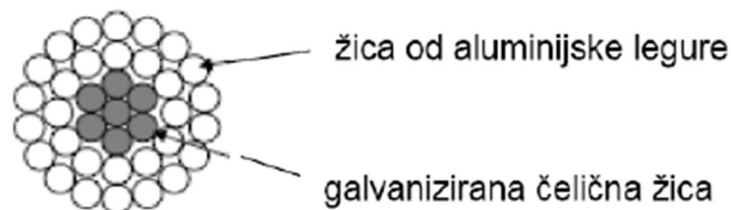
Najčešće korišteni tipovi HTLS vodiča su:

- TACSR vodič (Thermal Resistant Aluminium Alloy Conductor, Steel Reinforced),
- ACCR vodič (Aluminium Conductor, Composite Reinforced),
- ACCC vodič (Aluminium Conductor, Composite Core),

- ACSS vodič (Aluminium Conductor Steel Supported),
- ZTACIR vodič (Ultra Thermal Resistant Aluminium Alloy Conductor, Invar Reinforced).

### 3.1. TACSR vodič

TACSR vodič (Thermal Resistant Aluminium Alloy Conductor, Steel Reinforced) je vodič izrađen istim proizvodnim postupkom kao i klasični ACSR vodič, s galvaniziranim čeličnim žicama koje čine jezgru vodiča i TAL žicama od aluminijske legure s dodatkom cirkonija otporne na visoke temperature koje ih okružuju do 150 °C. Presjek TACSR vodiča prikazan je na slici 3.1. Jedan od proizvođača ovog tipa vodiča je tvrtka Lumpi-Berndorf Draht- und Seilwerk GmbH.



Slika 3.1. Presjek TACSR vodiča [6]

TACSR vodič je gotovo u potpunosti identičan klasičnom ACSR vodiču, ali aluminijska legura korištena za izradu TACSR vodiča ima neznatno viši specifični električni otpor od standardnog tvrdo vučenog aluminija u ACSR vodiču.

Montaža TACSR vodiča je stoga gotovo identična montaži klasičnog ACSR vodiča, a ovjesna i spojna oprema treba biti dimenzionirana za povišenu radnu temperaturu. Zbog toga je i ovjesna i spojna oprema (zatezne, nastavne i popravne kompresijske stezaljke) nešto većih dimenzija i promjera od standardnih.

Bitna značajka TACSR vodiča za razliku od ostalih tipova HTLS vodiča je da on nema smanjene provjese na višim temperaturama i ima istu toplinsku rastezljivost kao i klasični ACSR vodič, ali se zbog svog sastava može upotrijebiti za povećanje prijenosne moći

nadzemnog voda na vodovima gdje sigurnosne visine i udaljenosti ne predstavljaju problem pogonskom stanju dalekovoda.

Ovaj tip vodiča se koristi već duži niz godina poznat i pod nazivom „crni vodič“ (BTACSR), a naziv je dobio upravo zbog svoje u crno obojane vanjske površine vodiča koja mu povećava kapacitet prijenosa za 5 – 10% u odnosu na klasični ACSR vodič. U konačnici, moglo bi se reći da je TACSR vodič zapravo preteča današnjih modernih HTLS vodiča.

### 3.2. ACCR vodič

Kod ACCR (Aluminium Conductor, Composite Reinforced) vodiča čelična jezgra klasičnog ACSR vodiča zamijenjena je s jezgrom izrađenom od kompozitnih materijala, uglavnom vlakana aluminij-oksida unutar aluminijske matrice. Plašt vodiča je izrađen od ojačane legure aluminija koja je otporna na visoke temperature (Al-Zr). Na slici 3.2 prikazan je presjek ACCR vodiča. Proizvođač vodiča je američka tvrtka 3M.



Slika 3.2. Presjek ACCR vodiča [6]

Čvrstoća kompozitne jezgre ACCR vodiča može se usporediti s čeličnom jezgrom klasičnog ACSR vodiča i ima neka pozitivna svojstva. Aluminij-oksidna vlakna imaju manju rastezljivost od čelika ili aluminija, jezgra je otporna na koroziju i ne pokazuje znakove neelastičnog izduženja i nepoželjna magnetska svojstva. Vodič može biti u pogonu neprekidno do temperatura od 210 °C, a masa jezgre te ukupno cijelog vodiča po dužnom metru je nešto manja od mase klasičnog ACSR vodiča.

Ključna prednost jezgre ACCR vodiča u odnosu na klasični ACSR vodič je veći omjer čvrstoće i mase. Zbog toga ACCR vodič ima manje provjese na višim pogonskim temperaturama, a ujedno s time omogućava 2 do 3 puta veću prijenosnu moć nadzemnog voda od klasičnog ACSR vodiča pri jednakim pogonskim uvjetima, ali zato ima nižu temperaturu (oko 70 °C) na kojoj dolazi do efekta „koljena“ i trajnog izduženja vodiča.

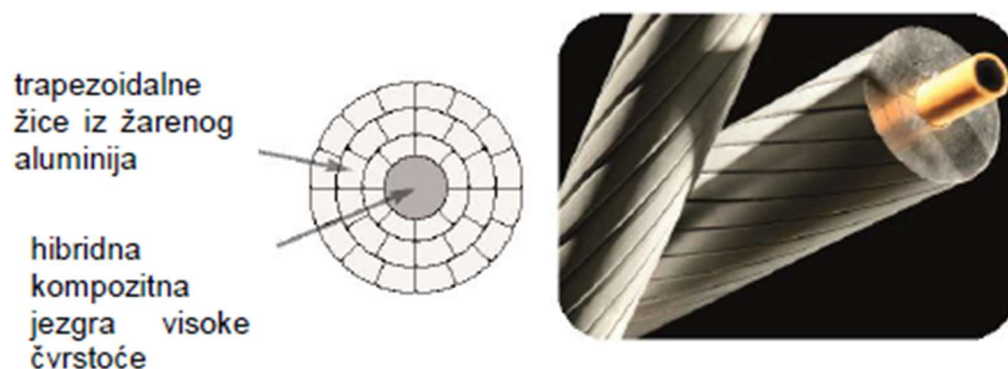
Što se tiče montaže vodiča tipa ACCR, slično kao i kod TACSR vodiča, ona je gotovo identična montaži klasičnog ACSR vodiča. Potrebne su određene prilagodbe u smislu korištenja radnih koloturnika većeg promjera, te nešto složeniji proces zatezanja vodiča i izrade zateznih kompresijskih stezaljki.

Prema dostupnim podacima i uputama proizvođača, za elektromontažne radove s ACCR vodičem se može koristiti ovjesna i spojna oprema namijenjena za klasični ACSR vodič, ali ispitana za rad na visokim temperaturama te uz korištenje zateznih, nastavnih i popravnih kompresijskih stezaljki većeg promjera.

Kao najveći nedostatak ACCR vodiča smatra se njegova izrazito visoka cijena.

### 3.3. ACCC vodič

ACCC (Aluminium Conductor, Composite Core) vodič je izrađen od kompozitne jezgre napravljene od vlakana i polimerne smole, oko koje su použene aluminijske žice od žarenog aluminija (1350-O). Na slici 3.3 prikazan je presjek ACCC vodiča. Jedan od proizvođača vodiča je belgijska tvrtka Lamifil, koja spada pod američku grupaciju CTC Global.



Slika 3.3. Presjek ACCC vodiča [10]

Aluminijske žice od žarenog aluminija su trapeznog oblika, što znači da je faktor punjenja vodiča veći nego kod klasičnog ACSR vodiča, i imaju veću električnu vodljivost u usporedbi s tvrdo vučenim žicama aluminija kod klasičnog ACSR vodiča. Zbog takve konstrukcije jezgre i aluminijskog omotača vodič može biti u normalnom pogonu na temperaturama do 180 °C, a kratkotrajno do 200 °C.

Porastom temperature vodiča, žarene aluminijske žice se brže izdužuju nego jezgra vodiča i postaju neopterećene. Sav teret preuzima kompozitna jezgra vodiča koja ima do 50% veću čvrstoću od čelične jezgre, ali niži toplinski koeficijent rastezljivosti od čelika i mnogo veći omjer mase i čvrstoće, iz čega proizlazi znatno manji provjes na visokim temperaturama.

Kao prednosti ACCC vodiča prema podacima proizvođača navodi se da vodič može prenijeti dva puta veću struju usporedno s klasičnim ACSR vodičem, te ima 30 – 40% manje električne gubitke kod istog opterećenja. Isto tako, navodi se da ACCC vodič nakon točke „koljena“ ima konstantan provjes koji više gotovo i ne raste. Još jedna prednost ACCC vodiča je u tome što nema problema s korozijom čelične jezgre kao klasični ACSR vodič, budući je njegova jezgra izrađena od kompozitnih materijala.

Što se tiče montaže vodiča tipa ACCC, ona se neznatno razlikuje od montaže klasičnog ACSR vodiča. Velika većina radne mehanizacije i opreme za montažu može se koristiti i ugradnju ACCC vodiča uz odgovarajuće prilagodbe u smislu korištenja radnih koloturnika većeg promjera zbog ograničenog radijusa savijanja kompozitne jezgre vodiča. Prema uputama proizvođača potrebno je koristiti poseban alat za rezanje vodiča i komprimiranje ovjesnog i spojnog materijala za vodič, a svi radnici koji rade na montaži vodiča trebaju proći tečaj obuke za rad s vodičem.

Ovjesni i spojni materijal treba biti posebno izrađen za ovaj tip vodiča i prilagođen za radne temperature kojima će vodič biti izložen u svome životnom vijeku. Najčešće se naručuje zajedno s vodičem od istog proizvođača.

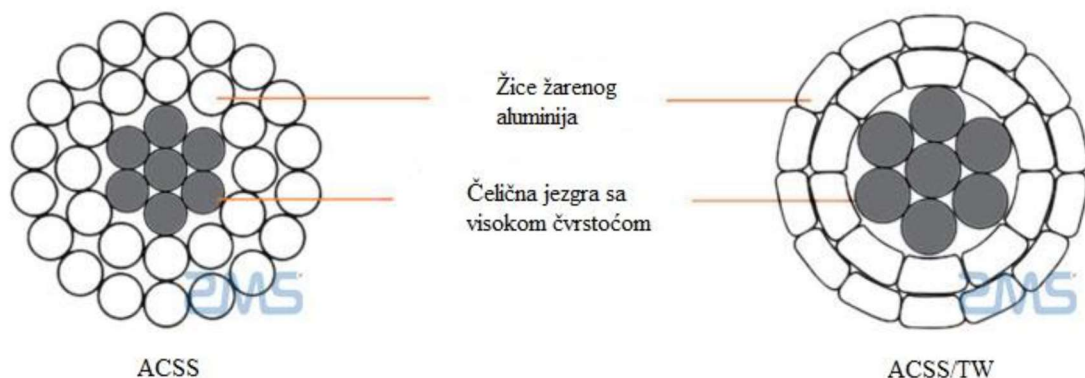
Unatoč velikom postojećem broju presjeka ACCC vodiča koji su našli široku primjenu kao odličan izbor vodiča za prijenosne nadzemne vodove, zbog svoje konstrukcije i metoda montaže kao jedan od nedostataka navodi se ograničena primjena za distribucijske nadzemne vodove.



Zbog korištenja ove relativno nove tehnologije proizvodnje vodiča i samim time nedovoljno povratnih informacija u realnim uvjetima korištenja vodiča, provode se ispitivanja koja bi trebala ukazati na eventualne nedostatke vodiča, osobito kompozitne jezgre vodiča za koju se još uvijek ne može sa sigurnošću utvrditi postojanost elektromehaničkih karakteristika nakon izloženosti visokim temperaturama duži niz godina.

### 3.4. ACSS vodič

ACSS (Aluminium Conductor Steel Supported) vodič je izradom sličan klasičnom ACSR vodiču. Oko jezgre od čeličnih žica su pouzane žice od užarenog aluminija (1350-O) koje mogu biti okruglog ili trapeznog oblika. Presjek vodiča ACSS i ACSS/TW (Aluminium Conductor Steel Supported / Trapezoidal Wire) prikazan je na slici 3.4.



Slika 3.4. Presjek ACSS i ACSS/TW vodiča [7]

ACSS vodič je zbog svoje konstrukcije i materijala korištenih u proizvodnji dosta čest izbor za zamjenu klasičnih ACSR vodiča. Cjenovno je skuplji za oko 1,5 – 2 puta, a elektromehanička svojstva kod temperatura „koljena“ su mu gotovo istovjetna klasičnom ACSR vodiču. ACSS vodič identičnog presjeka klasičnom ACSR vodiču može prenijeti puno veću struju jer uspijeva biti u pogonu pri temperaturama do 200 °C.

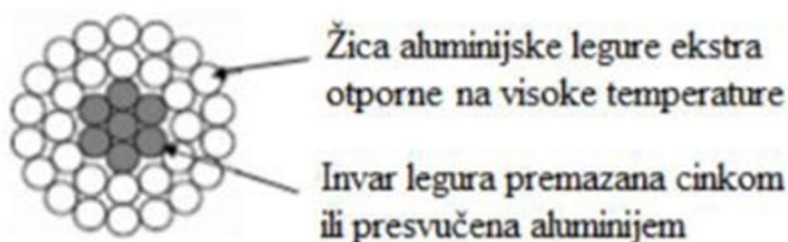
Aluminijski plašt i čelična jezgra podjednako sudjeluju kod izduženja kao posljedice opterećenja ili pri promjeni temperature. Pri zagrijavanju ACSS vodiča iznad temperature koljena, aluminijske žice plašta se osjetno više izduže od čeličnih žica u jezgri, slično kao

kod ACCC vodiča, pa se ukupno opterećenje prenosi samo na čeličnu jezgru. Tako se vodiču omogućuje da u velikoj mjeri iskoristi čvrstoću čelične jezgre, mali iznos neelastičnog izduženja i niski koeficijent linearnog istezanja.

Oprema za montažu ACSS vodiča je identična opremi za montažu klasičnih ACSR vodiča uz napomenu da ovjesna i spojna oprema trebaju biti dimenzionirane za povišenu radnu temperaturu vodiča.

### 3.5. ZTACIR vodič

ZTACIR (Ultra Thermal Resistant Aluminium Alloy Conductor, Invar Reinforced) vodiču jezgru čine galvanizirane okrugle žice invara (legura željeza i nikla; 36 do 38%), koja je použena plaštom od (Z)TAL žice, aluminijske legure otporne na visoke temperature trajno do čak 210 °C. Proizvođač vodiča je japanska tvrtka Hitachi. Presjek ZTACIR vodiča dat je na slici 3.5.



Slika 3.5. Presjek ZTACIR vodiča [6]

Slično kao i kod ostalih tipova HTLS vodiča, zagrijavanjem ZTACIR vodiča iznad određene temperature aluminijske žice se izduže više nego žice jezgre vodiča, pa sav teret prelazi na invar jezgru koja ima niski koeficijent linearnog istezanja. Zbog toga možemo zaključiti da je provjes ZTACIR vodiča na visokoj temperaturi sličan provjesu klasičnog ACSR vodiča na njegovoj radnoj temperaturi.

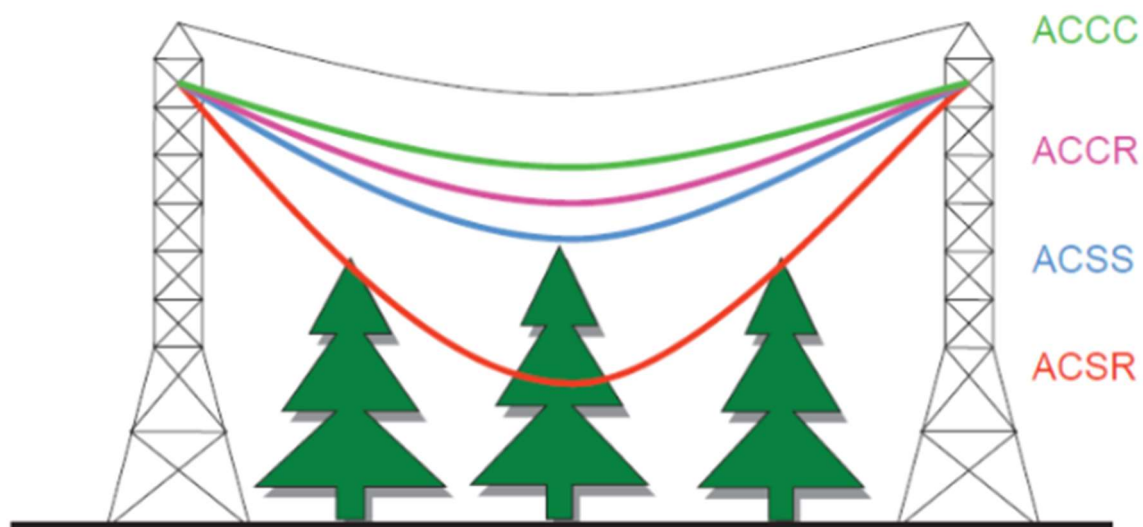
Slično kao i kod nekih prethodno navedenih tipova HTLS vodiča, radne procedure, mehanizacija i pribor za montažu ZTACIR vodiča su gotovo identični onima za montažu klasičnih ACSR vodiča. Ovjesni i spojni materijal je potrebno prilagoditi povišenim radnim temperaturama i povećanom strujnom opterećenju kojima će vodič biti izložen u svom životnom vijeku, ali se prema dostupnim podacima i uputama proizvođača, može koristiti

ovjesna i spojna oprema za klasični ACSR vodič, ispitana za rad na visokim temperaturama, uz primjenu zateznih, nastavnih i popravnih kompresijskih stezaljki nešto većeg promjera.

Tablica 3.1. daje prikaz nekih osnovnih prednosti i nedostataka HTLS vodiča, a na slici 3.6. je prikazana usporedba provjesa klasičnog ACSR vodiča i nekih tipova HTLS vodiča pri temperaturi vodiča od 180 °C.

Tablica 3.1. Prikaz nekih prednosti i nedostataka različitih tipova HTLS vodiča

Tip vodiča	Prednosti	Nedostatci
TACSR	<ul style="list-style-type: none"> <li>- radna temperatura do 150 °C</li> <li>- nisko povećanje provjesa u cijelom temperaturnom rasponu</li> <li>- veća vlačna čvrstoća</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- primjena gdje su raspoložive sigurnosne visine i udaljenosti</li> <li>- nema smanjene provjese na višim temperaturama</li> </ul>
ACCR	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nema korozije</li> <li>- jezgra čvrsta kao čelik</li> <li>- visoka radna temperatura &gt; 200 °C</li> <li>- koeficijent rastezanja jezgre manji od čelika</li> <li>- mali omjer mase po metru težine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- visoka cijena</li> <li>- visoka temperatura točke „koljena“</li> <li>- trajno izduženje slično kao kod ACSR vodiča ispod točke „koljena“</li> </ul>
ACCC	<ul style="list-style-type: none"> <li>- iznimno jaka kompozitna jezgra (50% jača od čelika)</li> <li>- zanemarivo povećanje provjesa iznad temperatura točke „koljena“</li> <li>- visoko vodljiva legura</li> <li>- može se koristiti do vrlo visokih temperatura, 180 °C</li> <li>- mali omjer mase po metru težine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- potrebna posebna spojna i ovjesna oprema</li> <li>- mekani aluminij zahtjeva pažljivo rukovanje prilikom montaže</li> <li>- ograničen radijus savijanja kompozitne jezgre</li> </ul>
ACSS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- radna temperatura do 250 °C</li> <li>- nisko povećanje provjesa pri visokim temperaturama</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- manja vlačna čvrstoća</li> <li>- visoka cijena</li> <li>- moguća korozija</li> </ul>
ZTACIR	<ul style="list-style-type: none"> <li>- radna temperatura do 210 °C</li> <li>- nisko povećanje provjesa iznad temperatura točke „koljena“</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- manja vlačna čvrstoća</li> <li>- visoka cijena</li> <li>- provjes do temperatura točke „koljena“ kao i od ACSR vodiča</li> </ul>



Slika 3.6. Usporedni prikaz provjesa nekih tipova HTLS vodiča u odnosu na klasični ACSR vodič pri temperaturi vodiča od 180 °C [8]

## 4. ACCC VODIČ

Američka korporacija CTC Global počela je 2002. godine s razvojem novog tipa vodiča, HTLS vodiča tipa ACCC. Nakon brojnih razvojnih ispitivanja vodič je predstavljen na tržištu 2005. godine i time je započeta njegova komercijalna upotreba. ACCC vodič je ispunio zahtjeve za povećanjem prijenosne moći te istovremeno postigao znatno smanjenje provjesa u usporedbi s ostalim komercijalno dostupnim vodičima (Slika 4.1.), zahvaljujući svome vrlo niskom koeficijentu toplinskog širenja. Zbog manje težine kompozitne jezgre, i načina pouzavanja trapezoidalnih žica, ACCC vodič ima ukupno nešto manju težinu i sadrži do 28% više aluminija u odnosu na klasični ACSR vodič istog presjeka.



Slika 4.1. Prikaz razlike u provjesu ACCC i klasičnog ACSR vodiča [9]

Do danas, zbog svojih navedenih svojstava ACCC vodič je postao jako čest izbor HTLS vodiča prilikom izgradnje novih ili rekonstrukcije postojećih nadzemnih vodova u zemljama diljem svijeta. Proizvođač navodi podatak da je instalirano više od 80 000 km ACCC vodiča različitih tipova i naponskih nivoa u više od 60 zemalja, i taj broj je u stalnom porastu.

#### 4.1. Sastav i primjena

Jezgra ACCC vodiča je hibridna kompozitna sastavljena od središnje jezgre od karbonskih vlakana koja je okružena staklenim vlaknima kako bi se poboljšala fleksibilnost i žilavost, a istovremeno se sprječava korozija između karbonske jezgre i aluminijskih žica plašta vodiča.

Kompozitna jezgra vodiča ima najveći omjer čvrstoće i težine i najniži koeficijent toplinske ekspanzije koji smanjuje provjes vodiča prilikom visokih električnih opterećenja i uvjetima visoke temperature u odnosu na ostale tipove HTLS vodiča. Kompozitna jezgra použena je aluminijskim žicama od žarenog aluminija 1350-O trapezoidalnog oblika čime se osigurava dobra vodljivost i mali električni otpor vodiča. Usporedba klasičnog ACSR i ACCC vodiča prikazana je na slici 4.2.

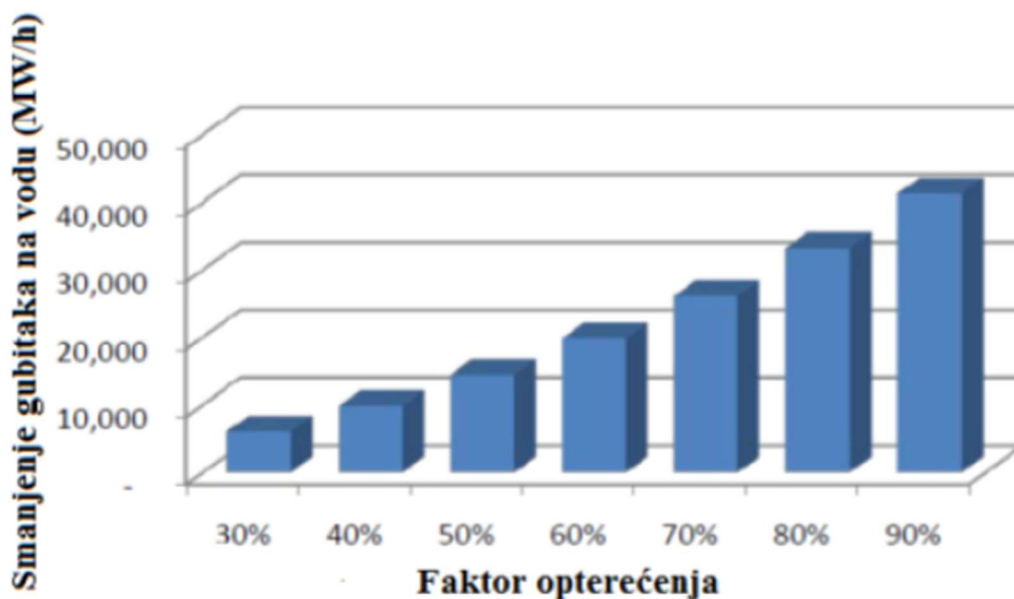


Slika 4.2. Prikaz ACSR i ACCC vodiča [10]

ACCC vodič je predviđen za normalni rad na temperaturi do 180 °C i kratkotrajno do 200 °C. Njegova dobra vodljivost zbog povećanog sadržaja aluminija i mali električni otpor omogućuju da radi na nižim temperaturama od ostalih vodiča sličnog presjeka i težine. Niže radne temperature rezultiraju znatnim smanjenjem gubitaka što čini ACCC vodič idealnim izborom prilikom izgradnje novih ili rekonstrukcije postojećih nadzemnih vodova.

Iako ACCC vodič spada u grupu HTLS vodiča, visokotemperaturnog niskoprovjesnog vodiča, zapravo se za ACCC vodič može reći da je visokokapacitivni niskoprovjesni vodič

(engl. *HCLS, High Capacity Low Sag*), budući da može provesti približno dvostruko veću struju od klasičnog potpuno aluminijskog ili ACSR vodiča, na nižim radnim temperaturama od ostalih HTLS vodiča. Niže radne temperature rezultiraju smanjenjem gubitaka nadzemnog voda u usporedbi s drugim komercijalno dostupnim vodičima. Slika 4.3. prikazuje prosječno smanjenje gubitaka nadzemnog voda kao funkcije faktora opterećenja u usporedbi s klasičnim ACSR vodičem sličnog presjeka.



Slika 4.3. Smanjenje gubitaka nadzemnog voda upotrebom ACCC vodiča u odnosu na klasični ACSR vodič [10]

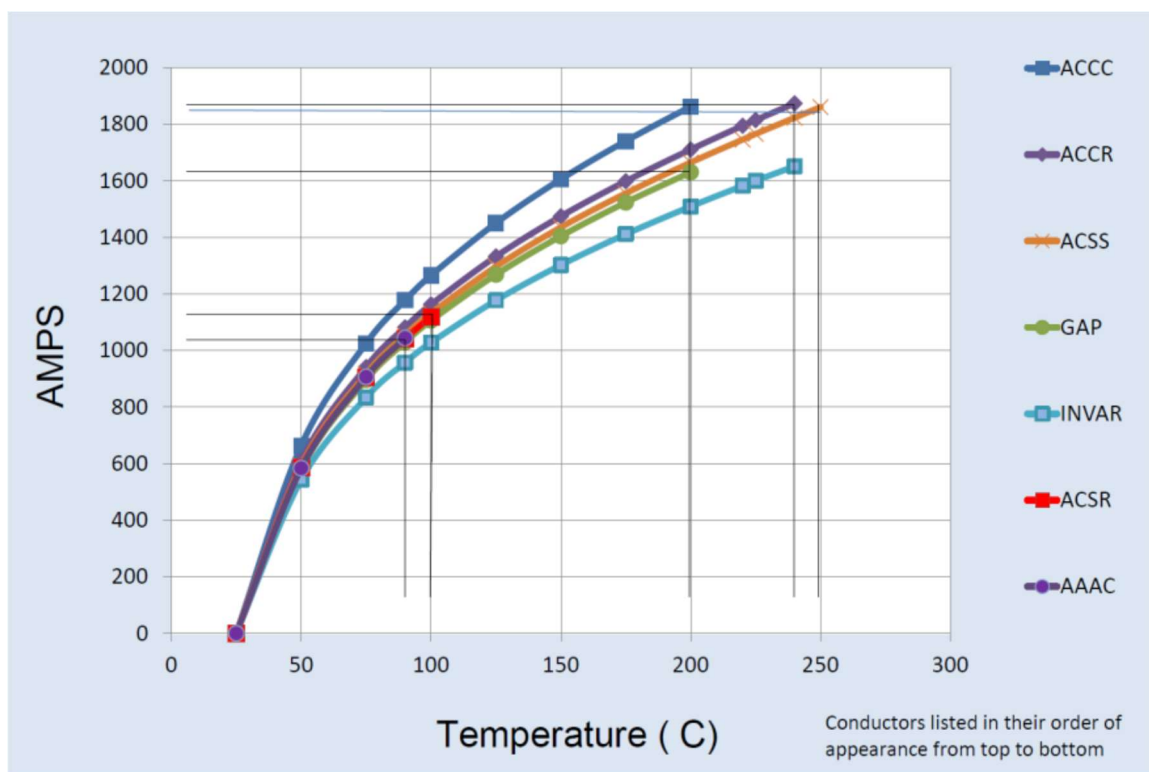
## 4.2. Svojstva vodiča

Električna i mehanička svojstva su važna za performanse, životni vijek i učinkovitost vodiča. Među njih se ubrajaju sposobnost prijenosa struje, čvrstoća, težina, promjer, otpornost na koroziju, faktor izduženja, koeficijent toplinskog širenja, samoprigušenje, otpornost na zamor, radni raspon temperature, sposobnost kratkog spoja i toplinska stabilnost. Koristeći ekvivalentni promjer i ukupnu težinu vodiča kao osnovu za usporedbu vodiča, ACCC vodič nudi prednosti u gotovo svakoj kategoriji.

Prilikom usporedbe troškova cijene vodiča, važno je uzeti u obzir utjecaj cijene vodiča na ukupne troškove projekta. ACCC vodič često se smatra skupljim na „osnovi duljine po

jedinici“ (s obzirom na određeni presjek) od klasičnog ACSR vodiča, umjesto po jedinici duljine po kapacitetu. ACCC vodiči koji rade na višim temperaturama nude približno dvostruko veći kapacitet od ekvivalentnog promjera ACSR vodiča, što rezultira značajno manjim opterećenjem u usporedbi s većim/težim klasičnim ACSR vodičem.

Na slici 4.4. prikazana je usporedba strujnih opterećenja klasičnog ACSR vodiča sa HTLS vodičima pri preporučenim radnim temperaturama proizvođača vodiča. Vidljivo je da ACCC vodič ima mogućnost prenijeti veće struje pri temperaturi od 200 °C, nego neki tipovi vodiča pri temperaturama od 250 °C.

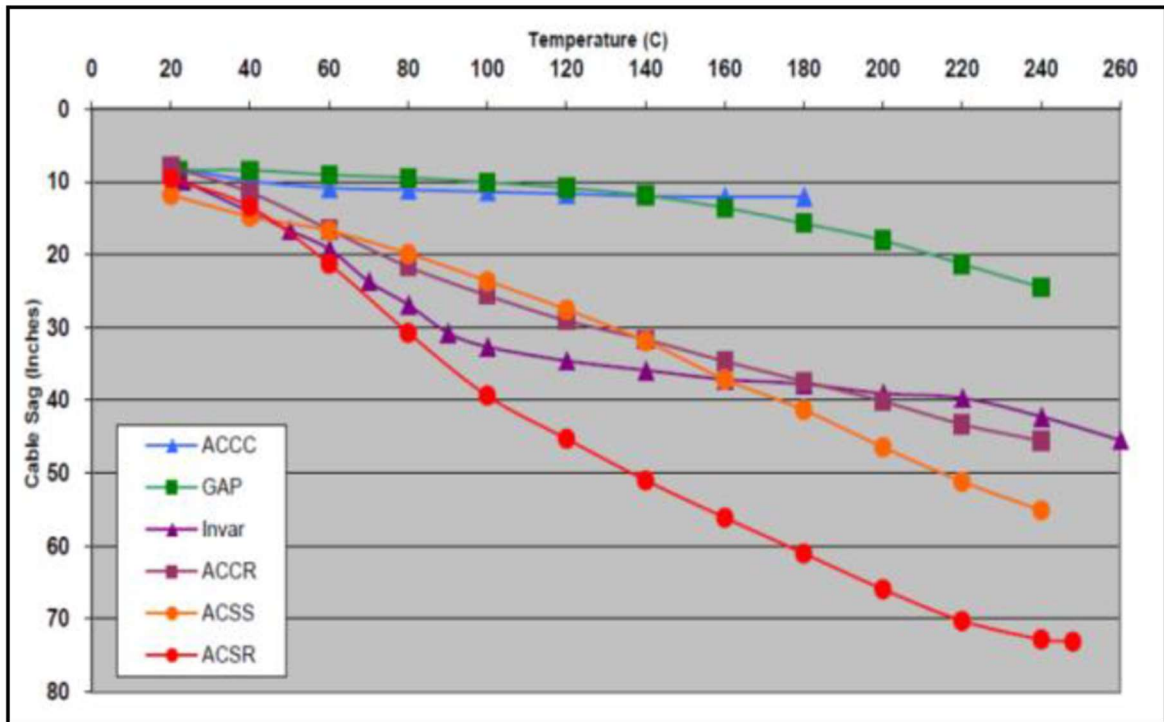


Slika 4.4. Usporedba klasičnog i HTLS vodiča koja pokazuje strujna opterećenja pri preporučenim radnim temperaturama vodiča [10]

Mehanička svojstva ACCC vodiča temelje se na specifičnim svojstvima njegove kompozitne jezgre i trapezoidalnih aluminijskih žica te njihovoj međusobnoj interakciji. Standardna jezgra ACCC vodiča ima vlačnu čvrstoću od 2158 do 2585 MPa i modul elastičnosti od ~112,3 do 147 GPa. Za usporedbu, čelična jezgra klasičnog ACSR vodiča ima vlačnu čvrstoću od 1275 MPa i modul elastičnosti od 200 GPa.



Modul elastičnosti jezgre ACCC vodiča je manji od čelične jezgre klasičnog ACSR vodiča, ali za razliku od čelika, kompozitna jezgra neće popustiti (plastično se deformirati) ili se istezati tijekom vremena, te je velika opterećenja neće trajno deformirati. Elastičnost jezgre i brzo širenje trapezoidalnih aluminijskih žica plašta vodiča poboljšavaju njegove karakteristike samoprigušivanja, smanjuju osjetljivost na lom zbog zamora i dopuštaju vrlo niske toplinske provjese, Slika 4.5.



Slika 4.5. Usporedba ovisnosti provjese vodiča o temperaturi klasičnog ACSR i HTLS vodiča [10]

Svi vodiči su izloženi i eolskim vibracijama. Frekvencija i amplituda vibracija temelji se na brzini vjetra, kutu pod kojim vjetar udara u vodič, svojstvima vodiča i drugim varijablama. Utjecaj vibracija prvenstveno se odnosi na prekid trapezoidalnih aluminijskih žica vodiča zbog zamora na krajevima ovjesnih stezaljki gdje deformacija vodiča, visoke razine naprezanja i ograničenja savijanja mogu ubrzati prekid zbog zamora. Žice trapezoidalnog oblika plašta ACCC vodiča imaju veću kontaktnu površinu između aluminijskih žica u usporedbi s okruglim žicama klasičnog ACSR vodiča, što dodatno poboljšava funkciju samoprigušenja i smanjuje naprezanje i tijekom uvjeta niske temperature kada raste napetost.

Plast ACCC vodiča izrađen je od trapezoidalnih žica žarenog aluminija koji ima toplinsko ograničenje iznad 250°C, stoga se toplinska ograničenja vodiča temelje na toplinskim ograničenjima kompozitne jezgre. Nakon opsežnih ispitivanja, CTC je utvrdio maksimalnu trajnu radnu temperaturu od 180 °C za ACCC vodiče, na kojoj se tijekom duljeg vremenskog razdoblja može primijetiti minimalna količina površinske oksidacije. Ova oksidacijska reakcija stvara gusti sloj usporavajući daljnju oksidaciju. Slika 4.6. prikazuje uzorak jezgre koji je odležao na 220 °C 52 tjedna. Proces oksidacije je u ovom slučaju bio ubrzan.



Slika 4.6. Kompozitna jezgra ACCC vodiča nakon izloženosti temperaturi od 220 °C 52 tjedna [10]

Izlaganje temperaturama iznad 200 °C se ne preporučuje za ACCC vodič, ali se može tolerirati u nekom kratkom vremenskom periodu. Iako ACCC jezgra vodiča pokazuje mehanička svojstva kojima dominiraju vlakna, izlaganje višim temperaturama tijekom duljeg vremenskog perioda može smanjiti sposobnost polimerne matrice da učinkovito prenese savijanje i vlačna opterećenja među nosivim vlaknima i smanjiti njegovu ukupnu čvrstoću. Unatoč tome, jednosmjerna kompozitna jezgra vodiča ACCC pokazuje svojstva u kojima dominiraju vlakna koja su višestruko manje osjetljiva na mehanizme starenja ili zamor metalnih materijala. To je razlog zašto kompoziti od karbonskih vlakana imaju široku primjenu u drugim vrlo zahtjevnim aplikacijama gdje su visoka čvrstoća, mala težina, toplinska stabilnost, otpornost na koroziju i zamor od cikličkog opterećenja kritični.

Završna obrada aluminijskog plašta ACCC vodiča obično je glatka i s reflektirajućom površinom tipičnom za sve nove tipove HTLS vodiče. Reflektirajuća površina mijenja emisivnost vodiča (sposobnost rasipanja topline) što služi za poboljšanje sposobnosti prijenosa struje i smanjuje nakupljanje vlage na vodiču.

### **4.3. Tipovi ACCC vodiča**

ACCC vodiči imaju jezgru izrađenu od karbonskih i staklenih vlakana okruženu matricom ojačane polimerne smole. Središnja jezgra od karbonskih vlakana okružena je staklenim vlaknima dovoljne debljine za poboljšanje fleksibilnosti i stvaranje izdržljive barijere koja sprječava galvansku koroziju karbonskih vlakana i aluminijskih žica. Izolacijski sloj između aluminijskih žica i jezgre od ugljičnih vlakana mora imati dovoljnu cjelovitost da preživi stalno strujanje između unutarnjih aluminijskih žica i kompozitne jezgre tijekom svog životnog vijeka.

Kompozitna jezgra spiralno je omotana s dva do pet slojeva aluminijskih trapezoidalnih žica. Omjer i vrsta karbonskih i staklenih vlakana korištenih u standardnoj jezgri ACCC vodiča ima vlačnu čvrstoću 2,158 do 2,585 MPa i modul elastičnosti od ~112,3 do 147 GPa.

Trenutno postoji devet standardnih presjeka ACCC jezgre vodiča koje su ugrađene u oko 40 verzija ACCC vodiča presjeka u rasponu od 150 mm<sup>2</sup> do 1400 mm<sup>2</sup>. Jezgre veće čvrstoće su dostupne na zahtjev kupaca kao i za velike raspone ili primjene kod ekstremnog opterećenja vjetrom/ledom. Standardni presjeci ACCC vodiča osiguravaju presjek jezgre i omjer aluminijskih žica optimizirane za različite primjene uključujući jake vjetrove i zone leda kao i velike raspone. U tablici 4.1. dane su specifikacije kompozitne jezgre osnovnih devet presjeka ACCC vodiča.

Kada se ACCC vodič komercijalno počeo upotrebljavati izvan USA, zbog razlikovanja s presjecima vodiča normiranih prema IEC (engl. International Electrotechnical Commission), za nazive presjeka vodiča uzeta su imena europskih gradova. U tablici 4.2. dan je prikaz različitih tipova ACCC vodiča prema IEC.

Tablica 4.1. Specifikacije kompozitne jezgre ACCC vodiča [10]

ACCC <sup>®</sup> Composite Core Specifications									
METRIC									
CTC Part Number	200-003	200-004	200-005	200-006	200-007	200-008	200-009	200-010	200-011
Metric Core Name Designation (mm)	5.97	7.11	7.75	8.13	9.53	8.76	9.78	10.03	10.54
Nominal Diameter of Composite Core (mm)	5.97	7.11	7.75	8.13	9.53	8.76	9.78	10.03	10.54
Diameter Tolerance (mm)	±0.05	±0.05	±0.05	±0.05	±0.05	±0.05	±0.05	±0.05	±0.05
Nominal Cross-sectional Area of Core (mm <sup>2</sup> )	28.0	39.7	47.1	51.9	71.3	60.3	75.1	79.1	87.3
Rated Strength of Composite Core (MPa)	2158	2158	2158	2158	2158	2158	2158	2158	2158
Rated Tensile Load at Failure (kN)**	60.4	85.7	101.7	112.0	153.8	130.2	162.1	170.6	188.3
Core Nominal Mass (kg/km)	54	76	86	98	132	113	143	147	164
Final Modulus of Elasticity (GPa)	112.3	112.3	112.3	112.3	112.3	116.0	112.3	112.3	112.3
Coefficient of Thermal Expansion (x10 <sup>-6</sup> /°C)	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.45	1.61	1.61	1.61
Specific Heat Capacity of Core (J/g°C)	0.813	0.813	0.813	0.813	0.813	0.813	0.813	0.813	0.813
Heat Capacity of the Core mCp (J/m°C)	43.5	61.7	70.2	79.8	107.7	91.9	116.1	119.8	133.1
Electrical Conductivity of the Core (% IACS)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Recommended Operating Temperature of Core (°C)*	180	180	180	180	180	180	180	180	180
Emergency Operating Temperature of Core (°C)**	200	200	200	200	200	200	200	200	200

Tablica 4.2. Tipovi ACCC vodiča prema IEC [10]

INTERNACIONALNA VELIČINA												
ACCC	Presjek		Vanjski promjer	Promjer žica	Masa užeta	Prekidna sila plašta	Prekidna sila vodiča	DC @ 20°C	AC @ 25°C	AC @ 75°C	AC Ampacity	
	(kcmil)	(mm <sup>2</sup> )									(mm)	(mm)
HELSINKI	297	150,6	15,65	5,97	471	60,4	68,9	0,1862	0,1902	0,2277	519	765
COPENHAGEN	434	219,9	18,29	5,97	661	60,4	72,8	0,1272	0,1301	0,1557	656	971
REYKJAVIK	440	223,1	18,82	7,11	694	85,7	98,3	0,1256	0,1285	0,1537	665	986
MONTE CARLO	451	228,5	20,78	10,54	799	188,3	201,2	0,1230	0,1257	0,1504	691	1,027
GLASGOW	467	236,7	19,53	7,75	732	101,7	115,0	0,1184	0,1211	0,1449	692	1,027
CASABLANCA	540	273,6	20,50	7,11	834	85,7	101,1	0,1024	0,1049	0,1255	754	1,120
OSLO	619	313,8	22,40	8,76	981	130,2	147,8	0,0893	0,0911	0,1091	828	1,234
LISBON	623	315,5	21,79	7,11	948	85,7	103,5	0,0887	0,0910	0,1088	823	1,227
AMSTERDAM	725	367,4	23,55	7,75	1101	101,7	122,4	0,0762	0,0784	0,0936	907	1,355
BRUSSELS	832	421,4	25,15	8,13	1265	112,0	135,7	0,0666	0,0687	0,0820	987	1,479
STOCKHOLM2L	914	463,3	26,39	8,76	1395	130,2	156,2	0,0605	0,0625	0,0746	1,049	1,576
STOCKHOLM3L	895	453,7	26,39	8,76	1368	130,2	155,7	0,0617	0,0637	0,0760	1,039	1,560
WARSAW	1002	507,5	27,71	8,76	1520	130,2	158,7	0,0553	0,0573	0,0683	1,112	1,673
DUBLIN	1035	524,5	28,14	9,53	1583	153,8	183,3	0,0534	0,0553	0,0660	1,136	1,711
HAMBURG	1078	546,4	28,63	8,76	1627	130,2	160,9	0,0514	0,0534	0,0636	1,163	1,752
KOLKATA	1073	543,5	28,63	9,53	1643	153,8	184,0	0,0517	0,0536	0,0639	1,160	1,748
MILAN	1120	567,7	29,11	8,76	1686	130,2	162,1	0,0494	0,0514	0,0612	1,191	1,797
ROME	1169	592,5	29,90	9,53	1774	153,8	187,1	0,0474	0,0494	0,0588	1,225	1,850
VIENNA	1242	629,2	30,43	8,76	1853	130,2	165,5	0,0445	0,0466	0,0554	1,269	1,918
BUDAPEST	1319	668,3	31,50	9,53	1984	153,8	191,4	0,0420	0,0440	0,0523	1,318	1,996
PRAGUE	1363	690,7	31,78	8,76	2031	130,2	169,0	0,0407	0,0428	0,0508	1,340	2,032

Još jedna od posebnosti ACCC vodiča prema podacima dostupnim od proizvođača koja se naglašava jesu i testiranja vodiča. ACCC vodič slovi kao najispitivaniji HTLS vodič. Potencijalni kupac može dobiti na uvid podatke i/ili prilikom preuzimanja vodiča odabrati nekoliko testova kojima se vodič podvrgava u njegovoj prisutnosti. Ukupno proizvođač navodi da je izvršeno ukupno 76 različitih ispitivanja ACCC vodiča tokom razvoja i u realnim uvjetima:

- 27 ispitivanja kompozitne jezgre,
- 16 ispitivanja mehaničkih svojstava vodiča,
- 10 ispitivanja električnih svojstava vodiča,
- 8 ispitivanja spojne i ovjesne opreme za vodič,
- 15 ispitivanja vodiča na terenu.

#### **4.4. Montaža vodiča**

Zbog nešto drugačijih postupaka montaže vodiča, osobito postupaka izrade kompresijskih završetaka i spojnica, te zavješnja vodiča, prije izvođenja radova s vodičem tipa ACCC, prema uputama proizvođača svi radnici koji rukuju vodičem trebaju proći odgovarajuću obuku za rukovanje vodičem.

Prilikom radova na montaži vodiča često je prisutan „master installer“, ovlaštena osoba tvrtke CTC Global za vršenje nadzora i pomoć nad izvođenjem radova. Njegova prisutnost je bitna osobito u početku izvođenja radova kako bi se osiguralo da se radovi na montaži vodiča odvijaju u skladu s uputama i preporukama proizvođača, te davanje uputa radnicima za montažu vodiča u realnim uvjetima. Na taj način može se spriječiti eventualno oštećenje vodiča prilikom rukovanja vodičem ili neki drugi neželjeni događaj.

Za montažu ACCC vodiča proizvođač mora odobriti upotrebu, i potrebno je naručiti ovjesnu i spojnu opremu prilagođenu za primjenu s ovim tipom vodiča, što se posebno odnosi na otpornost na povišene radne temperature vodiča.

Uz sve navedeno, proizvođač daje preporuke koje vrste alata i opreme koristiti prilikom montaže vodiča. Među to spadaju strojevi i oprema za razvlačenje vodiča, hidraulične preše i njihovi kalupi, radne stezaljke za prihvat vodiča, koloturnici za razvlačenje vodiča, radne

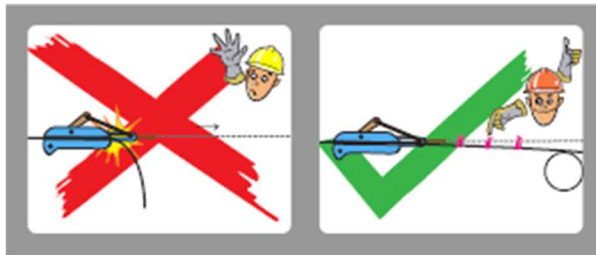
platforme za rad na visini, ručni alat za obradu vodiča i slično, što dodatno poskupljuje cjelokupnu investiciju prilikom montaže ovog tipa vodiča.

Proizvođač je u svojim uputama za rukovanje naveo najčešće situacije kada može doći do oštećenja vodiča uslijed nestručnog rukovanja vodičem prilikom montaže, te kako ih izbjeći:

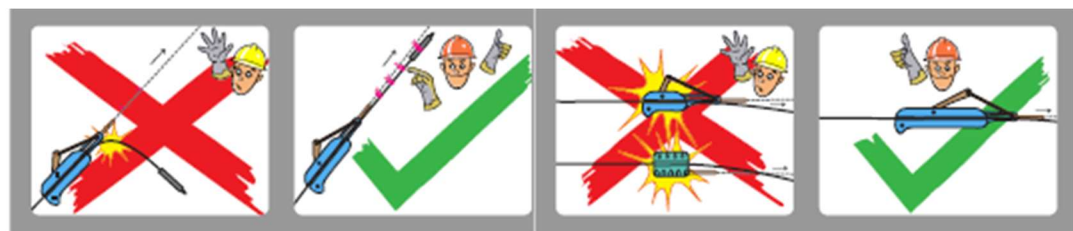
- Ne dozvoliti vodiču kontakt s površinama koje imaju oštre rubove ili premali promjer preko kojega prelazi vodič,



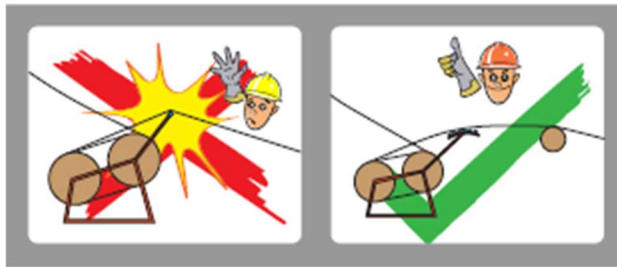
- Ne dozvoliti da rep vodiča nema oslonca prilikom rukovanja vodičem, jer može doći do oštećenja kompozitne jezgre vodiča na izlazu iz radne stezaljke



- Potrebno je koristiti odgovarajuće radne stezaljke odgovarajućih dimenzija,



- Ne dozvoliti oštre kutove loma vodiča prilikom prolaska vodiča kroz koloturnike strojeva za razvlačenje, potrebno poštovati zahtjeve za minimalnim radijusom koloturnika,



- Ne dozvoliti podizanje i rukovanje vodičem na bilo koji način koje može dovesti do prelamanja vodiča,



- Ne dozvoliti oštre kutove na izlazu vodiča iz spojne i ovjesne opreme.



U tablici 4.3 dane su preporučene minimalne vrijednosti radnih promjera koloturnika i kola za namatanje vodiča strojeva za razvlačenje vodiča, ovisno o promjeru kompozitne jezgre ACCC vodiča, kako bi se izbjeglo oštećenje vodiča prilikom procesa razvlačenja vodiča.

Tablica 4.3. Minimalne vrijednosti radnih promjera opreme za razvlačenje vodiča [11]

Promjer kompozitne jezgre ACCC vodiča (mm)	Naziv vodiča	Minimalni radni promjer koloturnika (mm)	Minimalni radni promjer kola za namatanje stroja za razvlačenje vodiča (mm)
5.97	Skadar Rijeka Silvassa Helsinki Copenhagen Rovinj, AZR Rovinj Gdansk	511	1000
7.11	Zadar Rejkjavik Casablanca Lisbon	610	1200
7.75	Jaipur Glasgow Amsterdam Cordoba	650	
8.13	Brussels	710	
8.76	Oslo Stockholm Warsaw Hamburg Milan Vienna Prague Paris	800	
9.53	Leipzig Calgary Dublin Kolkata Rome Budapest Mumbai Munich Dhaka		1500
9.78	London Antwerp Madrid		
10.03			
10.54	Monte Carlo Warwick Toronto Mahakam Bordeaux Berlin Athens	1000	



#### **4.5. Rukovanje vodičem**

Specifičnost proizvodnje ACCC vodiča je u tome što se kompozitna jezgra vodiča proizvodi isključivo u tvornici CTC Global u Irvineu, Kalifornija. Nakon proizvodnje, kompozitna jezgra vodiča se testira i certificira prema standardima osiguranja kvalitete ISO 9001-2008, namotava se na bubnjeve i šalje jednom od devet ISO certificiranih i CTC Global kvalificiranih međunarodnih partnera diljem svijeta. Svaki od tih proizvođača ima vlastito postrojenje s proizvodnom opremom i alatima kojima se na kompozitnu jezgru použavaju aluminijske žice, te se dobiva gotov proizvod spreman za isporuku kupcu. U Europi to je belgijska tvornica vodiča Lamifil.

ACCC vodič se isporučuje na drvenim ili metalnim bubnjevima na kojima je vodič namotan, uglavnom prema zahtjevima kupca, kao i duljine vodiča koje se namotavaju na bubnjeve prema zahtjevima projekta. Ako će nakon isporuke kupcu bubnjevi s vodičem biti skladišteni na otvorenome dulje vrijeme prije montaže vodiča, preporuka je proizvođača koristiti metalne bubnjeve, jer drveni bubnjevi mogu nepovratno biti oštećeni utjecajem vremenskih uvjeta i samom težinom vodiča. Time postoji mogućnost da se prilikom montaže vodič ne bude mogao pravilno odmotavati s bubnja što može uzrokovati oštećenje samog vodiča.

## 5. REVITALIZACIJA DV 220 kV D274 ZAKUČAC – KONJSKO

Prema članku 5. *Zakona o energiji* temeljni akt za utvrđivanje energetske politike i planiranja energetskog razvoja Republike Hrvatske je *Strategija energetskog razvitka*, koju na prijedlog Vlade RH donosi Sabor za desetogodišnje razdoblje. Prilikom izrade desetogodišnjeg plana razvoja mreže, operator prijenosnog sustava realno pretpostavlja razvoj proizvodnje, opskrbe, potrošnje i razmjene s drugim zemljama, uzimajući u obzir planove ulaganja u regionalne mreže i mreže na pan-europskoj razini [12].

Desetogodišnji plan razvoja hrvatske prijenosne mreže obuhvaća neophodnu revitalizaciju postojećih, kao i izgradnju novih objekata prijenosne mreže, koji su studijski istraženi na razini studije pred-izvodljivosti, što znači da će se pri izradi kratkoročnih planova razvoja provoditi dodatna istraživanja njihove tehno-ekonomske opravdanosti izgradnje, te mogućnosti izgradnje s obzirom na prostorna, ekološka i druga ograničenja [12].

Oprema i uređaji u prijenosnoj mreži troše se tijekom korištenja uz adekvatno održavanje i zadržavaju svoje tehničke osobine tijekom životnog vijeka. Pouzdanost komponenti i promatranih jedinica VN postrojenja direktno ovisi o starosti, načinu korištenja i održavanju. Svaka komponenta koja čini promatranu jedinicu ima svoj vlastiti životni vijek.

Pored kriterija stanja pojedinih objekata i pokazatelja statistike pogonskih događaja, objekti predviđeni za zamjenu određuju se i prema isteku životnog vijeka. Za hrvatski sustav karakterističan je izrazito veliki broj prijenosnih objekata sa starijom životnom dobi [12].

Desetogodišnji plan razvoja prijenosne mreže je podložan budućim izmjenama s obzirom na nove spoznaje i informacije, eventualna prostorna i ekološka ograničenja, te druge faktore koji mogu imati utjecaja na planirane aktivnosti.

Kao najveće rizike u uspješnom ostvarenju strateških odrednica i planiranih aktivnosti HOPS identificira neizvjesna gospodarska kretanja u RH, prostorno-planska ograničenja i ekološke zahtjeve, nesigurnosti vezane za izgradnju novih proizvodnih postrojenja, te neizvjesnost stabilnog i dostatnog financiranja potrebnih aktivnosti [12].

Stoga se često događa da se unatoč pokazateljima stanja i isteku životnog vijeka objekti predviđeni za zamjenu i dalje održavaju i koriste unutar elektroenergetskog sustava do realizacije zamjene ili rekonstrukcije, koja se prebacuje u buduće revizije desetogodišnjih planova. Takav slučaj je bio i s realizacijom revitalizacije predmetnog 220 kV dalekovoda D274 Zakučac – Konjsko, koja je započeta u svibnju 2021.

### **5.1. Tehničke specifikacije – projektni zadatak**

Dalekovod DV 220 kV D274 Zakučac – Konjsko povezuje HE Zakučac i trafostanicu TS 400/220/110 kV Konjsko. Izgradnjom i ulaskom TS Konjsko u elektroenergetski sustav, predmetni dalekovod formiran je od dva postojeća dalekovoda: DV 220 kV Split (sada HE Zakučac) – TS Mraclin izgrađenog 1961 god. i DV 220 kV D274 Zakučac – Bilice izgrađenog 1968. god. Ukupna duljina trase dalekovoda iznosi 24,92 km i sastoji se od 71 stupnog mjesta, 20 zateznih i 51 nosivi stup.

Predmetni dalekovod je izgrađen na čeličnorešetkastim stupovima oblika glave „jela“, s ugrađenim alučeličnim vodičima nazivnog presjeka Al/Če 360/57 mm<sup>2</sup>. Na vrhovima stupova, kao zaštita vodiča od atmosferskih pražnjenja, ugrađeno je čelično zaštitno uže nazivnog presjeka Če II 95 mm<sup>2</sup>. Obzirom na različite godine izgradnje, postoje razlike u izolaciji i sastavu izolatorskih lanaca, pa je tako na dionici od HE Zakučac do stupa br. 49 izolacija opremljena s izolatorskim lancima sastavljenim od kapastih porculanskih izolatora VZC 16/10 (proizvodnje – bivša ČSSR), dionica od stupa br. 50 do stupa br. 67 sa staklenim kapastim izolatorima Sediver 1512 (Francuska), a dionica od stupa br 68 do TS Konjsko sa staklenim kapastim izolatorima KT 120 IEP Arandelovac (Jugoslavija), svi naravno s odgovarajućom ovjesnom i spojnom opremom te zaštitnim armaturama. Uzemljivači stupova su izvedeni od pocinčane čelične trake 30x3,5 mm, izvedbom u obliku prstena ili s četiri kraka, odnosno kombinacijom prstena i četiri kraka [5].

Tokom dugogodišnjem pogona na predmetnom dalekovodu su se provodili redovni postupci održavanja sukladno važećim *Pravilima o održavanju postrojenja i opreme elektroenergetskih građevina prijenosne mreže*. Najčešći postupci interventnog održavanja bili su zbog pucanja izolatorskih lanaca uslijed atmosferskih pražnjenja, i to većinom na novijoj dionici od HE Zakučac do stupa br. 49. Osim toga dalekovod od svoje izgradnje i

puštanja u pogon nije značajnije i sustavnije obnavljan, te je za očekivati kako je životni vijek ugrađene elektromontažne pri kraju ili već premašen.

Iako je dalekovod izgrađen na uglavnom neurbaniziranom dijelu zemljišta, tokom desetljeća je veliki dio trase dalekovoda urbaniziran, te je bilo potrebno uskladiti elemente dalekovoda s objektima u njegovoj blizini, odnosno na mjestima prijelaza dalekovoda nad objektima sukladno *Pravilniku o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona 1 kV do 400 kV*, te pravilima struke.

Pored svega navedenog, dugo planiranom realizacijom revitalizacije agregata u HE Zakučac povećana je instalirana snaga hidroelektrane sa 486 na 536 MW, čime su postavljeni novi i veći zahtjevi za prijenosom te proizvedene električne energije. Stoga je bilo nužno osigurati preduvjete u prijenosnoj mreži za punu angažiranost hidroelektrane u iznimno povoljnim hidrološkim okolnostima i mogućoj maksimalnoj proizvodnji.

Samim time je bilo potrebno povećati prijenosne kapacitete nadzemnog voda na način da se postigne maksimalni učinak bez zadiranja u bitne dijelove dalekovoda kao građevine. Predviđena je sveobuhvatna revitalizacija predmetnog dalekovoda, koja je pretpostavljala zamjenu vodiča, izolacije, ovjesne i spojne opreme, zaštitu čeličnorešetkastih stupova od korozije, te sanaciju uzemljivača.

Novopredviđeni fazni visokotemperaturni niskoprovjesni vodič za nadzemne vodove morao je omogućiti sljedeće:

- smanjenje provjesa, odnosno povećanje sigurnosnih visina u svim standardnim uvjetima, a posebice kod visokih opterećenja uz najveću temperaturu okoline, uz uvjet da maksimalne mehaničke sile na stupove u svim uvjetima ostanu iste ili po mogućnosti i manje, što znači da se zadržavaju postojeći stupovi, bez dodatnih zahvata na njima,
- istovremeno, uz postizanje prethodnog uvjeta, omogućiti i smanjenje radnih gubitaka i povećanje prijenosne moći, sukladno detaljnijim podacima u tehničkim specifikacijama.

Temeljem izrađene „Tehno-ekonomske analize izbora vodiča na DV 220 kV D274 Zakučac – Konjsko“, kao zamjenski vodič za projekt revitalizacije odabran je visokotemperaturni niskoprovjesni vodič tipa ACCC 460/60 Stockholm 3L, koji ima ukupni presjek  $521.0 \text{ mm}^2$  i promjer 26.40 mm. Odabrani vodič je malo manjeg vanjskog promjera od postojećih vodiča 360/57-Al/Č (26.6 mm), nešto manje mase (1.3873 kg naprema 1.455 kg), znatno većeg presjeka ( $521.0 \text{ mm}^2$  naprema  $417.5 \text{ mm}^2$ ) i sa svim elektromehaničkim karakteristikama koje će omogućiti povećanje prijenosne moći predmetnog dalekovoda [5].

Podaci o novopredviđenom vodiču su dani u nastavku.

<b>Novopredviđeni vodič:</b>	<b>ACCC 460/60 Stockholm 3L</b>
Računski presjek:	521.0 mm <sup>2</sup>
Promjer:	26.4 mm
Konstrukcija vodiča (broj x promjer):	
jezgra:	1 x 8.76 mm
plašt iz trapezoidalnih žica od žarenog aluminija,	
- prvi sloj:	8 x 4,05 mm
- drugi sloj:	12 x 4,04 mm
- treći sloj:	16 x 4,03 mm
Uzdužna masa:	1.3873 kg/m
Prekidna sila:	156100 N
Modul elastičnosti:	
- ispod točke toplinskog koljena:	63400 N/mm <sup>2</sup>
- iznad točke toplinskog koljena:	116000 N/mm <sup>2</sup>
Koeficijent linearnog toplinskog širenja:	
- ispod točke toplinskog koljena:	$18.4 \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$
- iznad točke toplinskog koljena:	$1.45 \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$
Normalno dozvoljeno naprezanje:	119.8 N/mm <sup>2</sup>
Iznimno dozvoljeno naprezanje:	224.7 N/mm <sup>2</sup>
Srednje dnevno naprezanje (18% prekidne sile):	53.9 N/mm <sup>2</sup>
DC otpor kod 20 °C:	0.0608 Ω/km
AC otpor kod 25 °C (50 Hz):	0.0628 Ω/km
AC otpor kod 75 °C (50 Hz):	0.0750 Ω/km [5]

Prema podacima dostupnim od proizvođača vodiča, maksimalna dopuštena trajna temperatura vodiča iznosi 175 °C. Kratkotrajno dopuštena temperatura vodiča je 200 °C u ukupnom trajanju od najviše 10000 sati tijekom životnog vijeka vodiča, a temperatura površine vodiča do 330 °C pri kratkospojnom opterećenju [5].

Najveća dopuštena trajna strujna opterećenja izmjeničnom strujom 50 Hz prema podacima proizvođača su:

- 847 A:.....vodič kod 80 °C
- 1058 A:.....vodič kod 100 °C,
- 1292 A:.....vodič kod 130 °C,
- 1358 A:.....vodič kod 140 °C,
- 1557 A:.....vodič kod 175 °C,

pri uvjetima okoline:

- brzina vjetra:.....0.6 m/s,
- temperatura okoline:.....40 °C,
- intenzitet sunčevog zračenja:.....1000 W/m [5]

## 5.2. Opis predviđenih zahvata

Ključna svrha obnove predmetnog dalekovoda je, uz povećanje prijenosne moći dalekovoda, smanjenje radnih gubitaka, povećanje raspoloživosti i pouzdanosti istog, budući je veći dio voda izgrađen 1961. godine, što znači da su neke ključne komponente dalekovoda u trenutku početka radova revitalizacije starije od 60 godina.

Projektom revitalizacije predviđeni su sljedeći zahvati:

- zamjena odnosno ugradnja novih konstruktivnih elemenata, za koje se terenskim očevidom utvrdilo da su oštećeni ili nedostaju,
- obnova antikorozivne zaštite na postojećoj čeličnorešetkastoj konstrukciji stupova, ukoliko je terenskim očevidom utvrđeno kako je ista dotrajala,
- ugradnja novih suvremenih vodiča duž cijele trase dalekovoda (tehničkih karakteristika najmanje istih, ili boljih u odnosu na tehničke karakteristike postojećeg vodiča),
- ugradnja novih izolatorskih lanaca sastavljenih od staklenih kapastih izolatora oznake prema IEC-u U120B, s novom ovjesnom i spojnom opremom na svim stupovima predmetnog dalekovoda,
- ugradnja novog zaštitnog užeta Č III-95 i zamjena ovjesne opreme za zavješanje zaštitnog užeta duž cijele trase dalekovoda,
- ugradnja novih natpisnih pločica s oznakom dalekovoda, rednog broja stupa, upozorenjem na opasnost na svim stupovima predmetnog dalekovoda,

- ugradnja novih uzemljivača, ukoliko se terenskim očevidom utvrdilo kako su postojeći uzemljivači dotrajali ili su oštećeni i
- ugradnja sustava za penjanje na sve stupove predmetnog dalekovoda.

### 5.3. Izvedeni radovi

Projekt revitalizacije DV 220 kV D274 Zakučac – Konjsko izradila je tvrtka Dalekovod Projekt d.o.o., Zagreb, a postupkom javnog nadmetanja za izvođače radova izabrana je tvrtka Dalekovod d.d., Zagreb.

HOPS d.d., Prijenosno područje Split je odvojenim postupkom javnog nadmetanja izvršio nabavku HTLS vodiča tipa ACCC, kojega je isporučila tvrtka Elektro Merkur d.o.o. Rijeka, Slika 5.1.



Slika 5.1. Istovar bubnjeva sa ACCC vodičem u TS Konjsko

Nakon obavljanja svih administrativnih radnji koje prethode početku radova, stjecanjem uvjeta za početak radova vanjskom izvođaču tvrtki Dalekovod d.d. Zagreb su izdate

propisane Isprave za rad. Radovi na revitalizaciji DV 220 kV D274 Zakučac – Konjsko započeti su 11. svibnja 2021. godine.

U nastavku su opisane sve radnje koje su poduzete tijekom revitalizacije DV 220 kV D274 Zakučac – Konjsko na sastavnim dijelovima predmetnog dalekovoda.

### 5.3.1. Temelji

Temelji postojećih stupova na predmetnom DV 220 kV D274 Zakučac – Konjsko izvedeni su kao armiranobetonski raščlanjeni temelji, pri čemu je svaki pojasnik stupa zabetoniran u zaseban temeljni blok.

Budući da terenskim očevidom nisu utvrđena oštećenja temelja postojećih stupova, isti nisu bili predmet revitalizacije.

### 5.3.2. Stupovi

Predmetni DV 220 kV D274 Zakučac – Konjsko realiziran je na jednosistemskim čeličnorešetkastim stupovima, oblika glave „jela“. Zavješena vodiča na konzolama raspoređena su na tri različite visine, međusobno nesimetrično (gornja, donja i srednja konzola) u odnosu na os stupa, dok je zaštitno uže zavješeno na vrhu stupa.

S obzirom kako je stanje konstrukcije bilo u relativno lošem stanju, provedena je temeljita zaštita od korozije odgovarajućim zaštitnim premazima kako bi se sačuvala postojanost konstrukcije i produljio njen životni vijek za slijedećih 30 - 40 godina.

Maksimalna radna naprezanja novopredviđenih ACCC vodiča su takva da su rezultirajuće horizontalne sile u zavješeljima nešto niže od maksimalnih horizontalnih sila za vodič Al/Č 360/57. U tome smislu, postojeći stupovi su u potpunosti zadovoljavali, u statičkom pogledu, za nove uvjete opterećenja uz primjenu novih vodiča. Stoga nije bilo nikakvih zahvata na metalnoj konstrukciji stupova predmetnog dalekovoda.

Razmještaj postojećih stupova (tip i visina stupa) po stupnim mjestima, te ostali bitni elementi za elektromontažne radove vidljivi su iz stupne liste u Prilogu 1. Kako bi se



omogućio pristup i pozicioniranje strojeva za razvlačenje vodiča i bubnjeva s vodičem provedena je izrada pristupnih puteva do zateznih stupova broj 1, 7, 19, 27, 39, 50, 55, 58, 61 i 68.

### 5.3.3. Vodiči

Na predmetnom dalekovodu su bili ugrađeni alučelični vodiči 360/57 Al/Č, koji su u upotrebi već jako dugi niz godina, što je samo po sebi bio dovoljan razlog za zamjenu istih.

Definirane su duljine vodiča na bubnjevima, kako bi se izbjeglo izvođenje nastavnih spojnica na nepristupačnim mjestima u rasponima. Izračun duljina vodiča proveden je na osnovu proračuna kosog raspona na temelju apsolutnih visina u točkama ovjesišta užeta, za svaki promatrani raspon zasebno i kod srednje temperature montaže (+20 °C). Temperatura od 136°C je najviša temperatura vodiča za koju su vršeni svi proračuni u projektu, budući se osnovom dosadašnjih podataka pokazuje da je to najviša temperatura koja se može očekivati na ovom dalekovodu uz najviša buduća opterećenja dalekovoda od 500 MVA, čak i u n-1 slučajevima.

Početak radova na elektromontaži prvotno je izvedeno armiranje stupova. To je postupak kojim su na nosnim stupovima zamijenjeni izolatorski lanci i ovjesni materijal za vješanje izolatorskih lanaca, te vješanje koloturnika za razvlačenje vodiča na stupove. Kombinacija ovjesne opreme i izolatorskih lanaca koja se montira na stup prikazana je u stupnoj listi, Prilog 1.

Na zateznim stupovima armiranje je izvedeno na način da su uklonjeni izolatorski lanci s ovjesnim materijalom i kompresijske zatezne stezaljke s krajevima vodiča, koji su potom sastavljeni zajedno u “čarapici” s okretnom spojnicom za razvlačenje vodiča. Na taj način osigurala se cjelovitost vodiča kako bi se on zamijenio novim vodičem. Na slikama 5.2. i 5.3. prikazano je armiranje na nosnom i zateznom stupu dalekovoda.



Slika 5.2. Armiranje nosivog stupa



Slika 5.3. Armiranje zateznog stupa

Razvlačenje faznih vodiča može započeti kad su cijelom sekcijom koja je predviđena za razvlačenje izvršena armiranja stupova. Kako je već navedeno bubnjevi s vodičima duljinama namotanog vodiča su već bili predviđeni za određene raspone za razvlačenje. To su redom: portal HE Zakučac – st. br. 7, st. br. 7 – 19, st. br. 19 – 27, st. br. 27 – 39, st. br. 39 – 50, st. br. 50 – 55, st. br. 55 – 61, st. br. 61 – portal TS Konjsko.

Samo razvlačenje faznog vodiča obavlja se strojevima za razvlačenje, kao što je prikazano na slikama 5.4., 5.5. i 5.6. Strojari koji upravljaju strojevima za razvlačenje vodiča su povezani radio vezom s ostatkom trase kako bi se razvlačenje odvijalo sinkronizirano, tako da u svakom trenutku znaju što se događa na trasi, te da mogu zaustaviti strojeve ukoliko dođe do nepredviđenih situacija. Strojevi za razvlačenje opremljeni su s pokazivačima sile razvlačenja.

Budući da je na predmetnom dalekovodu već postojao montiran stari alučelični vodič, on je poslužio da se njegovim izvlačenjem strojevima za razvlačenje vodiča povuče novopredviđeni ACCC vodič.



Slika 5.4. Stroj za razvlačenje vodiča, vučni stroj





Slika 5.5. Stroj za razvlačenje vodiča, “kočnica”



Slika 5.6. Stroj za razvlačenje vodiča, “kočnica” s bubnjem ACCC vodiča

Kada je novi vodič izvučen predviđenim dijelom trase, prema uputama proizvođača vodiča, potrebno je fiksirati vodiče na konzole zateznih stupova i nosive stezaljke na nosivim stupovima unutar 72 sata od razvlačenja vodiča. Te radnje se obavljaju na osnovu montažnih tablica provjesa i napreznja. Vodič se fiksira na konzole stupa prvo na zateznim stupovima

kompresijskim zateznim stezaljkama, sukladno uputama proizvođača vodiča. Nakon fiksiranja faznih vodiča i pričvršćivanja u izolatorske lance izrađuje se strujni most koji spaja prekinuti vodič i na fazne vodiče su postavljeni vibrator koji smanjuju vibracije faznih vodiča na vjetru. Svaki strujni most ima svoju propisanu dubinu ili trbuh (Slika 5.7.)



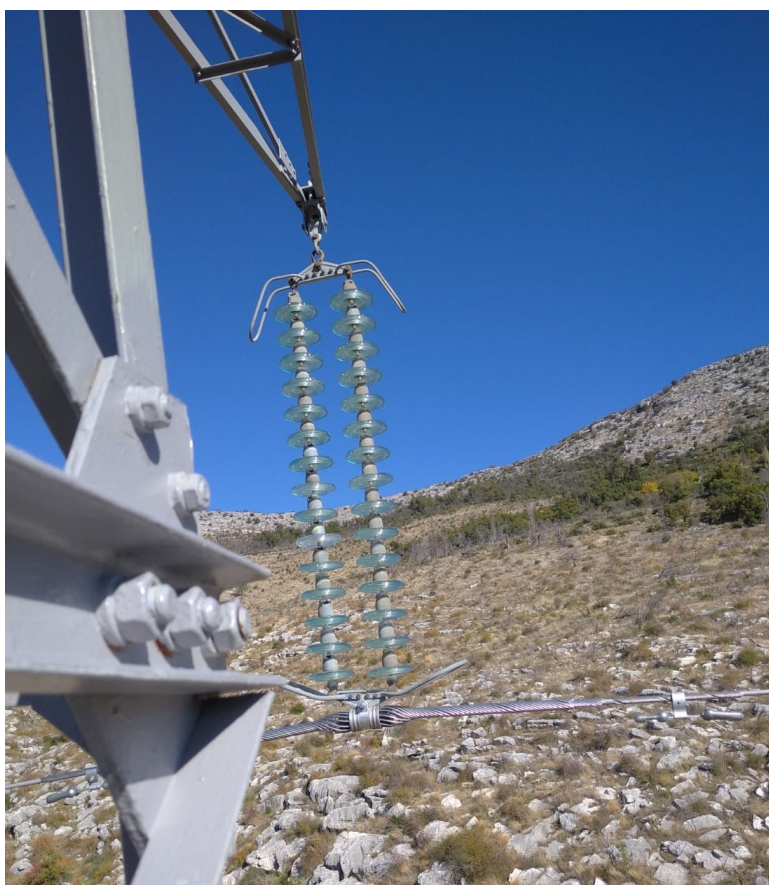
Slika 5.7. Zatezni stup nakon završene elektromontaže

Novopredviđeni vodič tipa ACCC je relativno novi proizvod koji se na tržištu nalazi od 2005. Njegova konstrukcija je izvedena monolitom jezgrom od kompozitnog materijala, te plaštom iz trapezoidalnih žica od mekanog žarenog aluminija. Kako je aluminijski plašt mekan i lako istezljiv, on sudjeluje u raspodjeli vlačne sile zatezanja vodiča, te većinu ove sile nosi kompozitna jezgra. Zbog toga se aluminijski plašt ponaša kao uteg te, prema navodima proizvođača, ovaj vodič uz iste uvjete ugradnje ima bolje karakteristike samoprigušenja od klasičnih alučeličnih vodiča te, u skladu s tim, ima manju osjetljivost na eolske vibracije od alučeličnih vodiča. Međutim, radi mekanog aluminijskog plašta je od



strane proizvođača vodiča za ACCC vodič predviđena ugradnja nosivih stezaljki s preformiranim prutom koje su osjetljivije od klasičnih vijčanih nosivih stezaljki, ponajviše radi svog neoprenskog uložka između vodiča i preformiranog pruta u tijelu stezaljke. Iz ovog razloga razloga dodatne zaštite nosivih stezaljki s preformiranim prutom kao i samog vodiča ACCC 460/60 Stockholm 3L, s kojim do sada nisu postojala pogonska iskustva u HOPS-u, je predviđena ugradnja prigušivača vibracija na vodiče ACCC 460/60 Stockholm 3L [5].

Nakon fiksiranja vodiča na konzolama zateznih stupova, isto se provodi na nosivim stupovima. Na njima je radna procedura dosta jednostavnija. Potrebno je „izbaciti“ radni koloturnik koji je služio za uklanjanje starog i razvlačenje novog vodiča i umjesto njega fiksirati ACCC vodič u za to predviđenu nosivu stezaljku (Slika 5.8.). Na slici 5.9. prikazana je izrada nastavne kompresijske spojnice vodiča, koja je predviđena projektnom dokumentacijom. Tim radnjama, zatezno polje po zatezno polje, zamjenom kompletnog vodiča i ovjesne i spojne opreme su završeni radovi na elektromontaži novog ACCC vodiča.



Slika 5.8. Nosivi stup nakon završene elektromontaže



Slika 5.9. Izrada nastavne kompresijske spojnice vodiča

#### 5.3.4. Zaštitno uže

U svrhu zaštite od atmosferskih prenapona na predmetnom DV 220 kV D274 Zakućac – Konjsko ugrađeno je zaštitno uže oznake HRN N.C1.702 - Č II 95 koje je imalo ukupni presjek  $93.27 \text{ mm}^2$  i promjer 12.5 mm, a na dionici između stupova br. 68 i 71 je bilo ugrađeno zaštitno uže oznake Alumoweld 19/9 126.1 ED 3004 USA koje je imalo ukupni presjek  $126.1 \text{ mm}^2$  i promjer 14.5 mm.

Kako se zaštitno uže Č II  $95 \text{ mm}^2$  nalazilo u upotrebi praktički od same izgradnje dalekovoda, isto je bilo dovoljan razlog za zamjenu prilikom rekonstrukcije dalekovoda. Predmetnim projektom je predviđena ugradnja novog zaštitnog užeta HRN N.C1.702-Č III- $95 \text{ mm}^2$ , te nosivih i zateznih elemenata ovješnja zaštitnog užeta.

Elektromontažni radovi na ugradnji novopredviđenog zaštitnog užeta obavljani su identičnim radnim procedurama kao i zamjena faznih vodiča.

### 5.3.5. Uzemljenje

Sukladno nalazima terenskog očevida nije bilo moguće sa sigurnošću utvrditi stanje postojećih uzemljivača. Obzirom da su se isti, osim novijih stupova izgrađenih nakon rekonstrukcija ili havarija, nalazili u upotrebi jako dugi niz godina, to je samo po sebi bio dovoljan razlog za pretpostavku kako su isti u većoj mjeri izgubili svoja prvotna elektromehanička svojstva (životna dob).

U tom smislu, na ljudima pristupačnim postojećim stupovima predmetnog DV 220 kV D274 Zakućac - Konjsko, predviđeno je bilo obnoviti uzemljenje, odnosno izvesti nove uzemljivače, prikazano u Prilogu 1. Uzemljenje je predviđeno izvesti na način da bude u što većoj mjeri zagarantirana sigurnost ljudi i sigurnost dalekovoda, a ujedno predstavlja i tehnološki optimalno rješenje.

Dimenzioniranje uzemljivača provedeno je na osnovu podataka o vrsti i karakteristikama tla. Temeljem dimenzioniranja uzemljivača određeni su oblik i vrste uzemljivača i njihove veličine. Sukladno navedenom, predviđeni su bili prstenasti uzemljivači u obliku jednostrukog ili dvostrukog koncentričnog prstena, izvedenog od pocinčane čelične trake presjeka 25×4 mm, koja u potpunosti zadovoljava za maksimalne očekivane struje u slučaju zemljospoja.

### 5.3.6. Natpisne ploče s identifikacijskim oznakama, sustav za penjanje

Kako je terenskim očevidom utvrđeno da na većini stupova pločice s upozorenjem na opasnost i oznakom rednog broja stupa ne postoje ili su izbljedjele i korodirale, ugrađene su potpuno nove pločice s upozorenjem na opasnost, nazivom dalekovoda i oznakom rednog broja stupa na svim stupovima predmetnog dalekovoda (Slika 5.10.).

Radi poboljšanja elemenata sigurnosti pri radu na visini, na predmetnom dalekovodu je u sklopu revitalizacije na svim stupnim mjestima ugrađen novi sustav za penjanje, koji do sada nije postojao (Slika 5.11.).





Slika 5.10. Tablica za označavanje dalekovoda



Slika 5.11. Sustav za penjanje

Nakon završetka svih prethodno navedenih radova predviđenih projektom revitalizacije DV 220 kV D274 Zakučac – Konjsko, a u svrhu ponovnog stavljanja nadzemnog voda u pogonsko stanje, izdavanjem propisanih isprava za rad HOPS-a, predmetni dalekovod je ušao u elektroenergetski sustav RH dana 05. studenog 2021. godine.

Time je dalekovod DV 220 kV D274 Zakučac – Konjsko postao prvi nadzemni vod u elektroenergetskom sustavu RH ovog naponskog nivoa s instaliranim HTLS vodičem, tipa ACCC. Time se omogućila maksimalna angažiranost HE Zakučac nakon njene revitalizacije, moglo bi se reći da je u potpunosti obnovljen predmetni dalekovod čiji je predviđeni životni vijek davno istekao. Novi tip HTLS vodiča, ACCC, omogućio je manje provjese u odnosu na stari vodič, budući da su u novije vrijeme gradnjama u blizini nadzemnog voda na pojedinim mjestima bile ugrožene sigurnosne visine i udaljenosti, a ujedno i veću prijenosnu moć i manje radne gubitke dalekovoda, što rezultira i ukupnim financijskim uštedama u budućnosti.

## 6. ZAKLJUČAK

Električni vodiči nadzemnog voda su jedini aktivni i najvažniji dio nadzemnog voda koji služi za vođenje električne struje. Nakon prestanka korištenja bakra za izradu vodiča nadzemnih vodova zbog ekonomskih razloga, najčešća izvedba vodiča u prošlosti je bila kombinacija žica aluminija i čelika, tzv. alučelični vodič (engl. *ACSR, Aluminium Conductor Steel Reinforced*). Vanjski aluminijski plašt služi za vođenje električne struje, a čelična jezgra preuzima na sebe mehanička naprezanja vodiča.

Zbog stalnih potreba za povećanjem prijenosnih kapaciteta elektroenergetskog sustava, a istovremeno raznih društvenih, ekonomskih i političkih faktora u novije vrijeme koji ograničavaju izgradnju novih nadzemnih prijenosnih vodova, primjena klasičnog ACSR vodiča prilikom revitalizacije nadzemnih vodova više nije ekonomski ni tehnički opravdana.

Posljednjih dvadesetak godina razvijeni su novi tipovi vodiča za prijenosne nadzemne vodove zajedničkog naziva visokotemperaturni niskoprovjesni vodiči (engl. *HTLS, High Temperature Low Sag*), koji svojim karakteristikama nadilaze klasični ACSR vodič i u električkom i mehaničkom pogledu. Takvi vodiči imaju manji električni otpor i / ili sposobni su biti u pogonu na visokim temperaturama u odnosu na postojeće klasične ACSR vodiče.

U ovom radu su ukratko predstavljene najzastupljeniji tipovi HTLS vodiča i opisane njihove najvažnije karakteristike. Oni se međusobno razlikuju po materijalu od kojih je izrađena jezgra i vanjski plašt, prema načinu pouzavanja žica, obliku žica te mehaničkim i električkim karakteristikama. Sve navedene karakteristike u konačnici rezultiraju razlikama u maksimalnoj dozvoljenoj temperaturi pojedinog vodiča i njihovom ponašanju pri promjenama temperature koja imaju utjecaj na naprezanja i provjes vodiča, te njihovoj prijenosnoj moći.

Također, zbog svojih konstrukcijskih razlika u odnosu na klasični ACSR vodič, kao i međusobno, za svaki od navedenih tipova HTLS vodiča generalno se montaža vrši gotovo na istovjetan način kao i za klasični ACSR vodič, uz primjenu odgovarajućih preporučenih alata, radnih procedura te spojne i ovjesne opreme od strane proizvođača vodiča.

Poseban osvrt u radu dat je za HTLS vodič tipa ACCC. Prikazana su njegova konstrukcijska, mehanička i električka svojstva kojima se ističe u odnosu na klasični ACSR vodič te ostale tipove HTLS vodiča. Rekonstrukcijom takvog tipa ostvaruje se znatno povećanje prijenosne moći postojećih nadzemnih vodova uz nikakve dodatne ili eventualne zahvate manjeg opsega na temeljima ili konstrukciji stupova.

Tehno-ekonomskom analizom izbora vodiča za revitalizaciju DV 220 kV D274 Zakučac – Konjsko odabran je vodič tipa ACCC 460/60 Stockholm 3L koji je tako postao prvi nadzemni vod u elektroenergetskom sustavu RH ovog naponskog nivoa s instaliranim HTLS vodičem. Svrha revitalizacije je, uz obnovu samog dalekovoda, bilo omogućiti maksimalnu angažiranost HE Zakučac nakon njene revitalizacije. Novi tip HTLS vodiča, ACCC, omogućio je manje provjese budući da su u novije vrijeme gradnjama u blizini nadzemnog voda na pojedinim mjestima bile ugrožene sigurnosne visine i udaljenosti, veću prijenosnu moć i manje radne gubitke dalekovoda, što će rezultirati i ukupnim financijskim uštedama u budućnosti koje nisu zanemarive.

Sama montaža novog vodiča na predmetnom dalekovodu je bila izazov zbog relativno visoke izgrađenosti na određenim dijelovima trase, kao i konfiguracije terena, s obzirom da je vodič tehnološki gledano, novi proizvod na tržištu. Stoga su se uz posebnu obuku radnika, trebale poštovati i ostale preporučene radne procedure uz primjenu odgovarajućih alata, robusnije spojne i ovjesne opreme od strane proizvođača vodiča kako bi montaža vodiča bila izvedena na zadovoljavajući način.

Svakim novim danom i novom pogonskom situacijom u kojoj će se u budućnosti naći predmetni dalekovod, moći će se dobiti kvalitetniji uvid u primjenjivost, realnu ocjenu karakteristika i životnog vijeka vodiča ovog tipa. Svi ti podaci će omogućiti nove podatke za kvalitetnu analizu isplativosti, tehničke karakteristike i montažu HTLS vodiča na drugim nadzemnim vodovima u vlasništvu HOPS-a u budućnosti.

## 7. LITERATURA

- [1] Marko Delimar, *Predavanja i auditorne vježbe na kolegiju Prijenos i razdjela električne energije*, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2017.,
- [2] Mirošević, G., Vidaković, F. (2008) *Projektiranje, građenje i održavanje dalekovoda*, Zagreb, Kigen,
- [3] N. Šišević: *Projektiranje i eksploatacija nadzemnih elektroenergetskih vodova u uvjetima jednovremenog djelovanja vjetra i zaleđenja vodiča*, Elektrotehnički fakultet, Podgorica,
- [4] Novaković J., *Sklopni aparati*, predavanja, Sveučilište u Splitu, Sveučilišni odjel za stručne studije, 2022.,
- [5] Dalekovod-Projekt d.o.o., *Izvedbeni projekt revitalizacije DV 220 kv Zakučac – Konjsko*, Zagreb. studeni 2015.,
- [6] Rubinić Z. „i dr.“: „*Analiza opravdanosti primjene visokotemperaturnih vodiča*“, Dalekovod projekt d.o.o., Zagreb, 2011.,
- [7] „*Composite Concentric Stranded Wire ACSS Cable Customization*“, s Interneta, <https://kvcable.com/products/htls-conductor-cable/acss-conductor-cable/>, 23.03.2023.,
- [8] „*Conductores para Alta temperatura con Flecha reducida (HTLS conductors)*“, s Interneta, <https://www.sectorelectricidad.com/20080/conductores-para-alta-temperatura-con-flecha-reducida-htls-conductors/>, 12.03.2023.,
- [9] Pat Avery, *High capacity/low sag conductor for the power industry*, <http://wyia.org/wp-content/uploads/2010/11/pat-avery.pdf>, 21.03.2023.,
- [10] CTC Global, *Engineering Transmission Lines with High Capacity Low Sag ACCC Conductors*, First Edition, 2011.,
- [11] CTC Global, *ACCC Conductor Installation Guidelines*, M181005-10 Revision A, 2020.,
- [12] HOPS d.o.o., *Desetogodišnji plan razvoja hrvatske prijenosne mreže (2014 - 2023)*, Listopad, 2013.

## POPIS SLIKA

Slika 2.1. Osnovni dijelovi nadzemnog voda [1].....	5
Slika 2.2. Dijelovi temelja [2].....	6
Slika 2.3. Temelj čelično-rešetkastog stupa.....	7
Slika 2.4. Zatezni i nosivi stup nadzemnog voda.....	8
Slika 2.5. Proboj štapnog silikonskog izolatora.....	9
Slika 2.6. Dimenzioniranje izolatora [4] .....	11
Slika 2.7. Presjek alučel vodiča [1] .....	12
Slika 2.8. Spojni pribor.....	13
Slika 2.9. Ovjesni pribor.....	14
Slika 2.10. Zaštitni pribor.....	15
Slika 2.11. Zaštitna zona s jednim odnosno dva zaštitna užeta [3].....	16
Slika 2.12. Prstenasti uzemljivač u obliku dvostrukog koncentričnog prstena [5].....	17
Slika 3.1. Presjek TACSR vodiča [6].....	20
Slika 3.2. Presjek ACCR vodiča [6].....	21
Slika 3.3. Presjek ACCC vodiča [10].....	22
Slika 3.4. Presjek ACSS i ACSS/TW vodiča [7].....	24
Slika 3.5. Presjek ZTACIR vodiča [6].....	25
Slika 3.6. Usporedni prikaz provjesa nekih tipova HTLS vodiča u odnosu na klasični ACSR vodič pri temperaturi vodiča od 180 °C [8].....	27
Slika 4.1. Prikaz razlike u provjesu ACCC i klasičnog ACSR vodiča [9].....	28
Slika 4.2. Prikaz ACSR i ACCC vodiča [10].....	29
Slika 4.3. Smanjenje gubitaka nadzemnog voda upotrebom ACCC vodiča u odnosu na klasični ACSR vodič [10].....	30
Slika 4.4. Usporedba klasičnog i HTLS vodiča koja pokazuje strujna opterećenja pri preporučenim radnim temperaturama vodiča [10].....	31
Slika 4.5. Usporedba ovisnosti provjesa vodiča o temperaturi klasičnog ACSR i HTLS vodiča [10].....	32
Slika 4.6. Kompozitna jezgra ACCC vodiča nakon izloženosti temperaturi od 220 °C 52 tjedna [10].....	33
Slika 5.1. Istovar bubnjeva sa ACCC vodičem u TS Konjsko.....	46
Slika 5.2. Armiranje nosivog stupa.....	52

Slika 5.3. Armiranje zateznog stupa.....	52
Slika 5.4. Stroj za razvlačenje vodiča, vučni stroj.....	53
Slika 5.5. Stroj za razvlačenje vodiča, “kočnica”.....	54
Slika 5.6. Stroj za razvlačenje vodiča, “kočnica” s bubnjem ACCC vodiča.....	54
Slika 5.7. Zatezni stup nakon završene elektromontaže.....	55
Slika 5.8. Nosivi stup nakon završene elektromontaže.....	56
Slika 5.9. Izrada nastavne kompresijske spojnice vodiča.....	57
Slika 5.10. Tablica za označavanje dalekovoda.....	59
Slika 5.11. Sustav za penjanje.....	59

## **POPIS TABLICA**

Tablica 3.1. Prikaz nekih prednosti i nedostataka različitih tipova HTLS vodiča.....	26
Tablica 4.1. Specifikacije kompozitne jezgre ACCC vodiča [10].....	35
Tablica 4.2. Tipovi ACCC vodiča prema IEC [10].....	35
Tablica 4.3. Minimalne vrijednosti radnih promjera opreme za razvlačenje vodiča [11].....	39



# PRILOZI

## 1. Prilog 1 - Stupna lista [5]

HEZAKUĆAČ	PORT	VISINA STUPA DO DONJE KONZOLE (m)	IZOLATORSKI LANCI	RASPON (m)	POLUZRBOJ SUSJ.RASPONA (m)	KUT LOMA TRASE (°)	DULJINA ZA TEZNOG POLJA (m)	TLAK VJETRA ZA OSNOVNU VISINSKU ZONU (OD 0 DO 40 m) (Nm <sup>2</sup> )	MASA DOD. TERETA (kg/m)	MAX. RADNO NAPREZANJE VODIČA (N/mm <sup>2</sup> )	MAX. RADNO NAPREZANJE ZAŠTITNOG UZETA (N/mm <sup>2</sup> )	NOVOPREDVIĐENO UZEMLJENJE	NAPOMENA	MASA UTEGA (kg)	KRIZANJA S DRUGIM OBJEKTIMA											
																DZp1	DZp2	DZp3	DZp4	DZp5	DZp6	DZp7	DZp8	DZp9	DZp10	DZp11
1	S6	15.60	DZp1	58.4	29.2	151°	58.4	900	1.0 × 0.18 $\sqrt{d}$	40	140	2P														
2	S61	23.10	DZp2	372.9	391.0	172°	372.9	900	1.0 × 0.18 $\sqrt{d}$	72	250	P	Nakošen vrh stupa		Lokalni put, ograda postrojenja											
3	N450/90	28.70	Lp	409.1	400.7							P			Rijeka Cetina, NN vod, kuće, 2×ostia											
4	N450/90	16.20	Lp	392.3	392.3										DV 10 KV											
5	N450/90	18.50	L1p (g.i.d.), Lp+P (s. i)	272.2	259.0		1530.1			72	250		Produlžnik - srednja faza													
6	N450/90	28.70	Lp	245.8	228.3																					
7	S61	28.60	DZp1	210.7	320.6	178°						P														
8	N450/90	26.00	L	430.5	345.0																					
9	NF.2	26.00	L*	259.4	332.2		1518.5			72	250		Novi stup iz 2015. godine													
10	NF.2	26.00	L*	405.0	332.2								Novi stup iz 2015. godine													
11	S61	20.50	DZp (DZp* - g.i.) DZp	423.6	414.3	177°																				
11	S61	20.50	DZp1	360.6	380.2	177°							Stup izgrađen 2007/2008. godine													
12	NF	23.40	L	399.7	364.2																					
13	N450/90	23.40	Lp	328.6	342.8																					
14	N450/90	23.40	Dlp	356.9	347.6		2920.9			72	250	2P	Stup nakošen		NN mreža, kuće											
15	N450/90	20.90	Dlp	338.3	352.1																					
16	N450/90	23.40	L	365.8	370.1																					
17	N450/90	26.00	L	374.4	385.5																					
18	N450/90	23.40	Dlp	396.6	414.2	168°									NN vod, kuće											
19	S61	15.60	DZp1	431.7	427.5																					
20	N450/90	26.00	L	423.3	372.8			900																		
21	N450/90	23.40	L	322.3	354.8																					
22	N450/90	26.00	L	397.3	389.8																					
23	N450/90	26.00	L	392.2	400.9		3232.6			72	250															
24	N450/90	26.00	L	409.5	447.4																					
25	N450/90	20.90	Dlp	485.2	433.2																					
26	N450/90	20.90	Dlp	381.1	175°										DV 10 KV											
27	S61	20.50	DZp1																							

OZNAKA STUPNOG MJESTA	TIP STUPA	VISINA STUPA DO DONJE KONZOLE (m)	IZOLATORSKI LANCI	RASPON (m)	POLUZBROJ SUSJ.RASPONA (m)	KUT LOMA TRASE (°)	DULJINA ZATEZNOG POLJA (m)	TLAK VJETRA ZA OSNOVNU VISINSKU ZONU (OD 0 DO 40 m) (Nm <sup>2</sup> )	MASA DOD. TERETA (kg/m)	MAX. RADNO NAPREZANJE VODIČA (N/mm <sup>2</sup> )	MAX. RADNO NAPREZANJE ZAŠTITNOG UZETA (N/mm <sup>2</sup> )	NOVOPREDVIĐENO UZEMLJENJE	NAPOMENA	MASA UTEGA (kg)	KRIZANJA S DRUGIM OBJEKTIMA
DV 220 KV D 274 ZAKUČAČ - KONJSKO															
27	S61	20.50	DZp,DZp	258.4	272.8	175°						P			
28	N450/90	23.40	Lp (s.t.N,ZpZp)	287.2	358.9								Nosivo-zatezno završavanje - srednja faza		
29	N450/90	23.40	Lpu, P (s.t.), 150 kg	430.6	432.0								Produžnik - srednja faza	150	
30	N450/90	23.40	Dlp	433.3	424.2							P			
31	N450/90	28.70	Dlp	415.0	431.6		3878.8								
32	N450/90	28.70	Lp	448.2	435.2										
33	N450/90	18.50	L	422.1	373.9										
34	N450/90	26.00	L	325.6	413.4										
35	N450/90	26.00	Lp (P-s.t.)	501.2	429.2							P	Produžnik - srednja faza		
36	N450/90	20.90	Dlp	357.2	412.0	146°						P			DV 10 KV, NN vodovi
37	S6	15.60	DZp,DZp	466.7	465.9	164°						2P	Nakošen očajni stup		NN vodovi, kuće
38	S61	18.00	DZp,DZp	465.1	465.1	164°						P			NN vodovi, kuće
39	S61	18.00	DZp,DZp	140.2	283.9	164°						P			Kuće
40	N400/130	18.50	Dlp, P-s.t.	427.5	367.3							2 x L (2x15m)	Produžnik - srednja faza		NN vodovi, kuće
41	N400/130	20.90	Dlp, Dlp (50 kg+P-s.t.)	307.0	320.0								Produžnik - srednja faza	50	
42	N400/130	20.90	L, P-s.t.	333.0	341.3								Produžnik - srednja faza		
43	N400/130	14.00	L, P-s.t.	349.6	341.1		2485.9						Produžnik - srednja faza		
44	N400/130	14.00	L, P-s.t.	392.6	382.4								Kul na nosivom stupu		
45	N400/130	14.00	L	372.2	288.0								Nosivo-zatezno završavanje - srednja faza		
46	N400/130	26.00	L (s.t.N,ZpZp)	223.8	215.7	147°							Nakošen vrh stupa		
47	S6	20.50	DZp,DZp	207.5	317.6	147°									Brza oasita Klis - Split
48	N400/130	16.20	Dlp (d.t.N,DZp,DZp)	427.6	346.9	147°	695.1								
49	S6	15.60	DZp,DZp	266.2	329.3	126°	266.2								
50	(P-135-150) S1	18.00	DZp,DZp	392.3	357.8								Nakošen vrh stupa, stup nije u simetrijal kuća		NN vod
51	N380	23.40	L	323.2	350.4										
52	N380	26.00	Lpu (150 kg)	377.6	364.6		1842.9								150
53	N380	26.00	Lpu (50 kg)	351.5	374.9										50
54	N380	18.50	Lpu (200 kg)	398.3		162°									200
55	(P-104-180) S6	18.00	DZp,DZp												

OZNAKA STUPNOG MJESTA	TIP STUPA	VISINA STUPA DO DONJE KONZOLE (m)	IZOLATORSKI LANCI	RASPON (m)	POLUZBROJ SUSJ.RASPONA (m)	KUT LOMA TRASE (°)	DULJINA ZATEZNOG POLJA (m)	TLAK VJETRA ZA OSNOVNU VISINSKU ZONU (OD 0 DO 40 m) (Nm <sup>2</sup> )	MASA DOD. TERETA (kg/m)	MAX. RADNO NAPREZANJE VODIČA (N/mm <sup>2</sup> )	MAX. RADNO NAPREZANJE ZAŠTITNOG UZETA (N/mm <sup>2</sup> )	NOVOPREDVIĐENO UZEMLJENJE	NAPOMENA	MASA UTEGA (kg)	KRIZANJA S DRUGIM OBJEKTIMA
55	S6 (KP160-180)	18.00	DZp,Dzpo	223.5	230.4	162°	460.8			72	250	2P			
56	Np400/130	34.40	DLP	237.3	291.1	160°	460.8			72	270				Brza cesta Klis-Split
57	S1 (KP135-150)	23.10	DZp,DZp	344.8	364.0	163°	344.8			72	270	P			DV 110 kV Dugopolje-Meteliza
58	S6	18.00	DZp,DZp	383.2	348.6	172°	383.2			72	270				Brza cesta Klis-Split DV 10 kV
59	S6 (KP160-180)	13.30	DZp,DZp	314.0	348.9		697.8			72	270				
60	N380	23.40	L	383.8	331.6	170°						P			
61	S6 (KR160-180)	18.00	DZp,DZp	279.4	278.3		1300								
62	N380	26.00	DLP	277.2	288.4							P			
63	N380	26.00	L	299.5	322.3		1931.5			72	270				
64	N380	26.00	L	345.0	346.0										
65	N380	26.00	L	346.9	365.2										
66	N380	23.40	L	383.5	385.1	170°									
67	S6 (KR160-180)	20.50	DZp,DZp	386.7	358.9	163°	386.7			72	270	2P			
68	S6	20.50	DZp,DZp	331.0	325.9							2P			
69	N450	23.40	DLP	320.7	298.9		928.8			64	270	2P			Autocesta A1 Zagreb - Plоче
70	N450	28.70	DLP	277.1	183.9							2P			DV 110 kV HE Dale-Konjsko
71	ZC	15.60	DZp,DZp	90.7								2P			
TS KONJSKO	PORT	11.00	DZpz/												

DV 220 kV D 274 ZAKUČAC - KONJSKO

L\* - postojeći jednostruki nosivi izolatorski lanci u koje je predviđeno zamijeniti postojeću nosivu stezaljku novom za uže ACCC 460/60 Stockholm 3L  
DZp - postojeći dvostruki el. pojačani zatezni izolatorski lanci u koje je predviđeno zamijeniti postojeću zateznu stezaljku novom za uže ACCC 460/60 Stockholm 3L