

# NOVE TEHNOLOGIJE VODIČA NADZEMNIH VODOVA

---

Prhal, Želimir

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:972627>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-02**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Sveučilišni studij**

**NOVE TEHNOLOGIJE VODIČA NADZEMNIH  
VODOVA**

**Završni rad**

**Želimir Prhal**

**Osijek, 2019.**

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Zadatak i struktura rada.....	1
2. POVIJEST UPOTREBE VODIČA NADZEMNIH VODOVA .....	2
3. PREGLED ACCC VODIČA .....	3
3.1. Sastav i primjena.....	3
3.2. Svojstva .....	4
3.3. Toplinska ograničenja i rok trajanja .....	5
3.4. Prednosti u odnosu na druge vodiče .....	7
3.4.1. Veći kapacitet prijenosa .....	7
3.4.2. Manji temperaturni koeficijent .....	7
3.4.3. Energetska učinkovitost.....	8
3.4.4. Smanjena masa vodiča .....	8
3.4.5. Otpornost na vremenske uvjete i koroziju .....	9
3.4.6. Pouzdanost.....	9
3.4.7. Izgradnja novih dalekovoda.....	10
3.4.8. Jednostavna ugradnja .....	10
4. INŽINJERING S ACC VODIČEM .....	13
4.1. Vrste projekata.....	13
4.1.1. Povećanje kapaciteta na postojećim prijenosnim linijama .....	13
4.1.2. Novi projekti prijenosnog voda .....	14
4.2. Ekonomika projekta .....	15
4.3. Razmatranja o električnim svojstvima .....	16
4.3.1. Električna razlučivost .....	16
4.3.2. Toplinska ograničenja .....	16
4.3.3. Induktivna i kapacitivna reaktancija .....	17
4.3.4. Otpor.....	19
4.3.5. Radna, jalova i prividna snaga .....	19
4.3.6. Faktor snage.....	20
4.3.7. Pad napona.....	21
4.3.8. Opterećenje voda.....	21
4.3.9. Razmatranja elektromagnetskog polja .....	22
4.3.10. Korona, zvučni i radio šum, ozon .....	22
4.4. Kapacitet i procjena voda.....	24
4.5. Metodologija procjenjivanja voda .....	25
5. PROJEKT ZAMJENE VODIČA .....	27
5.1. Koraci projekta .....	27

5.2. Rezultati .....	29
6. ZAKLJUČAK .....	31
LITERATURA.....	32
SAŽETAK .....	33
ABSTRACT.....	34
ŽIVOTOPIS.....	35

## 1. UVOD

U današnje vrijeme, za većinu stanovništva, život bez električne energije je nezamisliv. Već od samih početaka proizvodnje električne energije u elektranama pojavila se potreba za prijenosom iste do potrošača. Kao i prije, tako se i danas električna energija od transformatora elektrane prenosi dalekovodima te manjim vodovima do krajnjih korisnika, tj. potrošača. Za prijenos su se isprva koristili bakreni vodiči koji su bili preskupi pa su inženjeri morali tražiti jeftinija rješenja. Raznim tehnološkim naprecima, razvijanjem znanosti te većim ulaganjem u istraživanja elektroenergetskog sustava inženjeri su razvili mnoge vrste tehnologija vodiča. Jedna vrsta vodiča, koji se ugrađuju na nadzemne vodove, je ACCC (engl. *Aluminium Conductor Composite Core*) vodič. Ovaj vodič se još uvijek pojavljuje u razvijenijim državama, ali njegova sve učestalija ugradnja nije zanemariva.

### 1.1. Zadatak i struktura rada

Zadatak ovog rada je opisati svojstva, vladanje, primjenu, ugradnju te ponašanje aluminijskog vodiča s karbonskom jezgrom (ACCC) te usporedba istog s ostalim vodičima koji se najčešće koriste u elektroenergetskim sustavima. U prvom dijelu opisan će se povijest vodiča nadzemnih vodova, svojstva vodiča te električna i mehanička svojstva ACCC vodiča da bi se pri kraju mogao opisati jedan konkretan projekt zamjene standardnog Al/Če vodiča novim ACCC vodičem bez promjene postojeće konstrukcije.

## 2. POVIJEST UPOTREBE VODIČA NADZEMNIH VODOVA

Prije Prvog svjetskog rata za nadzemne vodove se koristio bakar zbog njegove izvrsne vodljivosti. Zbog rata i potražnje za bakrom, bakar je zamijenjen mnogo lakšim, ali manje vodljivim aluminijem. Tijekom vremena, uvedene su različite aluminijske legure koje su nudile poboljšanu čvrstoću (uz određeno smanjenje vodljivosti), a dodana je i čelična jezgra za povećanje ukupne čvrstoće vodiča kako bi se prilagodili većim rasponima sa smanjenim provjesom.

U toku Drugog svjetskog rata, zaliha aluminija se preusmjerila na proizvodnju zrakoplova, a neki dalekovodi izgrađeni u tom razdoblju vratili su se na bakrene vodiče (neki od njih su proizvedeni s čeličnim jezgrama). Kada je električna mreža u SAD-u prije 1970-ih postala jako opterećena jer je potražnja zemlje za električnom energijom rasla, a novi dalekovodi postajali sve teži za osiguranje, postojeća električna mreža trebala je povećati kapacitet. U tom trenutku uvedeni su novi dirigenti kako bi se odgovorilo na izazove. Aluminijski vodiči trapezoidnog oblika implementirali su više aluminija u promjer kako bi se smanjilo opterećenje vjetra na konstrukciju. Uvedeni su vodiči sposobni za rad na višim temperaturama. SSAC, sada poznat kao aluminijski vodič ojačan čelikom (engl. *Aluminium Conductor Steel Supported*, skraćeno ACSS), je bio postavljen kako bi povećao kapacitet voda; premda je relativno visoka toplinska sposobnost ograničila njegovu primjenu u određenoj mjeri. Povećanim gubitcima ACSS vodiča doprinijele su i visoke radne temperature.

Danas je na raspolaganju širok spektar i veličina vodiča, ali osnovna formula se nije promijenila mnogo u gotovo stotinu godina. Svi vodiči od aluminija, tj. njegove legure su još uvijek u širokoj upotrebi (kao što su AAC, AAAC i ACAR) u određenim primjenama, a ACSR vodič (engl. *Aluminium Conductor Steel-Reinforced*) je općenito osnovni izbor vodiča. Osim ACSR-a, razvijeni su i drugi tipovi vodiča kao što je temperaturni vodič s malim provjesom (engl. *High Temperature Low Sag*, skraćeno HTLS) koji omogućuje povećanje kapaciteta uz smanjeni provjes.

### 3. PREGLED ACCC VODIČA

#### 3.1. Sastav i primjena

ACCC vodič se sastoji od kompozitne jezgre karbonskih i staklenih vlakana te plašta aluminijskih niti. Kompozitna jezgra ima malu masu pa omogućuje povećanje sadržaja aluminija u plaštu. Središnja jezgra od karbonskih vlakana okružena je visokokvalitetnim staklenim vlaknima koji ne sadrže bor. Takve staklene niti dovode do poboljšanja fleksibilnosti i žilavosti vodiča, a istodobno sprječavaju galvansku koroziju između karbonskih vlakana i aluminijskih niti. Kompozitna jezgra pokazuje odličan omjer čvrstoće i male mase i ima najmanji koeficijent toplinske ekspanzije koja smanjuje provjes vodiča u uvjetima visokih električnih opterećenja odnosno visokih temperatura. Aluminijske niti koje okružuju kompozitnu jezgru zaslužne su za prijenos električne energije. Vodljive niti vodiča su od kaljenog aluminija i u trapezoidnom obliku koji osigurava najveću vodljivost i najmanju moguću električnu otpornost za bilo koji promjer vodiča. ACCC vodič je namijenjen za neprekidan rad do 180 °C (kratkotrajno do 200 °C), te radi znatno hladnije od okruglih vodiča sličnog promjera i mase pod jednakim uvjetima opterećenja zbog povećanog sadržaja aluminija i veće vodljivosti koju nudi aluminij tipa 1350-O.

Iako je ACCC vodič prvobitno razvijen kao visoko temperaturni vodič s malim provjesom (HTLS) koji je služio za povećanje kapaciteta postojećih prijenosnih i distribucijskih vodova s minimalnim strukturnim promjenama, njegova poboljšana vodljivost i smanjeni električni otpor čine ga idealnim za smanjenje gubitaka na novim prijenosnim i distribucijskim vodovima, gdje su poboljšana učinkovitost i smanjenje troškova ulaganja osnovni ciljevi projekta.



Slika 3.1.: Prikaz ACSR i ACCC vodiča. [1]

## 3.2. Svojstva

Postoje brojna električna i mehanička svojstva koja su važna za izvedbu vodiča, dugovječnost i učinkovitost. Ove karakteristike utječu na početne troškove kao i na troškove životnog ciklusa. Oni uključuju sposobnost prijenosa struje, čvrstoću, masu, promjer, otpornost na koroziju, brzinu puzanja, koeficijent toplinskog širenja, samokontrolu, otpornost na zamor, raspon radne temperature, sposobnost kratkog spoja i toplinska stabilnost. Koristeći ekvivalentni promjer i ukupnu masu vodiča kao osnovu za usporedbu vodiča, ACCC vodič nudi prednosti u gotovo svakom području temperature, sposobnosti kratkog spoja i toplinske stabilnosti. Koristeći ekvivalentni promjer i ukupnu masu vodiča kao osnovu za usporedbu vodiča, ACCC vodič nudi prednosti u gotovo svim kategorijama kompaktne konstrukcije i/ili povećanom sadržaju aluminija.

Prilikom usporedbe troškova vodiča važno je uzeti u obzir utjecaj vodiča na ukupne troškove projekta. ACCC vodič često se smatra skupljim po jedinici duljine (s obzirom na određeni promjer) u odnosu na ACSR vodič, a ne na duljinu po jedinici kapaciteta. Treba imati na umu da ACCC vodiči (koji rade na višim temperaturama) nude otprilike dvostruko veći kapacitet od ACSR vodiča ekvivalentnog promjera što može rezultirati značajno smanjenim strukturnim opterećenjima u usporedbi s instaliranjem većeg/težeg konvencionalnog vodiča. Svojstva ACCC vodiča nude projektantima veću raznovrsnost od bilo koje druge obitelji vodiča na tržištu danas.

Mehanička svojstva ACCC vodiča temelje se na specifičnim svojstvima kompozitne jezgre i aluminijskih niti te interakciji između njih.

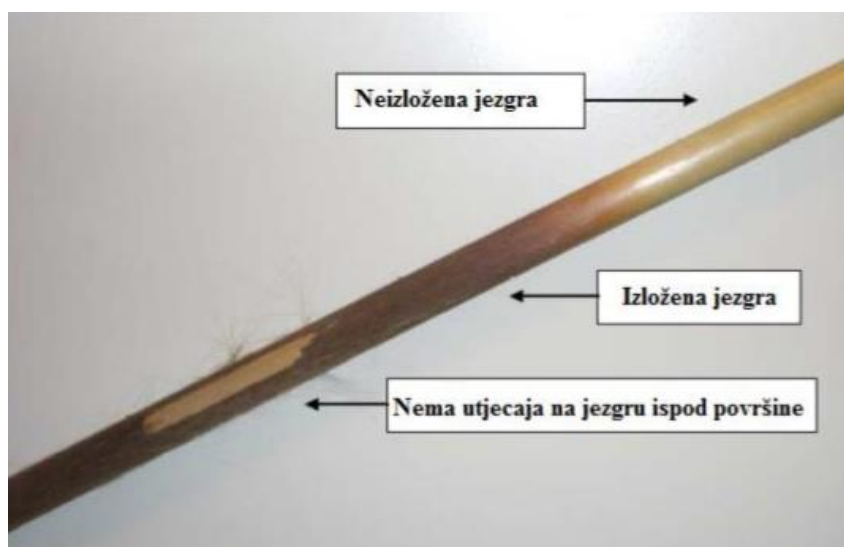
Vodičima koji koriste potpuno žarene aluminijske niti, kao što su ACSS i ACCC vodiči, jezgra služi kao njihov primarni element čvrstoće budući da se žareni aluminijski lanci lako istežu pri vrlo malom opterećenju. Standardna ACCC jezgra vodiča nudi 2.158 do 2.585 MPa vlačne čvrstoće i modul elastičnosti od 112.3 do 147 GPa. Za usporedbu, konvencionalna čelična jezgra nudi 1.275 MPa vlačne čvrstoće i modul elastičnosti od 200 GPa, dok čelična jezgra visoke čvrstoće nudi vlačnu čvrstoću od 1965 MPa s istim modulom elastičnosti od 200 GPa. Modul elastičnosti jezgre ACCC vodiča je niži od svog čeličnog dvojnika, što znači da će se lakše rastezati, za razliku od čelika, ali kompozitna jezgra neće popustiti, tj plastično se deformirati ili puzati tijekom vremena. Jezgra ACCC vodiča je čisto elastična i teško je opterećenje neće trajno deformirati. Međutim, u uvjetima opterećenja ledom ili vjetrom, vrlo fleksibilan žareći aluminij će se pojaviti u relativno skromnim uvjetima opterećenja, što povoljno smanjuje naprezanje u aluminijskim nitima i poboljšava otpornost na eolski zamor vibracija. Elastičnost jezgre i brzo opuštanje aluminijskih niti poboljšavaju njegove karakteristike prigušivanja, smanjuju njegovu osjetljivost na zamor i dopuštaju vrlo niske toplinske padove.



Svi vodiči podvrgnuti su eolskoj vibraciji. 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 zamor aluminijskih niti na međusobnom spoju ovjesnih stezaljki, gdje deformacija niti, visoke razine napreznja i savijanja mogu ubrzati zamor. Metalne niti pod visokom napetosti općenito su osjetljive na eolske vibracije izazvane zamorima. Preko duljine vodiča u rasponu između ovjesnih stezaljki, znatno se troši energija vibracija uslijed površinskog trljanja aluminijskih niti. Trapezoidno oblikovane niti uglavnom imaju veću površinsku kontaktnu površinu između pramenova u odnosu na okrugle niti, što dodatno poboljšava prigušenje i smanjuje napreznje kontaktne točke čak i tijekom hladnih temperaturnih uvjeta kada se napetost povećava. Teška opterećenja ledom ili vjetrom ili opcionalno prethodno zatezanje vodiča rastegnut će vodič i uzrokovati popuštanje više savitljivih aluminijskih niti. To služi za snižavanje toplinske točke do koljena i poboljšanje osobina prigušenja u svim, ali izuzetno hladnim uvjetima, kada se opuštene niti zatežu kao funkcija toplinskog skupljanja. Elastičnost jezgre ACCC vodiča, u kombinaciji s njezinim vrlo savitljivim aluminijskim nitima, omogućuje relativno brzo opuštanje lanaca. To znači da mala količina prethodnog napreznja može učinkovito prouzročiti da se to dogodi tijekom instalacije što smanjuje toplotni zamah, poboljšava karakteristike samo prigušenja i smanjuje napreznje u aluminijskim nitima koje su, u kombinaciji s eolskim vibracijama, povezane sa zamorom vodiča.

### 3.3. Toplinska ograničenja i rok trajanja

Kao i svaki vodič, ACCC vodič ima toplinska ograničenja koja treba uzeti u obzir. Uzimajući u obzir da ACCC vodič koristi kaljeni aluminij koji ima termičku granicu iznad 250 °C, njegove toplinske granice temelje se na toplinskim granicama kompozitne jezgre. Nakon



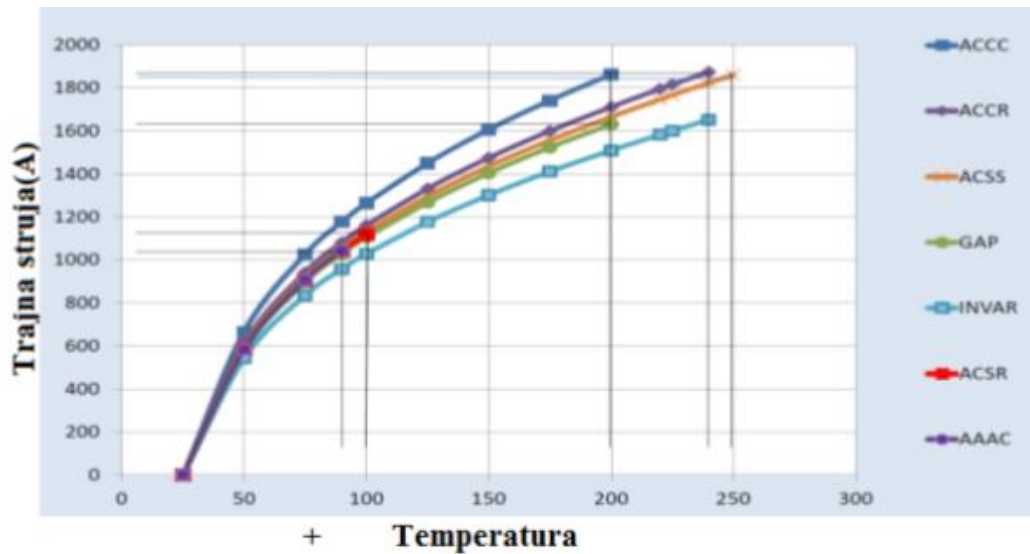
Slika 3.2.: Jezgra ACCC vodiča nakon godinu dana izlaganja na 220 °C. [1]

opsežnih ispitivanja, ustanovljena je maksimalna kontinuirana radna temperatura od 180 ° C za ACCC vodiče. Na toj temperaturi, tijekom dužeg vremenskog razdoblja, može se uočiti minimalna količina površinske oksidacije. Ova oksidacijska reakcija nakon toga tvori sloj debljine otprilike sto mikrona, koji usporava daljnju oksidaciju. Općenito govoreći, toplinske granice kompozitne jezgre karbon/staklo mogu se odrediti toplinskim granicama njegove smole ili "matrice". Stupanj otvrdnjavanja matrične faze tijekom proizvodnje kompozita može se procijeniti ispitivanjem temperature "staklastog prijelaza". Testiranje prijelaza stakla pruža uvid u konzistenciju matrice smole koja se polimerizira od serije do serije tijekom proizvodnje, i ona se na odgovarajući način koristi za istraživanje i razvoj i kontrolu kvalitete. Staklasti prijelaz se lako mjeri pomoću dinamičke mehaničke analize (engl. *dynamic mechanical analysis*, skraćeno DMA) i posebno je korisno za kompozitne primjene gdje su svojstva kojima dominira matrica (npr. smicanje, tlačna čvrstoća) konstrukcijsko kritična, kao u slojevitoj kompozitnoj strukturi koja se sastoji od brojnih slojeva materijala koji su vezani smolnom matricom i podložni su opterećenju kompresije, gdje može doći do delaminacije ako postoji nedovoljan integritet matrice zbog prekomjerne izloženosti visokoj temperaturi. Međutim, za jednosmjernu kompozitnu jezgru koja se upotrebljava u primjenama nadzemnih vodiča, vlačna čvrstoća, modul vučne sile i aksijalno toplinsko širenje su kritična svojstva dizajna koja su svojstva vlakana (ne dominiraju matrice). Staklasti prijelaz je vrlo loš pokazatelj svojstava koja dominiraju vlaknima u jednosmjernom kompozitu i ne bi se trebao koristiti za kriterije trajnosti ili dugovječnosti vodiča.

### 3.4. Prednosti u odnosu na druge vodiče

#### 3.4.1. Veći kapacitet prijenosa

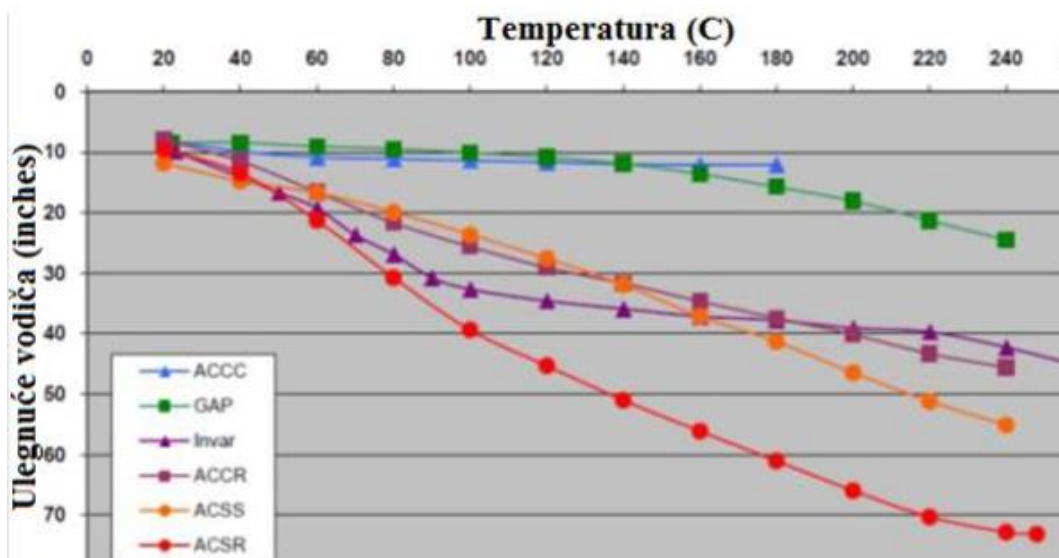
Za razliku od okruglog ACSR (Al/Če) vodiča u presjeku ACCC vodiča nalazi se oko 28% više aluminija i ta karakteristika pridonosi povećanju vodljivosti. Karbonska jezgra daje bolja mehanička svojstva i uvelike smanjuje visoki temperaturni koeficijent. ACCC vodič može prenijeti dvostruko veće vrijednosti struja u usporedbi s konvencionalnim aluminijskim ili čelikom ojačanim vodičima. AAC, AAAC i ACSR vodiči imaju ograničenu radnu temperaturu od 90 °C.



Slika 3.3.: Odnos temperature i trajno dopuštene struje kroz vodič. [1]

#### 3.4.2. Manji temperaturni koeficijent

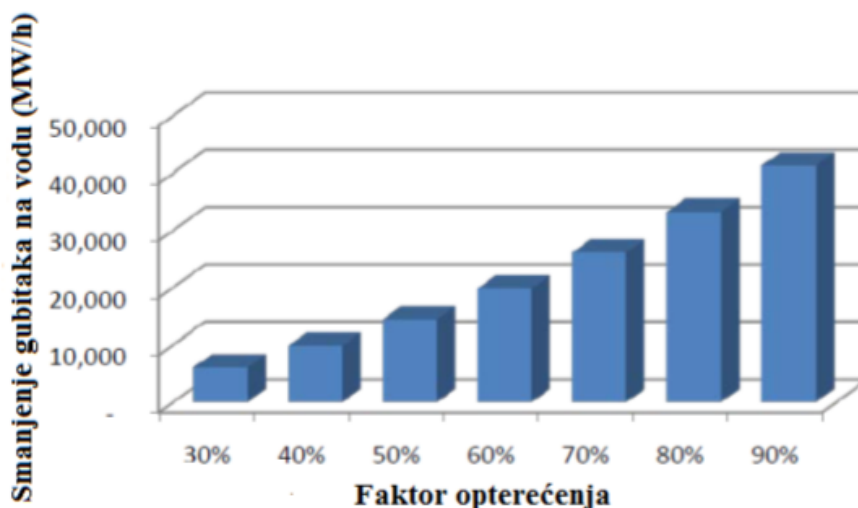
Za razliku od ACSR, ACSS ili AAC vodiča, ACCC vodič ima oko devet puta manji koeficijent toplinskog širenja. Tako se uvelike smanjuju toplinski gubici i poboljšava vođenje. Takvi vodovi stoga mogu prenijeti, u odnosu na ostale vrste vodiča, veće vrijednosti struja.



Slika 3.4.: Usporedba provjesa i temperature vodiča. [1]

### 3.4.3. Energetska učinkovitost

Većim udjelom aluminija u ukupnom presjeku vodiča dobiva se bolja vodljivost koja na određenoj temperaturi smanjuje gubitke. Tako je moguće isporučiti više snage uz manji proizvodni trošak i, gledano s ekološke strane, smanjuju se emisije CO<sub>2</sub>. Pri prodaji i proizvodnji vodiča učinkovitost nije glavni prioritet. Odabir vodiča je temeljen na proračunima opterećenja. Unazad nekoliko godina, mnogo se ulagalo u unapređenje učinkovitosti generatora zbog smanjenja potrošnje goriva i poboljšanja ekonomske održivosti konkurentnih proizvodnih tehnologija, poput sunca i vjetra. Skuplje je unapređenje transformatorske tehnologije, ali također opravdano zbog smanjenja troškova uzrokovanih kratkim životnim ciklusom i poboljšanom učinkovitošću. Sa stajališta potražnje milijarde dolara su potrošene za unapređenje učinkovitosti potrošnje kućanskih aparata kao što su klima uređaji, žarulje ili hladnjaci. U pregršt slučajeva vlasti i energetski distributeri subvencioniraju kupnju tih aparata zbog smanjenja udara na mrežu, a tako se i odgađa izgradnja novih dalekovoda. U prošlosti se malo ulagalo u unapređenje efikasnosti mreže jer su gubitke podmirivali potrošači. U današnje su vrijeme struka i politika uvidjeli problem klimatskih promjena, te se više radi na unapređenju učinkovitosti vodiča. Jedan od primjera je novoizgrađeni dio dalekovoda nazivnog napona 345 kV i dužine 160,9 kilometara u SAD-u. Zamijenjeno je tradicionalno Al/Če uže sa novim ACCC vodičem. Na temelju izračuna ACCC vodič će napraviti uštedu više od 300000 MWh električne energije svake godine na spomenutom dijelu dalekovoda.



Slika 3.5.: Smanjenje gubitaka dalekovoda. [1]

### 3.4.4. Smanjena masa vodiča

ACCC vodič, u usporedbi s drugim vodičima ima manje vrijednosti mase po metru voda. Smanjen mu je toplinski koeficijent te ima toplinsku stabilnost koji omogućuju manje naprezanje vodiča. Ovim svojstvima se umanjuje djelovanje na stupove voda.

### 3.4.5. Otpornost na vremenske uvjete i koroziju

ACCC vodič ima svojstva odupiranja na vremenske uvjete. Trulež, hrđa ili nagrizanja neće uzrokovati gubitak svojstava aluminijskih vodiča ili pomoćnih dijelova. U različitim slučajevima nepovoljnih vremenskih uvjeta, ali i nakon spaljenih drvenih, betonskih ili aluminijskih konstrukcija ACCC vodič je pokazao otpornost što dokazuju izvještaji tvrtke CTC Global koja ga proizvodi. Razlog tomu je kompozitna jezgra koje je dvostruko jača od čelične jezgre.

Na primjer kada je tornado pogodio saveznu državu Oklahomu, stup visine 50 m na kojemu se nalazio ACCC vodič srušio se pod kutom 45 ° pri čemu nije dodirivao tlo. Zbog velikog udarnog vala aluminijske niti su popucale, ali kompozitna jezgra ostala je neoštećena što je uvelike olakšalo popravak dalekovoda.

Tablica 3.1.: Karakteristike materijala korištenih u izradi vodiča nadzemnih vodova. [1]

MATERIJALI JEZGRE				
MATERIJAL	Težina (daN/m, mm <sup>2</sup> )	Modul elastičnosti (daN/mm <sup>2</sup> )	Prekidna sila (daN)	Temperaturni koeficijent (1/°C)
Čelik (eng. HS steel)	7,80E-03	18000	1380	1,50E-05
Oplemenjeni čelik (eng. EXHS steel)	7,80E-03	18000	1965	1,50E-05
Aluminij	2,70E-03	6000	1100-1350	2,30E-05
Bakar	8,90E-03	11300	900	1,70E-05
Primjese Al/Mg/Če	4,60E-03	10700	1300	1,53E-05
Kompozitni čelik	1,90E-03	15000	2300-2600	1,45E-06

### 3.4.6. Pouzdanost

Najvažnija stavka mrežnih operatora upravo je pouzdanost za koju je zaslužan vod kao jedan od najvažnijih elemenata. Ispad linije može ugroziti ljudske živote, oštetiti imovinu te nanijeti ekonomske gubitke. ACCC vodič je ponudio novu razinu performansi te učinkovitiju pouzdanost koja je u prošlosti bila nedostižna. Također je važna i dugovječnost. Jezgra ACCC vodiča ne samo da je otporna na teške vremenske prilike i koroziju, već se opire i velikim opterećenjima. Napetost, vibracije i temperatura u svijetu vodiča su ciklički i upravo zbog toga su vodiči s kompozitnom jezgrom primijenjeni u zahtjevnim situacijama. Boeing, poznati proizvođač aviona, proizveo je 787 Dreamliner koristeći tehnologiju karbonskih vlakana kako bi poboljšao učinkovitost te produžio radni vijek svog proizvoda.

Kao primjer može poslužiti raspad elektroenergetske mreže u SAD – u i Kanadi 2003. godine. Tada se dogodio niz prekida vodova uzrokovanih netočnim telemetrijskim podacima te računskim propustima. Da su u tom slučaju korišteni ACCC vodiči raspad bi se znatno minimizirao ili spriječio iz razloga velike izdržljivosti.

### 3.4.7. Izgradnja novih dalekovoda

Prednost korištenja ACCC vodiča kod izgradnje novih ili rekonstrukcije postojećih trasa dalekovoda je u tome što se novi dalekovodi mogu graditi sa manjim brojem stupova u donjem profilu provjesa, a rekonstrukcija postojećih trasa se izvodi s minimalnim ili nikakvim modifikacijama. Takav pristup uvođenja ACCC vodiča znatno smanjuje ekonomske izdatke.

### 3.4.8. Jednostavna ugradnja

Za ugradnju ACCC vodiča nije potrebno proizvoditi novu opremu, već se koriste uobičajeni alati, oprema i načini ugradnje. Neki slučajevi omogućuju instalaciju ACCC vodiča veće mase na postojeće stupove. To omogućava smanjenje gubitaka te povećanje kapaciteta prijenosa snage.

## 3.5. Presjek ACCC vodiča

Prema posljednjim informacijama ACCC vodič se pojavljuje u devet veličina jezgri. Tih devet vrsti jezgri uključeno je u okvirno 40 konstruiranih vodiča čiji je raspon od 150 mm<sup>2</sup> do 1400 mm<sup>2</sup>. U tablici 6.1. prikazana su svojstva pojedinih jezgara, točnije specifikacije ACCC vodiča u metričkim jedinicama, dok se u tablicama 6.2. i 6.3. prikazuju već korišteni vodiči sa svojim svojstvima po IEC normi.

Tablica 3.2.: Specifikacije ACCC vodiča. [1]

Specifikacije ACCC kompozitnih jezgri u metričkim jedinicama									
CTC naziv		200-003	200-004	200-005	200-006	200-007	200-008	200-009	200-010
Metrička oznaka jezgre	(mm)	5,97	7,11	7,75	8,13	9,53	8,76	9,78	10,03
Nazivni promjer kompozitne jezgre	(mm)	5,97	7,11	7,75	8,13	9,53	8,76	9,78	10,03
Dopušteno odstupanje promjera	(mm)	*.0,05	*.0,05	*.0,05	*.0,05	*.0,05	*.0,05	*.0,05	*.0,05
Nazivni presjek jezgre	(mm <sup>2</sup> )	28	39,7	47,1	51,9	71,3	60,3	75,1	79,1
Procijenjena snaga jezgre	(MPa)	2158	2158	2158	2158	2158	2158	2158	2158
Prekidna sila	(kN)	60,4	85,7	101,7	112	153,8	130,2	162,1	170,6
Nazivna masa jezgre	(kg/km)	54	76	86	98	132	113	143	147
Konačni modul elastičnosti	(Gpa)	112,3	112,3	112,3	112,3	112,3	112,3	112,3	112,3
Temperaturni koeficijent	( $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61
Specifični toplinski kapacitet jezgre	(J/g <sup>o</sup> C)	0,813	0,813	0,813	0,813	0,813	0,813	0,813	0,813
Preporučena radna temperaturta	( <sup>o</sup> C)	180	180	180	180	180	180	180	180
Kritična temperatura jezgre	( <sup>o</sup> C)	200	200	200	200	200	200	200	200

Zbog različitih projektnih zahtjeva te čimbenika za dizajniranje vodiča, kao što su električna struja koja teče vodičem, kapacitet voda, teren, ekološki uvjeti i stanje postavljenih objekata, proizvođači su primorani proizvoditi puno različitih presjeka vodiča da bi zadovoljili većinu potražnje. Ponekad se, za specijalne slučajeve, moraju po narudžbi dizajnirati nove vrste vodiča.

Tablica 3.3.: Specifikacije nekih ACCC vodiča korištenih u Europi. [1]

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

Tablica 3.4.: Specifikacije nekih ACCC vodiča korištenih u SAD-u. [1]

ASTM SIZES												
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)
PASADENA	305	154,4	15,65	5,97	478	60,4	68,9	0,2885	0,2944	0,3535	528	778
LINNET	430	218,1	18,29	5,97	655	60,4	72,5	0,2055	0,2103	0,2517	654	968
ORIOLE	439	222,3	18,82	7,11	689	85,7	98,3	0,2019	0,2065	0,2471	665	986
WACO	454	230,1	19,56	7,75	721	101,7	114,8	0,1951	0,1996	0,2395	683	1,012
LAREDO	530	268,4	20,50	7,11	816	85,7	101,0	0,1671	0,1712	0,2053	747	1,109
IRVING	609	308,8	22,40	8,76	965	130,2	147,7	0,1454	0,1491	0,1788	820	1,222
HAWK	611	309,7	21,79	7,11	930	85,7	103,2	0,1448	0,1485	0,1760	823	1,231
DOVE	714	361,5	23,55	7,75	1083	101,7	122,3	0,1240	0,1274	0,1524	902	1,346
GROSBEAK	821	416,2	25,15	8,13	1245	112,0	135,2	0,1081	0,1114	0,1334	981	1,468
LUBBOCK	904	458,0	26,42	8,76	1376	130,2	156,1	0,0979	0,1011	0,1210	1,045	1,566
GALVESTON	1011	512,4	27,69	8,76	1526	130,2	158,8	0,0875	0,0907	0,1084	1,119	1,681
DRAKE	1026	519,7	28,14	9,53	1565	153,8	183,3	0,0863	0,0892	0,1065	1,134	1,706
CURLEW	1033	523,4	28,96	10,54	1610	188,3	218,0	0,0862	0,0898	0,1069	1,142	1,722
PLANO	1059	536,8	28,63	8,76	1597	130,2	160,1	0,0840	0,0876	0,1045	1,150	1,733
CORPUS CHRISTI	1103	558,9	29,11	8,76	1657	130,2	161,5	0,0806	0,0843	0,1005	1,179	1,777
ARLINGTON	1151	583,2	29,90	9,53	1745	153,8	186,4	0,0773	0,0809	0,0964	1,213	1,830
CARDINAL	1222	619,1	30,43	8,76	1823	130,2	165,0	0,0728	0,0762	0,0906	1,258	1,902
FORT WORTH	1300	658,9	31,50	9,53	1952	153,8	190,8	0,0684	0,0721	0,0858	1,305	1,975
EL PASO	1350	684,0	31,80	8,76	2002	130,2	168,6	0,0659	0,0698	0,0829	1,332	2,018



## **4. INŽINJERING S ACCC VODIČEM**

Glavni cilj ovog poglavlja je detaljno raspraviti električne, mehaničke i ekonomske čimbenike koji utječu na performanse vodiča na dalekovodima i opisati kako se ACCC vodiči mogu koristiti za postizanje maksimalnih performansi u različitim projektima. Konkretno, informacije opisuju sve čimbenike koji upravljaju pravilnim odabirom vodova prijenosa na temelju električnih svojstava i odgovarajućih izračuna provjesa i napetosti. Namjera je pružiti osnovu za razumijevanje kako najbolje iskoristiti ACCC vodiče u bilo kojoj situaciji.

Raspravljani čimbenici uključuju prirodu projekata (budući da svaki projekt može imati jedinstvena ograničenja), mnoštvo električnih razmatranja, raspravu i opis mehaničkih karakteristika vodiča, prirodu raspona vodiča spojenih u nizu, prirodu teških tereta, prirodu dugih raspona, jedinstvenost povezanih vodiča i vrlo važna rasprava o upravljanju eolskim vibracijama. Na kraju su prikazane su mogućnosti i metodologije za izračunavanje napetosti i troškovnog odabira vodiča.

### **4.1. Vrste projekata**

#### **4.1.1. Povećanje kapaciteta na postojećim prijenosnim linijama**

Projekti projektirani za povećanje kapaciteta postojećeg voda postoje već nekoliko godina, jer je stjecanje prava na put za nove vodove postalo sve teže. U mnogim (ali ne u svim) slučajevima postalo je ekonomski privlačnije rekonstruirati postojeći sklop kako bi se povećao kapacitet umjesto da se doda novi krug, čak i ako je poboljšanje mreže relativno skromno. U takvim slučajevima moraju se uzeti u obzir i troškovi poboljšanja trafostanica. Ipak, jednostavno preusmjeravanje različitih interesa za korištenje zemljišta u nekom području može otežati izgradnju novih vodova i često se razmatraju projekti rekonstrukcije.

U nedostatku rekonstrukcije postoji nekoliko načina na koje se postojeći dalekovod može unaprijediti kako bi se učinkovito povećao kapacitet voda korištenjem uređaja za praćenje u stvarnom vremenu, prilagođavanjem sezonskih pretpostavki, povećanjem visine tornja, ili drugim sredstvima. Tehnička brošura CIGRE TB 29414 pruža detaljan pregled predmeta i raspravlja o dostupnim opcijama. Iako postoje različite mogućnosti, rijetko je da mogu ponuditi značajna poboljšanja ili poboljšanu učinkovitost sustava u usporedbi s rekonstrukcijom s ACCC vodičem.

Dok je povećanje kapaciteta postojećeg dalekovoda općenito potaknuto povećanom potražnjom potrošača ili dodatkom nove generacije sredstava, regulatorni faktori i čimbenici pouzdanosti također mogu potaknuti ove zahtjeve.

Dok tehnička brošura CIGRE upućuje na to da "povećanje rejtinga" putem praćenja u stvarnom vremenu ili uspostavljanjem revidiranih operativnih pretpostavki može postići povećanje kapaciteta od 25 %, također ističe da moguće povećanje može biti nula ovisno o sezonskim, tj. vremenskim uvjetima. Primjerice, povećavanje kapaciteta može se postići tijekom zimskih uvjeta kada je temperatura okolnog zraka hladnija, ali možda neće biti dostupna tijekom ljetnih uvjeta kada je temperatura okolnog zraka toplija, a vodovi podložni povećanom toplinskom udubljenju. Količina povećanja koja se može postići u velikoj mjeri ovisi o količini viška snage i raspoloživosti trenutne snage, spremnosti da se taj višak iskorijeni ili iskoristi, kao i troškovima. Postizanje maksimalnih mogućih povećanja zahtijeva maksimiziranje sve tri točke.

Kada se željeno povećanje kapaciteta ne može postići praćenjem u stvarnom vremenu ili nekom drugom metodom, tada će možda biti potrebno provesti fizičke modifikacije postojećeg voda kako bi se prilagodili dodatnom spuštanju ili instalaciji novog većeg/težeg konvencionalnog vodiča ili većih napetosti. U nekim slučajevima postojeće strukture mogu biti degradirane zbog njihovog stanja. U bilo kojoj situaciji, korištenje jednakog ili čak manjeg promjera lakšeg ACCC vodiča može se koristiti za postizanje povećanja kapaciteta uz malo ili nimalo strukturnih ulaganja.

U teoriji, izbor metode za povećanje struje određen je studijom koja utvrđuje najviši omjer potrošnje iz svih mogućih opcija, ili se određuje prema kvantificiranom cilju koji je neovisan o inherentnom potencijalu za povećanje rejtinga. U praksi su samo neke od opcija općenito praktične za bilo koji određeni vod. Tehničke brošure CIGRE 20715, 24416, 45017, 32418, 33119, 35320 i 42621 pružaju dodatne informacije o vodičima i metodama porasta voda.

#### **4.1.2. Novi projekti prijenosnog voda**

Kao alternativa povećanju kapaciteta postojećeg dalekovoda, ili u slučajevima kada se mora izgraditi novi vod kako bi se omogućila isporuka energije iz novog izvora proizvodnje ili u novo ili rastuće opterećenje, mora se razviti novi dalekovod. To je relativno složen i dugotrajan proces koji zahtijeva znatna ulaganja resursa što je posebno bitno na duljim projektima koji prelaze državne ili druge nadležnosti. Ipak, novi projekti prijenosa općenito imaju jasne ciljeve. Planeri obično procjenjuju potražnju, protok tereta, sredstva za proizvodnju, očekivane faktore rasta i druge podatke koji uspostavljaju električne parametre novog voda. Prijenosni inženjeri, naoružani podacima o istraživanju i predloženim podacima o službenoj dužnosti, razmatraju optimalne putove, raspored struktura i tip strukture na temelju niza varijabli, uključujući vlasničke linije, uvjete tla, vegetaciju i estetiku. Dužina vodova, napon, tip struje (AC / DC), vrsta i veličina vodiča i mnogi drugi čimbenici pažljivo se razmatraju kako bi se odgovorilo na potencijalne gubitke vodova, stabilnost voda, pad napona i druge važne čimbenike, kao što je objašnjeno u nastavku.

## 4.2. Ekonomika projekta

Izbor vodiča može imati značajan utjecaj na kratkoročne i dugoročne ekonomske rezultate projekata prijenosa. Budući da su vodiči jedan od glavnih troškovnih elemenata voda, odabir odgovarajuće vrste i veličine vodiča je neophodan za optimalnu radnu učinkovitost. U tu svrhu razvijeni su brojni sustavni pristupi za odabir dirigenata. Metode evaluacije razlikuju se ovisno o autoru i studiji slučaja; ipak, različiti pristupi univerzalno naglašavaju važnost istih električnih i mehaničkih svojstava vodiča kao što se odnose na ekonomičnost projekta. Krajnji cilj je odabrati vodič koji daje najbolju vrijednost kada se promatra sa stajališta cjelokupnog sustava. U tom smislu, ACCC vodič može pružiti projektantima i sistemskim inženjerima sredstvo za smanjenje početnih troškova i povećanje dugoročnog povrata.

Izbor vrste i veličine vodiča ima veliki utjecaj na projektiranje dalekovoda i naknadne financijske povrate. Međutim, za svaki pojedini projekt taj je izbor često ograničen na uski skup koji odgovara zadanim kriterijima; uključujući (ali bez ograničenja):

- zahtjeve za električno opterećenje,
- projekcije rasta opterećenja,
- zahtjeve za napon mreže i / ili raspone napona koji se mogu pristupiti,
- zahtjeve za strukturu podrške, ograničenja i / ili dostupnost postojeće infrastrukture (stupovi),
- ekološka razmatranja,
- regulatorne statute.

Neke fizičke i ekonomske posljedice koje utječu na izbor vodiča koji podliježe tim ograničenjima uključuju:

- povećanjem promjera vodiča povećava se opterećenje vjetrom i ledom na potpornim konstrukcijama, povećava se početna cijena stupova i temelja,
- smanjenje promjera vodiča dovodi do radijalnog polja veće gustoće oko vodiča, što može povećati buku uzrokovanu koronom koja naknadno povećava troškove električnih gubitaka tijekom vijeka trajanja, smanjujući sadašnju vrijednost prijenosnih sredstava,
- povećanjem napetosti vodiča dobivaju se povećana uzdužna opterećenja i / ili povećana poprečna naprezanja na kutnim konstrukcijama, također povećavajući početno ulaganje.

Slijedom toga, pristup ovakvog sustava, kao što je opisan gore, mora se slijediti kako bi se pronašlo optimalno rješenje za bilo koji predloženi projekt. Takva bi analiza trebala uključivati procjenu kapitalnih ulaganja prvog troška, kao i dugoročnih operativnih troškova povezanih s različitim opcijama.

### **4.3. Razmatranja o električnim svojstvima**

Temelj za svaki projekt je određivanje električnog opterećenja koje će transportni ili distribucijski vod zahtijevati. Dok se neke linije (npr. služe kao neovisne veze izravno od izvora generacije do mreže) može razmotriti relativno lako, mnoge druge linije unutar mreže mogu utjecati na pozitivan ili negativan način, ovisno o tome kako su nove linije ili nadograđene linije povezane. Na neka naizgled laka pitanja nije uvijek lako odgovoriti. Dužina linije, napon, struja (AC / DC) i mnogi drugi čimbenici dolaze u obzir; treba uzeti u obzir gubitke na liniji, stabilnost linije, pad napona i druge važne čimbenike. Tipično, što je napon veći i duža linija, to su kompleksnija razmatranja. 2006. godine, AEP je zamijenio 24 km dionicu 138 kV voda u Teksasu. Osim povećanja kapaciteta linije i smanjenja ulegnuća, AEP je također izvijestio o smanjenju MW u linijskim gubicima na moderniziranoj liniji. AEP je također izvijestio da je dodana učinkovitost ACCC vodiča također smanjila "stres" na međusobno povezan sustav za ukupnu uštedu od 1,1 MW.

#### **4.3.1. Električna razlučivost**

Primarno razmatranje zazora je izoliranje elektrificiranih vodiča od bilo koje vrste "zemlje". Osnovna izolacija koju koriste nadzemni vodovi je zrak koji okružuje svaki vodič. Potrebni zračni prostor mora obuhvaćati prostor napon-zemlja (uključujući i tijekom naponskih udara) prostor za vozila, konstrukcije, izgrađene linije, ljudsku ili životinjsku aktivnost, te gibanje vodiča uzrokovano uvjetima okoline, između ostalog. Sigurnosni kodeksi i standardi vlasnika iz cijelog svijeta obrađuju ove komponente čišćenja s različitim metodama, ali sa sličnim problemima. Međunarodni, nacionalni i državni sigurnosni kodeksi određuju minimalne zahtjeve za čišćenje u nizu određenih uvjeta. Oni se smatraju zakonskim zahtjevima i nije mudro izazivati ih vrlo fino ugođenim dizajnom. Standardi tvrtke općenito uključuju zaštitni sloj o zakonski propisanim vrijednostima mjesne nadležnosti i stoga su veći za prilagodbu manjim građevinskim varijacijama i drugim nepredvidivim varijablama.

#### **4.3.2. Toplinska ograničenja**

Kapacitet većine prijenosnih vodova duljine oko 100 km općenito je ograničen termičkim ograničenjima, a ne granicama pada napona ili impedancije prenapona. Toplinska ograničenja diktirana su maksimalnom dopuštenom temperaturom koja se razvija pri određenoj napetosti dizajna, s obzirom na čvrstoću, visinu i položaj konstrukcije.

U nekim slučajevima, vođenje vrućeg vodiča može biti korisno jer će omogućiti veći kapacitet uz manji, jeftiniji skup vodiča i potpornih struktura. U ovom slučaju, niski koeficijent toplinske ekspanzije ACCC vodiča nudi odlične prednosti pri slijeganju i kapacitetu međutim, rad

s višim temperaturama i dužina vodova povećavaju gubitke u liniji. Unatoč tome, visoki sadržaj aluminija ACCC vodiča (i manji otpor potpuno otvrdnutog aluminija 1350-O) pomaže u smanjenju gubitaka u linijama za čak 35% u usporedbi s drugim vodičima istog promjera i težine pod jednakim uvjetima opterećenja. Dok drugi tipovi vodiča također koriste trapezoidne oblike koji mogu povećati sadržaj aluminija za dani promjer vodiča, manja težina kompozitne jezgre ACCC vodiča u usporedbi s čeličnom jezgrom omogućuje dodavanje sadržaja aluminija. 25 %-tno povećanje težine ACSS / TW vodiča može prouzročiti prekomjerno spuštanje prije nego što dostigne maksimalnu radnu temperaturu, u usporedbi s ACCC vodičem veličine DCS / TW.

### 4.3.3. Induktivna i kapacitivna reaktancija

U AC dalekovodima struja koja teče kroz vodič varira sinusoidno, tako da magnetsko polje (povezano s vodičem za prijenos struje) koje je proporcionalno struji također varira sinusoidno. Ovo promjenjivo magnetsko polje inducira napon u vodiču. Ovaj napon se suprotstavlja strujnom protoku u liniji i jednako je prikazan parametrom poznatim kao induktivnost ( $L$ ). Što je veća količina induktivnosti, to je veća otpornost tog efekta inercije. Inducirani napon ovisi o relativnoj konfiguraciji između vodiča i magnetskog polja i proporcionalan je brzini kojom magnetske silnice prekidaju vodič. Suprotna sila koju induktor predstavlja protoku izmjenične struje je induktivna reaktancija što je "reakcija" vodiča na promjenu vrijednosti izmjenične struje. Induktivna reaktancija se mjeri u ohmima, a njezin simbol je  $X_L$ . Reaktancija se povećava s povećanjem frekvencije. U izračunu induktivnosti, u ukupnoj se induktivnosti razmatraju magnetski tok unutar i izvan vodiča. Formula za induktivnost i induktivnu reaktanciju jednog vodiča je:

$$L = L_{int} + L_{ext} \quad (4-1)$$

$$X_L = 2 * \pi * f * L \quad (4-2)$$

Pri čemu su:

- $X_L$  - induktivna reaktancija u ohmima,
- $f$  - frekvencija izmjenične struje u Hz,
- $L$  - induktivnost u Henryjima.

Može se lako pokazati da je  $L_{ext}$  obično dominantan jer je oko reda veličine veći od  $L_{int}$ -a ako je jezgra vodiča napravljena s nemagnetskim materijalom ( $\mu_r = 1$ ), kao što su ACCC vodiči.

Za trofazne prijenosne vodove, induktivnost po fazi može se pojednostaviti u sljedeću jednadžbu za vodiče s nemagnetskim materijalima jezgre:

$$L_{phase} = \left(\frac{\mu_0}{2\pi}\right) * t * \ln(GMD / GMR_{cond}) [H] \quad (4-3)$$

$$X_{Lphase} = \mu_o * f * t * \ln (GMD / GMR_{cond}) [Ohm] \quad (4-4)$$

Pri čemu su:

- $GMD$  - geometrijska srednja udaljenost za trofaznu liniju,
- $GMR_{cond}$  - geometrijski srednji polumjer vodiča.

Za vodove srednje i duge udaljenosti, reaktancija induktivne linije je dominantnija od otpora. Treba napomenuti da su materijali jezgre nekih vodiča vrlo magnetski. Na primjer, čelična jezgra Invar sadrži oko 36% Ni, što ga čini vrlo magnetskim s relativnom magnetskom propusnošću koja se približava 1750 do 600025. To značajno povećava unutarnju induktivnost i ukupnu induktivnost (i induktivnu reaktanciju) za najmanje dva reda veličine, sa značajnim implikacijama na kvalitetu energije, pad napona kao i stabilnost kruga (VAR potrošnja). Kapacitet vodiča (ili sposobnost pohranjivanja električnog naboja) također pruža stvarnu suprotnost trenutnom protoku. To protivljenje proizlazi iz činjenice da pri danom naponu i frekvenciji, broj elektrona koji kruže naprijed i natrag ograničen je kapacitetom pohrane ili kapacitivnosti vodiča. Kao kapacitet povećava se veći broj elektrona po ciklusu. Budući da je struja mjera broja elektrona koji prolaze određenu točku u danom vremenu, struja je stoga povećana. Povećanje frekvencije također će smanjiti opoziciju koju nudi kondenzator. To se događa zato što će broj elektrona kojima je kondenzator sposoban upravljati pri određenom naponu češće kružiti. Kao rezultat, više elektrona će proći zadanu točku u danom vremenu (veći protok struje). Opozicija koju kondenzator nudi AC-u je obrnuto proporcionalna frekvenciji i kapacitetu. To protivljenje naziva se kapacitivna reaktancija ( $X_C$ ). Kapacitivna reaktancija se smanjuje s povećanjem frekvencije ili, za danu frekvenciju, kapacitivna reaktancija se smanjuje s povećanjem kapacitivnosti. Simbol za kapacitivnu reaktanciju je  $X_C$  koji varira obrnuto proporcionalno s frekvencijom i kapacitetom.

$$X_C = \frac{1}{2 * \pi * f * L} \quad (4-5)$$

Pri čemu su:

- $X_C$  - kapacitivna reaktancija u ohmima
- $f$  - frekvencija u Hz
- $C$  - kapacitet u faradima

$X_C$  i  $X_L$  utječu na karakterističnu impedanciju linije, što pak utječe na pad napona, opterećenje impedancije valova i sposobnost opterećenja prijenosnog kruga. Dok je određivanje  $X_C$  i  $X_L$  za sustav prikazano u nekoliko publikacija, vrijednosti za nadzemne vodiče koje se obično objavljuju su induktivna i kapacitivna reaktancija na radijusu od 0,3 m. Ove vrijednosti objavljene za ACCC vodiče izračunavaju se prema tipičnim jednadžbama:

$$X_a = 0.2794 \left(\frac{f}{60}\right) \log\left(\frac{1}{GMR}\right) \quad (4-6)$$

$$X'_a = 0.6822 \left(\frac{60}{f}\right) \log\left(\frac{1}{r}\right) \quad (4-7)$$

Pri čemu su:

- GMR – geometrijski srednji polumjer vodiča,
- r – polumjer vodiča u inčima.

#### 4.3.4. Otpor

Impedancija ( $Z$ ) je izraz suprotnosti koju električni krug nudi za izmjeničnu ili istosmjernu struju. To je vektorska veličina (dvodimenzionalna), koja se sastoji od dva neovisna skalarna (jednodimenzionalna) fenomena: otpora i reaktancije o kojima se raspravljalo u prethodnom odjeljku.

Kao što je već pisano, otpor je mjera u kojoj se tvar suprotstavlja kretanju elektrona među atomima ili ionima u molekulama. Promatra se s izmjeničnom strujom i s istosmjernom strujom, izraženom u pozitivnom realnom broju. Reaktancija ( $X$ ) je izraz mjere u kojoj električni krug ili sustav pohranjuje ili oslobađa energiju u svakom ciklusu izmjenične struje. Reakcija se izražava u imaginarnom broju (Ohm). Promatrana je u AC, ali ne i za DC. Kada AC prolazi kroz vodiče, energija se može pohraniti i osloboditi u obliku magnetskog polja (u kojem slučaju je reaktancija induktivna,  $+jX_L$ ) ili električno polje (u tom slučaju reaktancija je kapacitivna,  $-jX_C$ ). Reaktancija se uobičajeno množi s operatorom  $j$ .

Impedancija  $Z$  vodiča tada se izražava kao kompleksni broj oblika:

$$R + jX_L - jX_C \quad (4-8)$$

U strujnom krugu koji sadrži samo otpor, struja i napon će biti u fazi i doseći će svoje maksimalne vrijednosti u istom trenutku. Ako strujni krug sadrži samo reaktanciju, struja će ili voditi ili odlagati napon za jednu četvrtinu ciklusa ili 90 stupnjeva. U praktičnom krugu, struja neće biti u koraku s naponom niti će se razlikovati u fazi za točno 90 stupnjeva od napona, ali to će biti negdje između u koraku i 90 stupnjeva izvan stanja. Što je veća reaktancija, u usporedbi s otporom, to će se fazna razlika približiti 90 °. Što je veći otpor u odnosu na reaktanciju, to će se fazna razlika približiti nultom stupnju.

#### 4.3.5. Radna, jalova i prividna snaga

Reaktivna opterećenja kao što su kondenzatori rasipaju nultu snagu, ali činjenica da napuštaju napon i izvlače struju daje varljiv dojam da zapravo rasipaju snagu. Ova "fantomska" snaga naziva se jalova snaga,  $Q$ , izmjerena u jedinici VAR (Volt-Amps-Reactive), a ne u vatima. Stvarna količina energije koja se koristi ili rasipa u krugu naziva se radna snaga (tj. stvarna snaga),

$P$ , mjereno u jedinici vata. Kombinacija reaktivne snage i stvarne snage naziva se prividna snaga,  $S$ , izmjerena u jedinici VA (Volt-Amper), a prividna snaga ( $S$ ) je proizvod napona i struje kruga bez referencije na fazni kut.

Radna snaga ( $P$ ) je funkcija disipativnih elemenata kruga, npr. otpora ( $R$ ):

$$P = I^2 R \text{ ili } \frac{V^2}{R} \quad (4-9)$$

Reaktivna snaga ( $Q$ ) je funkcija reaktancije kruga  $X$ :

$$Q = I^2 X \text{ ili } \frac{V^2}{X} \quad (4-10)$$

Prividna snaga ( $S$ ) je funkcija ukupne impedancije kruga  $Z$ :

$$S = I^2 Z \text{ ili } \frac{V^2}{Z} \quad (4-11)$$

Vodič i praktična opterećenja imaju otpor, induktivnost i kapacitivnost, tako da će radna i jalova snaga teći u stvarna opterećenja. Prividna snaga mjeri se veličinom vektorske sume radne i jalove snage. Radna snaga je važna, jer iako struja povezana s jalovom snagom ne radi na opterećenju, ona zagrijava vodiče i troši energiju. Vodič, transformatori i generatori moraju stoga biti dimenzionirani za prijenos ukupne struje, ne samo struje koja radi korisno. Niži otpor ACCC vodiča smanjuje i stvarne i prividne gubitke snage. Niži otpor ACCC vodiča temelji se na četiri faktora. Kao prvo ACCC vodič obično sadrži oko 25 % više aluminija koristeći kompaktne trapezoidne oblike; kao drugo ACCC vodič koristi žareći aluminij koji nudi najniži otpor (tj. najviši stupanj provodljivosti) u usporedbi s drugim aluminijskim legurama; kao treće ACCC vodič radi na hladnijim temperaturama u usporedbi s drugim vodičima pod jednakim protokom opterećenja, što dodatno poboljšava učinkovitost jer niže temperature odražavaju smanjenu otpornost vodiča; i kao četvrto kompozitna jezgra ACCC vodiča je neprovodna i nemagnetična, tako da se zbog histereze ne gubi snaga.

#### 4.3.6. Faktor snage

Faktor snage je praktična mjera učinkovitosti sustava distribucije energije. Za dva sustava koji emitiraju istu količinu stvarne snage, sustav s nižim faktorom snage imat će veće struje cirkulacije zbog energije koja se vraća na izvor iz skladišta energije u opterećenju. Ove veće struje proizvode veće gubitke i smanjuju ukupnu učinkovitost prijenosa. Krug manjeg faktora snage ima veću prividnu snagu i veće gubitke za istu količinu stvarne snage. Faktor snage se smatra "jedan" kada su napon i struja u fazi ili je "nula" kada struja vodi ili zaostaje za 90 stupnjeva. Faktori snage obično se navode kao "prethodni" ili "zaostali" da bi se pokazao znak faznog kuta, gdje vodstvo označava negativni znak. Oni su također općenito opisani na decimalni način. Čisto kapacitivni krugovi uzrokuju jalovu snagu s trenutnim valnim oblikom koji vodi naponski val za 90 stupnjeva,



dok čisto induktivni krugovi uzrokuju jalovu snagu s trenutnim valnim oblikom koji zaostaje za valnim oblikom napona. Rezultat toga je da se kapacitivni i induktivni elementi krugova međusobno poništavaju. Tamo gdje su valni oblici čisto sinusoidni, faktor snage je kosinus faznog kuta između strujnih i naponskih sinusoidnih valnih oblika.

#### **4.3.7. Pad napona**

Na liniji izmjenične struje napon pada proporcionalno s duljinom vodova prvenstveno kao rezultat električnog pomicanja faze i impedancije vodiča. Pad napona obično je ograničen na 5 do 10 posto duž linije, što postaje sve teže kontrolirati s povećanjem duljine vodova. Pad napona općenito utječe na protok snage na dalekovodima između 100 i 300 km. Odgovarajuća selekcija vodiča može smanjiti pad napona dopuštajući dulje linije između manje trafostanice i smanjiti potrebu za trafostanicama. Ti aspekti uključuju neujednačenu gustoću struje zbog učinka kože i učinka transformatora (osobito kod vodiča s čeličnom jezgrom) koji utječu na induktivnost vodiča. Induktivna impedancija se smanjuje kako se frekvencija povećava. Prisutnost čelika uzrokovat će magnetsku histerezu, vrtložne struje i preraspodjelu gustoće struje između žica što utječe na otpornost i impedanciju. Visoko magnetske legure čelika, kao što je invar, mogu pojačati ove učinke. Odabir vodiča koji ne sadrži magnetsku jezgru kao što je ACCC vodič može smanjiti ograničenja pada napona. Dodavanje kondenzatora na krajevima dalekovoda može se također koristiti za smanjenje tih ograničenja, što može omogućiti protok većih razina struje pri višim radnim temperaturama.

U AC linijama, impedancija ( $Z$ ) ovisi o razmaku i dimenzijama vodiča, frekvenciji struje i magnetskoj permeabilnosti vodiča i njegove okoline, kao što je opisano u prethodnom odjeljku. Pad napona u izmjeničnoj liniji rezultat je struje i impedancije kruga,  $E = I * Z$ . Na većim udaljenostima izuzetno veliki vodiči možda neće biti ekonomski privlačni. Obično je poželjno prijeći na više napone. Krug višeg napona zahtijeva manje struje za prijenos iste snage, što također služi za smanjenje gubitaka u linijama. Primjena ACCC vodiča može dalje poboljšati učinkovitost sa smanjenjem gubitka linije za čak 35 % zbog inherentno manjeg otpora.

#### **4.3.8. Opterećenje voda**

Kako struja teče duž visokonaponskih prijenosnih vodova, postoji električni pomak faze koji se povećava proporcionalno s duljinom linije i njezinom električnom strujom. Kako se fazni pomak povećava, sustav u kojem linija radi postaje sve manje stabilan i podložniji električnim smetnjama. Dok dulje linije pokazuju veću osjetljivost od kraćih linija, te granice stabilnosti tipično reguliraju radna ograničenja, posebno na linijama dužine preko 300 km. Za liniju bez gubitaka, njezina impedancija jednostavno postaje:

$$Z_o = \sqrt{\frac{L}{C}} [Ohm] \quad (4-12)$$

To se naziva karakteristična impedancija. Ta se impedancija također može izraziti u smislu opterećenja prenapona (*SIL*), ili prirodnog opterećenja, koje se događa kada je prijenosna linija opterećena tako da nema neto jalove snage koja teče u ili iz linije. *SIL* je dan:

$$SIL = \frac{v_{LL}^2}{Z_o} [MW] \quad (4-12)$$

Pri čemu se  $V_{LL}$  odnosi na linijski napon.

Kada se linija napuni ispod *SIL*-a, linija isporučuje jalovu snagu. Ako je linija napunjena iznad *SIL*-a, ona apsorbira jalovu snagu. Opterećenje prijenosnog voda može se procijeniti ne samo s obzirom na *SIL* kao funkciju duljine linije, već i postavljanjem tolerancija pada napona i ograničenjima stabilnosti (kao što je dopušteni maksimalni fazni pomak sustava). Može se procijeniti kako će se linija izvoditi i biti u mogućnosti da ostane stabilna bez potrebe za kondenzatorima i drugim uređajima koji će spriječiti kolaps linijskog napona.

#### 4.3.9. Razmatranja elektromagnetskog polja

Napon na prijenosnoj liniji stvara električno polje. Struja koja teče kroz vodič stvara magnetsko polje. Razine magnetskog polja povezane s bilo kojom prijenosnom linijom prvenstveno su funkcija razmaka vodiča i geometrije faznih vodiča. Prisutnost ili odsustvo feromagnetske (čelične) jezgre u vodiču ne mijenja magnetska polja izvan vodiča.

#### 4.3.10. Korona, zvučni i radio šum, ozon

Korona je fenomen gdje lokalizirano električno polje u blizini strujnog vodiča može biti dovoljno koncentrirano da proizvede električno pražnjenje koje može ionizirati zrak (uzrokujući da postane vodljiv), stvoriti plazmu i proizvesti ozon. Ovo električno pražnjenje također može uzrokovati male količine zvuka i radio smetnji ("radio šum"). Ispuštanja i buka također uzrokuju nepovoljne gubitke snage. Iako se ovaj fenomen općenito povezuje s naponima iznad 200 kV, dovoljan promjer tj. površina vodiča (posebice korištenjem višestrukih "vezanih" vodiča u svakoj fazi) može pružiti odgovarajuću razinu ublažavanja. Nekoliko drugih čimbenika, međutim, može pogoršati problem.

Nepravilnosti površine vodiča uzrokovane ogrebotinama, urezima, krhotinama ili vodenim kapljicama mogu utjecati na gradijent površine vodiča i uzrokovati povećanje korone. Veće nadmorske visine (niža gustoća zraka) povećat će koronsko pražnjenje jer se izolacijska vrijednost zraka smanjuje sa smanjenom gustoćom. Glatke trapezoidne niti ACCC vodiča mogu znatno poboljšati performanse korone u usporedbi s okruglim dizajnom žice istog promjera. Proizvodna maziva na bazi minerala (ili maziva), koja se obično koriste za vodiče nasukane tvrdim aluminijem

ili aluminijskim legurama, mogu uzrokovati nakupljanje prljavštine i krhotina na površini vodiča. Aluminijski lanci trapezoidnog oblika ACCC vodiča prethodno su žareni, što omogućuje upotrebu lubrikanata na bazi povrća i vode tijekom proizvodnje. Ova manje hidrofobne opcije, u kombinaciji s ACCC neprozirnim završnim slojem, mogu pomoći u smanjenju stvaranja sedimenta i koronskog pražnjenja. Kao i kod bilo kojeg vodiča, posebno onih koji koriste aluminij koji je žaren, kao što je ACSS i ACCC, tijekom instalacije mora se paziti da površina vodiča nije izgrebana ili oštećena.

Budući da je gubitak snage neekonomičan, zvučni i radio šumovi nepoželjni, koronu na dalekovodima su proučavali inženjeri od početka 1900-ih. Postoji mnogo izvrsnih referenci na temu korona i pražnjenja dalekovoda. Prema tome, inženjeri dobro razumiju koronu i koraci za njihovo smanjenje su jedan od primarnih čimbenika u projektiranju dalekovoda za visokonaponske dalekovode (obično iznad 200 kV), osobito u nepovoljnim vremenskim uvjetima ili na velikim nadmorskim visinama gdje smanjena gustoća zraka može imati štetan učinak. Vodič odabran za prijenosni vod projekta mora stoga biti dovoljnog promjera (i ponuditi odgovarajući gradijent) kako bi se smanjio lokalizirani električni napon na površini vodiča, tako da u normalnim ili nepovoljnim uvjetima rada postoji mala ili nikakva koronska aktivnost. U mnogim slučajevima, upotreba spojenih faznih vodiča može se koristiti za smanjenje ukupnog gradijenta površine kako bi se smanjilo koronsko pražnjenje.

Razmak i orijentacija vodiča u snopu također mogu utjecati na koronsku izvedbu. Dok se primarna briga u pogledu korone vodiča odnosi na zvučni i radijski šum (i gubitak snage u ekstremnim okolnostima), koronska aktivnost na golim električnim vodičima također može proizvesti vrlo male količine plinovitih ispusta, uključujući ozon (O<sub>3</sub>) i dušikov oksid (NO<sub>x</sub>), Međutim, nastale otpadne vode su jedva mjerljive u odnosu na ambijentalne razine. Iako se ozon u stratosferi prirodno pojavljuje u koncentracijama od oko 6.000 dijelova na milijardu koji služi za povoljnu apsorpciju UV zračenja na razini tla, tipične ruralne razine okoline normalno se mjere na oko 10 do 30 dijelova na milijardu noću, a do 100 tijekom dana. U urbanim područjima, koncentracije veće od 100 ppb mogu se povremeno mjeriti zbog utjecaja ugljikovodika i drugih onečišćujućih tvari. Nakon oluje, zrak u prizemlju može sadržavati 50 do 150 ppb ozona. Dok prisutnost vodenih kapljica može povećati koronsku aktivnost na dalekovodima, prisutnost vlage inhibira proizvodnju plinovitih otpadnih voda, tako da u tim uvjetima ne postoji nikakvo neto povećanje proizvodnje ozona ili dušikovog oksida.

Vlaga na istosmjernim vodovima također služi za smanjenje koronskog pražnjenja. Zbog svog potencijalnog utjecaja na okoliš, znatan napor uložen je u procjenu proizvodnje i raspršivanja ozona na ili u blizini nadzemnih vodiča u laboratorijskim i terenskim uvjetima. Posebno zanimljivu

studiju izvela je J.F. Roach, V.L. Chartier i F.M. Dietrich iz tvrtke Westinghouse Electric Corporation u suradnji s tvrtkom American Electric Power. Iako su terenska mjerenja uspjela zabilježiti otprilike 2 do 5 ppb ozona iznad razine okoline od približno 20 do 60 ppb, laboratorijski testovi su mogli bilježiti koncentracije ozona u rasponu od oko 5 do skoro 300 ppb tijekom procjene nekoliko vodiča u pojedinačnim i skupnim konfiguracijama.

Dok su kontrolirana laboratorijska ispitivanja mjerila prilično značajne vrijednosti (do 300 ppb), vjetar i ostali terenski uvjeti igraju značajnu ulogu u disperziji, stvarnoj koncentraciji i stopama propadanja. Vrijeme poluraspada ozona kreće se od oko 10 do 40 minuta, ovisno o brojnim čimbenicima. Tipično, koncentracije ozona u razini tla ispod 230 kV i nižih naponskih dalekovoda tijekom jake kiše znatno su manje od najosjetljivijih instrumenata koji mogu mjeriti (što je oko jedan ppb), i mnogo puta manje od ambijentalnih razina. Dušični oksidi su još manji. Budući da ozon i drugi oksidanti u blizini nadzemnih vodiča koji pokazuju koronu nisu mjereni na vrijednostima koje su mnogo veće od ambijentalnih razina, one se ne smatraju problemom za AC ili DC dizajn, te se ne smatraju problemom za ACCC vodič, jer ozon također ima tendenciju migrirati s površine vodiča čak i kada nema prisutnosti vjetra.

Kako bi dokazali otpornost ACCC vodiča na degradaciju uzrokovanu ozonom, Sveučilište Denver provelo je laboratorijsko ispitivanje kompozitne jezgre ACCC vodiča na ozonu koncentracija od 1%. Koncentracija 1% ozona je ekvivalentna od 7.284.000 ppb. To je nekoliko redova veće od bilo čega što bi se moglo očekivati zbog korone generirane iz golemog nadzemnog vodiča u bilo kojem okruženju i 24.000 puta veće od najviše koncentracije od 300 ppb izmjerene u kontroliranom laboratorijskom okruženju. Vrlo mala promjena u mehaničkim svojstvima jezgre opažena je čak i nakon 90 dana potapanja na ovoj iznimno visokoj razini koncentracije.

#### **4.4. Kapacitet i procjena voda**

Kapacitet se može definirati jednostavnim pojmovima, električnim otporom vodiča i ograničenjima topline i / ili propuštanja u danom stanju okoliša. Okolišni čimbenici, kao što su temperatura okolnog zraka, brzina vjetra i druge varijable mogu dramatično utjecati na jačinu vodiča. Kod ocjenjivanja određene linije, komunalne službe moraju napraviti određene pretpostavke o uvjetima okoline na temelju lokacije projekta, statističkih podataka, praćenja u stvarnom vremenu ili drugih dostupnih podataka. Linije nižeg napona mogu biti termički ograničene zbog svojstava materijala vodiča. Aluminijski tipa 1350 H-19 koji se uobičajeno koristi u ACSR vodiču, na primjer, počinje se žariti na temperaturama iznad 93 ° C. Žarenje može uzrokovati gubitak čvrstoće vodiča koji možda nije prihvatljiv. Temperaturna sposobnost hardverskih komponenti također se mora uzeti u obzir pri razmatranju viših radnih temperatura.

ACCC vodič, mrtvi krajevi, spojnice i ovjesne stezaljke su dizajnirani za visoko temperaturne mogućnosti i strogo i opsežno testirani. Aluminijski tipa 1350-O koji se koristi u ACCC vodiču ima najniži električni otpor (63% IACS) bilo kojeg aluminijskog koji se trenutno koristi u golim vodičima iznad glave. Smanjeni električni otpor u kombinaciji s dodanim sadržajem aluminijskog, višim dopuštenim radnim temperaturama i otpornošću na toplinske uvjete omogućuju ACCC vodičima da nose približno dvostruko više struje od konvencionalnih vodiča kao što su AAC, AAAC i ACSR bez kršenja granica zazora. Pod jednakim uvjetima opterećenja, smanjeni električni otpor ACCC vodiča omogućuje smanjenje gubitaka u linijama za čak 35% ili više.

Ocjene linija mogu uključivati prilagodbe za vrijeme dana (ili noći), sezonske promjene temperature ili različite parametre vjetra. Tipično, varijacije zbog solarnog grijanja odražavaju varijacije kapaciteta manje od 5%. Međutim, promjena temperature okolnog zraka od samo 10 °C može utjecati na ocjenu vodiča za gotovo 10%, a relativno mala povećanja brzine vjetra (1 do 4 ft / sek) mogu povećati kapacitet do 15%. Kut upada vjetra u vodič i sama temperatura vodiča također mogu imati značajan utjecaj. Vjetar koji puše 1.2 metra / s (~4,3 km / h) gotovo paralelno s vodičem pod kutom od 10 stupnjeva daje 10 do 15% nižu vrijednost od vjetra koji puše na 2 ft / sek (~ 1,4 mph / 2,3 km / h) na 90 stupnjeva ili okomito na crta. Kao takva, temperatura vodiča može se smatrati osjetljivom na sunčevu svjetlost, vjetar i druge čimbenike. Visok kapacitet, visokoučinkovitost i izdržljivost ACCC vodiča čine ga idealnim za rad u toplim klimatskim uvjetima tijekom cijele godine, na Bliskom istoku, Africi, Indiji, Južnoj Americi i drugim vrućim klimatskim predjelima.

#### **4.5. Metodologija procjenjivanja voda**

Proračuni za procjenu izvedbe vodiča izvedeni su postavljanjem unosa topline iz Ohmskih gubitaka i solarnog grijanja jednakim toplinskim gubicima zbog konvekcija i zračenja. Različite formule koje se koriste za određivanje toplinske bilance malo se razlikuju između IEEE metode, metode CIGRE i metode EPRI41, ali s obzirom na iste pretpostavke, toplinske procjene pronađene kod svake od tri metode gotovo su identične. Kako je uveden određeni broj vodiča koji su sposobni raditi na temperaturama znatno iznad 100 °C, te je prepoznato da otpor vodiča pri višim radnim temperaturama nije potpuno linearan, vrše se revizije tih metoda (ranije vrijednosti otpora su jednostavno ekstrapolirane). Također je otkriveno da temperatura unutarnje jezgre i provodnih užadi ACSR ili ACSS vodiča može biti i do 30 °C do 40 °C toplija od vanjskih aluminijskih niti, tako da se razmatraju povećani električni otpor i toplinski pad za nadolazeću reviziju standarda IEEE 738 iz 2012. godine. U ispitivanju 3-slojnog ACCC vodiča veličine 220-C (iznad njegove nazivne temperature od 200 °C), zabilježeno je da je jezgra dostigla ravnotežu

na 226 °C, dok su unutarnja 2 sloja bila oko 2 °C toplija od sloja koji ga okružuje. Niska toplinska provodljivost kompozitne jezgre spojena s povećanom površinom i kompaktnom prirodnom trapezoidnih niti pomaže ACCC vodiču raspršiti toplinu učinkovitije od ostalih vodiča, čak i kada su niti relativno labave iznad temperature koljena vodiča.

## 5. PROJEKT ZAMJENE VODIČA

Ulazni podaci projekta su:

- 115 kV mreža na drvenim stupovima, cestovna konstrukcija s nedovoljnom gradnjom
- raspon voda: 148 m, minimalna temperatura: -40°C (-40°F)
- AAMT: -20°C (4°F)
- Projektno opterećenje leda: ½ "(12,7 mm) radijalno s vjetrom od 8 psf (383 Pa) vjetrom @ -20°C (4°F)
- Zamjenski konduktor: Hawk ACSR
- Napon regulacije: 21,6 kN, dizajnerski slučaj opterećenja ledom, početni
- Postojeća jakost: 707 A. na 30 °C, 4 fps (192 Pa) vjetar na 20 ° od paralele do linije, zemljopisne širine 47 °N.

Zahtjev je postići bilo koji opseg koji se može razumno postići na osnovi troškova i korisnosti.

Stupovi su stari i klase se pretpostavljaju. Kutevi se pogađaju. Postoji nekoliko čeličnih stupova nepoznate čvrstoće. Vrste uokvirivanja stupova su široko promjenjive. Neki će stupovi biti zamijenjeni iz razloga starenja ili lokacije. Krug je između trafostanica, izvora i tereta. Linija je dugačka oko 8 km.

Dostupno je vrlo dobro LiDAR istraživanje postojeće linije i PLS-CADD™ model linije postoji, a istraživanje je osnova. Iako se trošak nekih promjena u strukturi može dodijeliti održavanju ili drugim subjektima kapitalnih troškova, postoji dovoljno nepoznanica koje se odnose na čvrstoću drvenih stupova, čeličnih stupova, sidra, pa je to iz troškovnih razloga oprezno za pokušaj zamjene vodiča koji ne uzrokuje povećanje opterećenja na konstrukcijama. Visoko promjenjivi premalo izgrađeni krugovi i opća pretpostavka održavanja vodiča visokim u urbanom okruženju sugeriraju da se ne smije prekoračiti maksimalni provjes postojećeg vodiča.

### 5.1. Koraci projekta

Slijedi opći opis procesa analize:

- 1) Uspostaviti projektne kriterije za projekt analize. Oni uključuju ograničenje napetosti, zazore, faktore opterećenja i čvrstoće na konstrukcijskim komponentama, termičke granice za razne vrste vodiča na temelju kodova i vlasnika.
- 2) Utvrditi maksimalne napetosti i maksimalne provjese postojećeg stanja primjećujući izvorne slučajeve. Uspostavljanje maksimalnog provjesa za postojeći vodič zahtijeva

poznavanje izvorne dizajnerske namjere. Ako je to nepoznato, tada se to može izračunati iz poznate ili pretpostavljene dopuštene uporabe kruga (ograničenje MVA).

- 3) Pregledati postojeće stanje linije.
- 4) Izvješćivanje o upotrebi postojećeg stanja strukture. Oznake viška.
- 5) Zamijeniti Hawk ACSR u modelu sa zamjenskim vodičem. Da bi se izbjeglo povećanje prekomjerne uporabe strukture i napetosti dizajna linije; zamjenski vodič ne smije biti većeg promjera, ne smije imati veću masu i imati jednak ili manji koeficijent toplinskog širenja. Postoje samo tri logična kandidata: Hawk ACSS, Hawk ACSS / TW ili Hawk ACCC.
- 6) Ugraditi svaki tip vodiča u model. Postoje dva izbora za početak. Prvo, podudaranje vrućih krivulja. To osigurava da nema kršenja zračenja. Predloženi vodič može se postaviti za niz vlastitih jedinstvenih vrućih temperatura kada za usporedbu ACSR-a nema korisnog utvrđenog ograničenja. To rad pretvara u istraživački pothvat kako bi se pronašla isplativa ravnoteža između maksimalnog provjesa za predloženi vodič i troškova saniranja termičkog razvlačenja nastalih tom temperaturom. Ili, uskladiti napetost dizajna. Napetost razvijena u predloženom dirigentu mora biti manja od najveće napetosti koja je značajna u ACSR izvješću. Treba imati na umu da su početne napetosti u izvještajima za oba vodiča važne i mogu kontrolirati.
- 7) Provjerite maksimalne povrede progiba leda. To se može izvesti s izvješćima o pogibanju napetosti usporedbom konstantnih katenara,  $C$ . Vruće granice  $C$  vrijednosti će se podudarati, a za sve ostale važne slučajeve,  $C$  vrijednost predloženog vodiča mora biti veća nego što je to za ACSR.
- 8) Provjeriti stanje zahtjeva predloženog vodiča za vibracijama. Učiniti to prema bilo kojim kriterijima koji se odaberu: CIGRÈ, SAG10® itd.
- 9) Pomoću istoimenog ACCC vodiča otkrit će se da se ne povećava konstrukcijska napetost i nema povećanja problema s razmakom kada se maksimalni provjes podudara s onim od ACSR.
- 10) Uz postavljenu visoku radnu temperaturu predloženog vodiča, pokrenuti izračune propusnosti IEEE 738 da bi se utvrdila predložena propusnost vodova.
- 11) Ako postoji više opcija jednog tipa vodiča, provjeriti gubitke usporedbom  $R_{ac}$  vrijednosti odabira. Ušteda troškova odabira vodiča prilično je povezana s omjerom vrijednosti  $R_{ac}$ . Najniža vrijednost omogućuje uštedu tijekom trajanja vodova i to može pomoći u nadoknadi kapitalnih troškova promjene vodiča.
- 12) Prilikom odabira konačnog izbora vodiča s pripadajućim ograničenjima rada prihvatit će se postojeći problemi s razmakom i čvrstoćom. Ako se to ne učini, znači da se žrtvovao neki



resurs da se iskoristi prilika da se sami isprave ovi problemi promjenom dirigenta. Ova metoda ispravljanja postojećih problema vjerojatno neće dovesti do povećanja kapaciteta kruga.

## 5.2. Rezultati

Treba imati na umu da ACSS / TW Calumet (nije na popisu) odgovara ACSR promjeru od 21,8 mm (0,858 inča), ali masa je 10% veća pri 1,15 kg / m od 0,7758 lb / ft. Povećani udio aluminija daje vrijednost Rac od 0,1898 ohm / milja (0.1179 ohm / km) - još uvijek 5,6% iznad ACCC vodiča. Drugim riječima, obitelj ACSS, uključujući njezinu TW verziju i mogućnost ACCR ne pokazuju sveukupne prednosti ACCC vodiča. To znači da ACCC opcija vodiča pokazuje najviše obećanja na temelju usporedbe osnovnih parametara. Jedna neuvrštena značajka je koeficijent termičkog širenja vodiča. ACCC vodiči imaju mnogo niži koeficijent termičkog širenja od svih ostalih opcija. Ako se temperatura koljena, temperatura pri kojoj jezgra nosi svu napetost u vodiču, može učiniti dovoljno niskom u usporedbi s drugim odabirom vodiča, dirigenti ACCC vodiča ostat će vrlo niski. U ovom primjeru izjednačili smo se s dizajnerskim naprezanjem od 4 500 lbs pod opterećenjem leda i vjetra. Ključni rezultati su:

Tablica 5.1.:Usporedba ulaznih podataka za Hawk zamjenski vodič. [1]

Stavke	ACSR	ACCC	ACSS	ACSS/TW	ACCR
Jed. Masa	0,656	0,623	0,656	0,655	0,533
RTS	19,500	23,200	15,600	15,600	19,200
kcmils	477	611	477	477	477
Rac 75°C	0,2305	0,1796	0,2253	0,2247	0,2275
Promjer	0,858	0,858	0,858	0,789	0,852

U ovom primjeru, poznata radna granica za ACSR je 90 °C (193 °F). Pretpostavljena granica za ACCC vodiče je 180 °C (356 °F).

U ovom su primjeru projektne napetosti podudarne, a i ledeni provjes i vrući provjes ACCC vodiča manji su od ACSR-ovih. To dokazuje više vrijednosti C za ACCC vodič. Vruće vreće prelaze ledene sage i pravac raspona ACCC vodiča je otprilike 2,4 stopa manji od postojećeg vodiča. To ukazuje da bi se mogli uspoređivati savijanjem i smanjiti konstrukcijsku napetost ACCC vodiča. To bi bila razumna opcija ako bi se zanemarila snaga strukture.

Početno upravljanje napetošću i vibracijama:

Tablica 5.1.: Rezultati usporedbe ACSR i ACCC vodiča. [1]

STAVKE	ACSR	ACCC
Dizajnirana napetost	4,850 (25% RTS)	4,850 (21% RTS)
Ledeni provjes (ft)	2,470	2,500
Vrući provjes (ft)	1,857	2,177
Napetost, T=-40°C	2,587	3,106
Caaamt	3,279	4,381
Ampera pri 90°C	707	779

Gornja tablica pokazuje da smo podudaranjem napetosti i povlačenjem ACCC vodiča što je moguće čvršće, a da ne izazovu probleme s čvrstoćom, uzrokovali porast hladne napetosti i CAAMT vrijednosti. Oboje su početne vrijednosti stanja. Pregled izlaznog natezanja pokazuje predvidljivi rezultat s ACCC vodičem. Kućište nakon opterećenja kontrolira provjes i napetosti. Slučaj poslije puzanja ne.

Kao rezultat, treba uzeti u obzir vrijednost CAAMT koja definira zahtjeve za prigušivačima. Ekstremna hladna napetost je veća za ovaj provodnik, ali ostaje znatno ispod projektne napetosti u ovom slučaju. Može se ignorirati.

Vrijednost CAAMT-a također je znatno ispod praga zabrinutosti. Ovo je vrlo labavo nabijena linija pa nas ne zanimaju problemi eolskih vibracija. Iz tih podataka shvaćamo da ACCC zamjenski vodič može pružiti povećanje jačine bez potrebe za strukturnim radom. Može se prepoznati da ACCR vodič može učiniti isto. Ovim projektom nisu istraženi rezultati za taj dirigent kada se usklade dizajnerske napetosti. Takav se rad može istražiti korištenjem istih koraka opisanih ovdje. Međutim, ostaje još jedna točka za pregled. Trošak gubitaka između odabira varirat će omjerom Rac vrijednosti. ACCC dirigent osigurat će 22% troškova gubitka u odnosu na ACSR vodič. Ako se linija dobro koristi, ove uštede su znatne i mogu platiti instalaciju ovisno o vlasnikovom pogledu gubitaka na liniji.

## 6. ZAKLJUČAK

Elektroenergetski sustav, kao najsloženiji tehnički sustav, da bi bio pouzdan onda svaka njegova sastavnica mora biti sposobna obavljati rad prema projektiranim vrijednostima. Nepoželjno je u sustavu imati dotrajale i stare sastavnice koje mogu dovesti do velikih gubitaka pa shodno tome i povećanju troškova. Da bi se izbjegli nepoželjni troškovi, elektroenergetski sustav neophodno je konstantno izmjenjivati i unaprjeđivati novim i modernijim komponentama.

Ovim radom teoretski je opisana jedna od sastavnica prijenosne mreže, vodič. Nove tehnologije vodiča vrlo su važne za cijeli sustav jer se njima prenosi električna energija na velike udaljenosti i bitno je da su gubici što manji. Opisivao se ACCC vodič koji se sastoji, u najkraćim crtama, od karbonske jezgre i aluminijskog plašta. Dani su podaci koji pokazuju njegova mehanička i električna svojstva pa se tako opisalo i vladanje vodiča u različitim vremenskim uvjetima. Nadalje su se pravile usporedbe ACCC vodiča s ostalim vodičima i iz usporedbi je vidljivo da je ACCC vodič puno bolji odabir od tradicionalnih Al/Če vodiča jer je lakši, ima bolju vodljivost i dugovječniji je, a njegova implementacija je moguća na postojeću konstrukciju starog voda uz nikakve ili minimalne korekcije.

Projekt zamjene tradicionalnih vodiča novim ACCC vodičem pokazao je da se itekako isplati postavljanje novih tehnologija; što zbog uštede energije to zbog ekonomske isplativosti.

## LITERATURA

- [1] Engineering Transmission Lines with High Capacity Low Sag ACCC® Conductors, CTC Global, [www.ctcglobal.com](http://www.ctcglobal.com), 2016. [10.6.2019.]
- [2] L. Josza, Parametri nadzemnih vodova, Elektrotehnički fakultet, Osijek, 2006. [7.9.2019.]
- [3] I. Džubur, Ž. Timic, M. Dutina, Problematika zamjene opreme na starijim dalekovodima, Bled, 1989. [8.9.2019.]

## SAŽETAK

U završnom radu teoretski se opisivao ACCC vodič. To je vodič s kompozitnom jezgrom obavijenom trapezoidnim plaštem aluminijske. Naglasak je stavljen na usporedbu ACCC vodiča s ostalim vodičima, kao što je Al/Če vodič, te na opisivanje mehaničkih i električnih svojstava ACCC vodiča koji je dio nove tehnologije primijenjene na prijenosnim vodovima. Različitim proračunima, ali i implementacijom na postojeće sustave, vidljivo je da je ACCC vodič ekonomski isplativiji od tradicionalnih tipova vodiča. Opisan je i projekt zamjene starih vodiča novim ACCC vodičem u kojemu su navedene prednosti ACCC vodiča, od ekonomske isplativosti preko uštede prijenosa kvalitetne električne energije do prilagodljivosti postojećoj konstrukciji promatranog voda.

Ključne riječi: ACCC, vodič, ACSR, dalekovod, jezgra

## **ABSTRACT**

### New overhead conductor technologies

The final paper theoretically described the ACCC guide. It is a guide with a composite core wrapped in a trapezoidal aluminum sheath. Emphasis is placed on comparing ACCC conductors with other conductors, such as the ACSR conductor, and on describing the mechanical and electrical properties of the ACCC conductor, which is part of the new technology applied to transmission lines. By varying budgets and implementation to existing systems, it is evident that the ACCC guide is more economically viable than traditional guide types. Also described is the project of replacing old conductors with a new ACCC guide, which outlines the benefits of the ACCC guide, from cost-effectiveness through saving the transmission of quality electricity to adaptability to the existing construction of the observed line.

Keywords: ACCC, conductor, ACSR, power line, core

## **ŽIVOTOPIS**

Želimir Prhal rođen je 9. prosinca 1996. godine u Bjelovaru. Živi u Končanici nedaleko Daruvara. Završio je češku osnovnu školu Josipa Ružičke u Končanici te opću gimnaziju u Daruvaru. Nakon završetka srednjoškolskog obrazovanja upisao je preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku na kojemu i danas studira. U slobodno vrijeme svira saksofon u puhačkim orkestrima te trenira streljaštvo.