Primjena visoko temperaturnih vodiča ACCC u prijenosnoj mreži

Matić, Ilija

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:718832

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

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

Diplomski studij

Primjena visoko temperaturnih vodiča ACCC u prijenosnoj mreži

Diplomski rad

Ilija Matić

Osijek, 2016

SADRŽAJ

1. UVOD 1
1.1. Zadatak i struktura rada 1
2. OPĆENITO O VODIČIMA 3
2.1. Način izvedbe i dimezioniranje vodiča 4
2.2. Vodiči kroz povijest 7
2.3. Općenito o ACCC vodičima 8
2.4. Prednosti ACCC vodiča u odnosu na vodiče pravljene od drugih materijala 11
2.5. Presjeci ACCC vodiča 16
3. MEHANIČKI PRORAČUN VODIČA 20
3.1. Mehanička čvrstoća vodiča 21
3.2 Sile koje djeluju na vodiče dalekovoda 22
3.2.1 Vertikalne sile 22
3.2.2 Horizontalne sile 23
3.3. Proračun provjesa 25
3.4. Jednadžba stanja zategnutog vodiča 26
3.5. Određivanja mjerodavnih stanja pri postavljanju jednadžbe stanja 27
3.5.1. Određivanje stanja najvećeg naprezanja po kriteriju kritičnog raspona 27
3.5.2. Određivanje stanja najvećeg provjesa po kriteriju kritične temperature 28
3.6. Jednadžba stanja zateznog polja s nejednakim rasponima – idealni raspon 28
3.7. Strujna opteretivost vodova 30
3.7.1. Toplinsko dimenzioniranje vodiča 30
3.7.2. Strujna opteretivost vodiča 30
4. PRORAČUN VODIČA DALEKOVODA SA CCP PROGRAMOM 32
4.1. Proračun za dalekovod Slavonski Brod-Požega 36
4.2. Proračun za dalekovod Đakovo - Gradačac 42
5. ZAKLJUČAK 46

LITERATURA

SAŽETAK

ABSTRACT

ŽIVOTOPIS

1. UVOD

Električna energija proizvodi se nerijetko u blizini nalazišta prirodnih izvora energije (fosilnih goriva, vodotoka) te se dalekovodima prenosi do potrošačkih centara. Nadzemni vodovi i kabeli koriste se za prijenos električne energije. Većina električne energije prenosi se nadzemnim vodovima zbog kraćeg i jednostavnijeg popravka. Po jedinici prenesene snage prijenos kabelima je (računajući ukupne troškove izgradnje i eksploatacije) nekoliko puta skuplji od prijenosa dalekovodima. Kabeli se koriste u nekim specifičnim situacijama, npr. u gradskim područjima, u blizini aerodroma, pri povezivanju otoka s kopnom i slično.

Potražnja za električnom energijom rasla je kroz povijest te i dalje raste. Upravo zbog tog porasta potrebno je povećati kapacitete prijenosa snage i raditi na povećanju učinkovitosti postojećih vodova. Nove vrste vodiča uvedene su tijekom posljednjih nekoliko desetljeća te omogućavaju prijenos više električne energije uz smanjene gubitke vodova. U većini nerazvijenih zemalja prisutna je pojava porasta broja stanovništva. Zbog siromaštva ne mogu pratiti svoje izazove te su ekonomski ovisne o razvijenijim zemljama. Svake godine svijet potroši preko 20 trilijuna kWh električne energije i 1,4 trilijuna kWh su izgubljeni zbog neučinkovitog prijenosa.[1] Ekonomski analitičari smatraju da je potrebno razmisliti o važnosti ulaganja da bi se postiglo smanjenje gubitaka, a ne samo o učinkovitosti čiste energije. Sve se više govori o učinkovitosti prijenosa električne energije zato što je po analizama jeftinije spasiti MWh električne energije nego ga proizvesti. Iz perspektive zaštite okoliša je potrebno smanjiti korištenje fosilnih goriva za proizvodnju električne energije te samim time smanjiti emisiju CO_2.

1.1. Zadatak i struktura rada

Zadatak ovog diplomskog rada je opisati karakteristike, materijale i vrste visoko temperaturnih vodiča u prijenosnoj mreži. Nadalje, u radu je potrebno napraviti usporednu analizu standardnih Al/Če vodiča i vodiča s novim materijalima. Potrebno je usporediti mehaničku i električnu karakteristiku standardnih i novih vodiča

U uvodnom odlomku dana je definirana proizvodnja i prijenosa električne energije. Također, rečeno je ponešto o današnjim potrebama za električnom energijom te je predstavljen zadatak i struktura diplomskog rada.

Drugo poglavlje sadrži općenite karakteristike vodiča. Kroz pet potpoglavlja je opisan razvitak vodiča kroz povijest te su prikazane osnovne izvedbe i dimenzije nadzemnih vodova.

Akcenat je postavljen na ACCC-e vodiče i prikazuju se prednosti visokotemperaturnih vodiča u odnosu na druge.

U trećem poglavlju je predstavljen mehanički proračun vodiča. Kroz jednadžbe i slike se prikazuje proračun mehaničke čvrstoće odnosno sila koje djeluju na vodiče. Prikazan je i proračun provjesa odnosno jednadžba stanja zategnutog vodiča te izvedenice iz te jednadžbe.

U četvrtom poglavlju je predstavljena analiza odnosno usporedba vodiča od različitih materijala pomoću CCP programa. Na primjeru dva stvarna dalekovoda je napravljena analiza za moguću rekonstrukciju odnosno zamjenu vodiča dalekovoda.

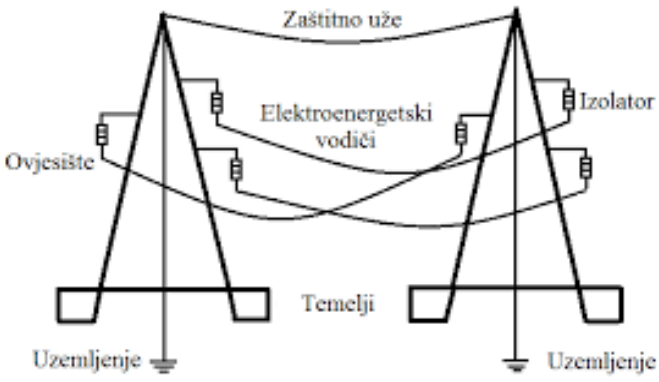
2. OPĆENITO O VODIČIMA

Za prijenos električne energije služe nam nadzemni vodovi i kabeli. Vodiči predstavljaju aktivni i najvažniji dio dalekovoda, zato što služe za vođenje struje. Prijenos kabelima je nekoliko puta skuplji nego dalekovodom kada se napravi usporedba po jedinici prenesene snage električne energije na neku udaljenost. Popravak nadzemnih vodova je puno jednostavniji i traje kraće nego kod kabela. Podjela nadzemnih vodova može se izvršiti po više kriterija, a to su:

- nazivni napon
- broju trofaznih sustava vođenih na istom stupu
- materijal i konstrukcija vodiča
- materijal i konstrukcija stupova, itd.

Sastavni elementi dalekovoda su:

- vodiči: za vođenje struje
- stupovi: za nošenje i zatezanje vodiča
- izolatori: spriječavaju da struja teče između vodiča ili kroz stupove u zemlju
- pribor: za pričvršćivanje izolatora na stupove, ovješenje i spajanje vodiča, te za mehaničku i električnu zaštitu dalekovoda
- zaštitna užad: štite dalekovod od udara groma
- sustav za uzemljenje: zajedno sa zaštitnim užetom, u slučaju kvara dalekovoda trebaju opasnost po živa bića u okolini stupa svesti na minimum. [1]



Slika 2.1.*Nadzemni vodovi*
(Izvor: www.oldriteh.com; Tehnički fakultet u rijeci; Preuzeto: travanj 2016god.)

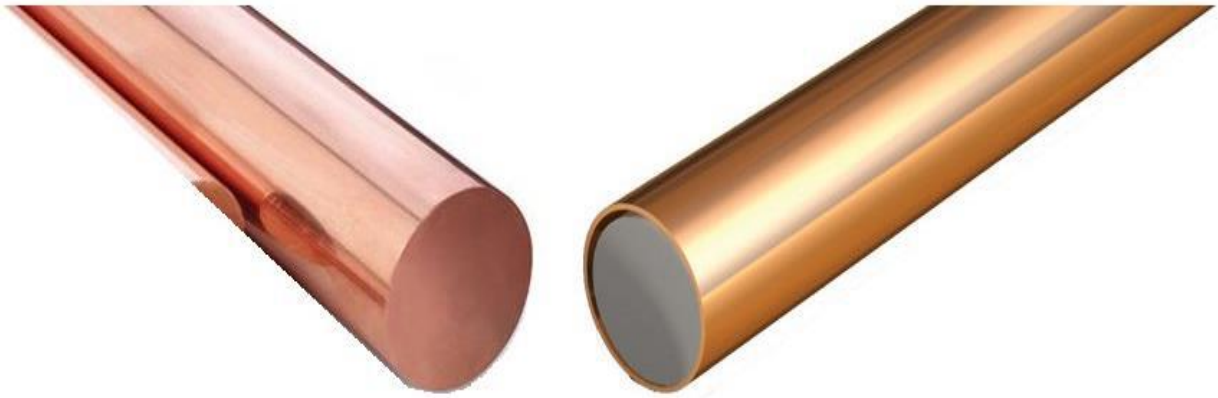
Glavna karakteristika materijala za vodiče je električna vodljivost i dovoljna mehaničku čvrstoću. Kroz povijest se najprije upotrebljavao bakar (Cu) odnosno tvrdo vučeni bakar. Zbog cijene odnosno uštede na bakru danas se upotrebljava čisti aluminij (Al) koji ima manju specifičnu težinu od bakra. Aluminij mora biti veoma čist (99,5 %) jer inače dolazi do

elektrolitičkog razaranja (opasne su sitne čestice bakra). Zbog relativno male mehaničke čvrstoće aluminij ne dolazi u obzir za veće raspone, niti za visokonaponske dalekovode. Zbog poboljšanja mehaničkih svojstava legiraju se bakar i aluminij s drugim metalima, pri čemu se vodljivost ne smije bitno smanjiti. Da se sjedine dobra električna svojstva bakra odnosno aluminija s dobrim mehaničkim svojstvima čelika, izrađuju se kombinirani vodiči od dva različita materijala. Najčešće se upotrebljava uže izrađeno od aluminija i čelika, alučel (AlČe). Tu mehanički teret u najvećem dijelu preuzima jezgra od čelika čvrstoće 120 daN/mm², a vođenje struje se vrši aluminijskim plaštem. Ova se užeta najviše koriste od srednjih do najviših napona, gdje se zbog visine napona ne može upotrijebiti obično aluminijsko uže. Aluminij ima najveće provjese, pa se zato ni ne upotrebljava za velike raspone. Aluminij, a pogotovo aldrej i alučel, imaju veći promjer od bakra. Zbog toga su s obzirom na gubitke korone prikladniji za visoke napone. Nasuprot tome kod većih promjera vodiča je i tlak vjetra veći, što zahtjeva jače stupove zbog većih sila, te veće razmake zbog većih otklona vodiča i izolatorskih lanaca. Ovo sve govori u prilog bakru.[2]

Za mehaničku sigurnost vodiča važan je stupanj sigurnosti protiv loma. Taj je stupanj dan višekratnikom normalnog zimskog dodatnog tereta, kod kojeg naprezanje u vodiču dosegne vrijednost trajne čvrstoće. U tom pogledu najbolja svojstva ima aldrej, zatim alučel, pa bakar, a najslabiji je aluminij. Težina užeta, a isto tako i težina užeta sa zimskim dodatnim teretom najveća je za bakar, zatim redom za alučel, aldrej i aluminij. To je važno s jedne strane za iznos investicija, a s druge strane za iznos investicija, a s druge strane za velika opterećenja stupova, izolatora i pribora. [3]

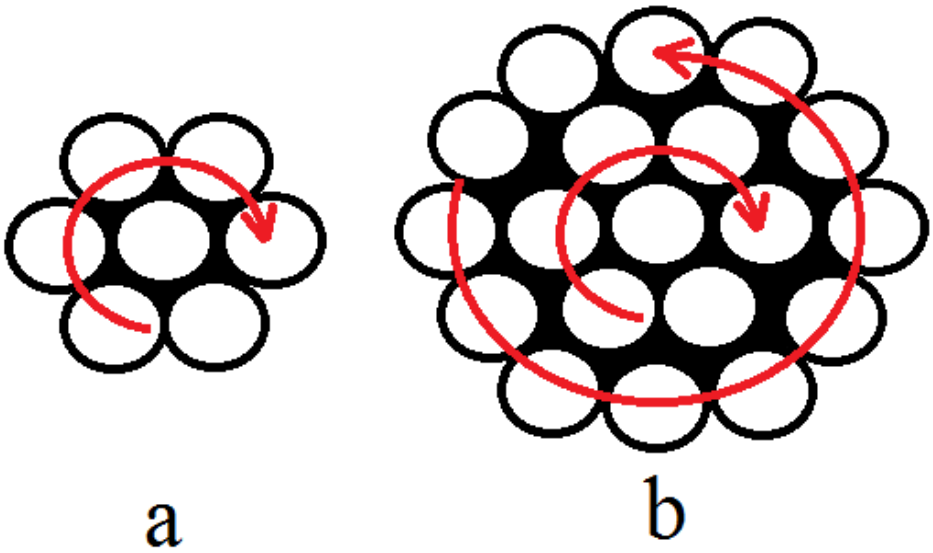
2.1. Način izvedbe i dimezioniranje vodiča

Vodiči mogu biti izvedeni od pune žice, sukanih vodiča, tj. užeta (homogenog ili kombiniranog), antivibracijske izvedbe, snopova, izoliranih vodiča te učinkovitih vodiča. U niskonaponskoj mreži se koriste takozvani puni vodiči, s malim presjekom i malog raspona. Upotrebljavaju se vodiči od bakra, presjeka 16 mm^2 i raspona do 80 m. Zbog slabih mehaničkih svojstava aluminij i aldrej se ne upotrebljavaju.[4]



Slika 2.2. *Homogena bakrena žica i kombinirani Copperweld vodič*
(Izvor: www.oldriteh.com; Tehnički fakultet u Rijeci ; Preuzeto: travanj 2016god.)

U izradi nadzemnih vodova koriste se sukani vodiči, a najčešće kombinirano uže napravljeno od alučelika u omjeru 6:1. Sukani vodiči imaju veću elastičnost i prekidnu čvrstoću te manju osjetljivost na utjecaje vjetra od vodiča od pune žice. Homogeni sukani vodič izvodi se tako da se žice omotavaju u slojevima oko najčešće jedne žice napravljene od istog materijala. Kod normalne izvedbe sve su žice istog presjeka. Kako se žice spiralno sukaju u uže, žice su 2-3 % dulje od dužine užeta . Faktor punjenja je približno 75-79%. Standardni presjeci užeta su 10, 16, 25, 35, 70, 95, 120, 150, 185, 240, 300 mm^2. Stvarni presjeci se nešto razlikuju od nazivnih.[2]



Slika 2.3. *Homogeno uže s označenim smjerom sukanja žica: a) sa 7 žica, b) s 19 žica*
Izvor: www.oldriteh.com; Tehnički fakultet u Rijeci ; Preuzeto: travanj 2016god.)

Kombinirana užeta se rade tako da se oko jedne ili više žica sukaju žice koje će činiti jezgru, a zatim se na njih sukaju žice drugog presjeka i/ili različitog materijala. Zbog veće

mehaničke čvrstoće ne mogu se upotrebljavati žice istog promjera. Zbog smanjenja gubitaka vrtložnih struja i histereze u čeličnoj jezgri, izrađuje se aluminijski plašt po mogućnosti od dva sloja pletena u suprotnim smjerovima. Zbog sprječavanja vibracija vodiča zbog vjetra (kod velikih raspona i lakih vodiča), izrađuju se antivibracijska užeta, kod kojih je šupljina unutar aluminijskog plašta veća od promjera čelične jezgre. Tako kod vibracija nastaju međusobni udarci koji dovode do prigušenja.[2]

Prije su se za više napone upotrebljavali šuplji vodiči, koji su se razvili iz težnje da se uskladi ekonomski presjek bakrenog vodiča s vanjskim promjerom potrebnim zbog korone. Ovi vodiči se izrađuju samo od bakra i imaju različite konstrukcije, kojima je svrha da vodič bude gibljiv i da sačuva svoj oblik. Zbog upotrebe alučela (koji ima znatno veći promjer od ekvivalentnog bakrenog užeta) i zbog primjene snopova vodiča za jednu fazu, šuplji vodiči gube na značaju.[2]



Slika 2.4. *Šuplji vodič*
(Izvor: www.oldriteh.com; Tehnički fakultet u Rijeci ; Preuzeto: travanj 2016god.)

Slika 2.4. prikazuje šuplji vodič tipa HH tvrtke General Cable promjera 3,55 cm koji je korišten za prijenos 287,5 kV preko pustinje Mohave.

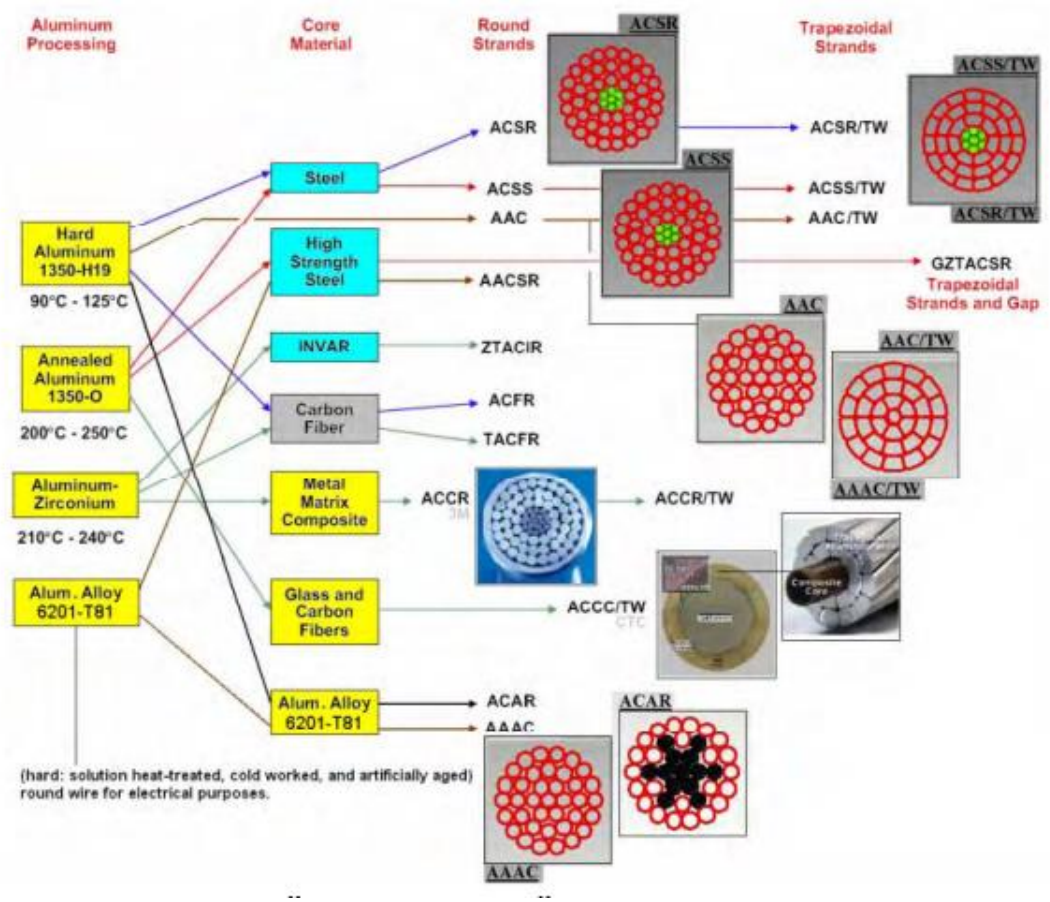
Dimenzioniranje vodiča vrši se u električnom i mehaničkom pogledu, ali treba uzeti u obzir i ekonomski aspekt. U električnom pogledu dimenzioniraju se vodiči s obzirom na struju koja u njima teče i s obzirom na njihov napon. Joule-ovi gubici u otporu vodiča moraju ostati u granicama ekonomičnosti, a nadtemperatura vodiča koja se pojavlju zbog tih gubitaka ne smije

prekoračiti određenu granicu. Jakost električnog polja ne smije prekoračiti električnu čvrstoću, da ne dođe do gubitaka korone. Promjer vodiča u milimetrima mora iznositi barem jednu devetinu linijskog napona voda u kilovatima. Određeni su i dozvoljeni padovi napona koje vodič ne smije izazvati. U mehaničkom pogledu prilikom dimenzioniranja vrši se usklađivanje mehaničkog naprezanja vodiča i njegova provjesa. Provjesi i naprezanja ne smiju prekoračiti dozvoljenu granicu kod ekstremnih klimatskih uvjeta. Izabrani vodiči moraju zadovoljiti i u ekonomskom pogledu, što znači da ukupni godišnji troškovi prijenosa moraju biti minimalni. [3]

2.2. Vodiči kroz povijest

Prije prvog svjetskog rata koristio se bakar za nadzemne vodove zbog svoje odlične vodljivosti. Zbog ratnih zbivanja, te pripadajuće potražnje za bakrom, bakar je zamijenjen aluminijem koji ima manju specifičnu težinu. Uvedene su s vremenom razne legure aluminija kako bi se poboljšala električna svojstva vodova. Čelik se počeo upotrebljavati zbog velike mehaničke čvrstoće. Mala vodljivost i pojava skin efekta je izbacila čelik iz svakodnevne upotrebe. Tijekom Drugog svjetskog rata, proizvodnja aluminija je bila usmjerena na proizvodnju zrakoplova, a dalekovodi su vraćeni na bakrene vodiče od kojih su neki proizvedeni s čeličnom jezgrom. Razvitkom industrije i povećanjem broja stanovništva pojavljuje se problem premalih kapaciteta odnosno postojeći vodovi ne mogu prenijeti potrebnu snagu električne energije. Potražnja za električnom energijom je rasla i postalo je teško osigurati električnu energiju za cjelokupnu populaciju. Pojavila se potreba za povećanjem kapaciteta postojeće električne mreže.[1]

Upotreba novih materijala pri proizvodnji vodiča rješava postojeće probleme. Trapezasto lijevani vodiči aluminija omogućavaju bolju popunjenost aluminija u promjeru vodiča kako bi se smanjilo mehaničko opterećenje jezgre i ponudila potrebna strujna opteretivost. Pojava ACSS vodiča je dovela do povećanja kapaciteta prijenosa, ali su loša toplinska svojstva ograničila njihovu upotrebu. To je povećalo gubitke vodova što je rezultiralo povećanjem potrošnje goriva (ili osiromašenjem hidro resursa). Danas je dostupan velik broj različitih vrsta i veličina vodiča. Duž sto godina se nije promijenila osnovna misao oko mehaničkih i električnih svojstava vodiča. Koriste se aluminijski vodiči (kao što su AAC, AAAC i ACAR) u određenim aplikacijama i ACSR (Al/Če). Alučel je općenito najkorišteniji vodič. Osim ACSS razvijeni su i drugi visoko temperaturni vodiči pomoću kojih su smanjeni gubitci. Upotreba visoko temperaturnih vodiča je omogućila ekonomičniji prijenos električne energije.[1]



Slika 2.5. *Pregledna shema različitih vrsta vodiča*
(Izvor: www.ieee.hr ; Preuzeto: listopad 2016 god.)

2.3. Općenito o ACCC vodičima

ACCC vodiči imaju kompozitnu jezgru od ugljičnih i staklenih vlakana. Plašt je najčešće načinjen sukanjem trapezasto lijevanih aluminijskih vodiča. Visoko temperaturni ACCC vodiči imaju određene prednosti u odnosu na aluminijske ili konvencionalne vodiče sa čeličnom jezgrom. Maksimalna prijenosna snaga se udvostručava, dok su gubitci vodova reducirani za 25-40% pod jednakim uvjetima opterećenja. Kombinacija visoke vlačne čvrstoće i malih toplinskih gubitaka omogućuje dulji vijek, tako da se nove trase mogu graditi uz manje strukture. Analiziranjem ulaganja u projekt, dolazi se do zaključka da primjena ACCC vodiča smanjuje inicijalne kapitalne izdatke. [1]

ACCC vodič je dostupan u svim veličinama koje su potrebne za prijenosnu mrežu globanih prijenosnih kompanija. ACCC vodič ("Aluminijski vodič kompozitne jezgre") je predstavljen 2005. godine. Novi vodič je postigao zacrtani cilj visokog prijenosnog kapaciteta i zbog niskog koeficijenta toplinskog širenja je ponudio značajno smanjenje provjesa uslijed promjena temperature. Kompozitna jezgre je smanjila težinu u odnosu na čelik. Pojedina veličina

vodiča može sadržavati 28% više aluminija zbog kompaktnih niti u trapezastog oblika. Dodatni sadržaj aluminija poboljšava vodljivost te povećava učinkovitost u odnosu na bilo koji drugi komercijalno dostupan vodič istog promjera i slične težina. ACCC vodič postiže najveća dozvoljena strujna opterećenja u odnosu na radnu temperaturu. [1]



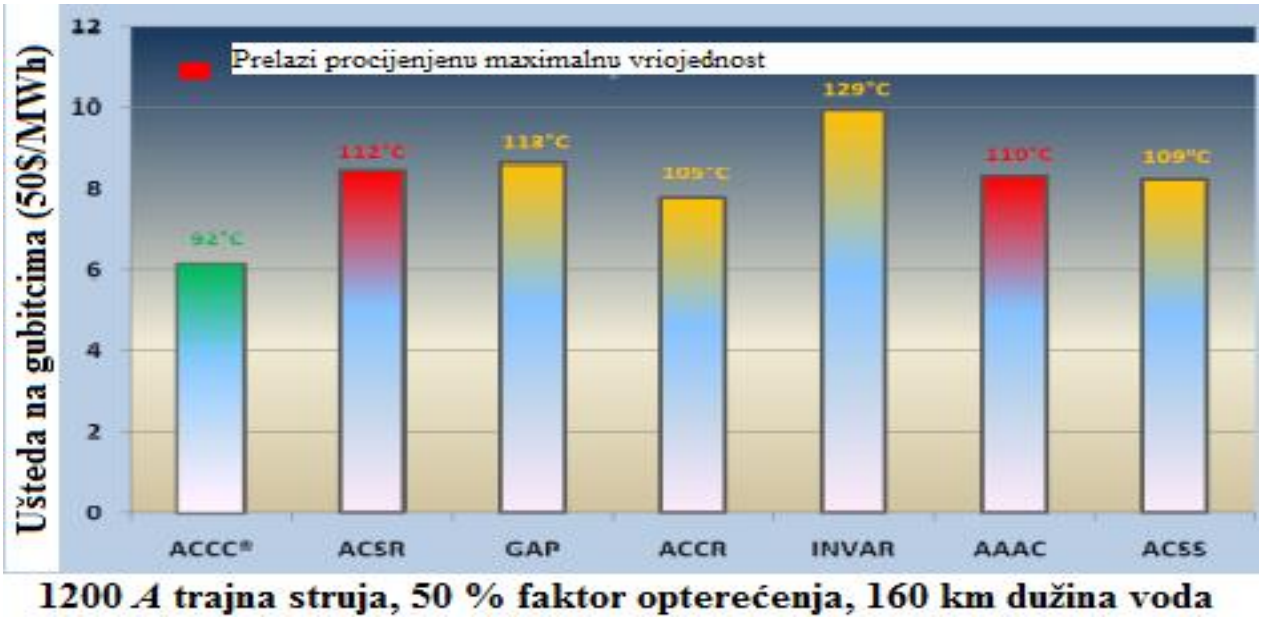
Slika 2.6. *Prikaz vodiča: a) ACSR b)ACCC*
(Izvor: www.ctcglobal.com; Preuzeto: travanj 2016.god)

Zbog širokog velikog broja različitih veličina vodiča i zbog specijaliziranog dizajna moguće je proizvesti vodiče vrlo dugih raspona. Mehanička čvrstoća, modul elastičnosti i ostale karakteristike mogu se mijenjati na razne načine. Kompanije koje proizvode vodiče su razvile mnoge prilagođene verzije. Počelo se sa deset različitih presjeka vodiča, koristeći deset različitih presjeka jezgre. Tijekom posljednjih desetak godina, kao odgovor na zahtjeve kupaca diljem svijeta, CTC Global je nastavio razvijati nove veličine vodiča. Trenutno je u ponudi više od šezdeset veličine ACCC vodiča, a popis nastavlja rasti. U suradnji s kompanijom je moguće raditi na novoj vrsti vodiča koji zadovoljava određene potrebe. Kroz suradnju sa klijentima, kompanija je pronašla rješenje za slučajeve jako dugih raspona riječnih prijelaza i pri povećanim opterećenjima zbog dodatne težine zbog leda. Na temelju regionalnih zahtjeva kupaca, CTC Global posluje s deset partnera od kojih svaki proizvodi niz ACCC vodiča različitih veličina. Velika pozornost je usmjerena na geografske regije zbog različitih reljefnih i klimatskih karakteristika.Uz gotovo 60 standardnih promjera ACCC vodiča u rasponu od 150 do 1400

mm^2(300 do 2700 kcmils), CTC Global trenutno nudi posebne vodiče koji su projektirani za smještaj na trasama s dodatnim ledenim opterećenjima ili vrlo dugim rasponima. Standardni ACCC vodiči su obično 25% jači od ACSR (Al/Če) vodiča. Iako ACCC vodiči u svakom presjeku nude više ukupne čvrstoće rastezanja u odnosu na druge vrste vodiče, u ACCC vodovima je jezgra elastičnija od čelika. Njihova elastičnost dopušta povećani provjes vodiča uz uvjet teških ledenih opterećenja. [1]

ACCC vodič je iznimno imun na povećanje provjesa zbog velikih opterećenja. Dodatno opterećenje s ledom je često glavni problem pri dizajniranju vodiča. Vodiči sa prisutnim dodatnim teretom zbog leda su smješteni u hladnijim podnebljima. CTC Global je razvio novi dizajn vodiča koji povećavaju osnovni modul elastičnosti od 112,3 GPa na 146,7 GPa (16.3 *MSI* na 21,3 *MSI*). To trideset postotno poboljšanje može se obaviti ugradnjom većeg presjeka jezgre s vrlo minimalan utjecajem na količinu aluminija ili električnu izvedbu. Na isti način se koristi za smještaj na vrlo dugačke trase, gdje je jak vjetar najbitniji čimbenik pri dizajnu vodiča.[1]

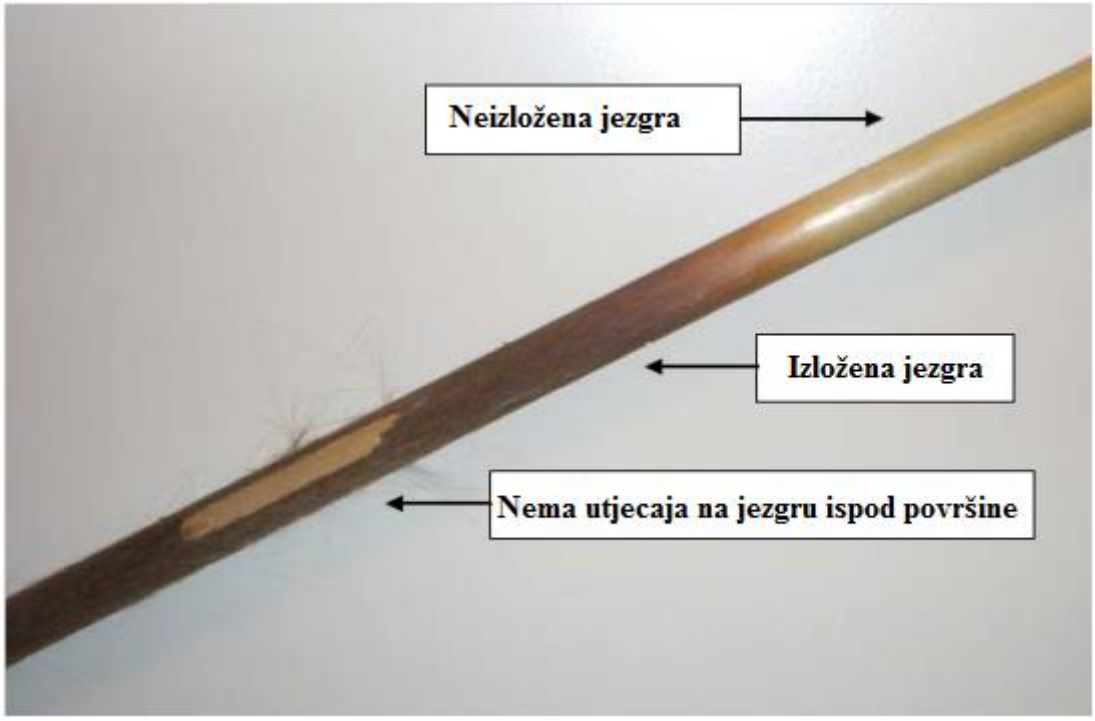
Veliki dio prezentiranih informacija je usporedne prirode: ekonomsko gledište, učinkovitost i smanjenje gubitaka, ali aluminijski vodič kompozitne jezgre je sposoban prenositi dvostruko više struje od konvencionalnog aluminija ili sve prisutnog čelično ojačanog ACSR.



Slika 2.7.*Usporedba gubitaka na vodovima*
(Izvor: www.ctcglobal.com; Preuzeto: travanj 2016.god)

Slika 2.7. prikazuje usporedbu gubitaka na vodovima (i radnih temperaturama) različitih materijala uz faktor opterećenja 50% i dužina voda 160 km. Kao i svaki vodič ACCC ima termičke granice kojih se treba pridržavati. Upotrebljava se aluminij kojem je granica 250 stupnjeva celzijusevih. Nakon testiranja CTC Global je uspostavio maksimalnu kontinuiranu

radnu temperaturu od 180 °C. Tijekom duljeg vremenskog perioda na ovoj temperaturi se može opaziti minimalna količina površinskog oksidiranja. Ova reakcija oksidiranja naknadno formira gusti sloj približno debel sto mikrona što usporava daljnje oksidiranje. Slika 2.8. prikazuje temeljni uzorak ostavljen da stoji na 220 °C na vremenski period od 52 tjedana. U ovom slučaju je oksidacijski proces ubrzan. Usporava se daljnja oksidacija te se ograničava ukupni učinak toplinske izloženosti. Temperatura od 200 °C se ne preporučuje za ACCC vodiče, ali se može tolerirati za kratka razdoblja. Ispitivanje sustava je pokazalo da je moguće ACCC vodič podvrgnuti najmanje jednom godišnje na osam satni ciklus na temperaturu od 215 °C s malo posljedica.[1]



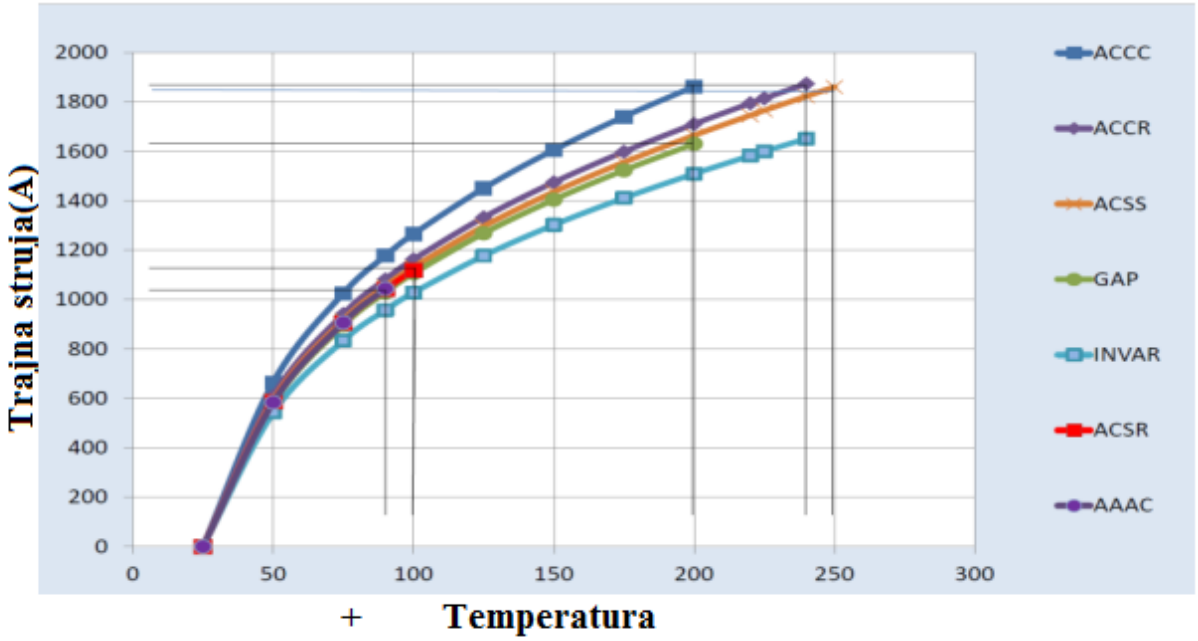
Slika 2.8. *Uzorak jezgre ACCC vodiča nakon 52 tjedana izlaganja na 220 °C (Izvor: www.ctcglobal.com; Preuzeto: travanj 2016.god)*

2.4. Prednosti ACCC vodiča u odnosu na vodiče pravljene od drugih materijala

- Povećani kapacitet prijenos

U odnosu na okrugli ACSR (Al/Če) vodič u svakom presjeku ACCC vodiča je oko 28% više aluminija u konfiguraciji trapeza, što daje značajno povećanje vodljivosti. Jezgra ugljika uzrokuje bolja mehanička svojstva i praktički eliminira visoki temperaturni koeficijent. ACCC vodič je razvijen za prijenos dvostruko većih vrijednosti struja u odnosu na konvencionalne

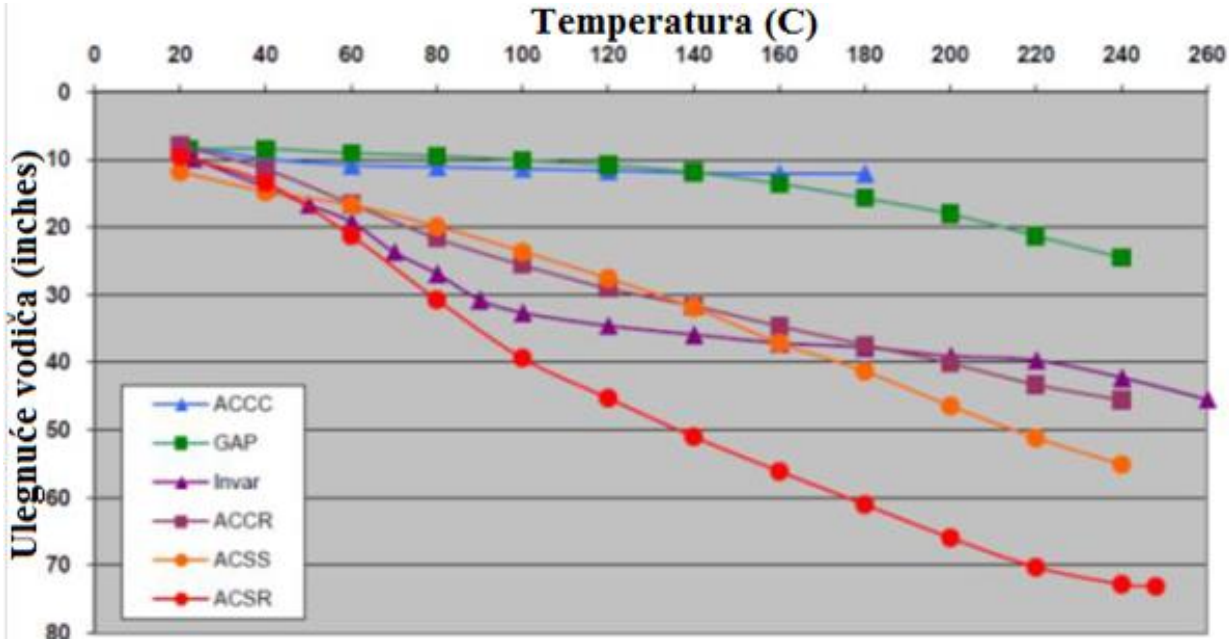
aluminijske ili čelikom ojačanog vodiča. Klasični AAC, AAAC i ACSR vodovi su ograničeni na radnoj temperaturi od 90 °C. [1]



Slika 2.9. *Odnos trajno dopuštene struje vodiča i temperature*
(Izvor: www.ctcglobal.com; Preuzeto: travanj 2016.god)

- Smanjen temperaturni koeficijent

Koeficijent toplinskog širenja ACCC vodiča je oko devet puta manje od tipičnog ACSR, AAC ili ACSS vodiča. To praktički eliminira toplinske gubitke i značajno poboljšava vođenje pod uvjetima visokog opterećenja. Proizlazi da ti vodovi mogu raditi na većim temperaturama odnosno prenositi veće vrijednosti struje. To ga čini izvanrednim pri izboru za povećanje opterećenja postojećih prijenosnih dalekovoda bez potrebe za zamjenu ili ojačanjem postojeće strukture.[1]



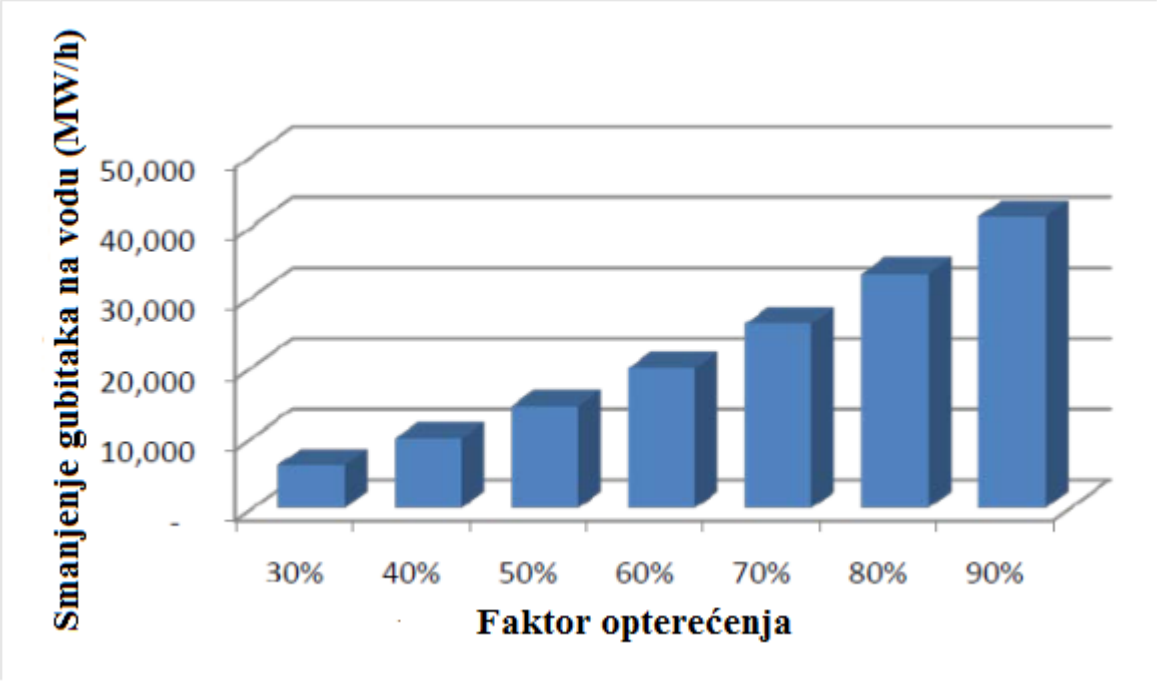
Slika 2.10. *Usporedba temperature i provjesa vodiča*
(Izvor: www.ctcglobal.com; Preuzeto: travanj 2016.god)

- Energetska učinkovitost

Korištenjem više aluminija je bolja vodljivost što smanjuje gubitke na vodovima na određenoj temperaturi. To rezultira isporučivanjem više snage uz smanjen trošak proizvodnje. Učinkovitost vodiča može znatno smanjiti emisije CO_2. [1]

Pri proizvodnji i prodaji vodiča učinkovitost se ne nalazi visoko na listi prioriteta. Izbor vodiča se uglavnom temelji na proračunima opterećenja. Gledajući unatrag nekoliko godina, mnogo se ulaže u poboljšanje učinkovitosti generatora kako bi se smanjila potrošnja goriva i poboljšala ekonomska održivost konkurentnih proizvodnih tehnologija, kao što su sunce i vjetar. Poboljšanje transformatorske tehnologije je skuplje, ali je također lako opravdano zato što se smanjuju troškovi zbog kratkog životnog ciklusa i poboljšava učinkovitost. Sa gledišta potražnje smatra se da su milijarde dolara potrošene za poboljšanje učinkovitosti potrošnje aparata kao što su hladnjaci, klima uređaji, pa čak i žarulje. U mnogim slučajevima izvršne vlasti i energetski distributeri subvencioniraju kupovinu tih aparata zbog smanjenja udara na mrežu i samim time odgađa se izgradnja novih prijenosnih dalekovoda i elemenata mreže. Kroz povijest se vrlo malo ulagalo u poboljšanje efikasnosti mreže zato što su gubitci išli na teret potrošača. U novije vrijeme su stručnjaci i političari prepoznali problem klimatskih promjena i okoliša, te se više raspravlja o poboljšanju učinkovitosti vodiča. Kao primjer može poslužiti novoizgrađeni dio dalekovoda u dužini 160,9 kilometara i vrijednosti nazivnog napona od 345 kV u SAD-u. Zamijenjeno je Al/Če uže sa ACCC vodičem. Na temelju vremenski uvjeta i drugih operativnih pretpostavki sa faktorom opterećenja od 62%, IEEE 738 izračuni sugeriraju da će ACCC vodič

uštedjeti više od 300.000 MWh električne energije godišnje na 160,9 km dalekovoda. To možemo usporediti s uštedom energije dobivene zamjenom žarulje (100 *W*) ekvivalentnom LED žaruljom. LED smanjuje potrošnju električne energije za oko 80% u odnosu na standardne žarulje sa žarnom niti. Upotreba 12 LED žarulja će uštedjeti 1 kW električne energije po satu. Ako pretpostavimo 4 sata dnevno te 365 dana u godini korištenja žarulja, to će donijeti uštedu od 300.000 MWh električne energije. Po cijeni od 20 $ za LED žarulju, ušteda energije će proizaći u trošak kapitala 51.369.863 $. U usporedbi s tim CTC Global ACCC vod (3 faze) će koštati oko 14 milijuna *$* za 600 milja (960 km) voda (ne uključujući hardver i troškove instalacije). Treba pretpostaviti i ove troškove, ali i naznačiti da se vod neće morati mijenjati svakih 5 god kao žarulje. LED će morati biti zamijenjen svakih pet godina, trošak ušteda energije će se popeti na više od $ 400,000,000. S gledišta zaštite okoliša, na temelju prosječne emisije CO_2 iz svih kombiniranih izvora električne energije u SAD-u, ulaganje u efikasnost elementa mreže će smanjiti emisiju za oko 200.000 tona CO_2 godišnje. Zaključak je da je zamjena vodova značajno jeftiniji alternativa u usporedbi s ulaganjem na smanjenje emisije automobila u Sjevernoj Americi. [1]



Slika 2.11.*Smanjene gubitaka dalekovoda*
(Izvor: www.ctcglobal.com; Preuzeto: travanj 2016.god)

Slika 2.11. prikazuje smanjenje gubitaka dalekovoda od ACCC vodiča u odnosu na ACSR vodič kao funkciju faktora opterećenja na vodu duljine 32 kilometara.

- Smanjena težina vodiča

Toplinska stabilnost i smanjen toplinski koeficijent u ACCC vodiču omogućuje vodičima manje naprezanje, čime se smanjuje djelovanje na stupove dalekovoda. ACCC vodič ima manje vrijednosti težine po metru u odnosu na druge vodiče koji se danas koriste u električnim mrežama.[1]

- Pouzdanost

Pouzdanost je najvažnija stavka kod mrežnih operatera, a tu je apsolutno najvažniji element vod. Propad linije može uzrokovati velike ekonomske gubitke te ugroziti ljudske živote i imovinu. CTC Global ACCC vodič nudi novu razinu performansi i pouzdanosti koja prethodno nije bila dostižna. Dugovječnost je također važna. Kompozitna jezgra u ACCC vodiču povisuje učinkovitost na vrlo veliku razinu. U ACCC vodičima jezgra od ugljičnih vlakana nije samo otporna na teške uvjete iz okoliša i koroziju nego opire se i dugotrajnim velikim opterećenjima. Sve je ciklički u svijetu vodiča, uključujući napetosti, temperature, vibracije. To su samo neki od razloga zašto su vodiči kompozitnih jezgri pronašli primjenu u vrlo zahtjevnim situacijama. Proizvođač aviona Boeing je proizveo 787 Dreamliner pomoću tehnologije ugljičnih vlakana, ne samo zbog poboljšanja učinkovitosti i performansi nego su produžili radni vijek tog proizvoda upravo zbog otpornosti tog materijala na dugotrajna opterećenja.[1]

Primjer je 2003.god godina kada je elektroenergetska mreža na sjeveroistoku Sjedinjenih Država i Kanade doživjela je veliki raspad uzrokovan nizom prekida vodova poslije niza događaja koji su uključivali netočne telemetrijskih podataka i računalne propuste. CTC Global ACCC vodovi bi zasigurno spriječili ili znatno minimizirali taj događaj upravo zbog velike izdržljivosti pod pritiskom izuzetno nepovoljnih opterećenja. [1]

- Izgradnja novih trasa dalekovoda

Mogu se rekonstruirati postojeće trase dalekovoda sa smanjenim strukturnim modifikacija ili modifikacije uopće nisu potrebne. To smanjuje troškove kapitalnih ulaganja i vrijeme do završetka izgradnje nove trase. Nove dalekovodne linije mogu biti izgrađene sa smanjenim brojem stupova iskorištavanjem ACCC vodiča u donjem profilu provjesa što značajno smanjuje troškove potrebne za postavljanje stupova.[1]

- Jednostavnost instalacije

Za ugradnju ACCC vodiča koriste se uobičajeni načini ugradnje, alati i oprema. Nisu potrebni posebni alati za postavljanje vodova. U nekim slučajevima teži ACCC vodič se može instalirati na postojeće stupove što omogućava daljnje povećanje kapaciteta prijenosa snage i smanjenje gubitaka na vodovima.[1]

- Otpornost na koroziju i vremenske poremećaje

ACCC vodič odupire se djelovanju okoliša. Hrđa, trulež, nagrizanja neće uzrokovati degradaciju aluminijskih vodova ili pomoćnih dijelova. Nakon uragana Katrina, Sandy, Haiyan i mnogih drugih postalo je jasno da klimatske promjene uzrokuje učestalost i ozbiljnost vremenskih poremećaja te je time otežan prijenos energetskim mrežama. Klimatske promjene su također povećale opasnost od požara u određenim područjima. CTC Global ACCC vodič ima dokazane izvještaje na otpornost od nepovoljnih vremenskih uvjeta ali i preživljavanje kada su spaljene ili popucale drvene, betonske ili aluminijske konstrukcije. Kompozitna jezgra je dva puta jača od čelika te je zbog toga manja mogućnost oštećenja i lomljenje vodova.[1]

Kao primjer može poslužiti tornado koji je pogodio Moore u saveznoj državi Oklahoma. Krhotine su pogodile 50 metara visok stup koji je podržavao ACCC vod. Stup se srušio pod kutem od 45 stupnjeva i nije dodirivao tlo. Iako je udarni val uzrokovao pucanje aluminijskih vlakana, kompozitnu jezgru nije uspio slomiti. Popravak dalekovoda je uvelike bio olakšan zbog očuvanja jezgre. Godinu dana ranije u saveznoj državi Nevadi je drvo H-okvirne konstrukcije podržavalo ACCC vodič te je zbog požara čitava konstrukcija spaljena. ACCC vod nije bio oštećen. Nakon što je zamijenjena drvene konstrukcija, ACCC vod je podignut natrag na mjesto i stavljen u pogon.[1]

Tablica 2.1. *Karakteristike osnovnih materijala koji se koriste u nadzemnih vodova .*

MATERIJALI JEZGRE				
MATERIJAL	***Težina***	***Modul elastičnosti***	***Prekidna sila***	***Temperaturni koeficijent***
	(daN/m,mm²)	*(daN/mm²)*	*(daN)*	(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

(Izvor: www.ctcglobal.com; Preuzeto: travanj 2016.god)

2.5. Presjeci ACCC vodiča

Trenutno postoji devet standardnih veličina jezgri ACCC vodiča koje su uključene u približno 40 konstruiranih vodiča u rasponu od 300 kcmil (150 mm^2) do 2.800 kcmil (1400

mm^2). Tablica 2.2. prikazuje pojedinačno svojstva pojedinih jezgri. Tablica 2.3. i Tablica 2.4. sažeto prikazuju korištene vodiče i njihova svojstva po IEC normi. Dok tablica 2.2 prikazuje određene specifikacije visokotemperaturnih vodiča izražene u metričkim jedinicama.

Tablica 2.2. *Specifikacije za ACCC vodiče u metričkim jedinicama*

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^2)*	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	*($\times 10^{-6}$/°C)*	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61
Specifični toplinski kapacitet jezgre	*(J/g°C)*	0,813	0,813	0,813	0,813	0,813	0,813	0,813	0,813
Preporučena radna temperaturta	*(°C)*	180	180	180	180	180	180	180	180
Kritična temperatura jezgre	*(°C)*	200	200	200	200	200	200	200	200

(Izvor: www.ctcglobal.com; Preuzeto: travanj 2016.god)

Svaki projekt ima svoje jedinstvene zahtjeve. Teren, električna struja, kapacitet voda, ekološki uvjeti i stanje postojećih objekata su neki od svakodnevnih čimbenika pri dizajniranju vodiča. Proizvođači su dizajnirali toliko presjeka vodiča da je moguće za veliku većinu projekata iskoristiti standardne dizajnirane vodiče. Povremeno nije moguće naći optimalno rješenje koristeći standardne vodiče te se stoga poseže za dizajniranjem novih vodova.

Tablica 2.3. *Prikaz specifikacija ACCC korištenih u SAD-u*

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**	
ATSM veličina	(kcmil)	(mm^2)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(kN)	(kN)	(ohm/mile)	(ohm/mile)	(ohm/mile)	100°C	180°C
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
BEAUMONT	1429	723,9	32,87	9,53	2136	153,8	194,4	0,0623	0,0661	0,0785	1,381	2,096
SAN ANTONIO	1475	747,3	33,40	9,78	2212	162,1	204,2	0,0603	0,0623	0,0738	1,432	2,176
BITTERN	1582	801,4	34,16	8,76	2331	130,2	175,3	0,0566	0,0603	0,0714	1,465	2,229
DALLAS	1795	909,5	36,88	9,78	2671	162,1	213,1	0,0497	0,0546	0,0640	1,585	2,430
HOUSTON	1927	976,6	38,25	10,54	2878	188,3	243,3	0,0459	0,0510	0,0596	1,660	2,554
LAPWING	1949	987,5	38,20	9,78	2887	162,1	217,5	0,0458	0,0507	0,0595	1,660	2,547
FALCON	2045	1036,2	39,24	10,54	3044	188,3	246,4	0,0436	0,0479	0,0563	1,719	2,639
CHUKAR	2242	1135,8	40,74	10,03	3303	170,6	234,4	0,0398	0,0445	0,0521	1,808	2,785
BLUEBIRD	2741	1388,7	44,75	10,54	4022	188,3	266,4	0,0326	0,0387	0,0447	2,010	3,130

(Izvor: www.ctcglobal.com; Preuzeto i prevedeno: travanj 2016.god)

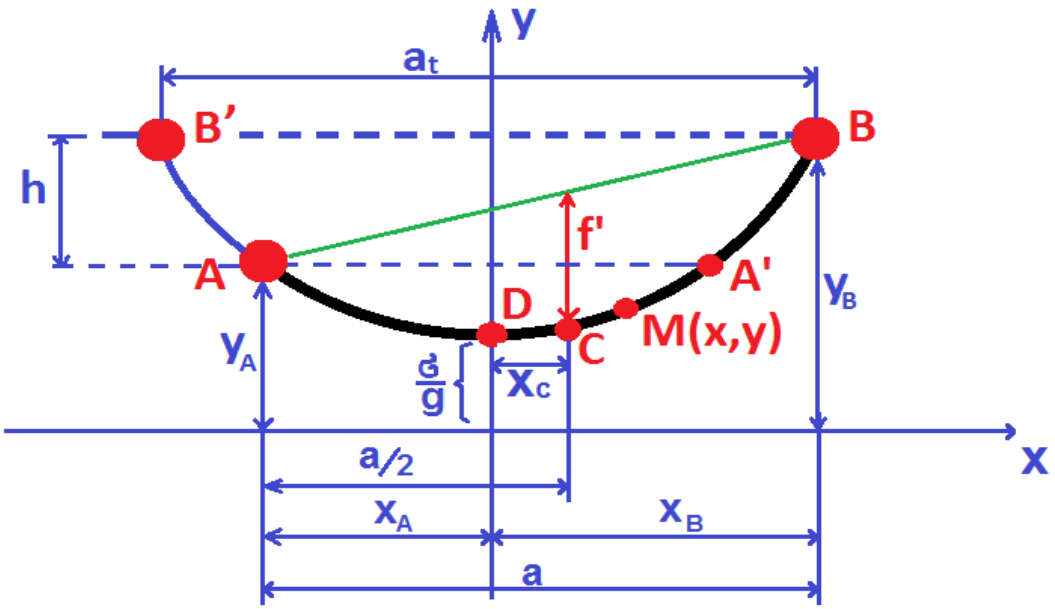
Tablica 2.4. *Prikaz specifikacija ACCC korištenih u Europi*

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	
Internacionalna veličina	(kcmil)	(mm²)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(kN)	(kN)	(ohm/km)	(ohm/km)	(ohm/km)	100°C	180°C
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
STOCKHOLM 2L	914	463,3	26,39	8,76	1395	130,2	156,2	0,0605	0,0625	0,0746	1,049	1,576
STOCKHOLM 3L	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
MUMBAI	1353	685,4	31,78	9,53	2035	153,8	192,0	0,0410	0,0431	0,0511	1,336	2,025
MUNICH	1447	733,1	32,84	9,53	2170	153,8	195,0	0,0384	0,0405	0,0480	1,392	2,113
LONDON	1498	759,0	33,40	9,78	2248	162,1	204,8	0,0370	0,0391	0,0464	1,424	2,164
PARIS	1606	813,7	34,16	8,76	2366	130,2	175,9	0,0345	0,0368	0,0435	1,480	2,254
BORDEAUX	1738	880,8	35,76	10,54	2766	188,3	237,9	0,0318	0,0340	0,0402	1,560	2,381
ANTWERP	1865	944,8	36,86	9,78	2760	162,1	215,2	0,0297	0,0321	0,0378	1,623	2,483
MADRID-ICE	1986	1006,5	38,20	10,54	2949	188,3	245,0	0,0278	0,0303	0,0356	1,692	2,594
MADRID	1999	1013,0	38,20	10,54	2948	188,3	219,1	0,0276	0,0302	0,0354	1,696	2,602
ATHENS	2782	1409,6	44,75	10,54	4066	188,3	267,6	0,0199	0,0231	0,0267	2,050	3,189

(Izvor: www.ctcglobal.com; Preuzeto i prevedeno: travanj 2016.god)

3. MEHANIČKI PRORAČUN VODIČA

Pri mehaničkom proračunu vršimo usklađivanje mehaničkog naprezanja u vodičima i njegova provjesa. Pri tome provjesi i naprezanja u vodičima ne smiju prekoračiti dozvoljenu granicu kod ekstremnih klimatskih uvjeta.[1]



Slika 3.1. *Vodič u kosom rasponu*
(Izvor: www.oldriteh.com; Preuzeto: travanj 2016god.)

Pretpostavke koje se uzimaju pri mehaničkom proračunu vodiča:

1) Točke ovjesišta i duljina raspona je točno definirana;

2) Vodič je homogen;

3) Vodič je potpuno gibak;

4) Dodatno opterećenje je cijelom duljinom voda jednolično;

5) Vlastita težina voda i dodatno opterećenje je orijentirano vertikalno prema dolje, a smjer vjetra je vodoravan, odnosno sila vjetra je okomita na smjer težine voda.

Točnost mehaničkog proračuna vodiča:

1) Vrlo točni proračun – krivulja provjesa se nadomješta elastičnom lančanicom;

2) Točni proračun – krivulja provjesa se nadomješta lančanicom;

3) **Približni proračun** – krivulja provjesa se nadomješta parabolom.

U inženjerskom projektiranju nadzemnog voda koristi se približni proračun jer je mnogo jednostavniji, a dovoljno točan za sigurnu izgradnju voda. Obično se računa s horizontalnim naprezanjem (naprezanje u najnižoj točki vodiča), ali se mora voditi računa i o naprezanju u ovjesištu, koje je veće. U proračunu veliku ulogu ima temperatura vodiča i zaštitne užadi. Pri mehaničkom proračunu vrijede temperaturni opsezi koji su između -20˚C i +40˚C, a smatra se da se dodatni zimski teret stvara pri -5˚C.[2]

U električnom pogledu dimenzioniraju se vodiči s obzirom na struju koja u njima teče i s obzirom na njihov napon. Jouleovi gubitci u otporu vodiča moraju ostati u granicama ekonomičnosti, a nadtemperatura vodiča zbog tih gubitaka ne smije prekoračiti dozvoljenu granicu koja je obično 40˚C. Jakost električnog polja oko vodiča ne smije prekoračiti električnu čvrstoću zraka, da ne dođe do gubitaka korone. Grubo se može uzeti da promjer vodiča u milimetrima mora iznositi barem $\frac{1}{9}$ linijskog napona u kilovoltima. Treba voditi i računa o prijenosu električne energije u cjelini. Tako npr. ne smije nastati prevelik fazni pomak napona na početku voda prema naponu na kraju voda, koji bi mogao spriječiti stabilni prijenos.[2]

Raspon je horizontalni razmak između dvaju susjednih stupova. Osim horizontalnog razmaka, razlikujemo još i kosi razmak. Kosi razmak je najkraći razmak između ovjesišta stupova između kojih postoji denivelacija. Denivelacija je visinska razlika između dva susjedna stupa postavljena na neravnom terenu. Točke ovjesišta su mjesta na kojima je vodič učvršćen za stup. Provjes vodiča je vertikalni razmak između sredine dužine koja spaja točke ovjesišta i vodiča. Isto vrijedi i za provjes zaštitnog užeta. Sigurnosna visina je najmanja dozvoljena visina između najnižeg vodiča nadzemnog voda pod naponom i zemlje pri maksimalnom provjesu.[2]

3.1. Mehanička čvrstoća vodiča

Pri računanju mehaničkog proračuna vrlo važan čimbenik je mehanička čvrstoća vodiča koja se računa prema relaciji:

$$G_0 = m_1 \cdot g \ \text{(N/m)} \tag{3-1}$$

gdje je:

m_1 – jedinična masa vodiča (kg/m);

g - gravitacija, za čiju vrijednost se uzima g=9.81 (m/s) .

Često se u proračunima koriste reducirane vrijednosti. Reducirana vrijednost vlastite težine vodiča se računa prema relaciji:

$$g_0 = \frac{G_0}{A} \quad [\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{mm^2 m}}] \tag{3-2}$$

gdje je A [mm^2] stvarni presjek vodiča.

Zatezna sila F svedena na prvobitni presjek A naziva se zateznim naprezanjem σ (daN/mm^2):

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{3-3}$$

Rastezanje λ je u postocima izraženo produženje vodiča Δl, svedeno na prvobitnu dužinu vodiča l:

$$\lambda\% = \frac{\Delta l}{l} \cdot 100 \tag{3-4}$$

Elastično naprezanje λ_e nastaje nakon prestanka opterećivanja za razliku od trajnog rastezanja koje ostaje i nakon opterećivanja (λ_t). Zbroj ta dva rastezanja je rastezanje λ zbog opterećenja koje je se prilikom opterećivanja može izmjeriti. Omjer naprezanja i rastezanja kada nema trajnog rastezanja naziva se modulom elastičnosti E (daN/mm^2):

$$E = \frac{\sigma}{A} \tag{3-5}$$

Prekidna čvrstoća σ_P (daN/mm^2) je najveće naprezanje koje nastupa pri ispitivanju na kidanje i koje uže može izdržati tokom jedne minute. Trajno naprezanjeσ_t (daN/mm^2) je ona vrijednost naprezanja za zatezanje koja ne smije biti prekoračena kod iznimnih prilika, kod -5℃ uz dodatni zimski teret, koja bi naprežući uže konstantno prouzrokovala njegovo kidanje nakon godinu dana. Dozvoljeno naprezanje σ_d (daN/mm^2) je vrijednost čvrstoće određena iz praktičnih iskustava za različite materijale vodiča, koje uže podnosi u neograničenom trajanju bez promjene oblika. Kod zategnutih užeta horizontalna komponenta naprezanja dostiže dozvoljeno naprezanje bilo kod -5˚C uz dodatni zimski teret , bilo kod -20˚C bez dodatnog tereta.[2]

3.2 Sile koje djeluju na vodiče dalekovoda

3.2.1 Vertikalne sile

a) Vlastita težina vodiča

Svedena na vodič dužine 1m i presjeka 1mm^2, za vlastitu težinu vodiča G (daN) vrijedi izraz:

$$G = g \cdot l = \gamma \cdot A \cdot l \tag{3-6}$$

gdje je:

g – težina vodiča po jedinici dužine(daN/m)

l – dužina vodiča (m)

A – stvarni presjek vodiča (mm^2)

γ – specifična težina vodiča (daN/m,mm^2)

Reducirana vlastita težina vodiča:

$$\gamma = \frac{g}{A} \tag{3-7}$$

Dodatni teret

Nastupa u pravilu zbog zaleđenja. Razlikuju se normalni i iznimni dodatni teret. Normalni dodatni teret označava se prema propisima kao najveći teret zbog zaleđenja koji se na dotičnom mjestu pojavljuje prosječno svakih 5 godina, ali se ne smije uzeti vrijednost manja od:

$$\Delta g = 0.18\sqrt{d}\ [\text{daN/m}] \tag{3-8}$$

gdje je d promjer vodiča u mm.

Po pravilu kao normalni teret uzimaju se samo vrijednosti koje se dobiju ako se najmanja vrijednost gornjeg izraza pomnoži sa *k=1.0; 1.6; 2.5; 4.0* .

Pri mehaničkim proračunima uže opterećeno dodatnim teretom tretira se kao da mu se specifična težina povećala za taj dodatni teret. Specifična težina sa zimskim dodatnim teretom γ_z je:

$$\gamma_z = \gamma + \Delta\gamma = \gamma + \frac{\Delta g}{A} \tag{3-9}$$

Kao iznimni dodatni teret uzima se najveće dodatno opterećenje koje se na dotičnom mjestu pojavljuje prosječno svakih 20 godina, ali ne manje od dvostrukog normalnog tereta.

3.2.2 Horizontalne sile

Horizontalne sile nastupaju zbog pritiska vjetra duž dalekovoda. Vjetar predstavlja opterećenje promjenjive vrijednosti, koje se povremeno pojavljuje, a u proračunima se uzima u obzir putem sile čije je djelovanje ravnomjerno raspodijeljeno i horizontalnog je smjera. Sila vjetra F_v (daN) koja djeluje na ravnu površinu okomitu na smjer vjetra iznosi:

$$F_v = cpA \tag{3-10}$$

ili svedena na jedinicu dužine vodiča (uz $A=d\cdot l$)

$$f_v = cpd \cdot 10^{-3} \tag{3-11}$$

gdje su:

f_v - sila vjetra po jedinici dužine voda (daN/m);

c - koeficijent aerodinamičnosti djelovanja vjetra;

p - specifični pritisak vjetra (daN/m^2);

A – stvarna nezaleđena površina napadnuta vjetrom – ako se radi o stupu, ili projekcija nezaleđene površine vodiča okomita na smjer vjetra (m^2);

d – promjer vodiča (mm).

Specifični pritisak vjetra (daN/m^2) računa se iz izraza koji ukazuje na kvadratičnu ovisnost o brzini vjetra:

$$p = \frac{v^2}{16} \tag{3-12}$$

gdje je v maksimalna brzina vjetra u m/s, koja se na promatranom odsjeku voda pojavljuje prosječno svakih pet godina, a za dalekovode 400 kV i u dužem razdoblju. Brzina vjetra je na manjim visinama od zemlje zbog otpora objekta blizu tla manja i raste prema gore.

Tablica 3.1. *Specifični pritisak vjetra*

Visina voza voda	Specifični pritisak vjetra p (daN/m^2)				
Vodovi do najviše 15 m iznad zemlje	50	60	75	90	110
Osnovna visinaska zona od 0 do 40 m iznad zemlje	60	75	90	110	130
Dijelovi voda u zoni između 40 i 80 iznad zemlje	75	90	110	130	150

(Izvor: www.etfos.unios.hr ;Eletrotehnički fakultet Osijek; Preuzeto: svibanj 2016god.)

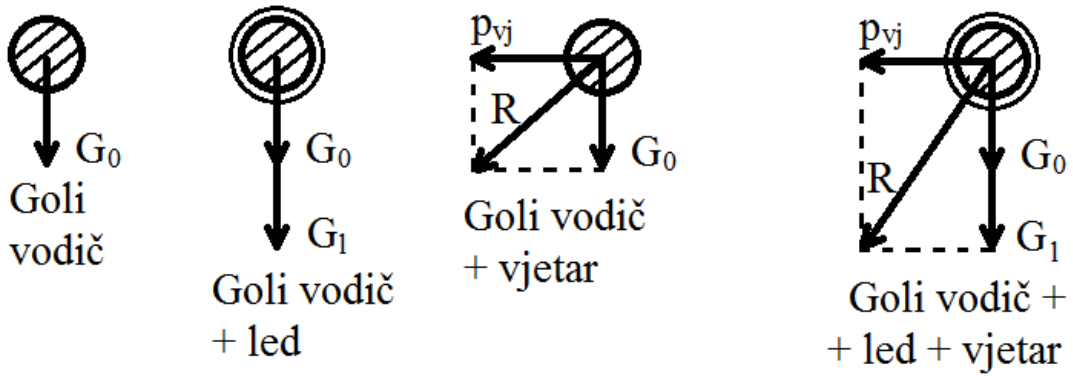
Zbog vjetra se povećava opterećenje otklonjenog vodiča. Rezultantsko opterećenje f_r dobiva se kao vektorski zbroj sila koje djeluju na vodič:

$$f_r = \sqrt{g^2 + {f_v}^2} = \frac{g}{\cos\propto} \tag{3-13}$$

Odavde je rezultantska sila po jedinici dužine svedena na 1 mm^2 presjeka vodiča:

$$\frac{f_r}{A} = \frac{g}{A\cos\propto} = \frac{\gamma}{\cos\propto} = \gamma_r \tag{3-14}$$

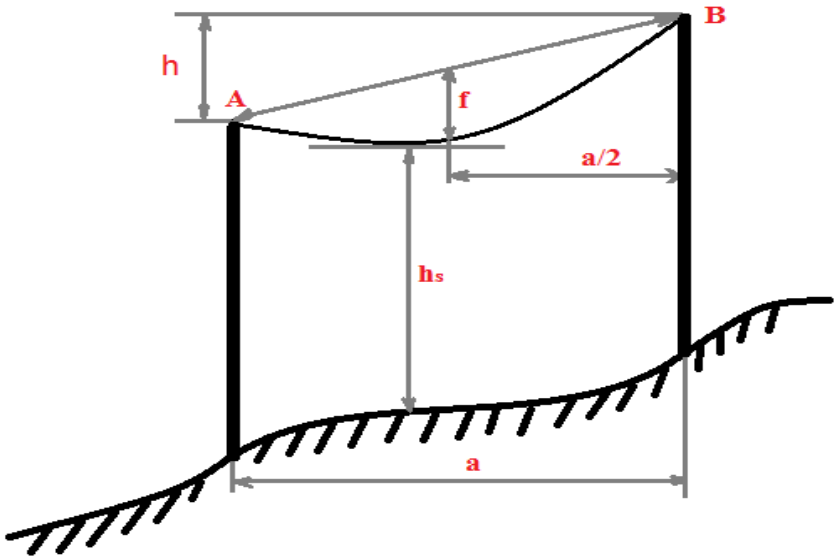
Vjetar djeluje na vodič tako kao da mu se specifična težin apovećala 1/cos $\propto$ puta.



Slika 3.2. *Sile na vodič uslijed djelovanja leda i/ili vjetra*
(Izvor: www.etfos.unios.hr ;Eletrotehnički fakultet Osijek; Preuzeto: svibanj 2016god.)

3.3. Proračun provjesa

Prilikom promjene stanja vodič se u čitavoj svojoj dužini rasteže ravnomjerno bez promjene presjeka, a modul elastičnosti i temperaturni koeficijent rastezanja ostaju konstantni za određeni materijal vodiča. Zategnuti vodič poprima oblik lančanice, jer je to krivulja koja uz gornje pretpostavke i pod djelovanjem vertikalne sile težine osigurava položaj s najmanjom potencijalnom energijom. Točna vrijednost provjesa računa se pomoću jednadžbe lančanice. Jednostavniji je postupak aproksimiranja lančanice parabolom, što osim za velike raspone daje prihvatljive rezultate. [2]



Slika 3.3. *Vodič u rasponu*
(Izvor: www.oldriteh.com; Tehnički fakultet u Rijeci; Preuzeto: travanj 2016god.)

Na prethodnoj slici s a je označen raspon, a najveći mogući provjes s f . Težina užeta po metru duljine se označava s g. Iz simetrije krivulje užeta u odnosu na okomicu koja prolazi njegovom najnižom točnom slijedi da se uže na sredini može u mislima presjeći, te se druga polovica može nadomjestiti zateznom silom F. Jednadžba momenta koji djeluje na točku ovješenja glasi:

$$F \cdot f = (g \cdot \frac{a}{2}) \cdot \frac{a}{4} \tag{3-15}$$

provjes je izveden odavde:

$$f = \frac{a^2 g}{8F} \text{ (m)} \tag{3-16}$$

uzimajući u obzir ovisnosti $g=\gamma \cdot A$, i $F=\sigma \cdot A$ dobiva se:

$$f = \frac{a^2 \gamma}{8\sigma} \text{ (m)} \tag{3-17}$$

Provjes uz dodatni zimski teret f_z je:

$$f_z = \frac{a^2 \gamma_z}{8\sigma_z} \tag{3-18}$$

gdje je γ_z specifična težina zaleđenog užeta, a σ_z naprezanje kod -5℃ uz dodatni teret.

3.4. Jednadžba stanja zategnutog vodiča

Porastom temperature vodič se rasteže, a provjes povećava. Zbog toga se njegovo naprezanje smanjuje. Time se smanjuje elastično naprezanje, što rezultira smanjenjem provjesa prouzrokovanog promjenom temperature. Pri smanjivanju temperature vodič se steže, provjes postaje sve manji, naprezanje veće, ali povećana zatezna sila povećava elastično rastezanje, a time ublažava smanjenje provjesa prouzrokovanog promjenom temperature. Ovisnost između temperature i naprezanja, odnosno temperature i provjesa naziva se jednadžbom stanja zategnutog vodiča.[2]

Propisima određene temperaturne granice su -20˚C i 40 ˚C, a temperatura mjerodavna za stvaranje zimskog dodatnog tereta je -5℃. Vodič treba montirati tako da najveće radno naprezanje u njemu (σ_{max}) na temperaturi od -20˚C bez dodatnog tereta u mirnom vremenu ili na temperaturi -5 ˚C uz dodatni teret u mirnom vremenu ne bude veće od dozvoljenog naprezanja koje je propisano za taj vodič. Također se kontrolira najveći provjes koji ovisno o parametrima vodiča nastupa ili na +40℃ ili na -5℃ uz dodatni teret.Weil-ova jednadžba (jednadžba stanja vodiča) glasi:

$$t - t_0 = \frac{\propto^2}{24\propto}\left[\left(\frac{\gamma}{\sigma}\right)^2 - \left(\frac{\gamma_0}{\sigma_0}\right)^2\right] - \frac{\sigma - \sigma_0}{\propto E} \tag{3-19}$$

Dobivena jednadžba daje ovisnost između naprezanja i temperature prilikom promjene stanja vodiča. Polazeći od vrijednosti t_0i σ_0 za početno stanje, pomoću jednadžbe izračunava se

naprezanje σ za neku drugu temperaturu t, te se na osnosu novih parametara može izračunati provjes za tu temperaturu. [2]

Familija krivulje $H = f(t)$ umjesto krivulja $\sigma = f(t)$ dobiva se koristeći izraz:

$$H = A \cdot \sigma = A \cdot \frac{a^2 \gamma}{8f} \tag{3-20}$$

Pomoću prethodne jednadžbe je moguće dobiti mentažne krivulje, ali je potrebno napomenuti da je naprezanje σ zamijenjeno s vlačnom silom H (daN) koja se mjeri dinamometrom, što je prikladnije za montažu voda.[2]

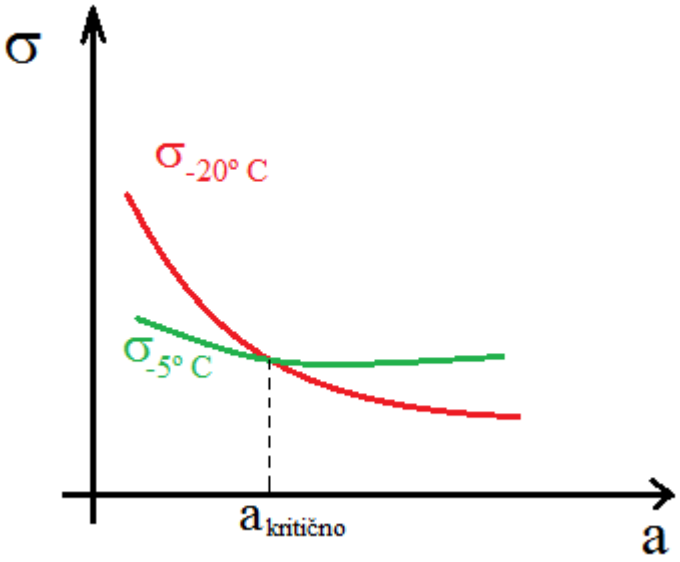
3.5. Određivanja mjerodavnih stanja pri postavljanju jednadžbe stanja

Zbog stanja s dodatnim teretom potrebno je vodič kontrolirati i izvan određenih granica temperature. Najveći provjes nastupio bi na 40℃ a najveće naprezanje na - 20℃. Propisi predviđaju i ispitivanje stanja na – 5℃ uz dodatni teret. Ovu točku je nemoguće uklopiti u jednadžbu stanja, jer na mjesto specifične težine golog vodiča dolazi specifična težina uz dodatni teret. Kod golog vodiča najveće naprezanje na -20℃ znači i najmanji provjes, kod vodiča s dodatnim teretom veliko naprezanje ide uz veliki provjes. Uvrštenjem ovog singulatnog stanja rješava se na taj način što se stanje s dodatnim teretom svodi na stanje golog vodiča.[2]

3.5.1. Određivanje stanja najvećeg naprezanja po kriteriju kritičnog raspona

Pri dimenzioniranju treba poći od najnepovoljnijeg stanja u kojemu u vodiču nastupa najveće naprezanje. Ono će nastupiti kod golog vodiča na -20 ºC ili kod vodiča s dodatnim teretom na -5 ºC. Raspon pri kojem je naprezanje vodiča na -5 ºC uz dodatno opterećenje jednako opterećenju na -20º C zovemo kritični raspon a_k. [2]

$$\sigma_{-20} = \sigma_z = \sigma_{max} \leq \sigma_d$$



Slika 3.4. *Kritični raspon*
(Izvor: www.oldriteh.com; Preuzeto: travanj 2016god.)

Ako uvrstimo uvjet kritičnog raspona u jednadžbu stanja dobijemo formulu za kritični raspon:

$$a_{kr} = \sigma_{max} \cdot \sqrt{\frac{360 \propto}{\gamma^2 - \gamma_z^2}} \tag{3-21}$$

Veličina pod korijenom je u gornjoj jednadžbi konstantna za dani vodič, te kritični raspon ovisi isključivo o najvećem radnom naprezanju $\sigma_{max} \leq \sigma_d$.[2]

3.5.2. Određivanje stanja najvećeg provjesa po kriteriju kritične temperature

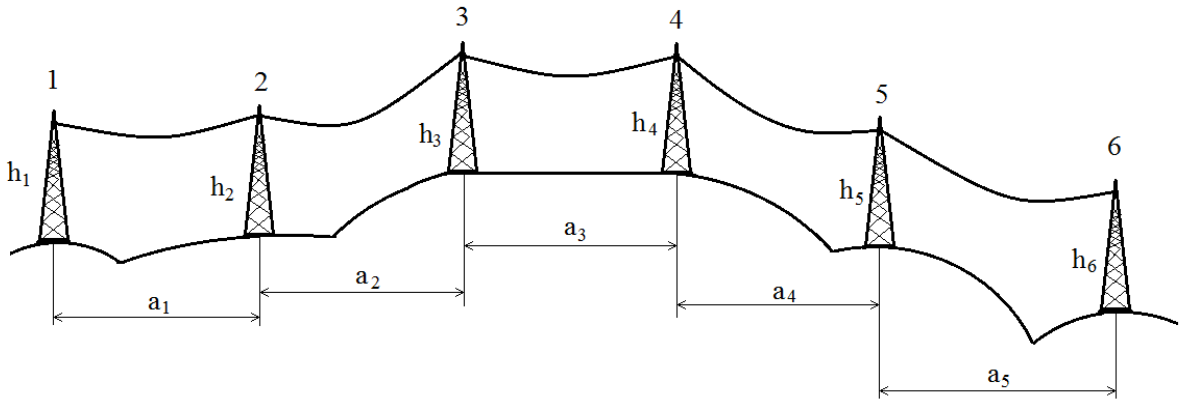
Propisi ne sadržavaju posebna ograničenja u vezi s najvećim provjesom vodiča ali zbog sigurnosnih razloga propisuju se minimalne visine iznad tla odnosno objekta. Najveći provjes f_{max}vodiča događa se pri temperaturi od + 40 ºC ili pri temperaturi od – 5 ºC uz dodatno opterećenje zbog leda ili snijega. Temperatura pri kojoj se događa maksimalni provjes se naziva kritična temperatura.[2G

$$t_{kr} = \frac{\sigma_z}{\propto E}\left(1 - \frac{\gamma}{\gamma_z}\right) - t_z \tag{3-22}$$

3.6. Jednadžba stanja zateznog polja s nejednakim rasponima – idealni raspon

Pri izboru mjesta stupova na neravnom terenu treba se prilagoditi uvjetima terena, zato što je zatezno polje sastavljeno od raspona različite dužine. U svakom rasponu trebalo bi ostvariti drugu zateznu silu što je praktično nemoguće zato što se u vodiču smještenom na

koturima može ostvariti samo jedna određena zatezna sila. Izjednačavajuće naprezanje zateznog polja u bilo kojem stanju određuje se uz pretpostavku da je u početnom stanju ukupna dužina vodiča poznata i jednaka zbroju dužina lukova lančanica, odnosno parabola u pojedinim rasponima.[2]



Slika 3.5. *Zatezno polje od 5 raspona*
(Izvor: www.ieee.hr ; Preuzeto: rujan 2016god.)

Zajedničko izjednačavajuće naprezanje zateznog polja s horizontalnim rasponima različitih dužina prilikom promjene stanja formira se kao naprezanje jednog jedinog idealnog raspona čija se dužina može izraziti kao:

$$a_i = \sqrt{\frac{\sum_{r=1}^{n} a_r^3}{\sum_{r=1}^{n} a_r}} \tag{3-23}$$

Nakon izračunavanja idealnog raspona potrebno je izračunati zajedničko naprezanje pri različitim temperaturama, a zatim i provjesi iz izraza:

$$f_r = \left(\frac{\gamma}{8\sigma}\right) a_r^2 \tag{3-24}$$

gdje je član u zagradi za pojedine temperature konstanta koja vrijedi za sve raspone. Idealnom rasponu pripada idealni provjes:

$$f_i = \left(\frac{\gamma}{8\sigma}\right) a_i^2 \tag{3-25}$$

kombiniranjem posljednjih dvaju izraza može se bilo koji provjes f_r u zateznom polju izraziti u funkciji idealnog raspona i idealnog provjesa:

$$f_r = f_r \left(\frac{a_r}{a_i}\right)^2 \tag{3-26}$$

Određivanje mjerodavnog stanja s obzirom na najveće naprezanje u slučaju promatranja čitavog zateznog polja vrši se također na osnovi kritičnog raspona, koji se naravno uspoređuje s idealnim rasponom.[2]

3.7. Strujna opteretivost vodova

Električni vodovi u pogonskom stanju su stalni izvori topline. Prije puštanja u pogon oni imaju temperaturu jednaku temperaturi svoga okoliša. Nakon puštanja u pogon, temperatura vodiča se povećava te nakon toga slijedi prijenos topline na okoliš. Prijenos topline je intenzivniji što je veća temperaturna razlika između okoliša i vodiča. To prijelazno stanje traje sve dok se ne postigne tako visoka temperatura vodiča u vodu da novoproizvedena toplina postane jednaka toplini koja se prenese na okoliš. Ravnoteža se mijenja dok se ne promijeni struja u vodu. Dopuštenu temperaturu proizvođač je dužan naglasiti zato što je to bitan element voda. Toplina koja je bila potrebna da se vod zagrije s temperature okoliša na dopuštenu temperaturu određena je toplinskim kapacitetom voda, a on određuje ponašanje voda u prijelaznim režimima rada. Kako stvarne prilike rijetko odgovaraju uvjetima koje je proizvođač definirao, ostaje zadatak izračunati potrebne korekcije i izbjegavati temperature iznad dopuštene. Iako se toplina proizvodi po cijelom presjeku vodiča, radi njegove dobre toplinske vodljivosti zanemarujemo otpor prijenosu topline unutar samog vodiča i računamo kao da se ukupna toplina izvorno pojavljuje na površini vodiča.[2]

3.7.1. Toplinsko dimenzioniranje vodiča

Toplinski otpor samog vodiča ovisi prije svega o njegovoj konstrukciji i ostalim svojstvima materijalima. Najjednostavniji je slučaj golog vodiča u zraku gdje se toplina neposredno odvodi s površine vodiča na okolni zrak putem konvekcije i emisije. Tu je odlučujuća (veličinom oblikom) površina vodiča i postignuta nadtemperatura (razlika temperature vodiča i dovoljno dalekog okoliša). Posljedica preopterećenja je pretjerano izduživanje vodiča (povećanje provjesa i smanjenje sigurnosnih razmaka). Prikladno je uzimati u računu samo razlike u temperaturi (nadtemperaturu) prema okolišu bez topline koju donosi vodič. Kako je tu također mali utjecaj temperaturne promjene otpora vodiča, može se toplina proizvedena u vodu promatrati kao da ovisi samo o kvadratu struje.[2]

3.7.2. Strujna opteretivost vodiča

Tehnički propisi u raznim europskim zemljama nisu ujednačeni glede strujnih opterećenja standardnih presjeka. Logično bi bilo očekivati da je dopuštena jednaka gustoća struje za bliske presjeke. Ako opterećenje dalekovoda varira tijekom vremena, mijenjat će se i zagrijavanje vodiča. Ako su te promjene opterećenja dovoljno spore u odnosu na toplinski kapacitet voda, njegova temperatura će pratiti trenutno proizvedenu toplinu. Ako su pak promjene brze, onda će opterećenje voda moći biti i iznad trajno dopuštenoga, a da se ne

prekorači maksimalna dopuštena temperatura vodiča. Toplinsku vremensku konstantu možemo odrediti prema relaciji:

$$\tau = \frac{\kappa c \gamma \Delta\vartheta_n}{1+\alpha\Delta\vartheta_n} \bullet \left(\frac{A}{I_n}\right)^2 \tag{3-27}$$

gdje je κ specifična električna vodljivost, *c* specifična toplina, γ specifična gustoća, α koeficijent temperaturne promjene električnog otpora, $\Delta\vartheta_n$dopušteno povišenje temperature kod normalnih uvjeta, A presjek vodiča i $I_n$nazivna struja. Uobičajeno uzimamo$c\gamma$ za bakar 3.5$\frac{Ws}{cm^2}$, a za aluminij 2.5 $\frac{\mathrm{Ws}}{\mathrm{cm}^2}$. [2]

Kratkotrajno opterećenje može biti intermitirano (ciklusi trajanja t_cs trajanjem opterećenja t_O) ili vršno (primjerice iz dnevnog dijagrama opterećenja). Korekcijski faktor za intermitirano opterećenje moguće je odrediti iz relacije:

$$K = \sqrt{\frac{1-e^{-\frac{t_c}{\tau}}}{1-e^{-\frac{t_0}{\tau}}}} \approx \sqrt{\frac{t_c}{t_0}} \tag{3-28}$$

Ovaj korekcijski faktor treba uzimati kumulativno korekcijskim faktorima koji opisuju toplinske uvjete voda u pogonu.[2]

4. PRORAČUN VODIČA DALEKOVODA SA CCP PROGRAMOM

Odluka o revitalizaciji pojedinog dalekovoda ovisi o stanju njegovih elemenata (vodiči, zaštitno uže, izolacija, ovjesna i spojna oprema, stupovi, temelji i drugo) i ulozi koju on ima u elektroenergetskom sustavu. Uvažavajući ekonomske kriterije obnovu pojedinog dalekovoda nije potrebno obavljati ukoliko njegova pouzdanost i pogonska sigurnost nisu ozbiljnije ugroženi. Ocjenu pogonske sigurnosti pojedinih dalekovoda moguće je donijeti tek nakon detaljnog pregleda i istraživanja dotrajalosti i oštećenja pojedinih dijelova opreme. Osnovni uzrok propadanja električkih komponenata nadzemnih vodova je starenje uzrokovano različitim procesima, posebno u uvjetima značajnijeg opterećivanja vodiča i zagađenja okoline i saliniteta u blizini mora, te zamora materijala. Osnovni proces koji ugrožava vodiče i zaštitnu užad, kao i spojnu i ovjesnu opremu, je korozija. Radi korozije smanjuje se vlačna čvrstoća vodiča i zaštitne užadi. Neka iskustva pokazuju da se veliki broj kvarova na nadzemnim vodovima događa radi korozije zaštitne užadi pri čemu njeni vodiči pucaju nakon što su im znatno pogoršana mehanička svojstva.[6] U [1] definirana je prosječna vrijednost očekivane životne dobi Al/Če vodiča od 54 godine, sa standardnom devijacijom od ±14 godina. Pravi se razlika između vodova koji se nalaze unutar normalnog okruženja, te vodova koji se nalaze unutar izrazito zagađenog područja čija očekivana životna dob električkih komponenata iznosi 46 ± 15 godina. Ističu se sljedeći faktori koji značajno utječu na životnu dob električkih komponenata nadzemnih vodova:

- klimatski uvjeti,
- okoliš,
- korozija,
- razina zamašćivanja vodiča,
- mehanički zamor materijala,
- oštećenja materijala,
- greške izolacije,
- vjetar,
- oborine,
- opterećenje ledom,
- razina zagađenja,
- kvaliteta materijala,
- visoke temperature radi opterećenja vodiča,
- spojke.

Kod operativnog planiranja revitalizacije (unutar nekoliko godina) dalekovode je potrebno podijeliti u različite grupe s obzirom na važnost za ispravno funkcioniranje elektroenergetskog sustava. Prema godinama izgradnje i raspoloživim podacima o stanju dalekovodne opreme odluku o revitalizaciji dalekovoda treba uskladiti s popisom prioriteta određenih prema ispitivanjima očekivanog opterećenja dalekovoda u budućnosti. Izuzetak od tog pravila trebali bi biti samo oni dalekovodi čija je revitalizacija neophodna zbog zastarjelosti ili većih oštećenja opreme (drveni i betonski stupovi, stara užad, oštećeni temelji i drugo). Ako ispitivanja tokova snaga pokažu da prijenosna moć pojedinih dalekovoda nije dovoljna za preuzimanje očekivanog opterećenja u budućnosti opravdano je izvršiti zamjenu vodiča novijim veće prijenosne moći, ukoliko je taj zahvat moguć. Ako se pojavi potreba moguća je i zamjena dodatne opreme. Ispitivanjima je ustanovljeno da zatezna čvrstoća aluminijskih žica Al/Če vodiča da već nakon nekoliko desetaka godina i prije isteka očekivane životne dobi, biva znatno smanjena. [6] Može se izvući zaključak da na korozivne promjene ne utječe samo starost vodiča već i uvjeti u kojima se on nalazi kao što su zagađenje zraka duž trase dalekovoda. Za zateznu čvrstoću aluminijskih žica je bitna i kvaliteta zamašćivanja čelične jezgre. Čeličnu jezgru Al/Če vodiča napada korozija na pojedinim dijelovima, te zbog toga dolazi do smanjenja mehaničkih svojstava istih. Na starenje vodiča utječu i strujna opterećenja kojima su vodiči izloženi tijekom eksploatacije, odnosno toplina koja se unutar vodiča razvija prolaskom struje. Ispitivanja pokazuju da je stanje čelične jezgre vodiča konstruirane za maksimalne temperature od 500 ºC te prosječne temperature od 200 ºC, bitno lošije ukoliko se unutar jezgre razvijaju temperature od maksimalno 1000 ºC, odnosno prosječno 700 ºC.[4] Visoke temperature mogu dovesti i do taljenja aluminijskih žica koje se događa pri dugotrajnim temperaturama od 1000 ºC - 1200 ºC, odnosno do smanjenja njihovih električnih i mehaničkih svojstava pri dugotrajno nižim ili kratkotrajno povišenim temperaturama. Isto se događa i s bakrenim žicama, s time što mehanizam taljenja bakra i utjecaja temperature na svojstva bakra nije tako dobro ispitan kao za aluminij. [4] U uvjetima otvorenog tržišta električnom energijom te bitno promijenjenih tokova snaga u mreži i opterećenja pojedinih jedinica mreže dolazi do znatnih razlika između očekivanih opterećenja pojedinih vodiča za koja su isti konstruirani i ostvarenih opterećenja, što ubrzava starenje pojedinih vodova u mreži, dodatno potencirano povećanim ekonomskim zahtjevima u poslovanju operatora prijenosnih sustava koji ponegdje smanjuju ulaganja u održavanje i revitalizaciju opreme. Radi razvijanja visokih temperatura unutar vodiča ugrožena je i spojna oprema. Stvarno stanje vodiča i zaštitne užadi nadzemnih vodova moguće je ispitivati tijekom pogona dalekovoda ili laboratorijskim pretragama. Stanje vodiča moguće je grubo procijeniti vizualnim pregledom. Nedostatak vizualnog pregleda je što se koroziju čelične jezgre

zamjećuje tek u visokom stadiju, dok je koroziju aluminijskih žica teže vizualno primijetiti, a posebno procijeniti njenu debljinu. Koristeći posebne instrumente koji putuju "duž vodiča", pri čemu jedan mjeri preostali cink na čeličnoj jezgri, a drugi mjeri preostali presjek čelika u jezgri, moguće je detaljnije ocijeniti stanje vodiča. U beznaponskom je stanju moguće vodiče pregledati radiografijom. Za detaljnije ocjene stanja koristi se više vrsta laboratorijskih ispitivanja koja svaka daju korisne informacije o stanju vodiča i zaštitne užadi čiji se uzorci testiraju. Neki od tih testova su sljedeći [6]:

- test vibracijske izdržljivosti (*eng. aeolian vibration endurance test*),
- test oscilacijske izdržljivosti (*eng. galloping endurance test*),
- test prolaznosti na koloturu (*eng. sheave passing test*),
- test torzionalne rastezljivosti (*eng. torsional ductility test*),
- test napetosti i istezanja (*eng. tension and elongation at failure test*),
- test izdržljivosti materijala (*eng. creep test*),
- test preostalog cinka (*eng. remaining zinc test*),
- test prekrivenosti cinkom (*eng. wrap test*),
- vizualni pregled,
- test električne otpornosti,
- metalurgijsko ispitivanje,
- kemijska analiza,
- test ubrzane korozije.

Po otkrivanju određenih posljedica starenja električkih komponenata nadzemnih vodova iste se parcijalno zamjenjuje ili promatra njihov rad. Probijene izolatorske članke mijenja se negdje na polovici eksploatacije dalekovoda, korodirane dijelove vodiča ili zaštitne užadi također se zamjenjuje duž trase gdje je korozija uznapredovala i ugrožava pogon čitavog voda. Ovjesna se oprema takoder mijenja posebno na osjetljivim mjestima duž trase dalekovoda (prelazi preko cesta, blizina stambenih objekata, prijelaz preko rijeka i drugo). U trenutku kada su oštećenja i starost dalekovoda takvi da su financijska sredstva i aktivnosti održavanja toliko veliki da su ekonomski neisplativi, a pouzdanost voda bitno smanjena, potrebno je izvršiti cjelokupnu zamjenu električkih komponenata voda.

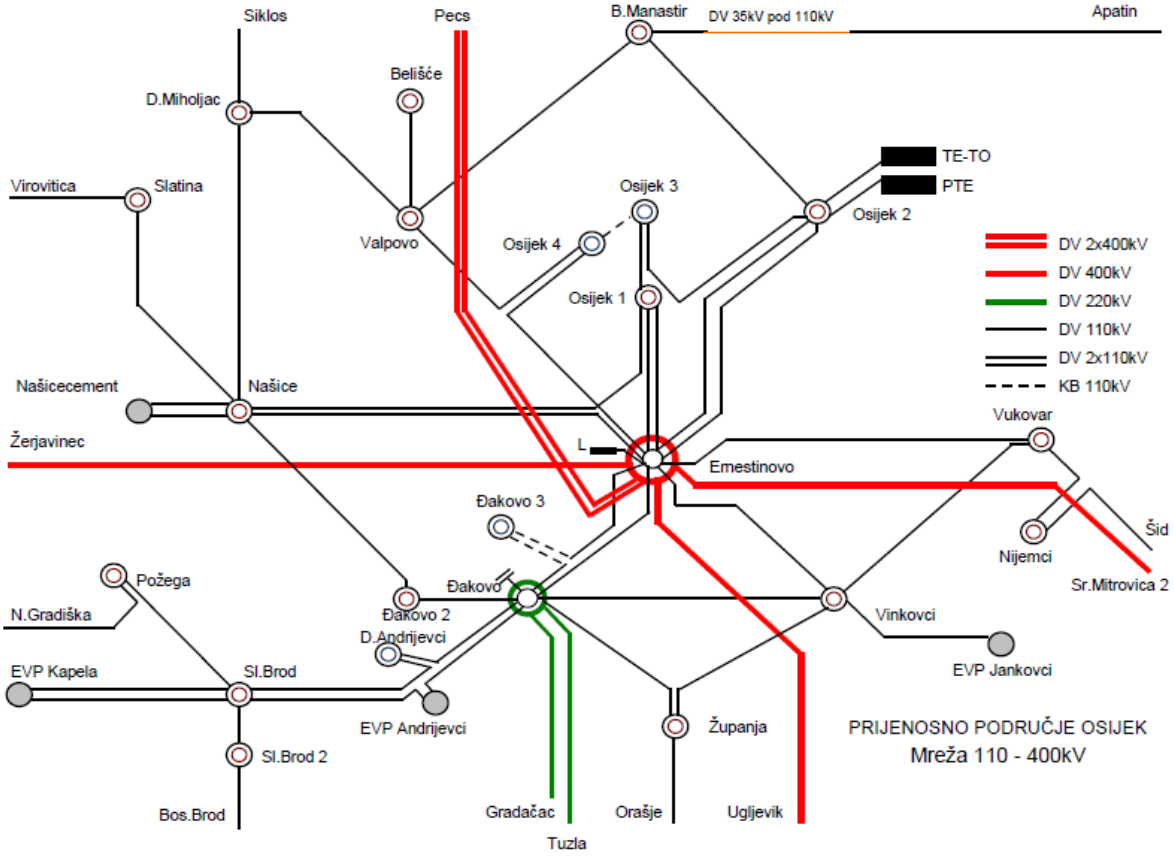
Stanje stupova i temelja trebalo bi ocijeniti koristeći raspoložive podatake koji bi omogućili procjenu njihovog preostalog životnog vijeka na osnovu materijala od kojih su izgradeni, prisutne korozije i oštećenja, meteoroloških prilika u kojima se nalaze, opterećenju i dosadašnjem održavanju. Na životnu dob građevinskih dijelova nadzemnih vodova utječu različite klimatske okolnosti, stanje okoliša, aktivnosti na održavanju te kvaliteta galvaniziranja i

kasnije premazivanje stupova antikorozivnim sredstvima. Općenito se može konstatirati da je u životnom vijeku pojedinačnog dalekovoda jednom potrebno zamijeniti električke komponente ukoliko se građevinski dijelovi redovito održavaju i saniraju, što znači da građevinski dijelovi imaju dvaput veću životnu dob od električkih komponenata dalekovoda. Glavni proces koji ograničava funkcionalnost čelično-rešetkastih stupova je korozija. Koroziji su znatno izloženi vijci [5]. Korozivni procesi napadaju i čelične armature betonskih stupova, naročito na mjestima gdje je beton popucao čime je omogućen prodor vlage do čelične armature. Na stanje temelja znatan utjecaj imaju karakteristike zemljišta i erozija istog.

Prema [7], uz sanaciju oštećenja i primjenu antikorozivnih zaštitnih sredstava ocekivanu životna dob čelično-rešetkastih stupova dalekovoda moguće je produžiti na oko 80 godina, što je dvostruko duže od očekivane životne dobi vodiča i užadi koja iznosi oko 40 godina. Lit. [7] daje procjenu očekivane životne dobi čelično-rešetkastih stupova od 63 ± 21 godinu, a kao glavne uzroke razlika u očekivanoj životnoj dobi navodi sljedeće faktore:

- klimatske uvjete,
- okoliš,
- korozija,
- održavanje,
- slabo galvaniziranje,
- stanje tla,
- lomovi betona,
- korozija temelja,
- spoj čelika i betona.

Očekivana životna dob drvenih stupova u [7] procjenjuje se na 44 ± 4 godine, a ovisi o održavanju, truljenju drveta, pticama, insektima, vjetru i oborinama.



Slika 4.1. *Prikaz prijenosne mreže u Slavoniji i Baranji i okolini(korišteni dalekovodi: Đakovo-Gradačac i Slavonski Brod-Požega) (Izvor: www.hops.hr ; Preuzeto: rujan 2016god.)*

4.1. Proračun za dalekovod Slavonski Brod-Požega

Na temelju konstantnog praćenja u prijenosnoj mreži uočeno je povećanje provjesa na određenim trasama dalekovoda Đakovo-Gradačac i Slavonski Brod-Požega. Provjes je posljedica zamora materijala uslijed starosti vodiča i 40-ogodišnjeg korištenje spomenutih dalekovoda. Za delokovod Đakovo-Gradačac smo napravili usporedbu za tri vrste vodiča pomoću CCP programa.

Tablica 4.1. *Presjek vodiča i trajna struja*

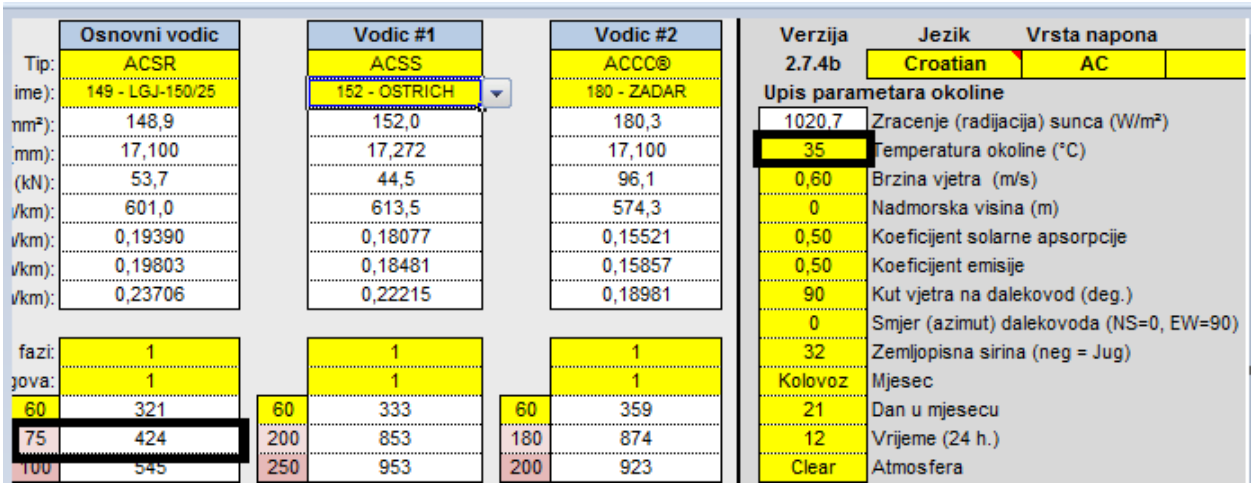
Presjek vodiča	**Presjek vodiča**	**Trajna struja**
(mm²)	*(mm²)*	*(A)*
16/2.5	15.3/2.55	90
25/4	23.8/4.0	125
35/6	34.3/5.7	145
50/8	48.3/8.0	170
70/12	69.9/11.4	235
95/15	94.4/15.3	290
120/20	121.6/19.5	345
150/25	148.9/24.2	400
185/30	183.8/29.8	455
210/35	209.1/34.1	490
240/40	243.0/39.5	530
360/57	360.2/57.3	780
490/65	490.3/63.6	951
170/40	171.8/40.1	440
240/55	241.3/56.3	530
350/80	349.3/78.9	780
490/110	487.8/111.2	961
50/30	51.2/29.8	187
95/55	96.5/56.3	364
120/70	122.0/71.3	404
75/80	74.8/78.9	240
1045/45	1045/45	1544

(Izvor:Nadzemni vodovi, Lajos Josza,Osijek,2011)

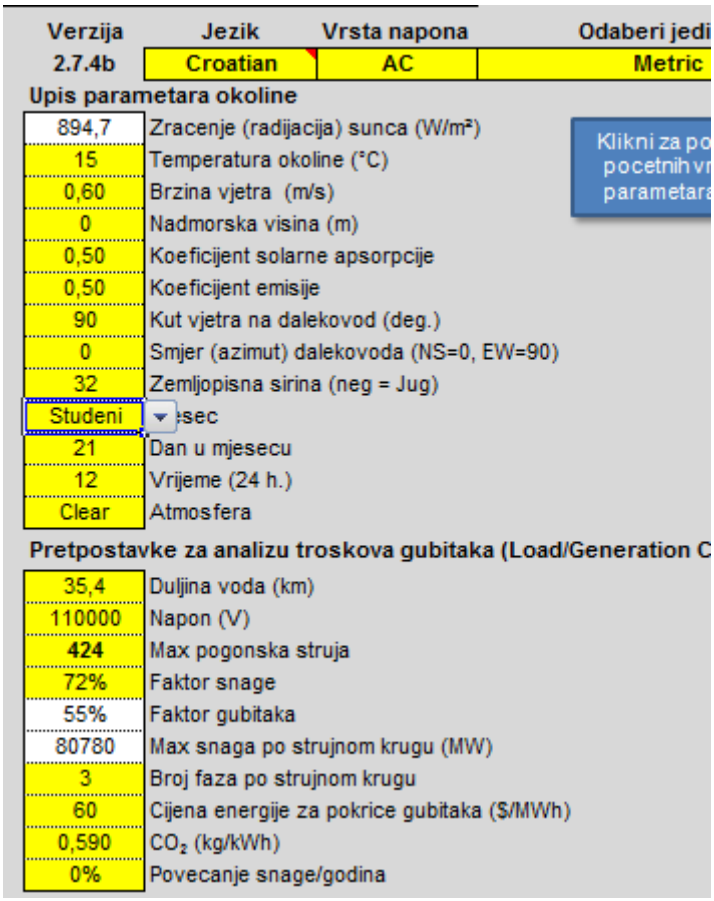
	SLAVONSKI BROD-POŽEGA		
	Osnovni vodic	Vodic #1	Vodic #2
Tip:	ACSR	ACSS	ACCC®
Velicina (mm² Al - Kodno ime):	149 - LGJ-150/25	152 - OSTRICH	180 - ZADAR
Presjek aluminija (mm²):	148,9	152,0	180,3
Promjer (mm):	17,100	17,272	17,100
Nazivna prekidna sila (RTS (kN):	53,7	44,5	96,1
Tezina (kg/km):	601,0	613,5	574,3
DC Otpor na 20°C (ohm/km):	0,19390	0,18077	0,15521
AC Otpor na 25°C (ohm/km):	0,19803	0,18481	0,15857
AC Otpor na 75°C (ohm/km):	0,23706	0,22215	0,18981

Slika 4.2. *Usporedba tri različita vodiča za dalekovod Slavonski Brod-Požega*

Usporedba je napravljena za dalekovod Slavonski Brod-Požega. Za ovaj dalekovod smo usporedili Al/Če vodič sa ACSS i ACCC vodičima. Kao primjer za ACCC vodič smo odabrali vodič već korišten u Hrvatskoj (ACCC-Zadar). Prethodna slika prikazuje tri postavljena vodiča te njihove osnovne parametre i karakteristike. Prema [2] max pogonska struja je izmjenična struja koja neće zagrijati vodič više od 40 °C iznad temperature okoline. Prema Tablici 4.1. struja za naš slučaj iznosi 400 A. Mi smo pomoći CCP programa postavili temperaturu okoline na 35 °C i očitali max pogonsku struju (424 A) za vrijednost nazivne pogonske temperature. U daljnjem proreačunu smo koristili očitanu struju.



Slika 4.3. *Određivanje max pogonske struje*



Verzija	Jezik	Vrsta napona	Odaberi jedi
2.7.4b	Croatian	AC	Metric

Upis parametara okoline

894,7	Zracenje (radijacija) sunca (W/m²)
15	Temperatura okoline (°C)
0,60	Brzina vjetra (m/s)
0	Nadmorska visina (m)
0,50	Koeficijent solarne apsorpcije
0,50	Koeficijent emisije
90	Kut vjetra na dalekovod (deg.)
0	Smjer (azimut) dalekovoda (NS=0, EW=90)
32	Zemljopisna sirina (neg = Jug)
Studeni	sec
21	Dan u mjesecu
12	Vrijeme (24 h.)
Clear	Atmosfera

Klikni za po
pocetnih vr
parametara

Pretpostavke za analizu troskova gubitaka (Load/Generation C

35,4	Duljina voda (km)
110000	Napon (V)
424	Max pogonska struja
72%	Faktor snage
55%	Faktor gubitaka
80780	Max snaga po strujnom krugu (MW)
3	Broj faza po strujnom krugu
60	Cijena energije za pokrice gubitaka ($/MWh)
0,590	CO_2 (kg/kWh)
0%	Povecanje snage/godina

Slika 4.4. *Prikaz parametara okoline i pretpostavki za analizu troškova gubitaka*

Slika 4.4. prikazuje upisane parametre okoline te određene pretpostavke koje su nužne za analizu troškova snaga. Dalekovod je dio 110 kV prijenosne mreže te se prostire na 35,4 kilometra dužine. Postavili smo mjesec studeni zbog zadanih normi o sunčevu zračenju. Također smo postavili brzinu vjetra, koeficijent apsorbcije i emisije.

Gubici na vodu (bazirano na upisanoj vrijednosti max pogonske struje)

Trajna temperatura (°C) kod max pogonske struje:	72	70	65
Otpor kod max pogonske struje (ohm/km):	0,23472	0,21807	0,18350
Gubici na vodu u prvoj godini (MWh):	21.538	20.010	16.838
ACSR 149 - LGJ-150/25 - Smanjenje proizvodnje CO_2 u prvoj godini (MT):		-409	-1.257
ACSR 149 - LGJ-150/25 - Smanjenje gubitaka na vodu u prvoj godini (MWh):		-1.528	-4.700
ACSR 149 - LGJ-150/25 - Smanjenje gubitaka na vodu u prvoj godini (%):		-8%	-28%
ACSR 149 - LGJ-150/25 - Smanjenje gubitaka na vodu u prvoj godini ($/God):		-91.682	-281.994
ACSR 149 - LGJ-150/25 - Usteda na gubicima na vodu po metru vodica ($/m):		-0,86	-2,66
ACSR 149 - LGJ-150/25 - Smanjenje 30 god. gubitaka na vodu ($):		-2.750.448	-8.459.809
ACSR 149 - LGJ-150/25 - Smanjenje 30 god. proizvodnje CO_2 (MT):		-27.031	-83.142

Povrat kapitala raspoloziv za max strujno opterecenje (ograniceno max provjesom)

Max snaga za isporuku (20 h) (MWh):	2.121.797	3.393.522	3.542.241
Moguci povrat kapitala za isporucenu energiju ($):	148.525.760	237.546.547	247.956.864

Slika 4.5. *Prikaz usporedbe gubitaka na vodu i raspoloživog povrata kapitala*

Iz slike 4.5. je moguće zeključiti da je ACCC vodič optimalan kada se govori o smanjenju gubitaka na vodu iz čega proizlazi materijalna ušteda na gubicima. Iz slike se vidi da je zbog smanjenja CO_2. ACCC vodič je najpogodniji kada se govori iz ekološkog aspekta.

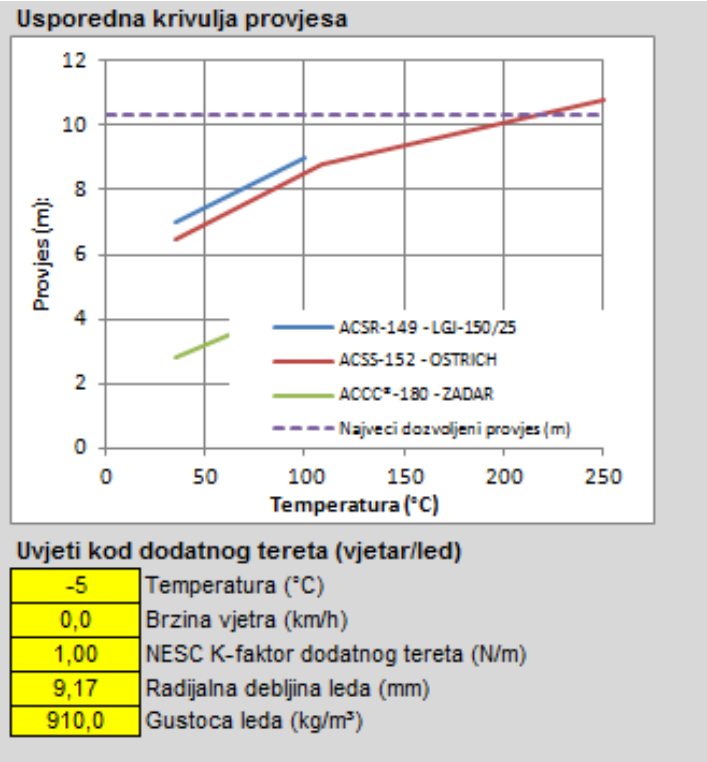
Visokotemperaturni vodič zbog svojih svojstava ima najveću maksimalnu snagu isporuke te je zbog toga i najveći mogući povrat kapitala za isporučenu električnu energiju.

Pocetni provjes i zatezna sila

	% RTS:	15,0%	20,0%	20,0%
	Provjes kod početne temperature montaže (m):	7,03	6,49	2,81
	Početna zatezna sila kod temperaure montaže (kN):	8,1	8,9	19,2
Provjes/Zatezna sila kod prikazane temperature vodica:				
	Temp (°C):	72	70	65
Provjes kod max pogonske struje	Provjes (m):	8,18	7,62	3,56
	Zatezna sila (kN):	6,9	7,6	15,2
	Temp (°C):	75	200	180
Provjes kod nazivne pogonske temperature	Provjes (m):	8,27	10,09	3,72
	Zatezna sila (kN):	6,8	5,7	14,5
	Temp (°C):	100	250	200
Provjes kod najvece dozvoljene temperature	Provjes (m):	8,99	10,78	3,75
	Zatezna sila (kN):	6,3	5,4	14,4
	Max temp (°C):	100	215	200
Temperatura kod najveceg dozvoljenog provjesa	Provjes (m):	8,99	10,30	3,75
	Zatezna sila (kN):	6,3	5,6	14
Celija strujne opteretivosti pokazuje CRVENO ako max kapacitet nije dostignut	Opteretivost (A):	557	891	930

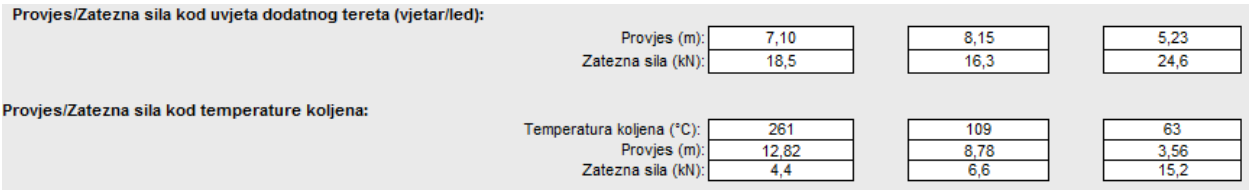
Slika 4.6. *Prikaz provjesa za različite temperature i opteretivosti*

Slika 4.6. prikazuje proračunate provjese za zadane vodiče pri različitim temperaturama. Slika također prikazuje zateznu silu te je iz oba aspekta ACCC najpogodniji te nakon njega AL/Če i na kraju ACSS. Slika prikazuje i izračune kod uvjeta dodatnog terata i kod temperatura koljena. ACCC vodič je optimalan i što se tiče opteretivosti. Uočili smo da ACSS ne zadovoljava kriterij opteretivosti odnosno maksimalni kapacitet nije dostignut. Treba napomenuti da su moguća odstupanja zbog cijene MW/h električne energije i zbog odstupanja pri proračunu raspona i provjesa dalekovoda. Koristeći formule (3-9),(3-16) i (3-17) te na temelju idealnog raspona (277 m) smo izračunali najveći dozvoljeni provjes i uvrstili ga pri proračunu (10.3 m).



Slika 4.7. *Prikaz postavljenih uvjeta kod dodatnog tereta*

Postavljeni su parametri za uvjete dodatnog tereta.Dodatne uvjete smo postavili za temperaturu -5 ºC i dodatnim teretom leda. Sljedeća slika prikazuje provjese i zatezne sile pri uvjetima dodatnog tereta.



Provjes/Zatezna sila kod uvjeta dodatnog tereta (vjetar/led):				
	Provjes (m):	7,10	8,15	5,23
	Zatezna sila (kN):	18,5	16,3	24,6
Provjes/Zatezna sila kod temperature koljena:				
	Temperatura koljena (°C):	261	109	63
	Provjes (m):	12,82	8,78	3,56
	Zatezna sila (kN):	4,4	6,6	15,2

Slika 4.8. *Prikaz provjesa i zateznih sila kod uvjeta dodatnog tereta*

Slika 4.8 prikazuje usporedbe provjesa i zateznih sila kod dodatnih zimskih uvjeta. Možemo vidjeti da se pojavljuju jako mali provjesi, a da su zatezne sile dosta velike.

4.2. Proračun za dalekovod Đakovo - Gradačac

	Osnovni vodic	Vodic #1	Vodic #2
Tip:	ACSR	ACSS	ACCC®
Velicina (mm² Al - Kodno ime):	362 - 362-AL1/59-ST1A	363 - STILT	362 - DOVE
Presjek aluminija (mm²):	361,9	362,5	361,5
Promjer (mm):	26,700	22,839	23,546
Nazivna prekidna sila (RTS (kN):	123,0	86,7	122,3
Tezina (kg/km):	1.473,9	1.370,1	1.082,8
DC Otpor na 20°C (ohm/km):	0,07980	0,07798	0,07705
AC Otpor na 25°C (ohm/km):	0,08194	0,07854	0,07916
AC Otpor na 75°C (ohm/km):	0,09793	0,09420	0,09470

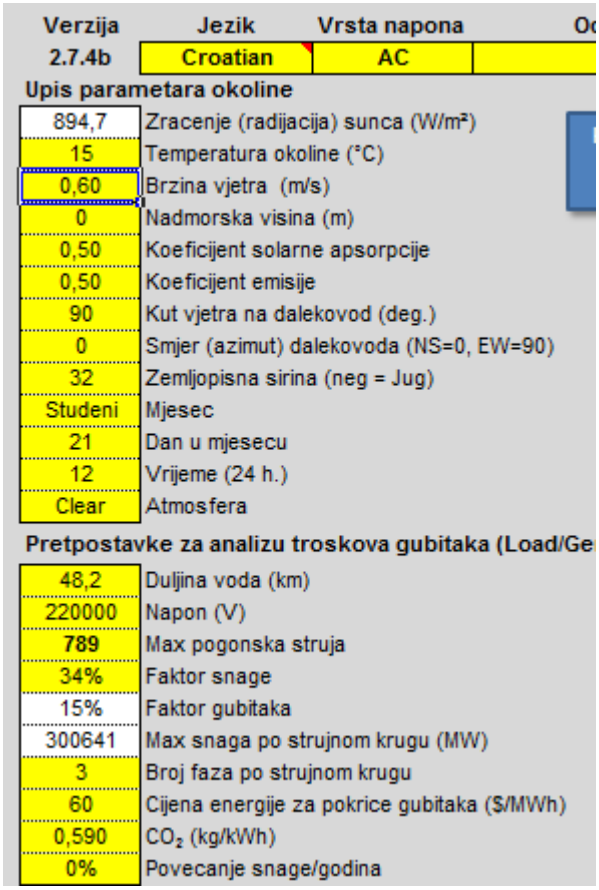
Slika 4.9. *Usporedba 3 različite vrste vodiča*

Slika 4.9. prikazuje tri odabrana vodiča te njihove osnovne parametre. Odabrali smo Al/Če vodič sličan stvarnom vodiču na dalekovodu te ACCC i ACSS vodiče sličnih poprečnih presjeka. Na slici je moduće vidjeti karakteristike kao što su: promjer, presjek, prekidna sila, težina po kilometru i otpori pri različitim temperaturama.

	Osnovni vodic		Vodic #1		Vodic #2
Tip:	ACSR		ACSS		ACCC®
Velicina (mm² Al - Kodno ime):	362 - 362-AL1/59-ST1A		363 - STILT		362 - DOVE
Presjek aluminija (mm²):	361,9		362,5		361,5
Promjer (mm):	26,700		22,839		23,546
Nazivna prekidna sila (RTS (kN):	123,0		86,7		122,3
Tezina (kg/km):	1.473,9		1.370,1		1.082,8
DC Otpor na 20°C (ohm/km):	0,07980		0,07798		0,07705
AC Otpor na 25°C (ohm/km):	0,08194		0,07854		0,07916
AC Otpor na 75°C (ohm/km):	0,09793		0,09420		0,09470
Vodica po fazi:	1		1		1
Broj strujnih krugova:	1		1		1
ost (A) kod temperature (°C):	55	789	40	600	40	603
nazivne pogonske temp. (°C):	75	962	200	1.518	180	1.461
ivost (A) kod max temp. (°C):	100	1.128	250	1.676	200	1.531

Verzija	Jezik	Vrsta napona
2.7.4b	Croatian	AC
Upis parametara okoline		
894,7	Zracenje (radijacija) sunca (W/m²)	
15	Temperatura okoline (°C)	
0,60	Brzina vjetra (m/s)	
0	Nadmorska visina (m)	
0,50	Koeficijent solarne apsorpcije	
0,50	Koeficijent emisije	
90	Kut vjetra na dalekovod (deg.)	
0	Smjer (azimut) dalekovoda (NS=0, EW=90)	
32	Zemljopisna sirina (neg = Jug)	
Studeni	Mjesec	
21	Dan u mjesecu	
12	Vrijeme (24 h.)	
Clear	Atmosfera	

Slika 4.10. *Postupak proračuna maksimalne pogonske struje*



Verzija	Jezik	Vrsta napona	Oc
2.7.4b	Croatian	AC	

Upis parametara okoline

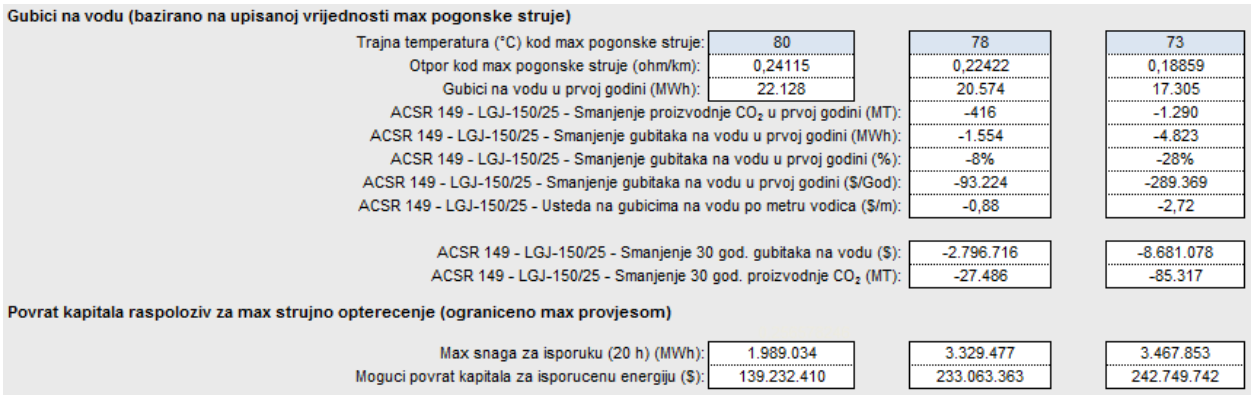
894,7	Zracenje (radijacija) sunca (W/m²)
15	Temperatura okoline (°C)
0,60	Brzina vjetra (m/s)
0	Nadmorska visina (m)
0,50	Koeficijent solarne apsorpcije
0,50	Koeficijent emisije
90	Kut vjetra na dalekovod (deg.)
0	Smjer (azimut) dalekovoda (NS=0, EW=90)
32	Zemljopisna sirina (neg = Jug)
Studeni	Mjesec
21	Dan u mjesecu
12	Vrijeme (24 h.)
Clear	Atmosfera

Pretpostavke za analizu troskova gubitaka (Load/Ge

48,2	Duljina voda (km)
220000	Napon (V)
789	Max pogonska struja
34%	Faktor snage
15%	Faktor gubitaka
300641	Max snaga po strujnom krugu (MW)
3	Broj faza po strujnom krugu
60	Cijena energije za pokrice gubitaka ($/MWh)
0,590	CO_2 (kg/kWh)
0%	Povecanje snage/godina

Slika 4.11. *Prikaz parametara okoline i pretpostavki za analizu troškova gubitaka*

Slika 4.11. prikazuje određene parametre okoline koje je program sam postavio, odnosno to su prosječne vrijednosti za okolinu u kojoj se nalazi dalekovod. Također prikazuje parametre koje smo sami postavili za proračun analize troškova gubitaka. Postavljena je duljina voda, nazivni napon, pogonska struja, faktor snage.



Gubici na vodu (bazirano na upisanoj vrijednosti max pogonske struje)

Trajna temperatura (°C) kod max pogonske struje:	80	78	73
Otpor kod max pogonske struje (ohm/km):	0,24115	0,22422	0,18859
Gubici na vodu u prvoj godini (MWh):	22.128	20.574	17.305
ACSR 149 - LGJ-150/25 - Smanjenje proizvodnje CO_2 u prvoj godini (MT):		-416	-1.290
ACSR 149 - LGJ-150/25 - Smanjenje gubitaka na vodu u prvoj godini (MWh):		-1.554	-4.823
ACSR 149 - LGJ-150/25 - Smanjenje gubitaka na vodu u prvoj godini (%):		-8%	-28%
ACSR 149 - LGJ-150/25 - Smanjenje gubitaka na vodu u prvoj godini ($/God):		-93.224	-289.369
ACSR 149 - LGJ-150/25 - Usteda na gubicima na vodu po metru vodica ($/m):		-0,88	-2,72
ACSR 149 - LGJ-150/25 - Smanjenje 30 god. gubitaka na vodu ($):		-2.796.716	-8.681.078
ACSR 149 - LGJ-150/25 - Smanjenje 30 god. proizvodnje CO_2 (MT):		-27.486	-85.317

Povrat kapitala raspoloziv za max strujno opterecenje (ograniceno max provjesom)

Max snaga za isporuku (20 h) (MWh):	1.989.034	3.329.477	3.467.853
Moguci povrat kapitala za isporucenu energiju ($):	139.232.410	233.063.363	242.749.742

Slika 4.12. *Prikaz izračunatih gubitaka na vodu i povrata kapitala*

Slika 4.12. prikazuje usporedu gubitaka na vodu. Moguće je vidjeti da je varijanta s ACCC vodičem optimalno rješenje. Na tridesetogodišnjoj razini se pojavljuje ušteda na gubitcima od 242.749.742 $. Varijanta sa ACSR vodom je najnepovoljnija što je proračunom i dokazano.

Također s ekološkog aspekta se primjećuje smanjenja na emisiji CO_2. Na 20 h je maximalna snaga isporuke za 30 posto veća kada uspoređujemo ACCC i Al/Če. Kada promatramo povrat kapitala za isporučenu električnu energiju najbolje rješenje je ACCC.

Pocetni provjes i zatezna sila				
	% RTS:	15,0%	20,0%	20,0%
	Provjes kod početne temperature montaže (m):	9,43	9,32	5,22
	Početna zatezna sila kod temperaure montaže (kN):	18,4	17,3	24,5
Provjes/Zatezna sila kod prikazane temperature vodica:				
	Temp (°C):	55	57	56
Provjes kod max pogonske struje	Provjes (m):	9,90	9,87	5,85
	Zatezna sila (kN):	17,6	16,4	21,8
	Temp (°C):	75	200	180
Provjes kod nazivne pogonske temperature	Provjes (m):	10,51	12,97	7,20
	Zatezna sila (kN):	16,5	12,5	17,7
	Temp (°C):	100	250	200
Provjes kod najvece dozvoljene temperature	Provjes (m):	11,23	13,65	7,24
	Zatezna sila (kN):	15,5	11,8	17,6
	Max temp (°C):	100	250	200
Temperatura kod najveceg dozvoljenog provjesa	Provjes (m):	11,23	13,65	7,24
	Zatezna sila (kN):	15,5	11,8	18
Celija strujne opteretivosti pokazuje CRVENO ako max kapacitet nije dostignut	Opteretivost (A):	1.128	1.676	1.531

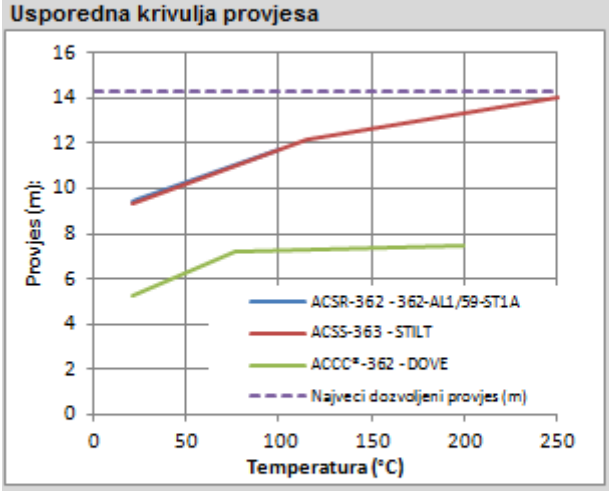
Slika 4.13. *Prikaz provjesa i zatezne sile za različite temperature vodiča*

Slika 4.13. dokazuje tvrdnje iz teoretskog dijela da je ACCC vod optimalan kada se govori o provjesima i zateznim silama. Iz slike je moguće vidjeti da ACCC vod ima najmanje provjese pri svim temperaturama. U teoretskom dijelu je koeficijent temperature predstavljen kao jedan od pozitivnijih svojstava ACCC vodiča, što je sada i dokazano. Svi zadani vodiči zadovoljavaju postavljene kriterije. Treba napomenuti da su moguća odsupanja zbog različitih cijena električne energije te mogućeg odstupanja pri proračunu idealnog raspona i provjesa dalekovoda.

Pocetni provjes i zatezna sila

310	Idealni raspon (m)
21	Početna temperatura montaze (°C)
14,3	Najveci dozvoljeni provjes (m)

Usporedna krivulja provjesa



Uvjeti kod dodatnog tereta (vjetar/led)

-5	Temperatura (°C)
0,0	Brzina vjetra (km/h)
1,00	NESC K-faktor dodatnog tereta (N/m)
10,00	Radijalna debljina leda (mm)
910,0	Gustoca leda (kg/m³)

Slika 4.14. *Zadani dodatni uvjeti na temelju vremenski prilika*

Prethodna slika prikazuje dodatne uvjete postavljene u CCP-u pri vremenskim neprilikama. Dodatni uvjeti uslijed naleta vjetra i uslijed pojave leda na vodu. Također je moguće vidjeti na slici usporednu krivulju provjesa. Iz krivulje provjesa možemo zaključiti da su svi provjesi ispod razine maksimalnog zadanog provjesa.

Provjes/Zatezna sila kod uvjeta dodatnog tereta (vjetar/led):

Provjes (m):	9,37	10,12	7,52
Zatezna sila (kN):	33,0	28,1	33,6

Provjes/Zatezna sila kod temperature koljena:

Temperatura koljena (°C):	23	115	76
Provjes (m):	9,48	12,14	7,25
Zatezna sila (kN):	18,3	13,3	17,6

Slika 4.14. *Usporedba provjesa i zateznih sila kod dodatnog zimskog tereta*

5. ZAKLJUČAK

Svaki pojedini dio opreme ili uređaj u električnoj mreži ima svoje vlastito životno vrijeme unutar kojega se očekuje da ce raditi u skladu s postavljenim karakteristikama bez većeg broja zastoja i kvarova. Ako je u sustavu veći broj starih i dotrajalih jedinica čija je neraspoloživost povećana onda je narušena pouzdanost i smanjena sigurnost opskrbe potrošača električnom energijom što dovodi za posljedicu povećanje troškova elektroenergetskog sustava u cjelini. Očekivanu životnu dob pojedinih jedinica mreže nije moguće unaprijed odrediti pa se stoga određuju očekivane veličine na temelju što većeg broja uzoraka istovrsnih jedinica.

U radu je prestavljena teoretska slika o vodičima te je poseban akcenat stavljen na nove materijale u prijenosnoj mreži. Također jedan dio rada govori o mehaničkim svojstvima odnosno mehaničkom proračunu vodiča. Izvršena je međusobna usporedba za različite vrste vodiča pomoću CCP računalnog programa. Usporedba je vršena za dva prijenosna dalekovoda. Na samim tim dalekovodima je prije uočeno izduženje vodiča tj. povećanje provjesa koji su posljedica zamora materijala uslijed starosti vodiča i dugogodišnjeg korištenja (preko 40 god.). Analizom dobivenih rezultata je zaključeno da je primjena novih materijala kao što su kompozitne ACCC jezgre, potpuno opravdana te na kraju vrlo isplativa. Svi finacijski proračuni i proračuni smanjenja gubitaka električne energije govore u prilog novim materijalima u elektroenergetici.

Ukoliko to dopuštaju fizikalna svojstva stupova dalekovoda moguće je zamijeniti postojeći vodič s vodičem napravljenog od suvremenih materijala. To je nemoguće izvršiti bez posebne detaljne statičke analize.

LITERATURA

[1] Engineering Transmission Lines with High Capacity Low Sag ACCC® Conductors, CTC Global, www.ctcglobal.com,2016

[2] L.Jozsa, Nadzemni vodovi, Elektrotehnički fakultet, Osijek, 2011

[3] L.Jozsa, Parametri nadzemnih vodova, Elektrotehnički fakultet, Osijek, 2006

[4] I. Džubur, Ž. Timic, M. Dutina, *Problematika zamjene opreme na starijim dalekovodima*, Bled, 1989

[5] T. O. Seppa, *End-of-life Phenomena of Splices and Conductors Including Copper Conductors*, 2002, Chicago, USA

[6] C. J. Pon, *Laboratory Testing of Aged Conductors and Groundwire*, 2002, Chicago, USA

[7] Comparison of overhead lines and underground cables for electricity transmission, Joint Working Group 21/22-01, Paris, 1996.

SAŽETAK

U diplomskom radu su opisane vrste materijala vodiča za prijenosne dalekovode. Akcenat je stavljen na usporedbu dosadašnjih materijala za vodiče i novih kompozitnih visokotemperaturnih vodiča. Jedan od najvažnijih faktora koji utječe na normalno odvijanje EES-a kod prijenosa snage do krajnjeg korisnika električne energije jesu karakteristike prijenosne mreže i mogućnosti njezine operativnosti. Opisan je postupak proračuna dimenzioniranja dalekovoda s obzirom na mehaničke zahtjeve uz prisutnost promjenljivih atmosferskih prilika na postavljenom području. Uz primjenu teorijskog dijela, urađen je primjer proračuna za povećanje prijenosne moći za dva dalekovoda sa zamjenom vodiča i uz zadržavanje postojećih stupova. Napravljena je međusobna usporedba tri moguća rješenja različitih vrsta vodiča pomoću CCP programa za analizu tvrtke CTC Global. Analiza je vršena iz dobivenih rezultata.

Ključne riječi: dalekovod, materijali za vodiče, provjes, alučel uže, visokotemperaturni kompozitni vodič, aluminijski vodič s kompozitnom jezgrom- ACCC.

ABSTRACT

In the final paper are described different material kinds of conductors for overhead power lines. Comparison between present materials for conductors and new high temperature low sag conductors is made. Factors that affect the normal operation of power system and power transmission to the end user of electricity are transmission network characteristics and capacity. In addition for planning and The process for calculating size of an overhead power line is described and it's made considering mechanic requirements with presence of changing atmospheric conditions and defined set of rules. With usage of theoretical part, calculation for increasing transmission power of power line with conductors replacement and with keeping present towers is done. Also, mutual comparison between three possible solutions of different kinds of conductors is made using CCP software from CTC Global. Results are commented.

Key words: Overhead Power Line, Materials for Conductors, Sag, Aluminum Conductor Steel Reinforced (ACSR), High Temperature Low Sag Conductor (HTLS), Aluminum Conductor Composite Core (ACCC).

ŽIVOTOPIS

Ilija Matić rođen je 13.veljače 1993. u Đakovu. Odrastao i osnovnu školu završio u Domaljevcu (Bosna i Hercegovina) 2007.godine. Opću gimnaziju je završio u Županji 2011.godine. Iste godine upisuje Elektrotehnički fakultet Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Preddiplomski studij smjera elektroenergetike je završio 2014.godine. Završni rad je napisao na temu *Metodologija proračuna električnih parametara dalekovoda.* 2014.godine je upisao diplomski studij na kojem je diplomirao 2016.godine. Diplomski rad je napisao na temu *Primjena visoko temperaturnih ACCC vodiča u prijenosnoj mreži*.