

Primjena visoko-temperaturnih nisko-provjesnih vodiča u prijenosnim i distribucijskim mrežama

Herceg, Danijel

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:532318>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-16**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij elektrotehnike

Diplomski rad

**Primjena visoko-temperaturnih nisko-provjesnih vodiča u
prijenosnim i distribucijskim mrežama**

Rijeka, rujan 2023.

Danijel Herceg

0069083325

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij elektrotehnike

Diplomski rad

**Primjena visoko-temperaturnih nisko-provjesnih vodiča u
prijenosnim i distribucijskim mrežama**

Mentor: Prof. dr. sc. Dubravko Franković

Rijeka, rujan 2023.

Danijel Herceg

0069083325

SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKE ISPITE

Rijeka, 14. ožujka 2023.

Zavod: **Zavod za elektroenergetiku**
Predmet: **Projektiranje električnih postrojenja**
Grana: **2.03.01 elektroenergetika**

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

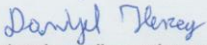
Pristupnik: **Danijel Herceg (0069083325)**
Studij: Sveučilišni diplomski studij elektrotehnike
Modul: Elektroenergetika

Zadatak: **Primjena visoko-temperaturnih nisko-provjesnih vodiča u prijenosnim i distribucijskim mrežama / High-temperature low-sag (HTLS) conductors application in transmission and distribution networks**

Opis zadatka:

Značajna integracija obnovljivih izvora energije po svim naponskim razinama nameće ubranu potrebu za izgradnjom novih prijenosnih/distribucijskih koridora i/ili pojačavanje postojećih. Zamjenom vodiča na postojećim nadzemnim vodovima s tzv. HTLS vodičima povećava se njihova prijenosna moć te se primjerice odgađa potreba za gradnjom novih paralelnih veza. Zamjena postojećih vodiča HTLS vodičima predstavlja relativno jednostavno i investicijski prihvatljivo rješenje za otklanjanje zagušenja u mreži. U radu je potrebno obraditi vrste HTLS vodiča, ukazati na njihove prednosti i eventualne nedostatke u odnosu na klasične vodiče te dati pregled komercijalnih rješenja za prijenosne, odnosno distribucijske mreže.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.


Zadatak uručen pristupniku: 20. ožujka 2023.

Mentor:

Prof. dr. sc. Dubravko Franković

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

Prof. dr. sc. Dubravko Franković

IZJAVA

Ja, Danijel Herceg, student Tehničkog fakulteta u Rijeci, ovim putem izjavljujem da je moj diplomski rad pod naslovom „Primjena visoko-temperaturnih nisko-provjesnih vodiča u prijenosnim i distribucijskim mrežama“ isključivo moje autorsko djelo. Rad je u potpunosti samostalno napisan uz naznaku izvora drugih autora i dokumenata korištenih u radu.

Rijeka, rujan 2023.

Potpis

ZAHVALA

Prvo, želim se zahvaliti svom mentoru profesoru dr. sc. Dubravku Frankoviću na odvojenom vremenu i na svim sugestijama, savjetima tijekom izrade ovog diplomskog rada.

Također, zahvaljujem svim profesorima i asistentima na prenesenom znanju tokom mojeg studiranja.

Posebno želim izraziti zahvalnost svojoj obitelji, koja me je podržavala kroz sve akademske izazove.

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
2.	STRUKTURA PRIJENOSNE I DISTRIBUCIJSKE MREŽE	2
2.1.	Elektrane	3
2.1.1.	Termoelektrane	4
2.1.2.	Hidroelektrane	6
2.1.3.	Vjetroelektrane	7
2.1.4.	Fotonaponske elektrane	8
2.1.5.	Nuklearne elektrane	10
2.1.6.	Elektrane na biomasu	13
2.1.7.	Geotermalne elektrane	15
2.2.	Transformatorske stanice	17
2.2.1.	Transformatori	19
2.2.2.	Uređaji za prekidanje struje	21
2.2.3.	Rastavljači	23
2.2.4.	Mjerni uređaji	25
2.2.5.	Zaštitni uređaji	26
2.2.6.	Sabirnice	28
2.2.7.	Izvedbe	28
2.3.	Elektroenergetski kabelski vodovi	30
2.3.1.	Elementi konstrukcije elektroenergetskog kabela	30
2.3.2.	Izvedbe elektroenergetskih kabela	35
2.3.3.	Polaganje kabelskih vodova	39
2.4.	Elektroenergetski nadzemni vodovi	40
3.	ELEKTROENERGETSKI NADZEMNI VODOVI	41
3.1.	Vodiči	41
3.1.1.	Konstruktivske izvedbe vodiča	43

3.1.2.	Mehanička opterećenja.....	50
3.1.3.	Dozvoljeno strujno opterećenje vodiča	50
3.2.	Izolatori.....	51
3.3.	Stupovi.....	57
3.4.	Spojni, ovjesni i zaštitni pribor.....	63
3.5.	Zaštitna užad i uzemljenje	64
4.	HTLS VODIČI.....	66
4.1.	ACSS vodiči	66
4.2.	ACCC/TW vodiči	67
4.3.	ACCR vodiči	69
4.4.	TACSR vodiči.....	70
4.5.	ZTACIR vodiči	72
5.	RAZLOZI REKONSTRUKCIJE EEM-A UPOTREBOM HTLS VODIČA	73
5.1.	HTLS vodiči u prijenosnoj mreži	74
5.2.	HTLS vodiči u distribucijskoj mreži	75
5.3.	Prednosti primjene HTLS vodiča u prijenosnim i distribucijskim mrežama	75
6.	KOMERCIJALNA RJEŠENJA HTLS VODIČA	78
6.1.	Pregled komercijalnih rješenja koje pruža tvrtka APAR	78
6.1.1.	ACSS (eng. Aluminum Conductor Steel Supported) vodiči.....	78
6.1.2.	ACCC (eng. Aluminium Conductor Composite Core) vodiči	82
6.1.3.	ZTACSR/TW (eng. Super Thermal Resistant Aluminium Alloy Conductors Steel Reinforced) vodiči.....	84
6.1.4.	GTACSR i GZTACSR (eng. Gap Type Thermal-Resistant Aluminium Alloy Conductor, Steel Reinforced) vodiči	86
6.1.5.	STACIR i STACIR/TW (eng. Super Thermal Resistant Aluminium Alloy Conductor, Aluminium Clad Invar Reinforced) vodiči	88
6.2.	Revitalizacija/rekonstrukcija prijenosne mreže u Hrvatskoj	91
7.	ZAKLJUČAK	94
	LITERATURA	96

SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI.....	99
ABSTRACT AND KEYWORDS	100

1. UVOD

U današnjem dinamičnom svijetu, s naglim porastom potrebe za energetske resursima i rastućim fokusom na održivu energiju, elektroenergetske mreže postaju srž modernog društva. Elektroenergetske prijenosne i distribucijske mreže igraju ključnu ulogu u transportu električne energije od elektrana do krajnjih potrošača. Kroz desetljeća, elektroenergetske mreže su evoluirale kako bi podržale rastuće potrebe za električnom energijom i promjene u načinu njene proizvodnje, prijenosa i distribucije. U trenutnom razdoblju, vrlo je popularan s izrazitom tendencijom rasta trend integracije obnovljivih izvora energije po svim naponskim razinama s ciljem ostvarivanja ekološke održivosti i energetske neovisnosti. Značajna integracija obnovljivih izvora energije rezultira potrebom za većim prijenosnim kapacitetima, što zahtijeva izgradnju novih prijenosnih i distribucijskih koridora i/ili pojačanja postojećih. Kao ekonomski isplativija opcija u odnosu na zahtjevniju izgradnju novih prijenosnih i distribucijskih koridora, sve veći naglasak stavlja se na revitalizaciju (obnovu) postojećih mreža. Revitalizacija se ostvaruje zamjenom klasičnih alučeličnih Al/Fe vodiča visoko-temperaturnim nisko-provjesnim (HTLS) vodičima. Ovim pristupom ne samo da se poboljšava energetska učinkovitost, već se i optimizira (povećava) prijenosni kapacitet već izgrađene infrastrukture čime se otklanjanju zagušenja u mreži.

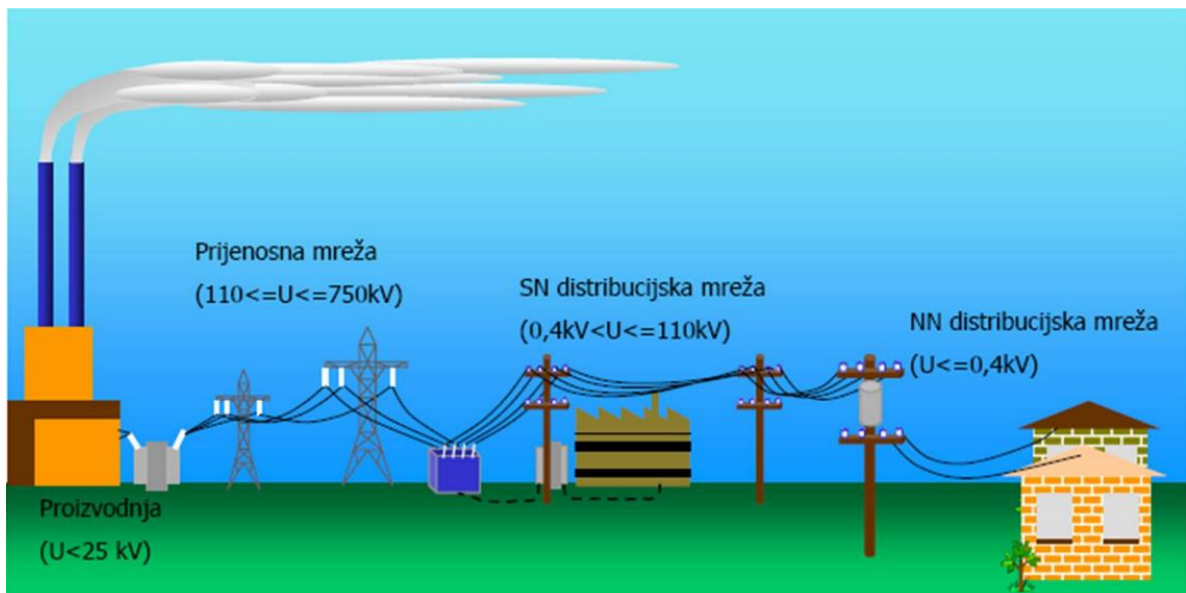
U radu je opisana struktura prijenosne i distribucijske mreže te je nakon toga stavljen poseban naglasak na konstrukciju nadzemnih vodova kako bi se omogućilo bolje razumijevanje same strukture budući da HTLS vodiči koriste istu. Nadalje, obrađene su vrste HTLS vodiča te su dani razlozi rekonstrukcije elektroenergetskih mreža upotrebom HTLS vodiča. Na kraju rada dan je pregled komercijalnih rješenja HTLS vodiča dostupnih na tržištu.

2. STRUKTURA PRIJENOSNE I DISTRIBUCIJSKE MREŽE

Električna energija je ključni element moderne civilizacije, osiguravajući napajanje za različite industrije, gospodarstva i domaćinstva. Kako potreba za električnom energijom nastavlja rasti, važnost razumijevanja i optimiziranja električnih mreža postaje sve izraženija. Elektroenergetski sustav u Republici Hrvatskoj se sastoji od prijenosnog i distribucijskog sustava. Prijenosna i distribucijska mreža elektroenergetskog sustava predstavlja ključnu infrastrukturu koja omogućuje prijenos i distribuciju električne energije od elektrana do krajnjih potrošača. Prijenos u Republici Hrvatskoj odvija se po naponskim razinama od 400 kV, 220 kV i 110 kV. Naponska razina 110 kV nalazi se na sučelju prijenosnog i distribucijskog sustava te ujedno predstavlja granicu koja razdvaja prijenosni sustav od distribucijskog sustava. Naponske razine u distribucijskom sustavu u Republici Hrvatskoj iznose 35 kV, 20 kV, 10 kV, te 0,4 kV. Distribucijski sustav je najrašireniji sustav i sustav najbliži korisnicima. Za razliku od prijenosa, distribucijski sustav ima zadaću da električna energija dođe do svakog potrošača, te da pri tome bude zadovoljavajućih parametara. Ova složena mreža obuhvaća raznolike komponente i tehnologije koje zajednički osiguravaju pouzdan i učinkovit prijenos energije na regionalnoj i lokalnoj razini.

Kako bi se omogućilo bolje razumijevanje prijenosne i distribucijske mreže, u nastavku ovog poglavlja će se proučiti struktura prijenosne i distribucijske mreže. Počevši od elektrana koje su izvor električne energije, definirati će se uloga transformatorskih stanica u prilagodbi napona za prijenos energije. Nadalje, proučit će se kabelski i nadzemni vodovi koji se koriste kao sredstva prijenosa električne energije s time da će se veći naglasak staviti na nadzemne vodove.

Na slici 2.1. prikazana je struktura elektroenergetskog sustava na kojoj su jasno vidljivi osnovni dijelovi samog sustava (elektrane, prijenosna/distribucijska mreža, transformatorske stanice...) s pripadajućim naponskim razinama.



Slika 2.1. Struktura elektroenergetskog sustava [13]

2.1. Elektrane

Elektrane su postrojenja koja transformiraju različite oblike energije u električnu energiju, kao što su nuklearna, kemijska, unutarnja kalorička, kinetička i potencijalna energija te energija Sunčevog zračenja. Ovi oblici energije se dijele na klasične (konvencionalne) i alternativne (nekonvencionalne). Klasični oblici energije uključuju: unutarnju energiju (nafta, ugljen, plin), potencijalnu energiju (hidroenergija) i nuklearnu energiju (nuklearna fisija). Alternativni izvori energije obuhvaćaju: bioplín, biomasu, energiju plime i oseke, energiju valova, kinetičku energiju vjetrova, geotermalnu energiju, nuklearnu fuziju lakih atoma te solarno zračenje od Sunca. Osnovna karakteristika svake elektrane je njena instalirana (nazivna) električna snaga. Dakle, elektrana je postrojenje koje proizvodi veće količine električne energije pretvaranjem drugih oblika energije. Ovisno o ulozi u elektroenergetskom sustavu, razlikujemo temeljne i vršne elektrane. Temeljna elektrana je prilagođena stalnom opterećenju zbog svojih pogonskih svojstava, dok vršna elektrana može preuzeti dio vršnog opterećenja, uzimajući u obzir njene pogonske karakteristike i veličinu.

Ovisno o izvoru primarne energije i tehnologije koja se koristi, razlikujemo nekoliko osnovnih vrsta elektrana koje igraju ključnu ulogu u proizvodnji energije širom svijeta. Svaka elektrana ima

svoje karakteristike i prednosti, pružajući raznolikost u proizvodnji energije kako bi zadovoljile različite potrebe suvremenog društva.

Postoje sljedeće vrste elektrana:

- Termoelektrane
- Hidroelektrane
- Vjetroelektrane
- Fotonaponske elektrane
- Nuklearne elektrane
- Elektrane na biomasu
- Geotermalne elektrane

2.1.1. Termoelektrane

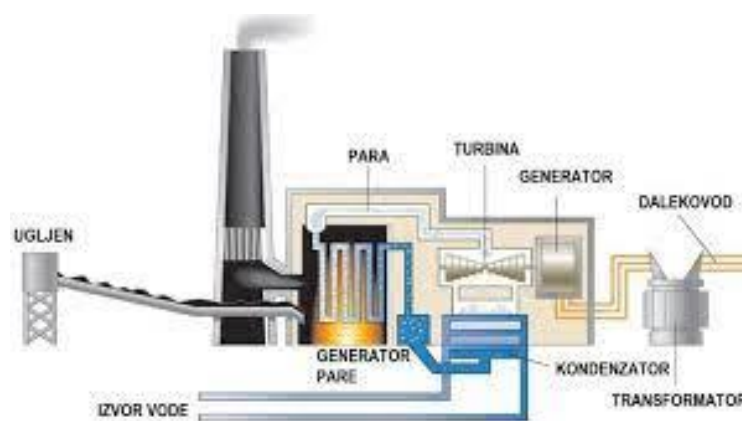
Termoelektrane su vrsta elektrana koje se koriste za proizvodnju električne energije putem izgaranja različitih goriva (fosilna goriva poput ugljena, nafte i plina). One predstavljaju ključan sustav za pretvorbu topline iz goriva u mehaničku energiju, koja se potom prenosi na turbine i naposljetku na generator kako bi se proizvela električna energija. Ova tehnologija izvedbe elektrana ima važnu ulogu u elektroenergetskim sustavima i osigurava pouzdan izvor za širok spektar potrošača. Jedna od ključnih prednosti većine termoelektrana je njihova fleksibilnost u odnosu na promjenjive potrebe potrošnje električne energije. To im omogućuje brzo prilagođavanje na promjene u potražnji i osigurava stabilan izvor električne energije tijekom cijelog dana. Međutim, postoji i nekoliko izazova vezenih uz termoelektrane. Jedan od njih je emisija stakleničkih plinova i drugih štetnih tvari koje nastaju prilikom izgaranja goriva. Neki napredniji sustavi termoelektrana koriste razne metode (poput sustava za hvatanje i skladištenje CO₂ (CCS - engl. Carbon Capture and Storage)) kako bi smanjili emisije štetnih tvari, ali i dalje postoji potreba za istraživanjima i implementacijom održivih pristupa.

Kogeneracijske termoelektrane su posebna vrsta elektrana koje koriste koncept kogeneracije, odnosno istovremenu proizvodnju električne energije i toplinske energije iz istog izvora goriva. Ova tehnologija omogućuje efikasno korištenje energije i smanjenje gubitaka, što je čini vrlo

učinkovitom i održivom opcijom za proizvodnju električne i toplinske energije. Princip rada kogeneracijskih termoelektrana temelji se na iskorištavanju otpadne topline koja nastaje tijekom proizvodnje električne energije. Konvencionalne termoelektrane, koje proizvode samo električnu energiju, obično ispuštaju velike količine topline u okoliš kao nusprodukt. Međutim, u kogeneracijskim termoelektranama, ta se toplota koristi za grijanje prostora, zagrijavanje vode ili za industrijske svrhe, što znači da nema nepotrebnog rasipanja energije. Kogeneracijske termoelektrane mogu koristiti različite vrste goriva kao izvor energije, uključujući fosilna goriva (kao što su prirodni plin, nafta i ugljen) ili obnovljive izvore (kao što su biomasa ili bioplin). Ovisno o izvoru goriva, ove elektrane mogu biti i ekološki prihvatljivije u usporedbi s konvencionalnim termoelektranama koje proizvode samo električnu energiju. Prednosti kogeneracijskih termoelektrana su višestruke. Prvo, povećavaju energetske učinkovitost i smanjuju ukupne gubitke energije, čime doprinose održivijoj upotrebi resursa. Drugo, smanjuju emisije stakleničkih plinova i drugih zagađivača, jer se otpadna toplota ne ispušta u okolinu, nego se ta energija koristi za grijanje čime se bolje iskorištava energetska vrijednost goriva. Treće, kogeneracija pruža mogućnost decentralizacije proizvodnje energije i povećava pouzdanost opskrbe električnom i toplinskom energijom.

Podjela termoenergetskih proizvodnih postrojenja po načinu transformacije energije [3]:

- Parno-turbinsko postrojenje
- Kogeneracijsko parno postrojenje
- Plinsko-turbinsko postrojenje
- Kombinirano plinsko - parno turbinsko postrojenje
- Kogeneracijsko kombinirano plinsko - parno postrojenje



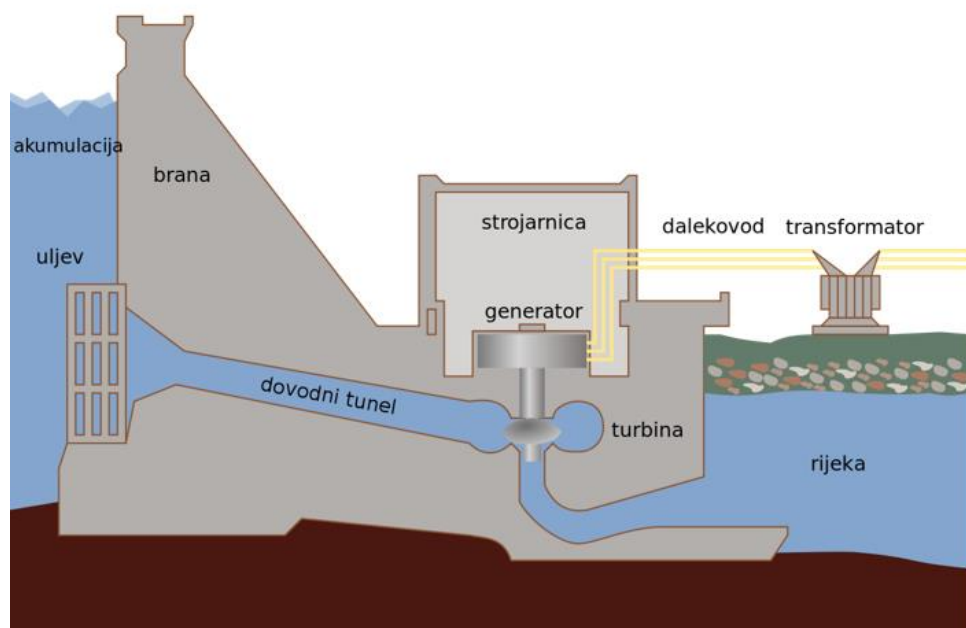
Slika 2.2. Načelna shema termoelektrane [14]

2.1.2. Hidroelektrane

Hidroelektrana obuhvaća skup objekata i elektromehaničke opreme koja se koristi za pretvaranje potencijalne energije vode u električnu energiju, te može neprekidno raditi. Dostupna električna energija je proporcionalna protoku vode i visini pada. Transformacija energije vode kod hidroelektrana se odvija korištenjem potencijalne i/ili kinetičke energije vode koja se u vodnim turbinama (Pelton, Francis ili Kaplan) pretvara u mehaničku rotacijsku energiju, a koja se vratilom prenosi do generatora gdje se pretvara putem elektromagnetskog polja u električnu energiju. Hidroelektrane su obnovljivi izvor energije jer koriste snagu prirode i ne proizvode štetne emisije stakleničkih plinova kao što je to slučaj s fosilnim gorivima [4]. One igraju važnu ulogu u globalnom energetsom portfelju i pružaju čistu i pouzdanu električnu energiju za industriju i kućanstva. Hidroelektrane su postrojenja koja imaju multifunkcijsku namjenu te pored primarne funkcije proizvodnje električne energije koristi se i za sljedeće funkcije: opskrbu vodom, zaštitu od poplava, navodnjavanje, odvodnju, zaštitu zemljišta od erozije, promet (brana služi kao most). Prema tipovima hidroelektrane mogu biti protočne (bez ili s malom satnom/dnevnom akumulacijom) ili akumulacijske (s akumulacijom, branom, vodenom komorom, zahvatom, gravitacijskim dovodom, zasunskom komorom, tlačnim cjevovodom, strojarnicom i sustavom odvodnje vode) [4].

Prema načinu proizvodnje se razlikuju:

- Pribranske - strojarnica je smještena u/uz branu
- Derivacijske - strojarnica se nalazi dalje od brane
- Reverzibilne - akumulacijske hidroelektrane koje imaju dvije akumulacije (gornja i donja), rade na principu da proizvode energiju klasično padom vode iz gornje akumulacije, ali imaju i mogućnost rada kao crpke koje crpe vodu u gornju akumulaciju iz donje akumulacije kako bi se ta voda mogla ponovno iskoristiti za proizvodnju električne energije (crpljenje se vrši uporabom energije iz elektroenergetskog sustava u periodu prisutnog višaka električne energije (npr. noću))
- Crpne - hidroenergetska postrojenja kojima je svrha sakupljanje (crpljenje) vode u više akumulacije za potrebe klasičnih hidroelektrana



Slika 2.3. Načelna shema hidroelektrane [15]

2.1.3. Vjetroelektrane

Vjetroelektrane predstavljaju inovativne i održive izvore energije koje koriste kinetičku energiju zračnih masa (vjetra) kako bi se proizvodila električna energija. Smještene su na otvorenim prostranstvima ili na obalama mora. Predstavljaju elektrane koje pružaju čistu i ekološki prihvatljivu alternativu fosilnim gorivima. Vjetroelektrane rade na principu pretvaranja kinetičke energije vjetra u električnu energiju pomoću vjetroturbina. Vjetroturbine se sastoje od visokih stupova, lopatica i generatora koji pretvaraju rotacijske pokrete lopatica u električnu energiju. Učinkovitost vjetroelektrana temelji se na brzini i stabilnosti vjetra, pa se stoga najčešće grade na mjestima s konstantnim vjetrovima kao što su brda, visoke planine ili obale mora.

Jedna od glavnih prednosti vjetroelektrana je što koriste obnovljivi izvor energije (vjetra) te ne emitiraju stakleničke plinove, sumporov dioksid ili dušikove okside, što pomaže smanjenju onečišćenja zraka i ublažavanju globalnog zatopljenja. Vjetar je neiscrpna prirodna sila, što osigurava dugoročnu opskrbu energijom. To čini vjetroelektrane pouzdanim rješenjem za budućnost, jer će omogućiti smanjenje ovisnosti o ograničenim resursima i doprinijeti energetskej neovisnosti zemlje.

Unatoč mnogim prednostima, postoje i izazovi u vezi s vjetroelektranama. Postavljanje vjetroelektrana može negativno utjecati na vizualni pejzaž i životinjski svijet. Također, vjetar nije konstantan izvor energije, pa se često postavlja pitanje stabilnosti opskrbe u uvjetima slabe ili nepostojane vjetrovitosti. Međutim, tehnološki napredak i korištenje naprednih analitičkih sustava pomažu u rješavanju ovih izazova.

Vjetroelektrane se mogu podijeliti na kopnene vjetroelektrane, priobalne vjetroelektrane, plutajuće vjetroelektrane i zračne vjetroelektrane [5].



Slika 2.4. Vjetroelektrane Royd Moor u Ujedinjenom Kraljevstvu [5]

2.1.4. Fotonaponske elektrane

Fotonaponske elektrane predstavljaju tehnološki napredan način korištenja sunčeve svjetlosti za proizvodnju električne energije. Ova inovativna solarna tehnologija temelji se na iskorištavanju fotoefekta kako bi se proizvela struja elektrona i stvorila električna energija. Fotonaponske elektrane koriste fotonaponske ćelije, poznate i kao solarne ćelije, kako bi pretvorile sunčevu svjetlost u električnu energiju. Ove ćelije izrađene su od poluvodičkih materijala poput silicija, koji imaju svojstva da apsorbiraju fotone. Kada foton udari u fotonaponsku ćeliju, oslobađaju se elektroni, stvarajući električni napon između slojeva materijala. Ovaj napon stvara istosmjernu

struju koja se potom može koristiti za napajanje električnih uređaja ili se može pretvoriti u izmjeničnu struju za distribuciju u električnoj mreži.

Fotonaponske elektrane sastoje se od nekoliko ključnih komponenti:

- Fotonaponske ćelije - osnovne jedinice koje pretvaraju svjetlosnu energiju u električnu energiju. Ćelije su obično organizirane u module koji se mogu spojiti kako bi se stvorila veća snaga.
- Solarni paneli - sastoje se od više fotonaponskih ćelija koje su povezane i postavljene unutar okvira. Paneli su osnovna građevna jedinica fotonaponske elektrane.
- Izmjenjivač - uređaj koji pretvara istosmjernu struju koju proizvode fotonaponske ćelije u izmjeničnu struju koja je kompatibilna s električnom mrežom.
- Montažni sustav - podržava solarni panel i osigurava da je postavljen pod optimalnim kutom i smjerom kako bi maksimalno iskoristio sunčevu svjetlost.
- Električna mreža - električna energija proizvedena fotonaponskom elektranom može se koristiti izravno za lokalne potrebe ili se može distribuirati putem električne mreže kako bi se opskrbili domovi i poslovne zgrade.

Jedna od glavnih prednosti fotonaponskih elektrana je čista proizvodnja energije. Kao i kod drugih solarnih tehnologija, proizvodnja električne energije iz fotonaponskih elektrana ne emitira stakleničke plinove ili zagađivače, čime se smanjuje negativan utjecaj na okoliš i klimatske promjene. Osim toga, solarna energija je obnovljiv izvor, što znači da se sunčeva svjetlost neće iscrpiti, osiguravajući dugoročnu i održivu opskrbu energijom. Fotonaponske elektrane također pružaju mogućnost decentralizirane proizvodnje energije. Postavljanjem fotonaponske elektrane na krovove zgrada, kuća ili industrijskih objekata, pojedinci i tvrtke mogu postati aktivni proizvođači električne energije, smanjujući svoju ovisnost o tradicionalnim izvorima energije. Unatoč svojim prednostima, fotonaponske elektrane također se suočavaju s izazovima. Varijacije u sunčevom zračenju i potreba za skladištenjem energije za noćne ili oblačne periode zahtijevaju razvoj učinkovitih sustava pohrane energije.



Slika 2.5. Neintegrirana sunčana elektrana [7]

2.1.5. Nuklearne elektrane

Nuklearne elektrane su složeni energetske sustavi koji koriste nuklearnu reakciju fisijskog ili fuzijskog procesa. Nuklearne elektrane temeljene na fisijskoj reakciji rade na principu koji uključuje raspadanje atomske jezgre velikih kemijskih elementa poput Urana (U^{235}) na manje jezgre uz oslobađanje velike količine energije u obliku topline i radijacije. Oslobođena toplina koristi se za zagrijavanje vode koje se pretvara u paru koja pokreće parnu turbinu kojom se rotira rotor generatora te se proizvodi električna energija. Kod nuklearnih elektrana koje rade na principu fuzijske reakcije koji je suprotan fisijskoj reakciji, tj. lakši atomi se kombiniraju kako bi se stvorila teža jezgra te se kao nusprodukt te reakcije oslobađa toplinska energija koja je posrednik u proizvodnji električne energije. Fuzijske nuklearne elektrane još ne postoje u komercijalnoj primjeni, već je fuzijska tehnologija u fazi istraživanja i razvoja. Nuklearne elektrane vrlo su slične termoelektranama na ugljen budući da se za proizvodnju energije koristiti Rankineov kružni proces. Međutim, zahtijevaju različite sigurnosne mjere budući da korištenje nuklearnog goriva ima znatno drugačija svojstva od ugljena ili drugih fosilnih goriva [8].

Komponente i rad [8]:

- Nuklearni reaktor
 - je ključna komponenta elektrane jer sadrži gorivo i njegovu nuklearnu lančanu reakciju, zajedno sa svim nuklearnim otpadnim produktima, ujedno reaktor je izvor topline za elektranu, slično kao što je kotao za elektranu na ugljen.
 - Uran je dominantno nuklearno gorivo koje se koristi u nuklearnim reaktorima, a njegove fisijske reakcije stvaraju toplinu unutar reaktora.
- Generator pare
 - Proizvodnja pare je uobičajena kod svih nuklearnih elektrana, ali način na koji se to postiže značajno varira.
 - Najčešće korištene elektrane na svijetu koriste reaktore s tlakovodnim sustavom, koji koriste dvije petlje kruženja vode za proizvodnju pare. Prva petlja prenosi iznimno vruću vodu do izmjenjivača topline, gdje se cirkulira voda pod nižim tlakom. Potom se zagrijava i ključa do pare, koja se zatim šalje u turbinsku sekciju. Reaktori koji koriste reaktore s vodenim ključanjem su drugi najčešći tip reaktora u proizvodnji energije, vodu u jezgri direktno zagrijavaju do pare
- Turbine i Generator
 - Nakon što se para proizvede, para putuje velikom brzinom pod visokim tlakom kroz jednu ili više turbina. Ove turbine postižu iznimno visoke brzine, uzrokujući gubitak energije pare i njezino kondenziranje natrag u kapljevinu. Rotacija turbina koristi se za pokretanje električnog generatora, koji proizvodi električnu energiju koja se šalje u električnu mrežu.
- Rashladni tornjevi
 - služe za izbacivanje otpadne topline u atmosferu putem prijenosa topline iz vruće vode (iz dijela turbine) u hladniji vanjski zrak. Vruća voda se hladi u kontaktu s zrakom, a mali dio, oko 2%, isparava i uzdiže se prema vrhu
- Učinkovitost
 - Tipične nuklearne elektrane postižu učinkovitosti od oko 33-37%, što je usporedivo s elektranama na fosilna goriva. Elektrane s višim temperaturama i modernijom tehnologijom, poput nuklearnih reaktora četvrte generacije, potencijalno bi mogli doseći učinkovitost veću od 45%.

Prednosti nuklearnih elektrana su:

- Visok kapacitet i stabilnost:
 - Nuklearne elektrane mogu konstantno proizvoditi veliku količinu električne energije tijekom dugih razdoblja, što doprinosi stabilnosti elektroenergetskog sustava.
- Niska emisija CO₂:
 - Nuklearne elektrane imaju nisku emisiju stakleničkih plinova tijekom rada, što ih čini privlačnima u kontekstu borbe protiv klimatskih promjena.
- Niski troškovi goriva:
 - Gorivo za nuklearne elektrane (nuklearno gorivo) je relativno jeftino i može osigurati dugotrajnu opskrbu energijom.

Izazovi nuklearnih elektrana:

- Nuklearna sigurnost:
 - Postoji potencijal za nuklearne havarije koje mogu rezultirati ozbiljnim radiološkim otpuštanjem i dugotrajnim posljedicama za okoliš i zdravlje ljudi.
- Nuklearni otpad:
 - Nuklearne elektrane proizvode nuklearni otpad koji zahtijeva sigurno skladištenje i obradu kako bi se spriječile negativne posljedice za okoliš i ljudsko zdravlje.
- Visoki početni troškovi:
 - Gradnja nuklearnih elektrana zahtijeva visoke inicijalne investicije i dugotrajno vrijeme do uspostave.
- Javna percepcija:
 - Javnost ima različite stavove prema nuklearnim elektranama, a kontroverze i zabrinutosti oko sigurnosti i otpada mogu otežati njihovu prihvaćenost.



Slika 2.6. Nuklearna elektrana Krško

2.1.6. Elektrane na biomasu

Biomasa postaje sve više poznata kao glavni izvor obnovljive energije na Zemlji. Elektrane na biomasu su energetske sustavi koji koriste organske materijale, poput drva, poljoprivrednih ostataka, otpada, slame, ili drugih obnovljivih biomasa, kako bi proizveli električnu energiju. Glavni interes ove energetske proizvodnje leži u činjenici da se korišteni materijal smatra neiscrpnim, sve dok se proizvodi na ekološki način, za razliku od fosilnih goriva.

Ove elektrane primjenjuju nekoliko različitih mehanizama i tehnologija koji omogućuju pretvaranje biomase u energiju:

- Sagorijevanje:
 - ovaj tradicionalni proces uključuje izravno sagorijevanje biomase, kao što su drvo, poljoprivredni ostaci ili otpad, kako bi se proizvela toplinska energija. Toplina se koristi za zagrijavanje vode i stvaranje pare koja pokreće turbinu i generator električne energije [9].
- Plinifikacija:
 - proces uključuje pretvaranje biomase u plin (obično sintezni plin) pomoću kemijskih reakcija. Taj plin može se koristiti kao gorivo u motorima s unutarnjim izgaranjem ili kao izvor plina za proizvodnju električne energije [9].

- Fermentacija:
 - uključuje razgradnju biomase uz pomoć mikroorganizama kako bi se stvorili bioplín i biogorivo (npr. biometan ili biobutanol). Ovi plínovi ili goriva mogu se koristiti za proizvodnju toplinske energije ili električne energije.
- Piroliza:
 - proces zagrijavanja biomase u odsutnosti zraka kako bi se stvorili plín, tekuće gorivo i čvrsti ugljikov materijal poznat kao "biougljen". Plín i tekuće gorivo mogu se koristiti za proizvodnju energije.
- Anaerobna digestija:
 - ovaj proces uključuje razgradnju biomase u anaerobnim uvjetima (bez prisutnosti kisika) uz pomoć mikroorganizama kako bi se stvorio biometan, koji se može koristiti kao gorivo za proizvodnju energije.

Elektrane na biomasu imaju nekoliko prednosti:

- Održiv izvor:
 - Biomasa je obnovljiv izvor energije, jer se može obnavljati kroz rast i reprodukciju biljaka.
- Smanjenje otpada:
 - Ove elektrane mogu iskoristiti poljoprivredne i druge vrste otpada kao gorivo, što može smanjiti količinu otpada na odlagalištima.
- Niska emisija CO₂:
 - Iako izgaranje biomase emitira CO₂, ukupna emisija ugljičnog dioksida često je niža u usporedbi s fosilnim gorivima, jer biljke apsorbiraju CO₂ iz atmosfere dok rastu.
- Lokalna ekonomija:
 - Proizvodnja biomase i njezina prerada mogu potaknuti lokalnu ekonomiju i stvoriti radna mjesta.



Slika 2.7. Kogeneracijska elektrana na biomasu u Gospiću

2.1.7. Geotermalne elektrane

Geotermalna elektrana koristi geotermalnu energiju (potječe iz termalne energije koja se akumulira unutar Zemljine kore) kako bi se proizvela električna energija. Geotermalne elektrane koriste taj toplinski izvor za proizvodnju pare koja pokreće turbine i generatore za proizvodnju električne energije (isti proces kao kod konvencionalnih elektrana).

Postoji nekoliko vrsta geotermalnih elektrana [12]:

- Elektrane na suhu paru
 - Koristi direktno geotermalni resurs (vruću paru) te se para direktno koristi za pokretanje turbina generatora
 - Najjeftiniji i najjednostavniji princip
- Elektrane s razdvajanjem (separiranjem) pare
 - Ova tehnika koristi vodu iz dubokih rezervoara pod visokim pritiskom i na temperaturi od 182°C. Procesom ubrizgavanja vode iz ovih rezervoara prema površini, smanjuje se tlak, što rezultira pretvaranjem vode u vodenu paru. Ova para zatim pokreće turbinu. Voda koja se nije pretvorila u paru vraća se natrag u rezervoar kako bi se mogla ponovno upotrijebiti.

- Elektrane s binarnim ciklusom
 - Binarni ciklus se odvija tako da topla voda ili para iz geotermalnog izvora prenosi toplinu na sekundarnu tekućinu s nižom točkom ključanja, poput izobutana ili pentana te sekundarna tekućina zatim isparava i pokreće turboagregate.

Prednosti proizvodnje električne energije iz geotermalnih izvora:

- Vrlo niska emisija ili bez emisije stakleničkih plinova
- Smanjenje ovisnosti o uvoznjoj energiji i geopolitičkim zbivanjima
- Nema korištenja goriva (skladištenje, transport, rudarenje)
- Vrlo kratko vrijeme godišnjeg remonta
- Efikasno iskorištenje prostora - zahtijeva svega 400 m² po GW

Nedostaci proizvodnje električne energije iz geotermalnih izvora obuhvaćaju:

- Visoke inicijalne investicije potrebne za pokretanje proizvodnje.
- Konkurencijski izazovi u pogledu cijene električne energije proizvedene u geotermalnim elektranama.
- Potencijalna korozivnost vode i prisutnost opasnih plinova poput H₂S i amonijaka.
- Moguća buka uzrokovana izbijanjem pare i vruće vode.
- Ograničen broj visoko-temperaturnih resursa prikladnih za proizvodnju električne energije



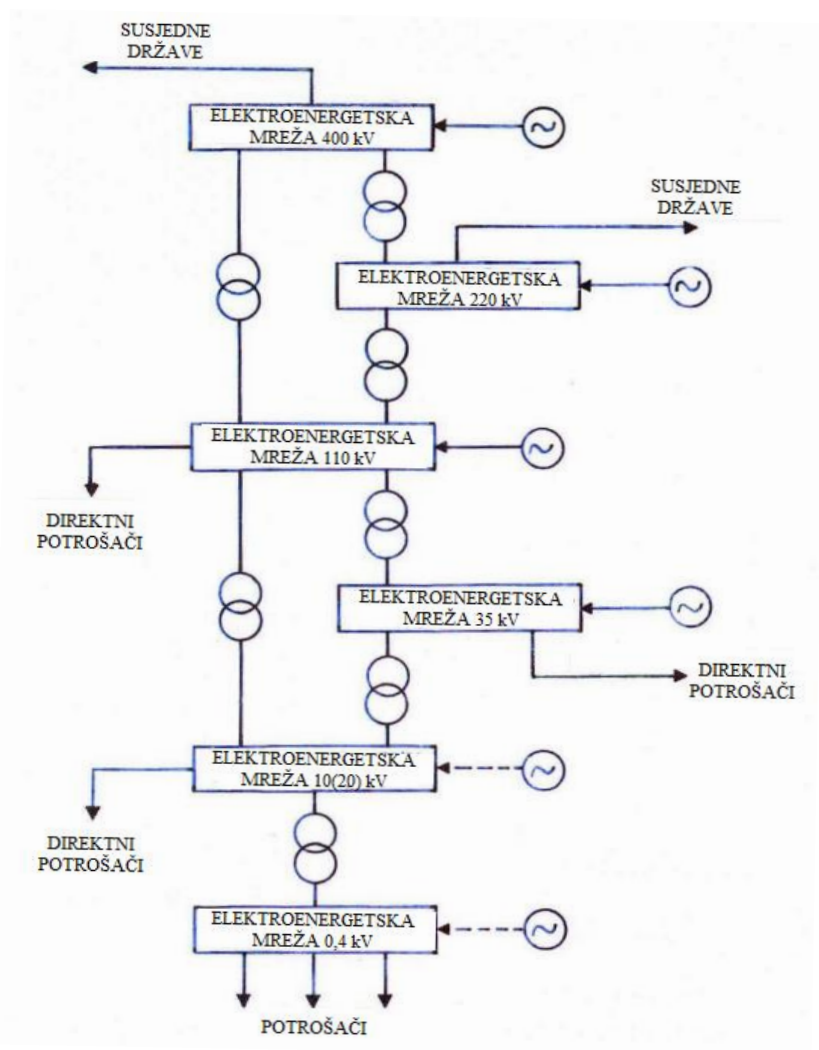
Slika 2.8. Geotermalna elektrana Hellisheiði (Island) [11]

2.2. Transformatorske stanice

Transformatorske stanice predstavljaju ključan dio elektroenergetskog sustava koji obuhvaća iznimno važnu ulogu u prijenosu i distribuciji električne energije. Njihova svrha je omogućiti učinkovitu i pouzdanu transformaciju napona između različitih naponskih razina, što je neophodno kako bi se električna energija pravilno prilagodila potrebama različitih dijelova mreže i krajnjih potrošača. Ujedno, transformatorske stanice predstavljaju ključnu vezu između elektrana i potrošača, osiguravajući da električna energija putuje kroz elektroenergetski sustav na siguran, učinkovit i kontroliran način. To je ključno jer se električna energija proizvodi na visokim naponskim razinama, ali se potrošačima isporučuje na nižim naponskim razinama, kako bi bila sigurna za upotrebu u kućanstvima, industriji i komercijalnim objektima.

Prijenosne transformatorske stanice pozicionirane su na lokacijama između elektrana i distribucijskih transformatorskih stanica. Njihova glavna svrha je transformacija visokonaponskih razina kako bi se omogućio pouzdan prijenos električne energije na velike udaljenosti uz minimalne gubitke (visoku efikasnost). Koriste se omjeri transformacija poput: 400/220/110 kV, 400/110 kV, 220/110 kV. Primjerice, omjer transformacije poput 400/110 kV znači da se električna energija transformira s visokonaponske razine od 400 kV na nižu razinu od 110 kV (ili obrnuto). Naponska razina 110 kV predstavlja granicu između prijenosnog i distribucijskog sustava.

Distribucijske transformatorske stanice smještene su bliže krajnjim potrošačima, često u ruralnim i urbanim područjima. Njihova uloga je prilagodba naponskih razina kako bi se električna energija uskladila s potrebama distribucijske mreže i krajnjih potrošača. Omjeri transformacije u distribucijskim transformatorskim stanicama mogu biti: 110/35 kV, 110/20(10) kV, 35/20(10) kV te 20(10)/0,4 kV.



Slika 2.9. Osnovna struktura ESS-a Republike Hrvatske s prikazanim transformatorskim razinama [13]

Osnovni dijelovi trafostanice su:

- Transformator
- Prekidači
- Rastavljači
- Mjerni uređaji
- Zaštitni uređaji
- Sabirnice

2.2.1. Transformatori

Transformatori su ključni elementi elektroenergetskog sustava odgovorni za transformaciju električnih napona i prilagodbu energije različitim potrebama prijenosa i distribucije. Glavna svrha energetskog transformatora je povećanje prijenosnog napona u proizvodnoj jedinici i smanjenje prijenosnog napona u distribucijskoj jedinici s time da frekvencija ostaje nepromijenjena. Princip rada transformatora temelji se na elektromagnetskoj indukciji i osnovnim zakonima elektromagnetizma. Transformator se sastoji od feromagnetske jezgre i dva ili tri namota omotanih oko te jezgre. Glavni namot naziva se primarni namot i povezan je s izvorom električne energije, dok je drugi (sekundarni) namot povezan s opterećenjem ili potrošačem. Kao rezultat protjecanja struje kroz primarni namot stvara se magnetsko polje koje inducira napon u sekundarnom namotu putem elektromagnetske indukcije. Omjer broja zavoja u primarnom i sekundarnom namotu određuje omjer transformacije između primarnog i sekundarnog namota (koliko je puta broj namota na sekundaru veći (ili manji) nego na primaru toliko će puta i napon na sekundaru biti veći (ili manji) od napona na primaru). Ujedno se pri ovom procesu ne stvara energija, nego se samo transformiraju iznosi napona i struja koji su međusobno obrnuto proporcionalni, tj. povećanjem naponske razine smanjuje se jakost (iznos) struje s obzirom na zakon očuvanja energije. U idealnim uvjetima, gdje nema gubitaka, ulazna snaga jednaka je izlaznoj, dok u realnim uvjetima rada izlazna snaga je umanjena za gubitke koji nastaju u transformatoru prilikom transformacije napona i struje s obzirom na ulaznu snagu.

Izraz za transformatorske jednadžbe glasi:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.1.)$$

gdje je:

U_1 napon primarnog namota, u voltima [V]

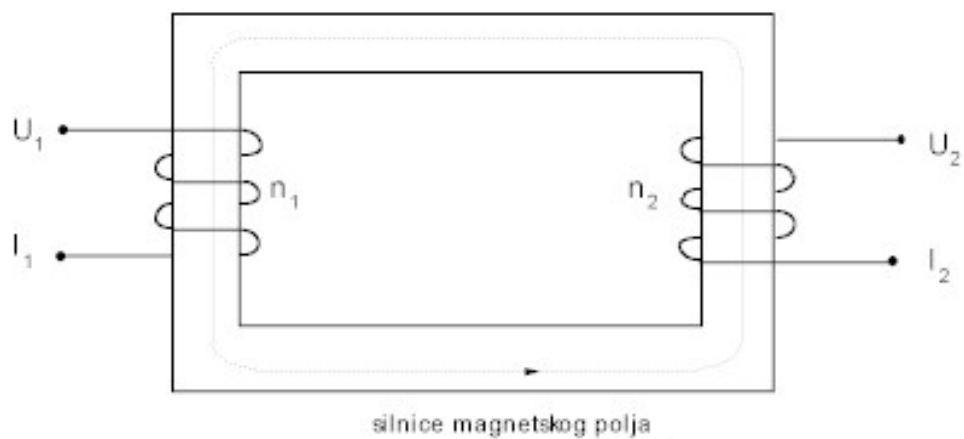
U_2 napon sekundarnog namota, u voltima [V]

I_1 struja primarnog namota, u amperima [A]

I_2 struja sekundarnog namota, u amperima [A]

N_1 broj namota primarnog namota

N_2 broj namota sekundarnog namota



Slika 2.10. Blok shema transformatorske jezgre i namota [16]



Slika 2.11. Energetski transformator Končar [17]

2.2.2. Uređaji za prekidanje struje

U visokonaponskim i srednjonaponskim postrojenjima za prekidanje struje koriste se:

- Visokonaponski osigurači
 - Temeljna svrha im je ograničavanje struje u mrežama srednjeg napona.
 - Izbor osigurača vrši se prema nazivnom naponu mreže i prema nazivnoj struji.
 - VN osigurači s rastalnicom u zrnatim tvarima - sastoje se od porculanske cijevi u kojoj je smješteno više paralelno spojenih tankih srebrenih vodiča na posebnim nosačima, koji osiguravaju određeni položaj vodiča [18]. Cijev je ispunjena pijeskom [18]. Krajevi cijevi provideni su metalnim kapama na koje su spojeni vodiči i koje dolaze među kontakte postolja osigurača [18].
 - Prolaskom struje kroz vodiče osigurača razvija se toplina zbog djelatnog otpora. Dio te topline zagrijava vodiče, a dio se predaje okolini. U slučaju kvara, kroz osigurač prolazi struja veće vrijednosti od dopuštene što rezultira taljenjem žice (prekidom strujnog kruga) osigurača uslijed pojave visoke temperature na vodiče u osiguraču.
 - Pored najčešće korištenog VN osigurača s rastalnicom u zrnatim tvarima postoje još sljedeće vrste VN osigurača [36]:
 - Osigurač s rastalnicom u zraku – primjena za umjerene napone i struje do nekoliko desetaka A (ampera).
 - Ekspulzijski i tekući osigurači – koriste se za veće prekidne moći (do 3 kA uz napon 20 kV).
- Prekidači
 - Izbor prekidača vrši se prema: nazivnom naponu, nazivnoj struji i rasklopnoj moći.
 - Mogu uklapati, voditi i prekidati struje u normalnim uvjetima pogona, te uklapati, voditi u određenom vremenu i prekidati struju u poremećenim uvjetima rada, kao što je KS (kratki spoj) [36].
 - U većini sklopnih aparata prekidanje struje postiže se mehaničkim razdvajanjem kontakta, pri čemu nastaje električni luk. U izmjeničnim strujnim krugovima pojava eklektičnog luka je pozitivna jer se time sprječava naglo prekidanje struje te na taj način struja prirodno prolazi kroz nulu. U trenutku kada struja postigne vrijednost nula, električni se luk gasi te je potrebno osigurati da se ponovno ne upali [36]. Pojava električkog luka razvija velika termička i mehanička naprezanja kao što su: naganje ili izgaranje kontakta, oštećenje izolacije i povišenje

unutarnjeg tlaka uslijed razgrađivanja ulja ili zagrijavanja plina (može rezultirati eksplozijom prekidača). Stoga je nakon gašenja električnog luka prirodnim prolaskom struje kroz nulu potrebno osigurati da dielektrična čvrstoća međukontaktnog prostora bude dovoljno velika da ne dođe do ponovnog paljenja luka [36].

- Prema izvedbi postoje sljedeće vrste prekidača: zračni prekidači, pneumatski prekidači, uljni i malouljni prekidači, hidromatski prekidači, SF₆ prekidači i vakuumski prekidači.
- Zračni prekidači
 - Koriste zrak za izolaciju i primjenjuju se na otvorenim okruženjima.
 - Ponovno paljenje luka se sprječava hlađenjem.
- Pneumatski prekidači
 - Za gašenje luka koristi se komprimirani zrak koji struji uzdužno i poprečno na luk te ga hladi, ali ujedno i dovodi svjež medij u međukontaktni prostor što sprječava ponovno paljenje luka [36].
 - Komprimirani zrak posjeduje bolja dielektrična i toplinska svojstva od atmosferskog zraka.
- Uljni prekidači
 - Ulje se koristi kao izolator među polovima, između polova i mase te kao medij za gašenje luka [36].
 - Ulje karakterizira velika dielektrična čvrstoća koja raste s porastom tlaka i velika toplinska vodljivost koja pogoduje brzom hlađenju luka.
- Malouljni prekidači
 - Ulje se koristi samo za gašenje luka, a izolacija prema masi i među fazama ostvaruje se putem nekog drugog izolacijskog materijala (potrebno je manje ulja) [36].
- Hidromatski prekidači
 - To su u biti malouljni prekidači s elastičnom komorom u kojima je medij za gašenje luka destilirana voda s glikolom (sredstvo protiv smrzavanja koje ujedno i povećava količinu pare za vrijeme trajanja luka, što ujedno potpomaže bržem gašenju luka.
- SF₆ prekidači
 - Koriste plin (SF₆) kao radni medij u prekidnoj komori i za izolaciju čime se smanjuje veličina prekidača i osigurava učinkovita upotreba prostora.

- Vakuumski prekidač
 - Vakuum je svaki medij čiji je tlak ispod normalnog atmosferskog tlaka.
 - Koriste vakuum kako bi izolirali kontakte, osiguravajući brzo i pouzdano gašenje luka.
- Učinski rastavljači (sklopke)
 - Učinski rastavljači (rastavne sklopke) su prema izvedbi (vidljivost kontakata) rastavljači, a prema djelovanju (s obzirom da mogu sklapati struje) prekidači, odnosno s obzirom da se ipak radi o manjim strujama sklopke [36].
 - U otvorenom položaju ostvaruju rastavni razmak kao i rastavljači.
 - Mogu kratko vrijeme voditi i struje kratkog spoja, ali ih ne mogu prekidati [36].
 - Mogu se podijeliti na sljedeće grupe [36]:
 - Učinski rastavljači za opću uporabu
 - koriste se u razdjelnim i prijenosnim mrežama gdje mogu sklapati struje manje ili jednake nazivnoj struji te struje magnetiziranja neopterećenih transformatora, vodova i kabela.
 - Učinski rastavljači za ograničenu uporabu
 - Pogodni su za sklapanje neopterećenih transformatora.
 - Učinski rastavljači za posebnu namjenu
 - Služe za sklapanje kondenzatorskih baterija, visokonaponskih asinkronih motora i prigušnica.
 - Rastavne sklopke su jednostavnije i jeftinije od prekidača i u puno slučajeva nadomještaju prekidače i rastavljače.
 - Budući da rastavne sklopke nisu građene za prekidanje struja kratkog spoja, obično se u seriju s njima ugrađuje osigurač, ali ta je kombinacija (zbog osigurača) ograničena na uporabu samo do 35 kV.
 - Za gašenje luka koriste se plinovi koji se razvijaju prilikom isklapanja.

2.2.3. Rastavljači

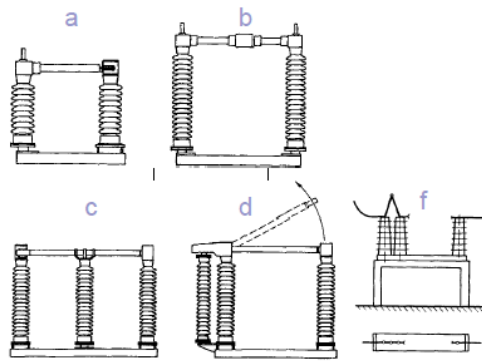
Rastavljači služe za to da vidljivo odvoje dio rasklopnog postrojenja koje nije pod naponom, od dijela koji je pod naponom [18]. Njihov glavni zadatak je povećanje sigurnosti radnog osoblja koje obavlja radove na dijelu rasklopnog postrojenja. Izbor rastavljača vrši se prema nazivnom naponu, maksimalnoj struji u normalnom pogonu, uz kontrolu s obzirom na udarnu struju kratkog spoja

(mehanička čvrstoća) i s obzirom na struju kratkog spoja mjerodavnu za ugrijavanje (dopušteno povišenje temperature) [18]. Rastavljač se ne koristi za prekidanje struje, nego se isklapanje obavlja kada kroz rastavljač ne teče struja. Prilikom otvaranja rastavljača pojavljuje se električni luk među kontaktima čije posljedice mogu biti znatna oštećenja u rasklopnom postrojenju zbog toga što nema komore niti medija za gašenje luka. U postrojenjima je obavezno prvo iskllopiti prekidač, a tek onda rastavljač kako bi se izbjegla oštećenja. Odstupanja od ovog pravila mogu biti eventualno kod malih struja, ali je tada potrebno isklapanje obaviti što je moguće brže uz istodobno otvaranje kontakta svih triju faza. Normalno su rastavljači svih triju faza mehanički spojeni, čime se postiže istovremeno uklapanje i isklapanje svih faza. Iznimno za naponske razine do 10 kV izvode se rastavljači s ušicama na noževima, koji se isklapanju i uklapaju pomoću izolatorske motke i to svaki pol zasebno [18]. Ovakvi rastavljači se primjenjuju samo u najmanjim rasklopnim postrojenjima. Postoje tri izvedbe upravljanje rastavljačima: ručno, pneumatsko i električki (motorni pogon). Ručno upravljanje obavlja se preko poluga vezanih s osovinom rastavljača te je potrebno doći do čelije ili polja gdje se nalazi rastavljač kako bi se njime upravljalo. Za pneumatsko upravljanje potreban je pneumatski pogon koji koristi komprimirani zrak koji djelovanjem na štap cilindra pokreće osovinu rastavljača. Pneumatskim pogonom može se upravljati iz upravljačke prostorije. Električko upravljanje obavlja se motorom koji zakreće osovinu rastavljača te se upravljanje obavlja daljinski iz kontrolne sobe.

Općenito se rastavljači dijele na [36]:

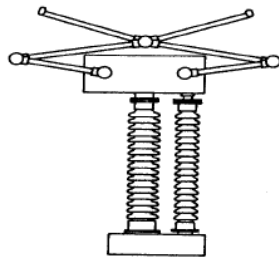
- Višestupne
 - Imaju dva ili tri potporna izolatora po polu, a oba čvrsta kontakta su mehanički vezana za postolje pola.
- Jednostupne
 - Imaju u svakoj fazi samo jedan potporni izolator s pripadnim čvrstim kontaktom, a drugi je čvrsti kontakt zavješeni na vodič sabirnice iznad rastavljača.

Višestupne izvedbe rastavljača



- a - okretni rastavljač s krajnjim rastavljanjem
- b - okretni rastavljač sa središnjim rastavljanjem
- c - trostupni okretni rastavljač
- d - rastavljač s okomitim rastavljanjem
- f - rastavljač kod kojeg se srednji izolator pomiče između dva krajnja izolatora (treba manji razmak među fazama jer mu kontakti ne izlaze iz njegove ravnine što je slučaj u ostalim izvedbama)

Jednostupna izvedba rastavljača (pantografski rastavljač)



Slika 2.12. Izvedbe rastavljača [36]

2.2.4. Mjerni uređaji

Pored klasičnih energetskih transformatora u trafostanici se koriste i mjerni transformatori koji se mogu podijeliti u dvije osnovne kategorije: strujni mjerni transformator i naponski mjerni transformator. Strujni mjerni transformatori i naponski mjerni transformatori su specifične vrste transformatora koji se koriste u električnim postrojenjima za mjerenje i nadzor električnih veličina, poput struje i napona. Njihova svrha je osigurati precizno mjerenje i praćenje električnih veličina u različitim dijelovima elektroenergetskog sustava.

Strujni mjerni transformator (SMT) je transformator koji se koristi za mjerenje struje u električnim postrojenjima. Njegov primarni namot povezan je u seriju s potrošačima, odnosno generatorima, pa struja kroz taj namot praktički ne ovisi o prilikama na sekundarnoj strani [18]. Sekundarni namot povezan je s mjernim instrumentima (npr. ampermetrom) ili sustavima za prikupljanje podataka. Omjer transformacije SMT-a omogućuje precizno skaliranje struje s primarnog na

sekundarni namot, čime se omogućuje točno mjerenje i praćenje struje bez potrebe za direktnim povezivanjem mjernog instrumenta na primarni vod.

Naponski mjerni transformator (NMT) je transformator koji se koristi za mjerenje napona u električnim postrojenjima. Njegov primarni namot povezan je paralelno s naponskim izvorom koji se mjeri, kao što je izlaz transformatora ili vod s određenim naponom. Sekundarni namot povezan je s naponskim instrumentima (npr. voltmetrima) ili sustavima za prikupljanje podataka. Omjer transformacije NMT-a omogućuje precizno skaliranje napona s primarnog na sekundarni namot, što omogućava precizno mjerenje i praćenje napona bez potrebe za izravnim povezivanjem mjernog instrumenta na primarni napon.

2.2.5. Zaštitni uređaji

Zaštitni uređaji u transformatorskim stanicama igraju ključnu ulogu u održavanju sigurnosti, funkcionalnosti i pouzdanosti transformatorskih stanica. Ovi uređaji su dizajnirani da detektiraju i reagiraju na različite anomalije, kvarove i opasnosti koje mogu utjecati na rad transformatorskih stanica. U transformatorskim stanicama, zaštitni uređaju koriste se za zaštitu: transformatora, vodova (nadzemnih, kabelskih), sabirnica i drugih elemenata. Releji (zaštitni releji) je uređaj čiji je zadatak da isključi dio elektroenergetskog sustava ili da generira signal opasnosti u slučaju pojave kvara (npr. kratkog spoja) ili smetnje u pogonu elektroenergetskog sustava [37].

Postoji nekoliko vrsta zaštita koja su prisutne u transformatorskim stanicama [37]:

- Nadstrujna zaštita
 - Predstavlja strujnu zaštitu koja reagira kada na mjestu ugradnje nadstrujnog releja struja dosegne podešenu vrijednost.
- Podstrujna zaštita
 - Predstavlja strujnu zaštitu koja reagira u slučaju pada vrijednosti struje ispod podešene vrijednosti.
- Diferencijalna (usporedbena) zaštita
 - Predstavlja zaštitu koja se temelji na usporedbi iste mjerene električne veličine (najčešće struje) po iznosu, smjeru i fazi na oba kraja štice objekta.

Uspoređivanje se obavlja s pomoćnim vodom, komunikacijskim kablom ili telekomunikacijskim kanalom.

- Distantna zaštita
 - Predstavlja impedantnu zaštitu čije je djelovanje zavisno o udaljenosti između mjesta priključka releja i mjesta kvara.
- Usmjerenjena (učinska) zaštita
 - Predstavlja zaštita koja djeluje u slučaju kada se smjer struje (energije) podudara s usmjerenjem releja, neovisno ili zavisno o njenom iznosu.
- Podnaponska zaštita
 - Predstavlja naponsku zaštitu koja djeluje kada napon na mjestu ugradnje releja padne ispod podešene vrijednosti, koja je manja od nazivnog napona.
- Nadnaponska zaštita
 - Predstavlja naponsku zaštitu koja djeluje kada na mjestu ugradnje releja napon dosegne podešenu vrijednost, koja je veća od nazivnog napona.
- Termička zaštita
 - Predstavlja zaštitu koja djeluje kada temperatura štice objekta poraste iznad podešene vrijednosti.
- Plinska zaštita
 - Plinska zaštita našla je široku primjenu kao zaštita od svih vrsta unutrašnjih kvarova u transformatorima.
 - Stvaranje plinova u transformatoru i strujanje ulja prema konzervatoru iskorišteno je kao kriterij koji ukazuje na pojavu kvara u transformatoru.
 - Bucholtzov relej je uređaj koji se koristi za plinsku zaštitu. Relej se sastoji od dva plovka smještena u kućištu postavljenom na spojnom cjevovodu između kotla i konzervatora.
 - Zaštita djeluje na sljedeći način: ako dođe do stvaranja plinova u transformatoru, oni se skupljaju u releju i razina ulja u njemu se spušta. Kad količina plinova dosegne određenu mjeru, zatvara se kontakt i relej djeluje na signalizaciju. Kod težeg kvara u transformatoru ulje intenzivno struji prema konzervatoru, otklanja donji plovak koji zatvaranjem svojih kontakata djeluje brzo na isključenje svih prekidača transformatora i na signalizaciju.
- Uzemljenje i zaštita od munje
 - Uzemljivački uređaji omogućuju siguran put za višak električne energije do zemlje.

- Uređaji za zaštitu od munje (odvodnici prenapona) sprječavaju prenapone uzrokovane munjama usmjeravanjem njihove energije prema zemlji.

2.2.6. Sabirnice

Sabirnice su eklektička okosnica rasklopnog postrojenja [18]. One povezuju vodove kojima se dovodi energija s vodovima koji je dalje odvede [18]. Svi vodovi su spojeni sa sabirnicama, te stoga su sabirnice od najveće važnosti za normalan pogon rasklopnog postrojenja. Sabirnice su izrađene u obliku neizoliranih bakrenih ili aluminijskih vodiča. Za rasklopna postrojenja unutarnje izvedbe do nazivnog napona 35 kV dolaze u obzir okrugli, plosnati ili U-profilni, dok se za takva postrojenja višeg napona, bilo unutarnje ili vanjske izvedbe, upotrebljavaju užad ili cijevi [18]. Izbor presjeka sabirnica obavlja se: s obzirom na maksimalnu struju u normalnom pogonu, s obzirom na povišenje temperature sabirnica za vrijeme trajanja kratkog spoja i s obzirom na mehanička naprezanja u slučaju kratkog spoja.

2.2.7. Izvedbe

Unutarnje izvedbe transformatorskih stanica:

- Unutarnja kompaktna transformatorska stanica:
 - Ova izvedba se smješta unutar zatvorene zgrade ili kompaktnog modula.
 - Često se koristi u urbanim područjima gdje je prostor ograničen.
 - Uključuje kompaktno postavljen transformator, opremu za zaštitu, prekidače i mjerna mjesta (SF₆ tehnologija).
 - Primjenjuje se u prijenosnoj i distribucijskoj mreži.
- Konvencionalna unutarnja transformatorska stanica:
 - Ova vrsta stanice također se smješta unutar zgrade, ali komponente nisu kompaktno grupirane kao u kompaktnoj stanici.
 - Komponente se obično postavljaju pojedinačno, s više slobodnog prostora između njih.
 - Primjenjuje se u distribucijskoj mreži.

Vanjske izvedbe transformatorskih stanica:

- Stupna transformatorska stanica:
 - Ova je transformatorska stanica smještena na stupu.
 - Oprema je postavljena na konstrukciju stupa, što omogućava uštedu prostora na tlu.
 - Primjenjuje se u distribucijskoj mreži.
- Otvorena vanjska transformatorska stanica:
 - Transformatorska stanica smještena na otvorenom prostoru, bez zatvaranja. Komponente su postavljene na postoljima ili platformama, a ponekad su pokrivene krovnim konstrukcijama radi zaštite od vremenskih uvjeta.
 - Primjenjuje se u prijenosnoj i distribucijskoj mreži



Slika 2.13. Stupna transformatorska stanica



Slika 2.14. Vanjska izvedba trafostanice 110/35 kV Pokuplje [19]

2.3. Elektroenergetski kabelski vodovi

Elektroenergetski kabel predstavlja električni vod koji se sastoji od dva ili više vodiča isprepletenih zajedno u jedan snop. Ujedno, vodiči su napravljeni iz dobro vodljivog materijala poput bakra ili aluminija te su električki izolirani i smješteni u zajednički vanjski omotač koji služi kao zaštitna struktura od vanjskih utjecaja kao što su mehanička oštećenja, korodiranje, vlaga. Elektroenergetski kabelski vodovi su posebno prilagođeni za trajno polaganje u različitim okruženjima, uključujući zemlju, kabelske police u kabelskim kanalima, otvoreni prostor i čak pod vodu. Ova fleksibilnost u postavljanju omogućava elektroenergetskim sistemima da se prilagode različitim infrastrukturnim potrebama.

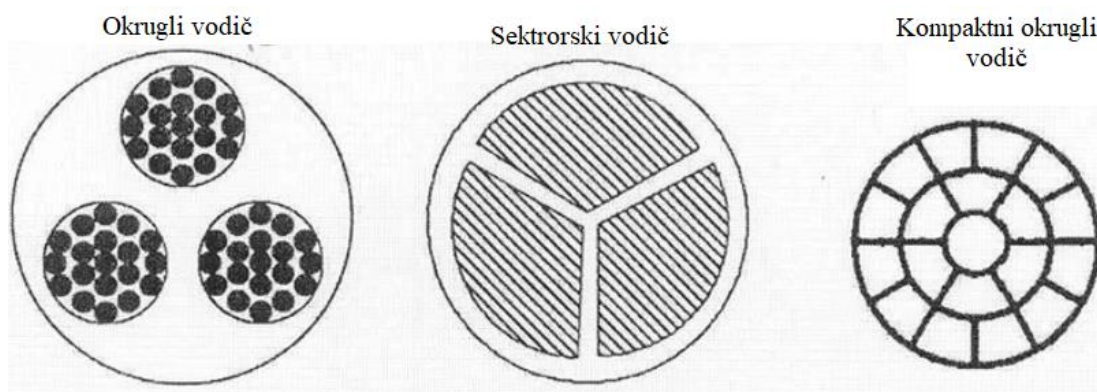
2.3.1. Elementi konstrukcije elektroenergetskog kabela

Konstrukcija elektroenergetskog kabela ovisi o nazivnom naponu i o uvjetima u kojima će kabel biti položen. Osnovni elementi konstrukcije kabela su: vodič, izolacija i zaštitni slojevi.

Vodiči su unutarnji provodni elementi kabela, obično izrađeni od visokokvalitetnih materijala kao što su bakar ili aluminij. Ujedno su aktivni element kabela koji omogućava protok električne struje kroz kabel.

Osnovne vrste vodiča prema izvedbi su:

- Okrugli vodič
- Sektorski vodič
- Kompaktni okrugli vodič



Slika 2.15. Prikaz vrsta vodiča prema izvedbi [20]

Osnovni parametri i podaci vodiča u elektroenergetskim kabelima su [20]:

- Nazivni presjek vodiča u mm^2
- Dimenzije vodiča (promjer vodiča)
- Električni otpor vodiča pri temperaturi u iznosu od $20^\circ C$ u Ω/km (Ohma po kilometru)
- Prekidna čvrstoća vodiča u N/mm^2 (Njutna po milimetru kvadratnom)

Izolacija je sloj materijala koji okružuje vodiče i sprječava kontakt između vodiča i okolnog okruženja te se time smanjuje rizik od kratkih spojeva i električkih smetnji.

Materijali za izolaciju su:

- Papir
 - višeslojni papirni namot impregniran uljem
 - upotreba do najviših napona
- Umjetni materijali
 - termoplastični materijali:
 - plastomeri (polivinilklorid)
 - ima velike dielektričke gubitke i primjenjuje se na niskim naponima
 - elastomeri (polietilen PE)
 - kemijski umreženi polietilen (oznaka IEC: XLPE)
 - etilensko-propilenski kaučuk (oznaka IEC: EPR)
 - primjenjuje se do najviših napona (500 kV)

- Plin pod tlakom
 - koriste se plinovi SF₆, N₂ pod tlakom kao jedina izolacija kod cijevnih kabela

Navedene vrste izolacije mogu se još dodatno podijeliti s obzirom na termičku stabilnost:

- Termički nestabilne (do naponske razine 60 kV)
 - Papir impregniran kablskom masom, guma, PVC
- Termički stabilne (do najviših napona)
 - Papir impregniran uljem pod stalnim tlakom
 - Papir u plinu pod stalnim tlakom
 - Polietilen
 - Plin pod tlakom kao jedina izolacija

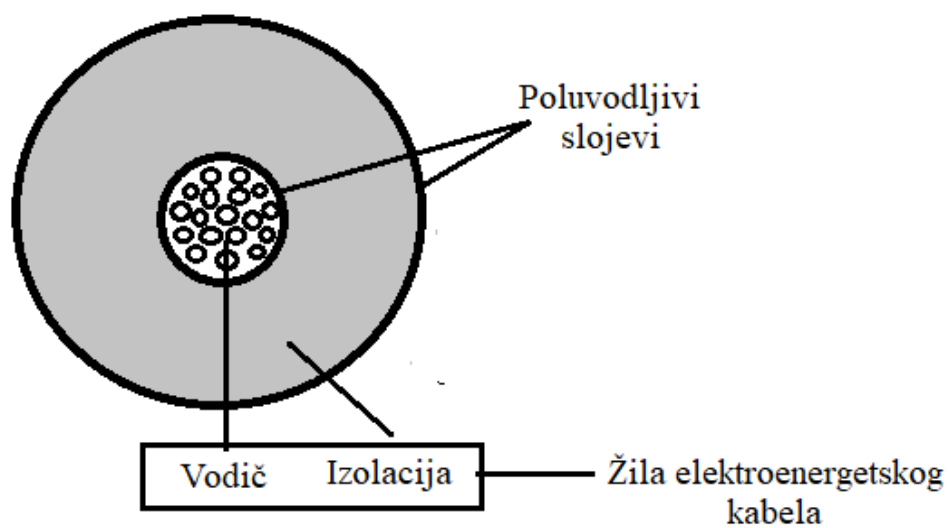
Zaštitni slojevi su ključni element konstrukcije elektroenergetskih kabela, namijenjeni pružanju potrebne zaštite od vanjskih čimbenika koji mogu utjecati na performanse i integritet kabela. Ovi slojevi igraju značajnu ulogu u održavanju stabilnosti prijenosa električne energije i osiguranju trajnosti kabela.

U elektroenergetskom kabelu nalaze se sljedeći zaštitni slojevi [20]:

- Vodljivi zasloni/poluvodljivi slojevi
 - Slojevi napravljeni od materijala s djelomičnom električnom vodljivošću (materijal na bazi grafita ili aluminijske folije), koriste se u konstrukciji elektroenergetskih kabela za kontrolu električkog polja i za uklanjanje praznina na granici izolacije.
- Električna zaštita/Ekran
 - Metalni sloj izrađen iz bakrene žice (jednožilni) ili bakrenih traka (trožilni) obavijeni spiralno preko vanjskog poluvodljivog sloja i meke bakrene trake omotane u suprotnom smjeru.
 - Služi za smanjenje elektromagnetskih smetnji (EMI) tako što stvara dodatnu zaštitnu barijeru između unutarnjih komponenata kabela i okoline.
 - Električna zaštita mora biti uzemljena minimalno na oba kraja kabela.

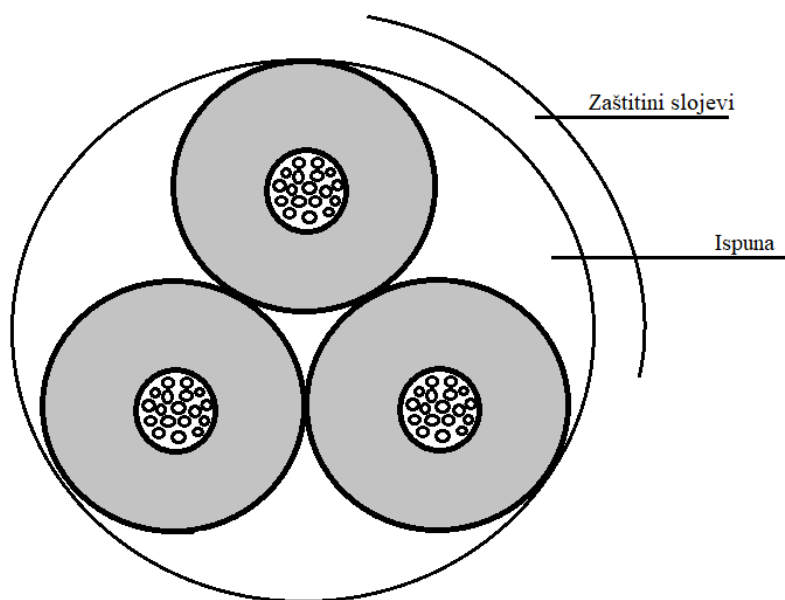
- Zaštitni plašt kabela
 - Koristi se kao zaštita od prodora vlage ili vode te služi kao zaštita od mehaničkih oštećenja.
 - Dijeli se na unutarnji zaštitni plašt kabela (metalni ili od umjetnih materijala) i na vanjski plašt kabela (iz umjetnih materijala kao što su PVC, PE).
- Armatura
 - Predstavlja metalni sloj koji služi kao zaštita od mehaničkih oštećenja i naprezanja tijekom polaganja kabela i pogona.
 - Realizira se od čeličnih traka i okruglih ili plosnatih pocinčanih žica koje se spiralno ovijaju oko jezgre kabela.
- Protukorozijska zaštita
 - Kod metalnih zaštitnih plašteva i armature potrebna je protukorozijska zaštita koja se sastoji od višeslojnog namota papira i jute koji su natopljeni dodatnim zaštitnim sredstvima.
- Mekani slojevi (ispuna)
 - Upotrebljavaju se u konstrukciji elektroenergetskih kabela pružajući dodatnu mehaničku zaštitu, apsorpciju i stabilnost unutar kabela. Obično se izrađuju od materijala poput upredenog papira, jute, polietilena, PVC masa, nevulkanizirane gume i postavljaju između unutarnjih komponenata kabela kako bi apsorbirali mehanička opterećenja, umanjili udarce, vibracije i rizik od oštećenja tijekom postavljanja, rukovanja i pogona.

Osnovni element kabela čini žila te se prema broju žila elektroenergetski kabelu dijele u sljedeće skupine: jednožilni, trožilni i četverožilni elektroenergetski kabel.



Slika 2.16. Skica osnovne konstrukcije žile kabela

Jezgra elektroenergetskog kabela sastoji se od međusobno upredenih žila kabela sa ispunom od pogodnog materijala.



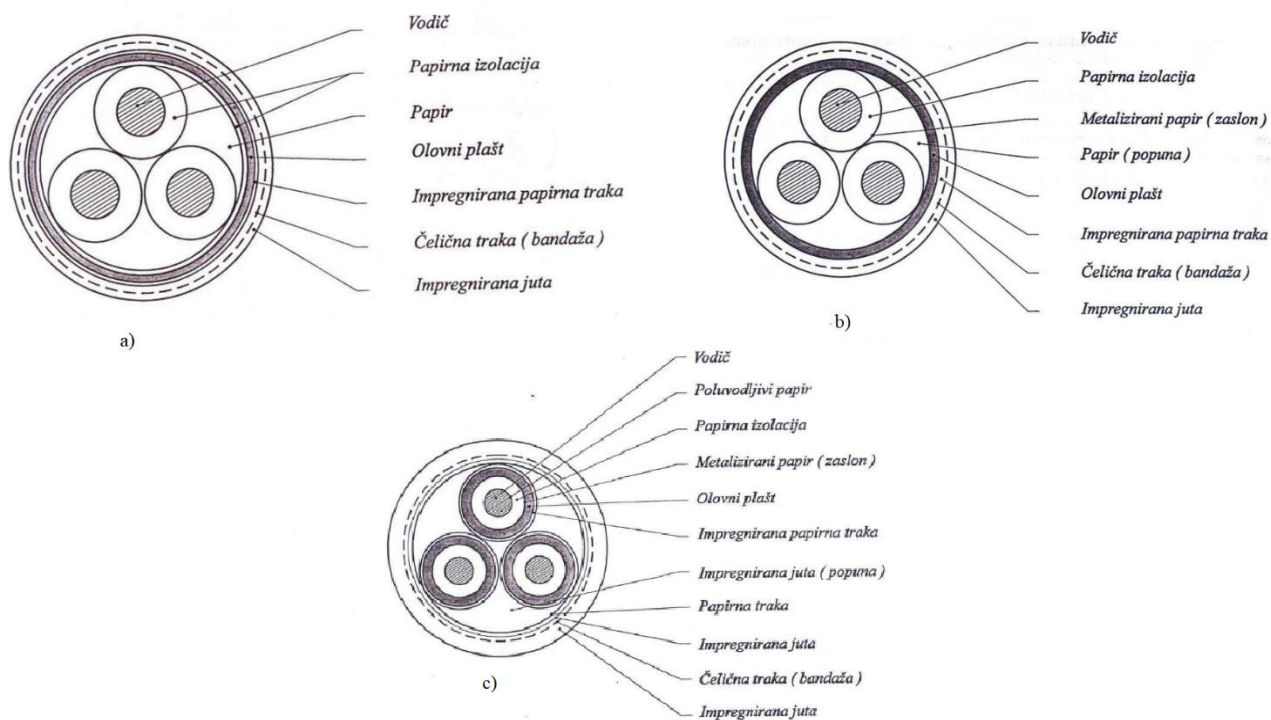
Slika 2.17. Skica trožilnog kabela

2.3.2. Izvedbe elektroenergetskih kabela

1. Kabeli izolirani papirrom i s olovnim plaštom

Dijele se na:

- Pojasne kabele (do 15 kV)
- H – kabele (do 60 kV)
- Troolovne kabele (do 60 kV)

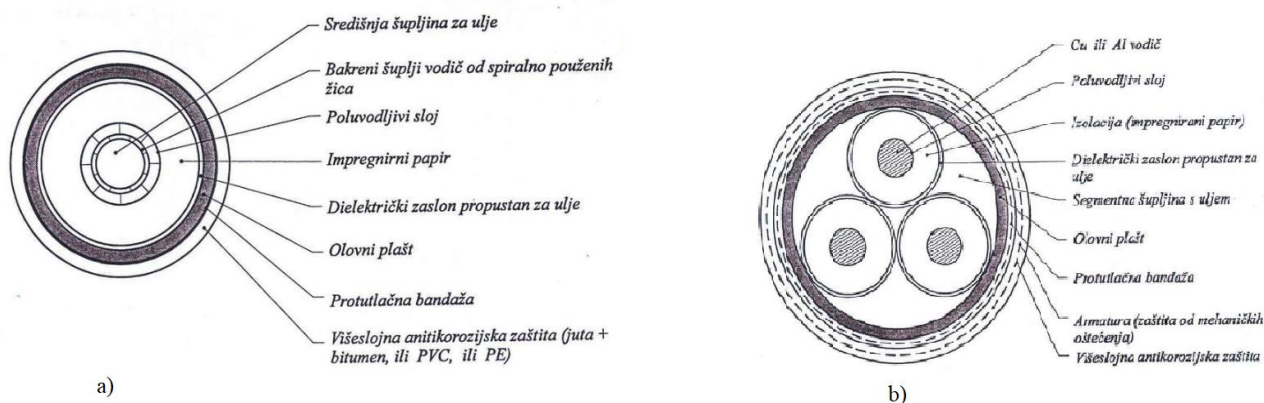


Slika 2.18. Kabeli izolirani papirrom i s olovnim plaštom: a) pojasni kabel, b) H-kabel, c) troolovni kabel [20]

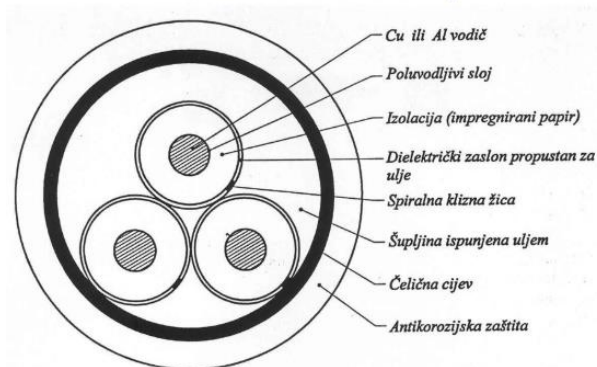
2. Uljni kabele

Dijele se na:

- Niskotlačne uljne kabele
- Visokotlačne uljne kabele



Slika 2.19. Niskotlačni uljni kabeli: a) jednožilni (do 750 kV), b) trožilni (do 132 kV) [20]



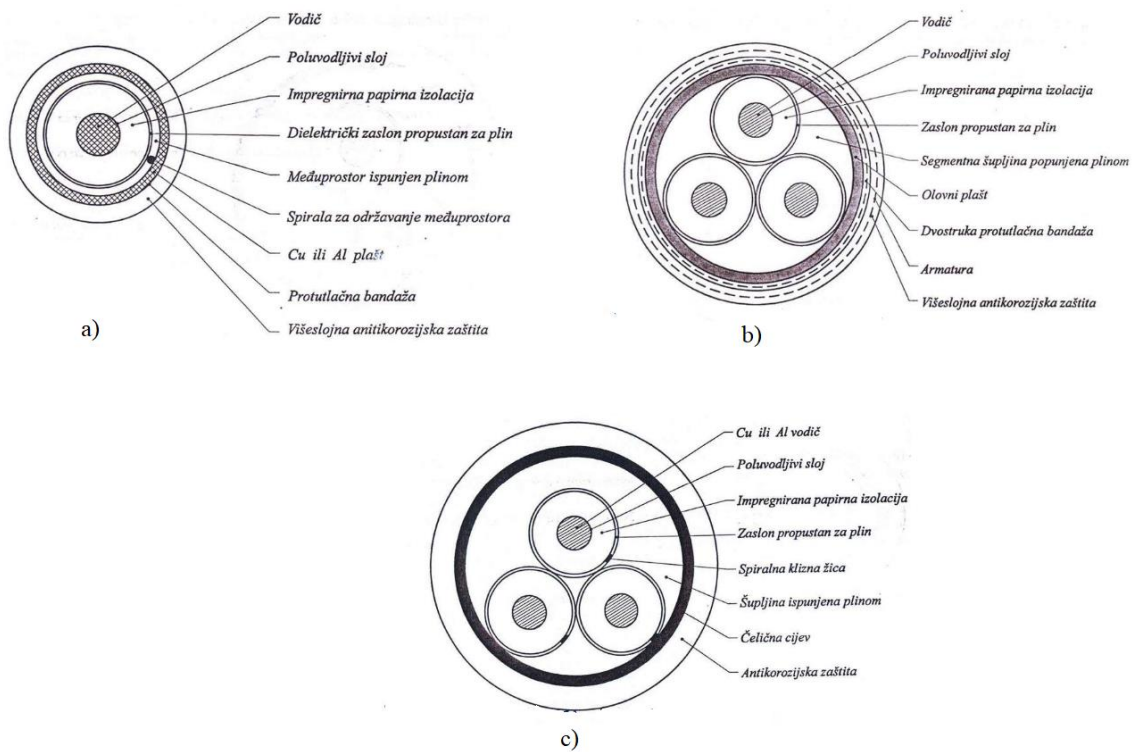
Slika 2.20. Visokotlačni uljni trožilni kabeli u cijevnoj izvedbi [20]

3. Plinski kabeli

Kao plin koriste dušik te dušik s dodatkom SF₆. Pretlak plina kreće se u rasponu od 15 do 16 bara. Plinski kabeli se primjenjuju do 300 kV.

Postoje dvije osnovne izvedbe:

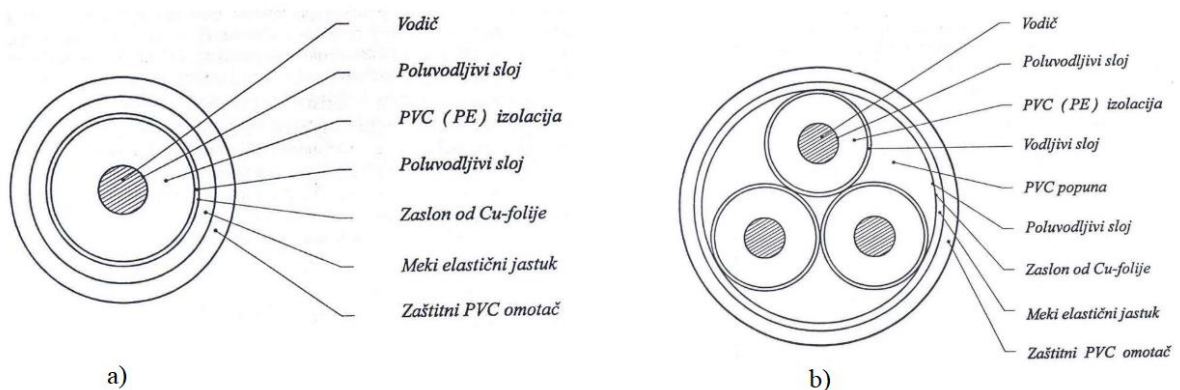
- Savitljiv kabel s plaštom – kabeli s unutarnjim plinskim tlakom
- Kruti cijevni kabeli – kabeli s vanjskim plinskim tlakom



Slika 2.21. Plinski kabeli: a) jednožilni, b) trožilni, c) trožilni plinski kabel u cijevi [20]

4. Termoplastični kabeli

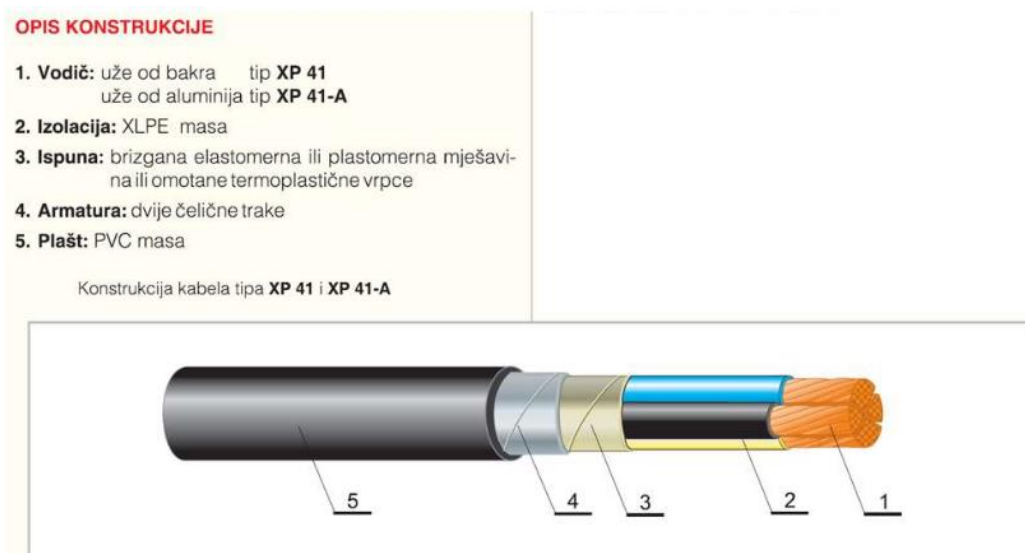
Termoplastični kabeli u odnosu na klasične kabele su lakši i savitljiviji, neosjetljivu su na vlagu, imaju manji radijus zakrivljenosti i manje dijalektričke gubitke, nemaju potrebu za održavanje te imaju višu trajno dozvoljenu temperaturu i struju opterećenja vodiča.



Slika 2.22. Termoplastični kabeli: a) jednožilni PVC ili PE (srednjeg napona), b) trožilni PVC ili PE (srednjeg napona) [20]

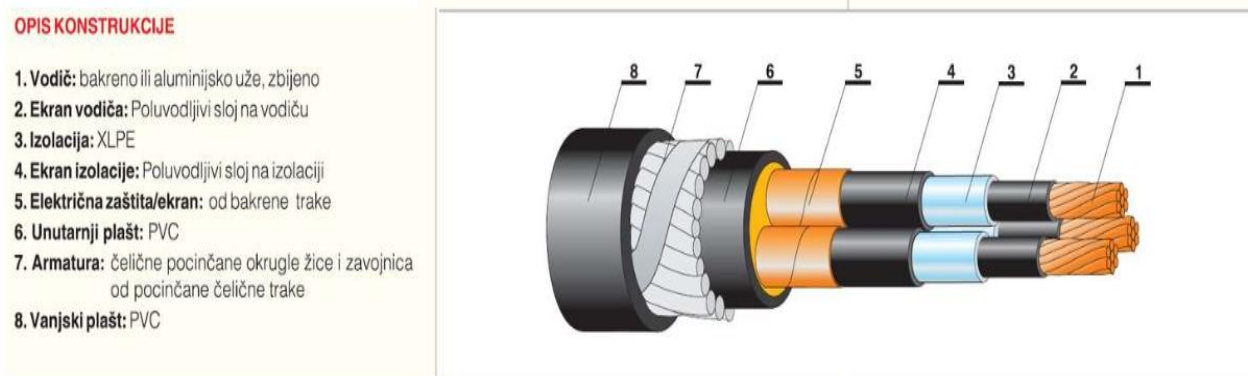
Područje primjene kablskih elektroenergetskih vodova:

- Kabeli za niski napon i električne instalacije
 - Koriste se izolirani vodovi za električne izolacije te četverožilni kabeli za niskonaponske mreže.



Slika 2.23. Prikaz trožilnog niskonaponskog elektroenergetskog kabela s XLPE izolacijom i PVC plaštom s pripadajućim opisom konstrukcije [20]

- Kabeli za srednjonaponske mreže
 - Primjenjuju se sljedeći tipovi kabela: maseni kabeli, uljni kabeli te kabeli sa PET ili PVC izolacijom



Slika 2.24. Prikaz trožilnog srednjonaponskog elektroenergetskog kabela s XLPE izolacijom i PVC plaštom s pripadajućim opisom konstrukcije [20]

- Kabeli za visoke i najviše napone
 - Primjenjuju se: uljni kabeli (niskotlačni, visokotlačni), plinski kabeli (dušik), polietilenski kabeli i kabeli punjeni sa SF₆ (sumporov heksafluorid) plinom

2.3.3. Polaganje kablinskih vodova

Elektroenergetski kablovi se polažu na različitim mjestima ovisno o potrebama i namjeni.

Načini polaganja elektroenergetskih kabela:

- Podzemno polaganje:
 - Kablovi se ukopavaju ispod zemlje, obično u rovovima ili kanalima, kako bi se zaštitili od vanjskih utjecaja kao što su vremenski uvjeti i mehanička oštećenja. Ovo je često korišteno za prijenos energije u urbanim područjima, gdje je estetika i zaštita važna.
- Nadzemno polaganje:
 - Kablovi se postavljaju na nosače ili stupove iznad zemlje. Ova metoda je često primijenjena na ruralnim područjima ili u industrijskim okruženjima gdje je lakše postaviti kabele iznad tla.
- Podvodno polaganje:
 - Elektroenergetski kablovi se polažu pod vodom, često na dnu mora ili jezera, kako bi se omogućio prijenos energije prema otocima ili obalnim postrojenjima.
- Kablinski kanali:
 - Kablovi se smještaju u specijalno dizajnirane kanale ili cijevi, obično ispod zemlje ili iznad tla. Ovo omogućava organiziranje i zaštitu kabela te olakšava održavanje.
- Unutar zgrada:
 - Kablovi se polažu unutar zgrada kako bi osigurali unutarnji prijenos energije prema različitim uređajima i prostorijama.
- Tuneli i podzemne građevine:
 - U urbanim sredinama gdje su prisutni tuneli ili drugi podzemni prostori, elektroenergetski kablovi se često polažu unutar tih struktura kako bi se osigurao pouzdan prijenos energije.

2.4. Elektroenergetski nadzemni vodovi

Elektroenergetski nadzemni vodovi čine ključni dio prijenosne i distribucijske mreže. Ovi vodovi omogućuju visokoučinkovit prijenos električne energije na velike udaljenosti preko otvorenih prostora, osiguravajući pouzdanu opskrbu električnom energijom.

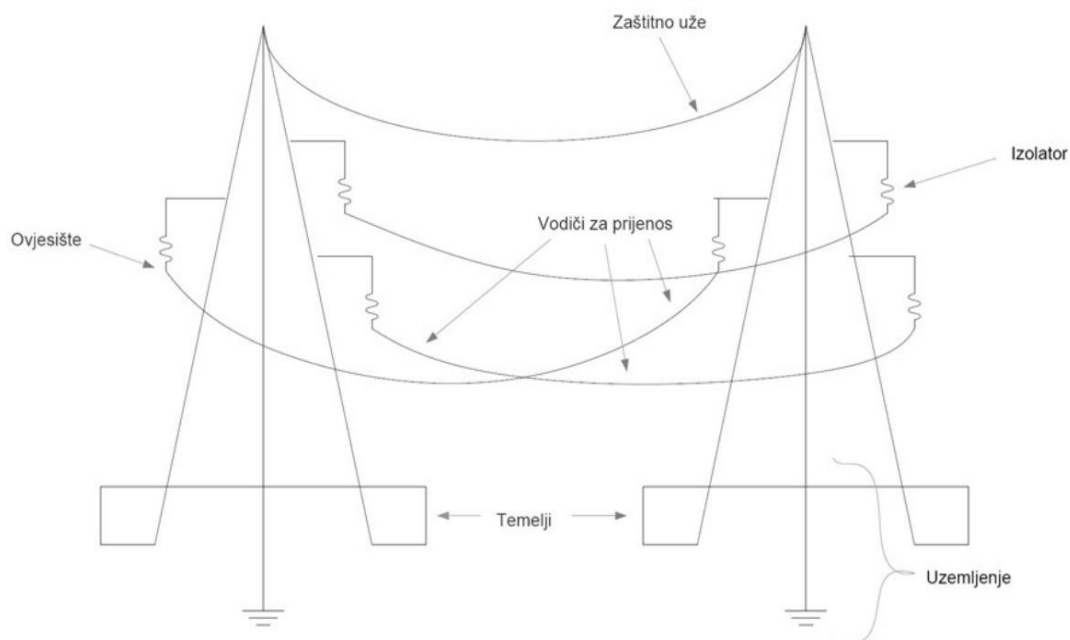
Nadzemni vodovi su sastavljeni od niza komponenata koje obavljaju ključne funkcije u prijenosu električne energije. Svaka komponenta ima svoju ulogu u osiguravanju neprekidnog toka električne energije kroz visokonaponsku mrežu. Osnovne komponente od kojih se sastoji struktura elektroenergetskih nadzemnih vodova su: vodiči, izolatori, stupovi, temelji stupova, spojni, ovjesni i zaštitni pribor te zaštitna užad i uzemljenje.

Nadzemni vodovi, unatoč svojoj vitalnoj ulozi, suočavaju se s nizom izazova. Vremenski uvjeti poput jakih vjetrova, snijega ili leda mogu utjecati na stabilnost i pouzdanost vodova. Pitanja estetike, osobito u urbanim sredinama, zahtijevaju pažljivo planiranje kako bi se osigurala minimalna vizualna uočljivost.

Budući da visoko-temperaturni nisko-provjesni vodiči (HTLS) spadaju u skupinu nadzemnih vodova, ključno je razumjeti njihovu povezanost s općom strukturom elektroenergetskih nadzemnih vodova te će se u trećem poglavlju detaljno opisati struktura i komponente nadzemnih vodova.

3. ELEKTROENERGETSKI NADZEMNI VODOVI

Elektroenergetski nadzemni vodovi predstavljaju ključan i najuočljiviji aspekt elektroenergetskih mreža, omogućavajući učinkovit prijenos i distribuciju električne energije na veće udaljenosti. Ovi vodovi čine vidljivu mrežu koja se proteže iznad zemlje, prenoseći energiju od elektrana do transformatorskih stanica i krajnjih potrošača. Sama konstrukcija elektroenergetskih nadzemnih vodova sastoji se od niza elementa kao što su: vodiči nadzemnih elektroenergetskih vodova, izolatori, stupovi, temelji stupova, spojni, ovjesni i zaštitni pribor, zaštitni vodiči (užad) te uzemljenje. U nastavku ovog poglavlja opisati će se elementi elektroenergetskih nadzemnih vodova u svrhu boljeg razumijevanja cjelokupne konstrukcijske strukture nadzemnih vodova.



Slika 3.1. Elementi elektroenergetskih nadzemnih vodova [21]

3.1. Vodiči

Vodiči predstavljaju jedini aktivni dio nadzemnih vodova čija je primarna svrha vođenje električne struje. Vodiči se nalaze ovješeni na stupove pomoću izolatora te se zbog svoje težine provjese. Vodiči se nalaze pod visokim naponom te moraju radi sigurnosti biti postavljeni dovoljno visoko na stupovima kako bi se nalazili izvan dohvata ljudi i vozila. Raspored vodiča na stupovima može

biti različit te on ovisi o vrsti konstrukcije stupa i o broju trojki (jedan ili dva trofazna sustava) na stupu. Vodiči se dimenzioniraju s obzirom na električka i mehanička naprezanja. U električkom smislu, vodiči se dimenzioniraju prema jakosti struje koja se njima prenosi i prema naponskoj razini na kojoj se primjenjuju. Ispravnim električkim dimenzioniranjem gubici izazvani otporom vodiča ograničavaju se granicama ekonomske prihvatljivosti i ograničava se zagrijavanje vodiča kako se ne bi prekoračila dozvoljena granica te se korigira jakost električnog polja oko vodiča. Dimenzioniranje vodiča u mehaničkom smislu uključuje proračune koji osiguravaju da vodič može izdržati vanjske sile i uvjete bez deformacija ili oštećenja. Ovisno o okruženju i primjeni, vodiči će biti različitih duljina, materijala, promjera i visina iznad tla kako bi se osigurala njihova stabilnost i funkcionalnost.

Vodiči elektroenergetskih nadzemnih vodova karakterizirani su sljedećim svojstvima :

- električnom vodljivosti,
- mehaničkom čvrstoćom,
- optimalnom težinom,
- optimalnim promjerom vodiča,
- otpornost na kemijsko djelovanje okoliša,
- otpornost na atmosferska pražnjenja,
- otpornost na fizička oštećenja koja nastaju: pri montaži, starenjem, korozijom,
- visokom dopuštenom temperaturom zagrijavanja.

Materijali koji se primjenjuju za izradu vodiča za nadzemne vodove su:

- Bakar (Cu)
 - Bakar je materijal visoke vodljivosti i mehaničke izdržljivosti. Bakreni vodiči se koriste u slučajevima gdje je potrebna bolja električna provodljivost i manji gubici.
 - Bakar se zbog visoke cijene za vodiče nadzemnih vodova danas upotrebljava samo u iznimnim slučajevima.
- Aluminiј (Al)
 - Aluminiј je često korišten materijal za vodiče zbog svoje relativno niske cijene, dobre električne vodljivosti (2 puta slabije u usporedbi s bakrom) i male težine.
 - Zbog svoje ograničene mehaničke čvrstoće, čisti aluminiј se rijetko koristi kao samostalni materijal za vodiče. Umjesto toga, radi poboljšanja mehaničke

izdržljivosti vodiča od aluminija, često se koriste aluminijske legure ili se čisti aluminij kombinira s čelikom.

- Čelik (Če)
 - Čelik je materijal koji je karakteriziran lošim električnim svojstvima, ali dobrim mehaničkim svojstvima te se upravo iz tog razloga primjenjuje u kombinaciji s drugim materijalima (kao jezgra vodiča).

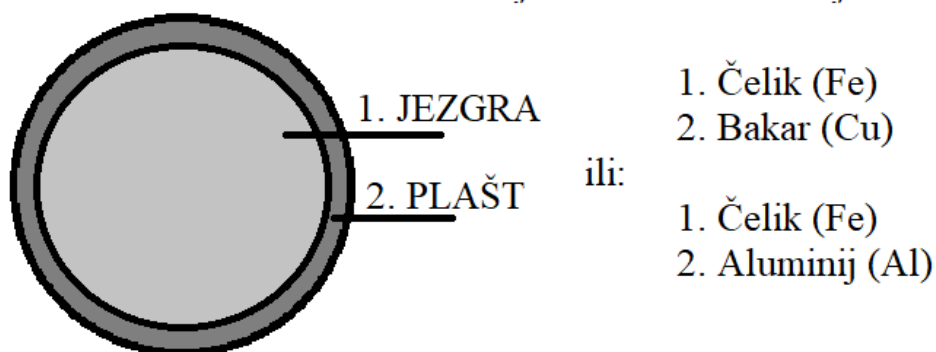
3.1.1. Konstrukcijske izvedbe vodiča

1. Pune žice

Dijele se na:

- Homogene pune žice
 - Vodič u obliku homogene pune žice napravljen je od jednog materijala obično aluminija ili bakra jednostavne konstrukcije te je namijenjen primjeni samo na niskom naponu (0,4 kV) za male presjeke i male raspone.
- Nehomogene pune žice
 - Žica je izrađena od dva ili više materijala formirana u kombinaciji jezgra + plašt u nerazdvojnu cjelinu.

Primjer korištenih materijala:



Slika 3.2. Prikaz vodiča u obliku nehomogene pune žice

2. Sukani vodiči/užad

Sukani vodiči (užad) su glavna forma vodiča koji se primjenjuju u elektroenergetskim nadzemnim vodovima. Dizajnirani su da izdrže različite mehaničke sile i uvjete, uključujući vjetar, vibracije i promjene temperature.

Dijele se na:

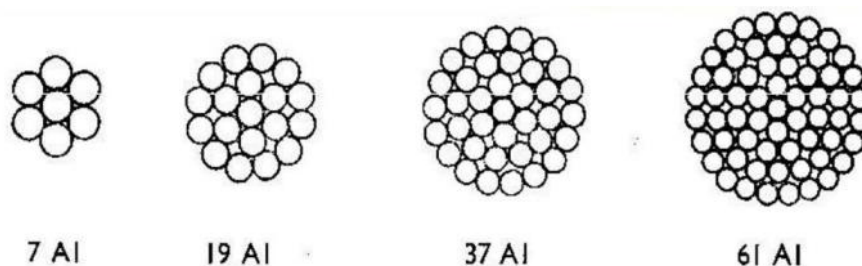
- Homogene sukane vodiče (užad)
 - Konstruirani su na način tako da su oko jedne (u nekim izvedbama dvije ili tri) žice koja predstavlja jezgru vodiča nasukane žice u više slojeva s time da su sve žice od istog materijala.
 - Materijali koji se koriste su: legure aluminija (Al), legure bakra (Cu), željezo (Fe).
 - Duljina žice je za 2 do 3% veća od dužine užeta.
 - Standardni presjeci užeta iznose: 10, 16, 25, 35, 70, 90, 120, 150, 185, 240, 300 mm^2 .

Prema sljedećem izrazu određuje se broj žica u užetu :

$$n = 3x^2 - 3x + 1 \quad (3.1.)$$

gdje je:

- n ukupan broj žica u užetu
- x broj slojeva užeta

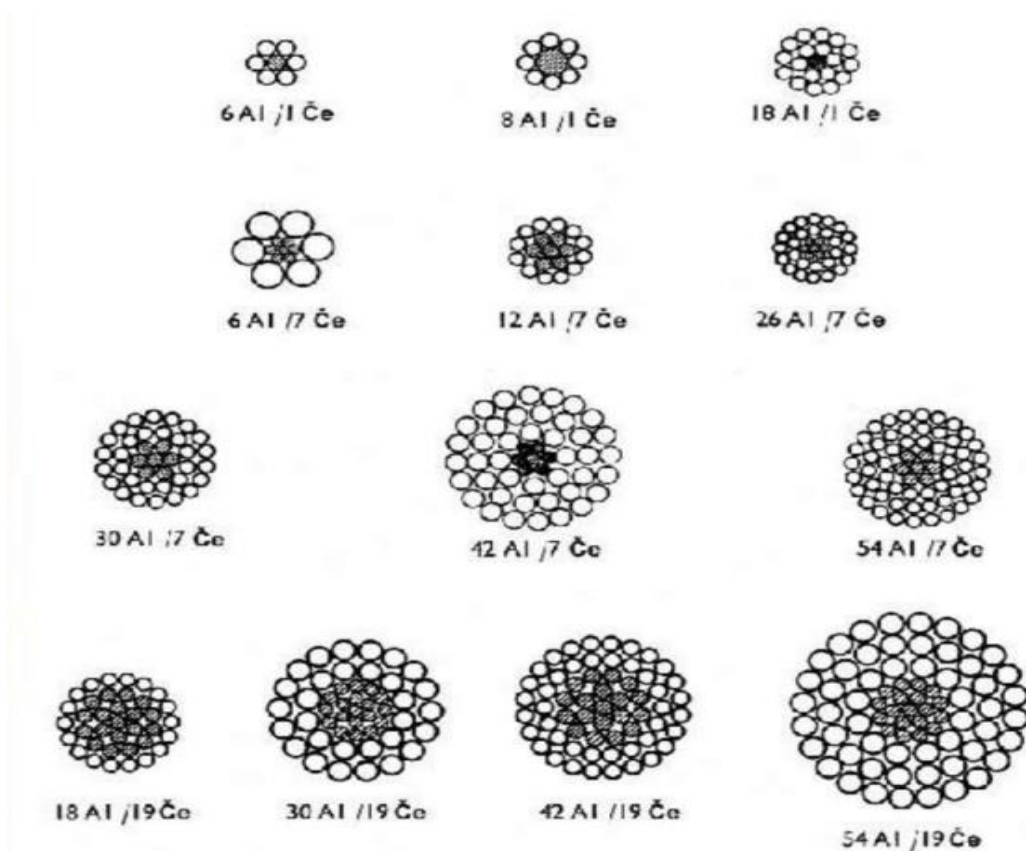


Slika 3.3. Prikaz strukture homogenog užeta [21]



Slika 3.4. Prikaz homogenog užeta [21]

- Kombinirane sukane vodiče (užad)
 - Konstruirani su tako da oko jedne (rjeđe dvije ili tri) žice se suču najprije žice jezgre od jednog materijala, a zatim žice od drugog materijala istog ili različitog presjeka koje čine vodič.
 - Najčešći vodič koji se upotrebljava za nadzemne vodove je alučelični vodič Al/Fe.
 - Alučelični vodič je sačinjen od čelične jezgre koja preuzima mehanička opterećenja te vanjskih žica od aluminijske jezgre koje imaju ulogu električnog vodiča.
 - Upotrebljavaju se vodiči različitog omjera presjeka Al/Fe kao što su: 3:1, 4,4:1, 6:1, 7,7:1, 8:1, 11,3:1, u standardnoj izvedbi se koristi izvedba Al/Fe 6:1.



Slika 3.5. Prikaz strukture kombiniranog užeta [21]



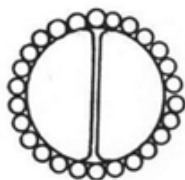
Slika 3.6. Prikaz kombiniranog Al/Fe užeta [21]

3. Specijalne izvedbe vodiča

Specijalne izvedbe vodiča razvijene su kako bi se spriječila korona (električno izbijanje zbog jakog električnog polja uz vodič) i zamor materijala koji nastaje uslijed oscilacija i vibracija.

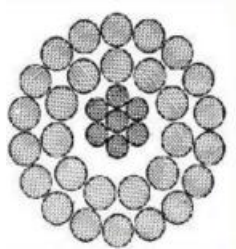
Dijele se na [21]:

- Šuplje vodiče
 - Izvedeni su od sukanih bakrenih segmenata s eventualnim spiralnim umetcima.
 - Primjenjuju se na najvišim naponima radi sprečavanja korone.



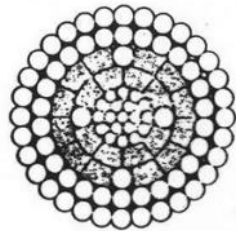
Slika 3.7. Prikaz strukture šupljeg vodiča sa spiralnim trakastim umetkom [21]

- Anti-vibracijske vodiče
 - Konstruirani su tako da je čelična jezgra slobodna u aluminijskom plaštu te se kod montaže posebno obavlja zatezanje jezgre i posebno zatezanje plašta.



Slika 3.8. Prikaz strukture anti-vibracijskog vodiča [21]

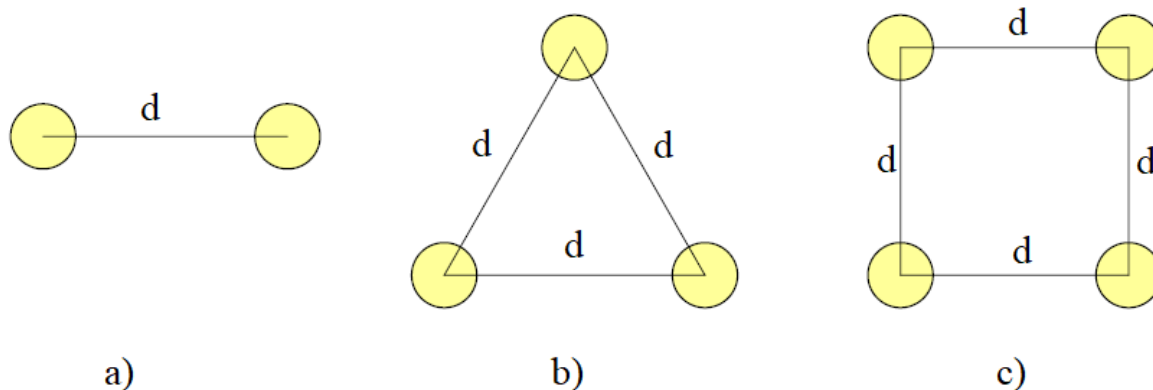
- Ekspandirani vodiči
 - Šuplji-anti-vibracijski vodič kojemu je ispuna između jezgre i vodljivog plašta ispunjenja dodatnim materijalom kao što su impregnirani papir te plastične mase.
 - Upotrebom te vrste vodiča rješava se problem korone i vibracija.



Slika 3.9. Prikaz strukture ekspandiranog vodiča [21]

4. Snopovi

U Europi se umjesto upotrebe specijalnih izvedbi vodiča koriste vodiči u snopovima od 2, 3 i 4 užeta. Upotrebom snopova prividno se povećava presjek vodiča čime se postiže povećanje prijenosne moći vodiča te povećanje presjeka doprinosi sprečavanju korona efekta.



Slika 3.10. Vodič u obliku snopa: a) 2 vodiča u snopu, b) 3 vodiča u snopu, c) 4 vodiča u snopu

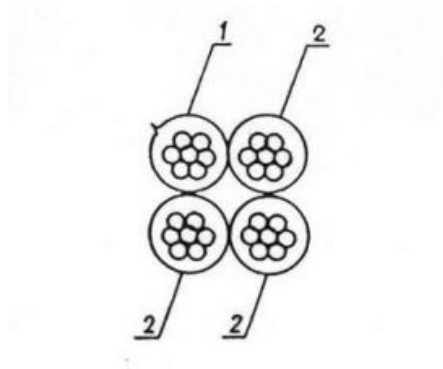
Na slici 3.10. prikazane su izvedbe vodiča u snopu, razmak d između užeta drže odstojnici. Razmak d iznosi od 300 mm do 600 mm za nadzemne vodove pod naponom u iznosu od 400 kV , dok za 4 vodiča u snopu vodiči mogu biti i pod naponom u iznosu 400 kV i 750 kV uz odgovarajući razmak d .

5. Izolirani vodiči

Izolirani vodiči imaju uže od aluminija ili aluminijskih legura presvučeno izolacijskim materijalom na bazi umreženog polietilena

Područja primjene:

- Izolirani srednjonaponski 10 (20) kV vodovi
 - Vodovi koji imaju znatno smanjeni razmak između faznih vodiča te izolaciju debljine $2,1$ do $2,7\text{ mm}$.
- Samonosivi kabelski snop za primjenu u niskonaponskim ($0,4\text{ kV}$) mrežama
 - Konstruirani su tako da su fazni i nulti vodiči formirani u snop debljine izolacije $1,2$ do $1,8\text{ mm}$.
 - Montira se na stupove bez potrebe za dodatnim izolatorima,



2	FAZNI VODIČ	16mm ²
1	NULTI VODIČ	16mm ²
poz.	N A Z I V	

Slika 3.11. Presjek samonosivog kabelskog snopa 4x16mm² [21]

6. Učinkoviti vodiči – Visoko-temperaturni nisko-provjesni vodiči (HTLS)

Visoko-temperaturni nisko-provjesni vodiči predstavljaju naprednu tehnologiju koja ima značajne prednosti u području elektroenergetike. Tradicionalni nadzemni elektroenergetski vodovi susreću izazove kao što su gubici energije, mehanička opterećenja, potreba za povećanjem kapaciteta prijenosa. HTLS vodiči su razvijeni kako bi odgovorili na ove izazove i unaprijedili učinkovitost i pouzdanost elektroenergetskih sustava. Ključne karakteristike HTLS vodiča uključuju sposobnost da podnesu visoke radne temperature, što omogućava povećanje kapaciteta prijenosa energije bez potrebe za dodatnim vodovima. Također, ovi vodiči imaju manji provjes u usporedbi s tradicionalnim vodičima, zahvaljujući sposobnosti da zadrže stabilan oblik pod visokim temperaturama. Ovo smanjenje provjesa donosi višestruke koristi, uključujući smanjenje potrebe za visokim stupovima i bolju mehaničku izdržljivost. Dodatno, HTLS vodiči koriste materijale visoke vodljivosti, što rezultira manjim vrijednostima otpora u usporedbi s Al/Fe vodičima, što značajno smanjuje gubitke energije tijekom prijenosa. Povećana snaga prijenosa ovih vodiča omogućava prenošenje većih količina električne energije na istoj strukturi. Brza instalacija je još jedna prednost, s obzirom na manji provjes i jednostavniju postavu. Također, materijali korišteni u HTLS vodičima obično imaju poboljšanu otpornost na koroziju, što produžuje vijek trajanja vodiča.

3.1.2. Mehanička opterećenja

Vodovi su izloženi nizu vanjskih faktora i situacija koje mogu značajno utjecati na njihovu strukturalnu stabilnost, operativnu sigurnost i trajnost. Jedan od značajnih izvora mehaničkih opterećenja su klimatski faktori. Snažni vjetrovi mogu uzrokovati dinamičko osciliranje vodova, što stvara promjenjivo opterećenje na konstrukciju. Ovo može dovesti do zamora materijala, vibracija i loma ako konstrukcija nije adekvatno prilagođena. Povećanje brzine vjetra ili suočavanje s ekstremnim vremenskim uvjetima dodatno komplicira ovaj izazov. Također, akumulacija snijega i stvaranje leda na vodovima stvaraju dodatno opterećenje. Težina ovih naslaga može izazvati provjes vodova, narušiti geometriju i destabilizirati strukturu. Temperaturne fluktuacije, osobito tijekom prijelaznih sezona, mogu uzrokovati širenje i skupljanje materijala, izazivajući termička naprezanja koja utječu na mehaničku stabilnost.

3.1.3. Dozvoljeno strujno opterećenje vodiča

Jedan od značajnijih parametra koji ograničava prijenosni kapacitet voda je granica termičke opteretivosti vodiča. Termička granica opteretivosti, odnosno najveća trajno dozvoljena strujna opteretivost prijenosnih nadzemnih vodova, ovisi o temperaturi iznad koje se uži vodiča (konkretno aluminijski) smanjuje mehanička čvrstoća [23]. Ta najviša dozvoljena temperatura uži određena je s $+80^{\circ}\text{C}$ i ona limitira najveću pogonsku trajno dozvoljenu struju [23]. Ujedno, ta temperatura predstavlja prag kod kojega dolazi do pojave intenzivnijih oksidacija površine kontakata spojnice i stezaljki između pojedinih dionica vodova što rezultira povećanjem prijelaznog otpora čime se izaziva daljnje zagrijavanje. U slučaju dužeg prisustva takve temperature vodiča dolazi do povećavanja provjesa i smanjenja sigurnosnog razmaka. Strujno zagrijavanje vodiča ovisi prvenstveno o samim karakteristikama vodiča te o stanju okoliša (vjetar, temperatura).

U tablici 3.1. prikazana je najveća dopuštena trajna strujna opteretivost za vodiče (Al/Fe) različitih naponskih razina s pripadajućim presjekom u ovisnosti o temperaturi.

Tablica 3.1. Najveća dopuštena strujna opteretivost vodiča [23]

U [kV] A(Al/Fe) [mm ²]	t ₀ [°C]	0	5	10	15	20	25	30	35	40
110 kV	[A]	613	595	576	555	534	512	489	465	439
150/25	[MVA]	117	113	110	106	102	97	93	88	84
110 kV	[A]	843	817	791	764	735	705	673	640	605
240/40	[MVA]	160	155	150	145	140	134	128	122	115
220 kV	[A]	1084	1054	1020	985	948	910	869	826	780
360/57	[MVA]	413	401	388	375	361	346	331	314	297
400 kV	[A]	1322	1282	1241	1198	1154	1107	1058	1006	951
490/56	[MVA]	915	887	859	829	798	766	732	696	658

3.2. Izolatori

Izolatori su pasivne komponente koje mehanički drže vodiče u određenom položaju na stupu, ujedno sprečavaju direktni kontakt između vodova i nosive konstrukcije te tako omogućavaju nesmetan protok električne energije i istovremeno štite vodove od potencijalnih oštećenja ili kratkih spojeva. Izolatori su podvrgnuti opterećenjima koja obuhvaćaju električno, mehaničko i termičko djelovanje. Električno opterećenje proizlazi iz visokih napona i struja koji prolaze kroz elektroenergetske vodove. Izolatori moraju osigurati učinkovitu električnu izolaciju kako bi spriječili električni luk ili proboj između vodiča i nosive konstrukcije. Dielektrična čvrstoća materijala izolatora ključna je za održavanje integriteta izolacije. Mehanička opterećenja uključuju utjecaj vjetrova, snijega, leda i vibracija. Izolatori moraju izdržati ove vanjske sile bez deformacija ili loma kako bi održali strukturalnu stabilnost vodova. Termička opterećenja posebno su izazovna tijekom stvaranja električnog luka. Kratki spojevi s električnim lukom duž izolatora uzrokuju visoke temperature koje mogu promijeniti svojstva materijala izolatora. Izolatori moraju zadržati svoje izolacijske karakteristike čak i pod visokim temperaturama kako bi se osigurao stabilan i pouzdan prijenos električne energije.

Izolatori moraju ispunjavati sljedeće zahtjeve [21]:

- električna čvrstoća na preskok
- električna čvrstoća na proboj
- mehanička čvrstoća
- otpornost na atmosferske prilike
- otpornost na promjene temperature
- sigurnost od prekida
- trajnost
- ekonomičnost i lako održavanje

Za izradu izolatora za nadzemne vodove upotrebljavaju se prvenstveno keramički izolacijski materijali poput elektroporculana koji je proizveden od smjese glinenca, kvarca i kaolina u omjeru 1:1:2. Shodno odabranim omjerima u smjesi, udovoljava se određenim zahtjevima izolatora: veću električnu čvrstoću na proboj daje veći postotak glinenca, veći postotak kvarca daje veću mehaničku čvrstoću, a veću otpornost na toplinu daje veći postotak kaolina. Vanjska površina izolatora se prilikom postupka pečenja glazira presvlakom sličnom staklu zelene ili smeđe boje. Pored elektroporculana upotrebljavaju se i drugi keramički materijali poput steatita kojeg karakterizira veća mehanička čvrstoća. Pored keramičkih materijala upotrebljava se za izolatore kaljeno staklo. Formirani stakleni izolator kali se u struji hladnog zraka s ciljem da mu se naglo ohladi površina, a unutrašnjost mu se ohladi kasnije, tim postupkom se na površini staklenog izolatora stvore tlačna naprezanja čime izolator postiže znatno veću mehaničku čvrstoću na udar i veću otpornost na promjene temperature. Ujedno jedna od prednosti staklenih izolatora je i vidljivost oštećenja. Za izolatore se primjenjuju umjetni materijali kao što su: silikonske gume, materijali na bazi epoksidnih smola ili umjetnih guma čije su prednosti elastičnost i znatno manja masa.

Izolatorska konstrukcija sastoji se od metalnih spojnih elemenata za pričvršćenje na konzolu stupa, odnosno za vodič, izolatorskog dijela, tj. izolatora i zaštitnih metalnih elemenata u formi rogova i prstenova za smanjenje efekata koje uzrokuje jako električno polje, odnosno u svrhu zaštite izolatora od povratnog preskoka u slučaju udara groma u dalekovod. Stoga se u sastavu

izolatorskih lanaca koriste izolatori kao izolacijski dio montažnog sklopa konstrukcije, koji zajedno s odgovarajućom ovjesnom opremom čini izolatorski lanac.

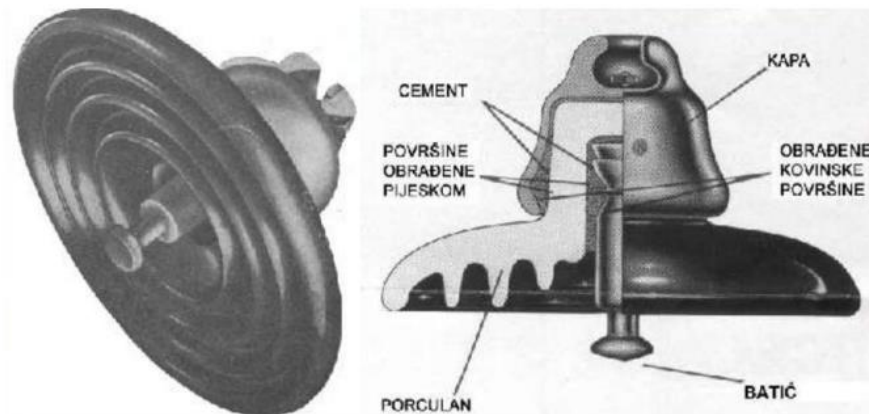
Prema načinu kako učvršćuju (nose) vodič izolatori se dijele na sljedeće vrste:

- Potporni izolatori
 - Kruto učvršćuje vodič (nosne stezaljke i vezovi) te se sile prenose izravno s vodiča na stup.
 - Primjenjuju se na vodovima naponskih razina od 0,4 kV do 35 (60) kV.



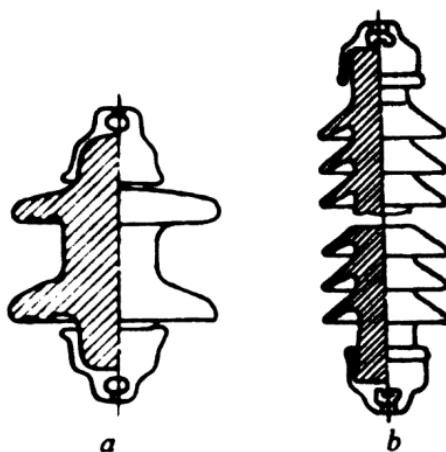
Slika 3.12. Potporni izolator [21]

- Ovjesni izolatori [21]
 - Zglobno učvršćuje vodič u nosnu stezaljku.
 - Dije se u tri skupine:
 - Kapasti (lančani) K,
 - Koriste se kao članci od kojih se slažu izolatorski lanci.
 - Konstrukcija: na porculansko ili stakleno tijelo je odozgo zacementirana kapa (pocinčano Fe), a odozdo je usađen batić (pocinčano Fe) zaliven olovnom legurom, kitom ili cementom.
 - Električna čvrstoća se postiže nizanjem odgovarajućeg broja članaka, a mehanička čvrstoća paralelnim slaganjem izolatorskih lanaca.



Slika 3.13. Kapasti (lančani) K izolator [21]

- Masivni VK
 - Otporniji su na proboj te su konstruirani na sljedeći način: na tijelu od porculana steatit ima dvije metalne kape.
- Štapni L
 - Izrađuju se od porculana, steatita i umjetnih materijal.

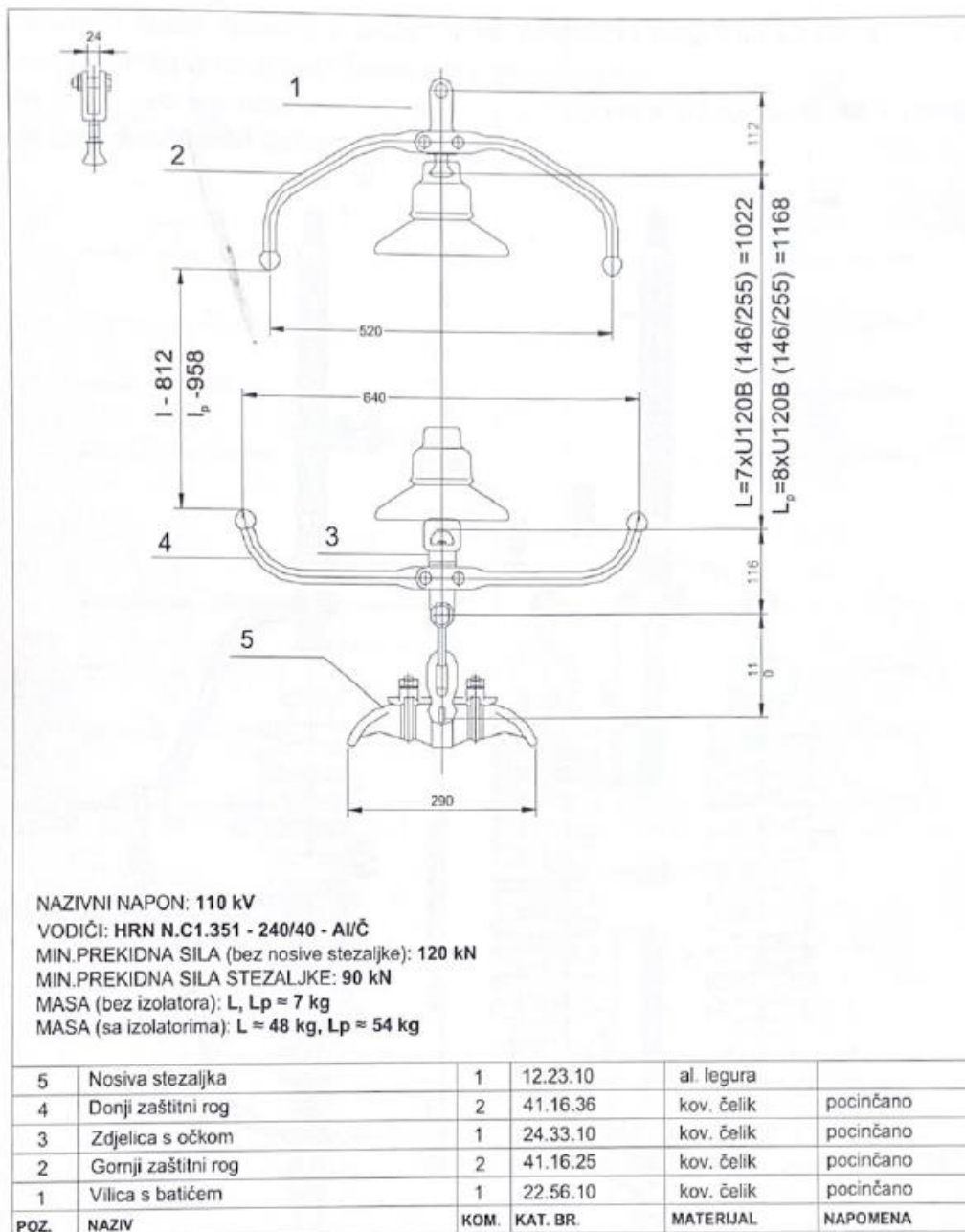


Slika 3.14. a) Masivni izolator VK, b) Štapni izolator L

Danas se najčešće koriste ovjesni kapasti izolatori na nadzemnim vodovima, dok su masivni i štapni izolatori prisutni uglavnom na starijim vodovima. Izolatorski lanac sastavljen od kapastih

izolatora je gipkiji od izolacijskog lanca sastavljenog od štapnih izolatora, koji je također osjetljiv na bočne sile zbog oblika i male otpornosti na savijanje.

Izolatorski lanac predstavlja niz međusobno povezanih ovjesnih kapastih izolatora. Za sastav i opremanje izolatorskih lanaca na nadzemnim prijenosnim vodovima, pogotovo za nazivne naponske razine 35 kV i više, u mreži HEP-a usvojeno je tipsko rješenje bazirano na primjeni staklenih kapastih izolatora sukladno IEC normama [23]. U tom smislu na 35 kV do 220 kV nazivnim naponskim razinama upotrebljavaju se stakleni kapasti izolatori oznake U 120BS (U 120B) prema IEC-u, dok se za 400 kV nazivni naponski nivo koriste slični izolatori ali s većom prekidnom silom tj. izolatori tipa U 160BS [23].



Slika 3.15. 110 kV nosivi izolatorski lanac s kapastim staklastim izolatorima [23]

Tablica 3.2. Broj izolatorskih članka u lancu [23]

Nazivni napon	Broj staklenih izolatorskih članka u nizu
35 kV	3
110 kV	7
220 kV	13
400 kV	19*

* podatak za 400 kV izolatorske lance odnosi se na staklene kapaste izolatore U 160BS

U tablici 3.2. prikazan je broj potrebnih staklenih izolatorskih članaka u izolatorskom lancu u ovisnosti o naponskoj razini na kojoj se primjenjuje izolatorski lanac.

3.3. Stupovi

Stupovi za nadzemne vodove predstavljaju konstrukcije koje služe za nošenje izolatora, vodiča i zaštitnih užadi. Stupovi osiguravaju vodičima odgovarajuću visinu nad površinom tla te preuzimaju mehanička opterećenja.

Stupovi za nadzemne vodove izrađuje se od sljedećih materijala [21]:

- Drva
 - Glavna primjena drvenih stupova je kod vodova srednjeg i niskog napona (0,4 kV, 10 kV, 20 kV i 35 kV).
 - Prednosti drvenih stupova su: mala masa, brza montaža te mali financijski troškovi izgradnje.
 - Mane drvenih stupova: ograničena trajnost čini drvene stupove manje pouzdanim izborom u usporedbi s drugim materijalima.
 - Izrađuju se od: bora, pitomog kestena, smreke, hrasta.
- Čelika
 - Predstavlja dominantan materijal za izgradnju stupova za nadzemne vodove naponskih razina 35 kV i više.
 - Postoje dvije osnovne čelične konstrukcije stupova:
 - Stup rešetkaste konstrukcije od profilnog čelika ima 4 kutna štapa, koji se učvršćivanju dijagonalnim štapovima te se elementi supa povezuju na sljedeće načine: vijčano, varom ili zakovično.
 - Stup cijevne konstrukcije izrađen od lima koji se primjenjuje na srednjim i niskim naponskim razinama.
 - Mane čeličnih stupova su korozivna djelovanja čiji se utjecaj smanjuje na sljedeće načine:
 - upotrebom legiranog nehrđajućeg čelika,
 - pocinčavanjem čelične konstrukcije i
 - premazivanjem antikorozivnim premazima.

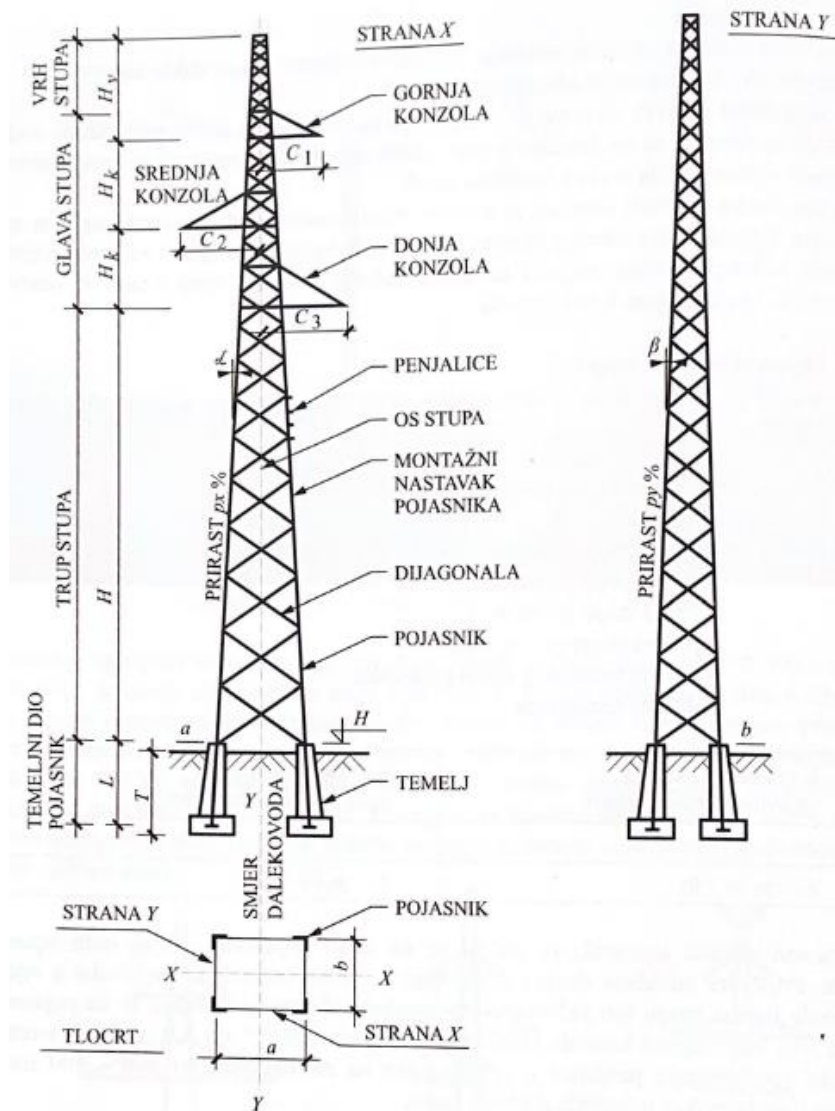
- Armiranog betona
 - Betonski stupovi karakterizirani su dugim životnim vijekom trajanja bez potreba za održavanjem.
 - Postoje sljedeće vrste betonskih stupova:
 - Centrifugirani okrugli betonski stupovi – proizvode se u tvornici te se primjenjuju na naponskim razinama: 0,4 kV, 10 kV i 20 kV.
 - Četvrtasti betonski stupovi – proizvode se u tvornici te se primjenjuju na naponskim razinama: 0,4 kV, 10 kV i 20 kV.
 - Četvrtasti betonski stupovi lijeveni na mjestu ugradnje – primjenjuju se na naponskim razinama: 35 kV i 110 kV.
 - Armirano-betonske rešetkaste konstrukcije lijevane na mjestu ugradnje.
- Aluminija
 - Karakteriziran je boljom otpornošću na korozivno djelovanje u usporedbi s čelikom, ali je znatno skuplji.
 - Ne primjenjuje se često u komercijalnoj upotrebi.
- Polimera
 - Stupovi građeni od poliesterskih materijala što rezultira malom masom samih stupova.
 - Stupovi se primjenjuju: na niskom napon, srednjem naponu, za javnu rasvjetu.

Stupovi se dijele prema položaju u trasi voda na sljedeće vrste:

- Prema položaju u trasi voda na:
 - Linijske stupove – nalaze se u ravnoj trasi (vertikalnoj projekciji) voda.
 - Kutne stupove – pozicioniraju se na mjestima gdje dolazi do prekida ili promjene smjera između dvije vertikalne projekcije nadzemnih vodova.
- Prema funkciji (načinu vješanja vodiča na stup) na:
 - Nosne stupove
 - koriste nosne izolatore i izolatorske lance na kojima nisu kruto učvršćeni vodiči i zaštitna užad te se time u normalnim uvjetima opterećenja ne mogu prenositi jednostrane zatezne sile vodiča tj. horizontalne sile u smjeru trase se poništavaju te su samo prisutne vertikalne sile opterećenja.
 - Zatezne stupove

- koriste zatezne izolatore i izolatorske lance na kojima su vodiči i zaštitna užad kruto pričvršćena što rezultira da se na zatezne stupove prenose horizontalne sile zatezanja vodiča i zaštitnog užeta i vertikalna opterećenja.
- Zatezno polje – predstavlja dio voda koji se nalazi između dva zatezna stupa te ne smije prelaziti duljinu u iznosu od 8 kilometara odnosno 30 raspona. Osigurava lokalizaciju oštećenja unutar zateznog polja kod većih havarija.
- Specijalne stupove
 - Rasteretni stupovi – dizajnirani su tako da izdrže jednostrani prekid svih vodiča.
 - Krajnji stupovi – predstavljaju zadnje stupove na oba kraja voda prije spajanja na postrojenje.
 - Preponski stupovi – predstavljaju vrstu stupova koja nije jednako napregnuta s obje strane zbog promjene maksimalnog dozvoljenog naprezanja vodiča.
 - Međustupovi – stupovi koji se ubacuju u preponsko zatezno polje s ciljem postizanja odgovarajuće visine vodiča.
 - Križni stupovi – stupovi koji su adaptirani za križanje s nekim drugim vodom.
 - Prepleteni stupovi – stupovi na kojima se vrši radnja prepletanja vodiča radi postizanja električne simetričnosti nadzemnih vodova.

Najzastupljeniji tip stupa u dalekovodnoj mreži (naponske razine 110 kV i više) je stup čeličnorešetkaste konstrukcije od standardnih čeličnih L profila. Čeličnorešetkasta konstrukcija stupa dizajnirana je od četiri pojasnika, dijagonalnih ispuna (jednostruke ili dvostruke (križne)) i konzola. Nadzemni stupovi čeličnorešetkaste konstrukcije lagani su i vitki te zbog svoje elastičnosti izrazito su adaptivni svim opterećenjima koje preuzimaju.



Slika 3.16. Stup nadzemnog voda s oznakom osnovnih dijelova [23]

Sama konstrukcija stupa mora biti adaptirana visini stupa, a visina stupa se određuje prema nazivnom naponu voda prema tehničkim propisima. Glava stupa jedan je od glavnih dijelova stupa na kojemu su zavješeni fazni vodiči i zaštitna užad. Na oblik i konstrukciju glave stupa utječu sljedeći parametri: broj i presjek faznih vodiča, broj zaštitnih užadi, način zavješnja vodiča te raspored faznih vodiča u prostoru.

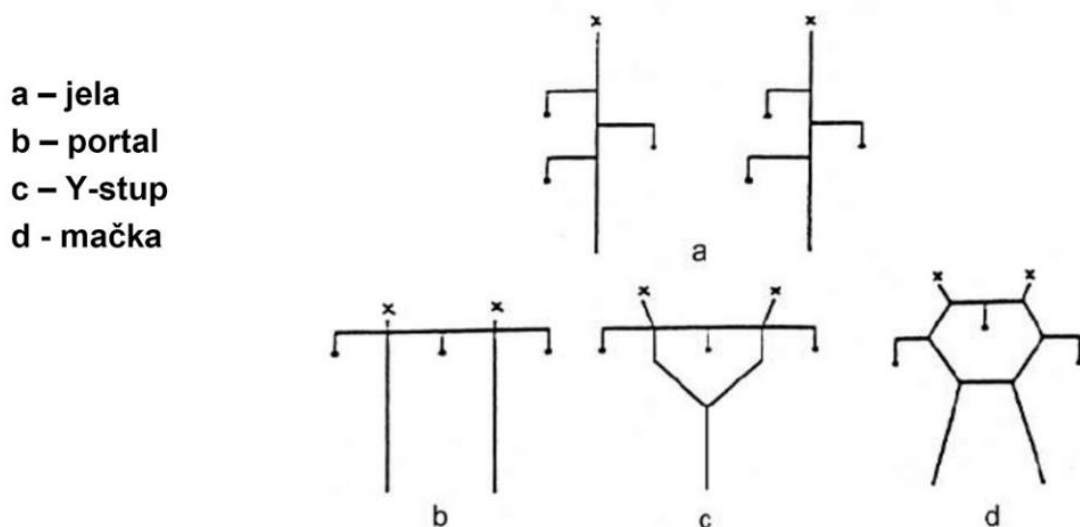
Postoje tri osnovna rasporeda faznih vodiča u prostoru [21]:

- Horizontalni raspored vodiča u ravnini

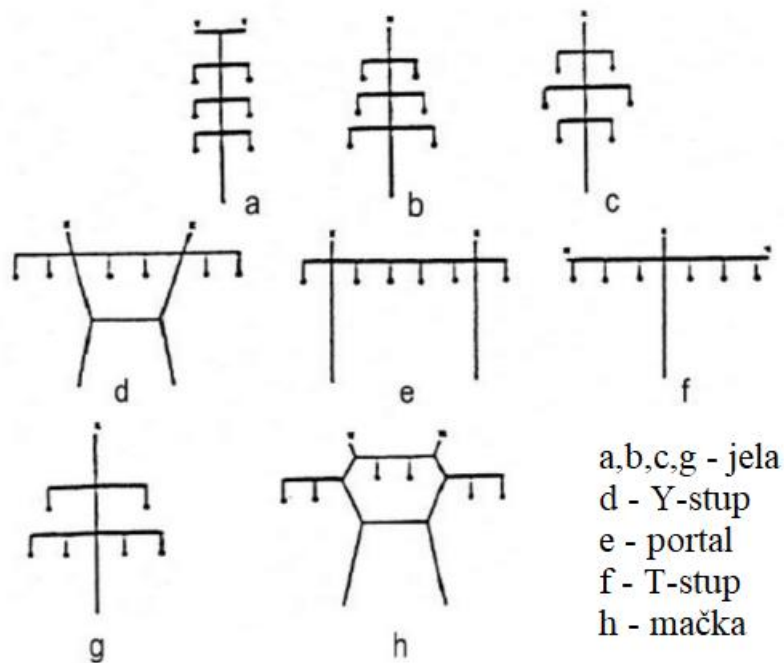
- Takav raspored zahtijeva manju visinu stupa, ali su potrebni veći razmaci između faznih vodiča zbog opasnosti od dodira vodiča uslijed njihovanja izazvanog vjetrom te ujedno nisu prikladni za primjenu na strmim terenima.
- Raspored vodiča u trokut
 - Takav raspored rezultira pogonskom simetrijom induktiviteta.
- Vertikalni raspored faznih vodiča
 - Kod ovakvog rasporeda postoji opasnost od dodira vodiča uslijed odskoka donjeg vodiča izazvanog naglim otpadanjem leda.

Postoji više oblika glave (silueta) stupa:

- Jela stup
- Portalni stup
- Mačka stup
- Y – stup
- Bačva stup
- Dunav stup
- Dvostruki jela stup

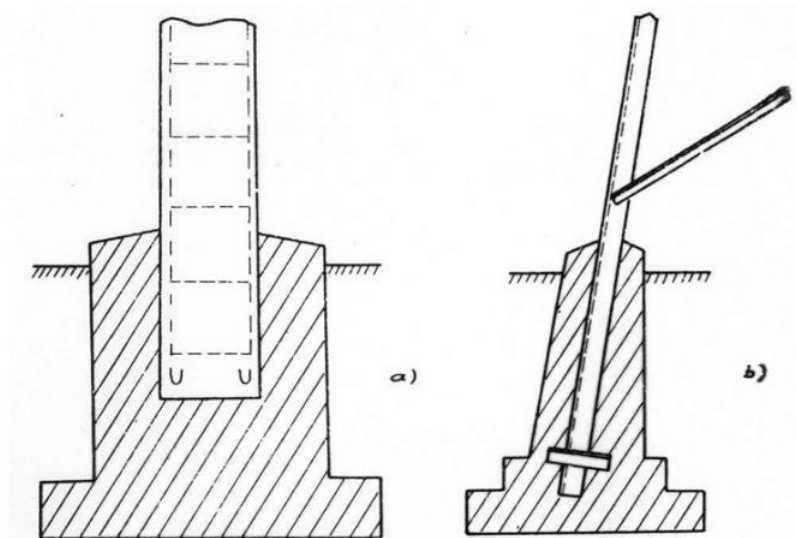


Slika 3.17. Prikaz silueta jednostrukih prijenosnih vodova [21]



Slika 3.18. Prikaz silueta dvostrukih prijenosnih vodova [21]

Temelji stupova su konstrukcije namijenjene prijenosu vanjskog opterećenja koje djeluje na konstrukciju stupa u tlo [23]. Konstrukcija temelja određena je sljedećim veličinama: vanjskim opterećenjima, vrstom i karakteristikama tla, mogućnostima i načinom izvedbe, temeljnim dijelom konstrukcije stupa. Sami temelji izrađuju se od različitih materijala te ovisno o materijalu od kojeg su konstruirani dijele se na: betonske, betonske s armaturom ili armiranobetonski, čelični, drveni, kombinirani od prethodno navedenih materijala. Kod betonskih i čeličnorešetkastih stupova, temelji igraju ključnu ulogu u osiguravanju stabilnosti i prenašanja sila sa stupova u tlo. Za ove vrste stupova, česti su temelji od armiranog ili nearmiranog betona, ovisno o zahtjevima konstrukcije i uvjetima tla. Dvije često korištene izvedbe temelja su monolitni i raščlanjeni temelji. Monolitni temelji koncipirani su na način tako da postoji jedan temelj za cijeli stup. Ova izvedba ima prednost jednostavne izgradnje i ekonomske učinkovitosti. Monolitni temelji također mogu pružiti dodatnu stabilnost i ravnomjerno raspodijeliti opterećenje na tlo. S druge strane, raščlanjeni temelji podrazumijevaju da za svaku nogu stupova postoji zaseban temelj. Ova izvedba se često koristi kada su uvjeti tla neujednačeni ili kada su opterećenja nejednako raspoređena. Raščlanjeni temelji omogućavaju bolje prilagodbe pojedinačnim uvjetima, osiguravajući stabilnost svake noge stupova. Iako može biti složeniji za izgradnju i zahtijevati više materijala, ovakav pristup omogućava bolju kontrolu nad opterećenjima i raspodjelom sila.



Slika 3.19. Prikaz betonskog temelja: a) armirano – betonskog stupa, b) jedna noge čeličnorešetkastog stupa [21]

3.4. Spojni, ovjesni i zaštitni pribor

Spojni i ovjesni pribor:

- Spojni pribor ima primarnu funkciju omogućiti prolaz električne energije.
- Ovjesni pribor ima funkciju mehaničkog povezivanja vodiča i izolatora sa stupom.
- Za električni spoj
 - vodič – vodič koristi se sljedeći pribor: strujne stezaljke (električka funkcija), spojnice (električka i mehanička funkcija).
- Za mehanički spoj:
 - vodič – vodič
 - koriste se odstojniji koji održavaju razmak između vodiča u snopu.
 - vodič – izolator
 - koriste se nosne (na nosnom stupu) i zatezne stezaljke (na zateznom stupu).
 - izolator – izolator
 - koristi se pribor za uzdužno i poprečno spajanje izolatora (batić – zdjelica, dvostruki batić, zatici).
 - izolator – stup
 - podupore: ravne – željezni stupovi, krive – drveni stupovi,
 - stremeni, kuke, uške.

Zaštitni pribor:

- Električni pribor
 - Zaštitni rogovi
 - Koriste se kako bi se uklonio električni luk iz neposredne blizine izolatora.
 - Ujedno služe za fiksiranje staze preskoka i duljine preskočne staze.
 - Zaštitni prstenovi
 - Služe za oblikovanje električnog polja i ujednačavanje napona na izolatoru.
 - Pribor za uzemljenje
 - Upotrebljava se dozemni vod kojim se uzemljuje zaštitno uže i ovjesno mjesto izolatorskog lanca.
- Mehanički pribor:
 - Prigušivači vibracija
 - Koriste se prigušni prutovi, utezi kako bi se prigušile vibracije koje su uzrok zamora vodiča obuhvaćenog stezaljkama.
 - Utezi
 - Koriste se utezi od željeza, olova ili pak betona u svrhu dodatnog opterećenja nosivih izolatorskih lanaca kako bi mu se smanjio otklon uslijed djelovanja horizontalnih sila vjetra.

Materijali koji se koriste za izradu pribora za nadzemne vodove su: kovani čelik, bronca, nehrđajući čelik, ljeveni aluminij ili legure aluminija te pocinčano željezo.

3.5. Zaštitna užad i uzemljenje

Zaštitna užad pozicionirana je na vrhovima stupova nadzemnih vodova uzduž cijele trase te posjeduje dvostruku ulogu. Jedna od uloga koju zaštitna užad ima je zaštita od atmosferskih pražnjenja koja nastaju udarcem munje. Najnepovoljniji događaj atmosferskog pražnjenja nastaje pri direktnom udarcu munje u vodič koji rezultira visokim prenaponima koje izolatori nadzemnih vodova ne mogu podnijeti te se upravo iz tog razloga zaštitna užad koriste iznad vodiča kao gromobran koji je uzemljen s ciljem preuzimanja direktnog udarca munje i odvođenjem prenapona u tlo. Ujedno, udarac munje u stup zbog otpora uzemljenja rezultira pojavom visokog električnog potencijala uslijed kojeg može doći do povratnog preskoka sa stupa na vodič. Svi stupovi su

međusobno galvanski povezani (galvanski povezani uzemljivači stupova) sa zaštitnim užetom te se time struja munje podijeli na veći broj stupova. Zaštitna užad ima značajnu ulogu kod pojave kratkih spojeva između vodiča i zemlje, jer preuzima dio struje na sebe koji bi inače tekao u zemlju te to rezultira smanjenjem opasnih napona na površini tla u okolini stupova koji se pojavljuju pri takvom tipu kvara. Materijal za izradu zaštitnih užeta je obično isti kao i materijal za izradu vodiča. Najčešće se koriste kombinirana alučelična (Al/Fe) zaštitna užad s manjim omjerom aluminija i čelika. Primjenjuju se i OPGW zaštitna užad koja u središtu vodiča ima ugrađene svjetlovodne niti kojim se omogućuje komunikacija potrebna za upravljanje elektroenergetskom mrežom. Zaštitna užad se uglavnom dimenzionira s obzirom na strujno opterećenje.

Uzemljenje nadzemnog voda u globalu obuhvaća: zaštitno uže, uzemljivač stupa (metalne elektrode ukopane u zemlju) te međusobne galvanske spojeve metalnih dijelova koji u normalnom pogonu nisu pod naponom. Uzemljenje nadzemnog voda ima temeljenu ulogu da uspostavi galvansku vezu s zemljom uz neizbježan prijelazni otpor (otpor rasprostiranja uzemljivača). Od izuzetnog je značaja da se struje koje su nusprodukt kvarova (kratkog spoja) ili atmosferskih pražnjenja odvedu u zemlju preko uzemljivača na siguran način. Ispravnim parametriranjem dozernog voda uklanja se mogućnost eventualnog oštećenja stupa nadzemnog voda uslijed dozernih struja, a odgovarajućim dimenzioniranjem uzemljivača onemogućava se pojava povratnog preskoka sa stupa na vodič do kojeg može doći uslijed velikog pada napona na otporu uzemljenja. Prolaskom dozernih struja u tlo stvaraju se na površini u okolini stupova razlike potencijala koje mogu predstavljati opasnost (napon dodira i napon koraka) za životinje i ljude koji se nalaze u blizini. Ispravnim uzemljenjem nadzemnih stupova eliminiraju se pojave napona koraka i dodira (uslijed struja kratkog spoja) što rezultira povećanom pogonskom sigurnošću. Uzemljivači služe za stvaranje vodljive veze između dozernog voda i zemlje, a svojim karakterističnim oblikom određenih dimenzija karakteriziraju električno polje u svojem području djelovanja. Prema obliku dijele se na: trakaste (najčešće korišteni tip uzemljivača), cijevne, šipkaste i pločaste. Materijali od koji se izrađuju uzemljivači su: bakar, nehrđajući čelik ili pocinčani čelik, sve te materijale karakterizira otpornost na koroziju.

4. HTLS VODIČI

Visoko – temperaturni nisko – provjesni vodiči (eng. High Temperature Low Sag Conductors - HTLS) predstavljaju izuzetno značajnu inovaciju u području elektroenergetskih nadzemnih vodova. HTLS vodiči su karakterizirani visoko-temperaturnom izdržljivošću i malim (niskim) provjesom. Kako bi HTLS vodiči mogli podnositi visoko-temperaturna zagrijavanja, plašt vodiča se izrađuje od posebnih legura koje su izrazito otporne na povišene pogonske temperature. Uz temperaturnu izdržljivost plašta, HTLS vodiče još karakterizira izrazita otpornost na povećanje provjesa vodiča uslijed visokih pogonskih temperatura. Niski provjes koji karakterizira HTLS vodiče realiziran je konstrukcijom jezgre od materijala koji posjeduje izrazitu otpornost na povišene radne temperature uz niski koeficijent linearnog toplinskog rastezanja. Temperaturni raspon pogonskih temperatura ovisno o vrsti HTLS vodiča te se kreće u rasponu od 150°C do 250°C. Ujedno, HTLS vodiči konstruirani su za velike gustoće struje što zahtijeva smanjenje otpora kako bi se smanjili gubici tokom prijenosa energije.

HTLS vodiči se dijele na sljedeće vrste:

- ACSS (eng. Aluminium Conductor Steel Supported)
- ACCC/TW (eng. Aluminium Conductor Composite Core/Trapezoidal wire)
- ACCR (eng. Aluminium Conductor Composite Reinforced)
- TACSR (eng. Thermal Resistant Aluminum Alloy Conductors Steel Reinforced)
- ZTACIR (eng. Ultra Thermal Resistant Aluminium Alloy Conductor, Invar Reinforced)

4.1. ACSS vodiči

ACSS vodiči konstrukcijski su slični klasičnom alučeličnom ACSR vodiču. Karakterizirani su čeličnom jezgrom s visokom čvrstoćom koja podnosi izuzetno visoke temperature. Plašt ACSS vodiča napravljen je od upredenih žica (okruglog ili trapeznog (TW) oblika) temperaturno obrađenog (žarenog) aluminijske te plašt ne potpomaže mehaničkoj nosivosti vodiča. Shodno navedenom, pogonska temperatura ACSS vodiča definirana je isključivo prema karakteristikama „žarene“ čelične jezgre te iznosi do 250°C (200°C pri normalnom pogonu) što predstavlja znatno veću temperaturnu opteretivost vodiča u usporedbi s maksimalnom pogonskom temperaturom

klasičnih alučeličnih ACSR vodičem u iznosu od $+80^{\circ}\text{C}$. Ujedno, veća pogonska temperatura rezultira većom prijenosnom moći vodiča. Zagrijavanjem ACSR vodiča iznad temperature koljena dolazi do znatnijeg izduženja aluminijskih žica plašta u usporedbi s izduženjem čeličnih žica jezgre te se upravo zbog te pojave ukupno opterećenje prenosi isključivo na čeličnu jezgru. Temperatura koljena je temperatura na kojoj je napetost vodiča potpuno prenijeta na jezgru vodiča.

Kompaktna izvedba vodiča ACSS/TW dizajnirana je s plaštom trapezoidno oblikovanih aluminijskih žica (TW) čime je povećana površina aluminijske žice bez povećavanja promjera, što rezultira većom prijenosnom moći vodiča.

ACSS vodiči spadaju u cjenovno najjeftinije HTLS vodiče te koriste slične konstrukcijske materijale poput klasičnih ACSR vodiča. Investicijski trošak ACSS vodiča je veći otprilike 1,5 do 2 puta u usporedbi s cijenom ACSR vodiča.

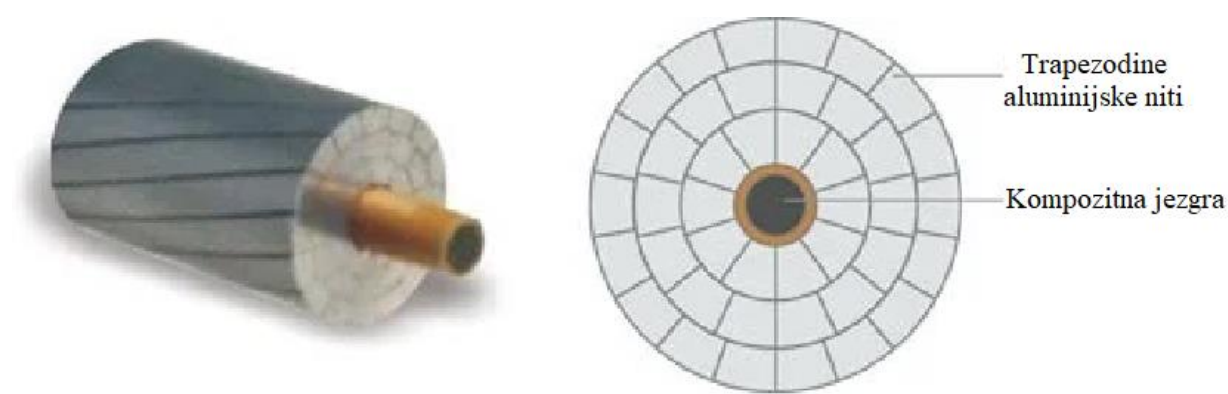


Slika 4.1. ACSS vodič: a) ACSS s Al okruglim žicama, b) ACSS/TW (trapezoidne žice) [30]

4.2. ACCC/TW vodiči

Aluminijski vodiči s kompozitnom jezgrom ACCC/TW kao i ostali vodiči sastoje se od jezgre koja preuzima mehanička opterećenja i plašta koji ima funkciju električnog vodiča. Jezgra ACCC/TW vodiča sastavljena je od kompozitnih karbonskih vlakana te je oklopljena zaštitnim omotačem napravljenim od stakloplastike. Upotreba karbonskih vlakana u konstrukciji jezgre rezultira s 25% jačom jezgrom i 60% manjom masom jezgre u usporedbi s klasičnim vodičima sa čeličnom

jezgom. Plašt ACCC/TW vodiča napravljen je od trapezoidno oblikovanih (kaljenih) aluminijskih niti čime se povećava udio aluminija za 28% bez povećanja težine i promjera vodiča u usporedbi s klasičnim alučeličnim (ACSR) vodičima. Rastom temperature aluminijske žice se brže izdužuju u usporedbi s jezgom što rezultira prijenosom ukupnog tereta opterećenja na jezgru. ACCC/TW vodiče karakterizira prijenos s znatno manjim gubitcima te dvostruko veća prijenosna moć u usporedbi s ACSR (klasičnim alučeličnim) vodičima jednake veličine i težine. Ujedno, ACCC/TW vodiči predstavljaju idealne vodiče koji su u potpunosti kompatibilni za ugradnju na postojeće strukture nadzemnih vodova (dalekovode) za prijenos energije bez potrebe za modifikacijom postojećih stupova i izolatora.



Silka 4.2. ACCC/TW vodič

Prednosti ACCC/TW vodiča:

- Podnose veće strujno opterećenje u usporedbi s klasičnim alučeličnim vodičima (ACSR).
- Podnose visoke radne temperature (u normalnom pogonu 180°C te kratkoročno može izdržati temperaturu od 200°C).
- Koeficijent termičkog rastezanje je 9 puta manji u usporedbi s klasičnim alučeličnim vodičima što rezultira radom vodiča na većim temperaturama bez velikog povećanja provjesa.
- Manji gubitci djelatne snage.
- Manja masa po jedinici duljine u usporedbi s klasičnim alučeličnim vodičima.
- Stupovi su opterećeni manjim silama naprezanja.
- Izrazita mehanička čvrstoća kompozitne jezgre.
- Otpornost na korozivno djelovanje.

Nedostaci ACCC/TW vodiča:

- Znatno veća nabavna cijena vodiča (od 2,5 do 3 puta skuplji od ACSR vodiča).
- Niža aksijalna krutost koja rezultira većim provjesom vodiča pod utjecajem leda u usporedbi s drugim izvedbama HTLS vodiča (dostupna je izvedba ultra-low-sag za uklanjanje tog nedostatka, ali uz znatno veću cijenu).
- Opterećenje izazvano nakupljanjem leda može dovesti do labavljenja niti vanjskog sloja uzrokovane plastičnom deformacijom.
- Žareni aluminij je izrazito mekan zbog čega je vodič sklon oštećenju površine prilikom montaže ako se njime pogrešno rukuje.
- Izrazito mali radijus savijanja zbog čega je potrebna dodatna pažnja prilikom montaže.
- Potrebne su posebne armature i oprema za pričvršćivanje vodiča što doprinosi troškovima implementacije.

4.3. ACCR vodiči

ACCR vodiči predstavljaju aluminijske vodiče koji su kompozitno ojačani. Jezgra im je sačinjena od aluminij-oksidnih vlakana, a plašt od legure aluminija – cirkonija (Al/Zr). Aluminij – oksidna vlakna karakterizirana su manjom rastezljivošću u usporedbi čelikom i aluminijem. Glavna prednost u usporedbi s čeličnom jezgrom ACSR vodiča je veći omjer čvrstoće i mase. Masa vodiča po jedinci duljine je manja u usporedbi s masom klasičnog ACSR vodiča. Ujedno, jezgra je izrazito otporna na koroziju. ACCR vodič karakteriziran je manjim provjesom pri visokim pogonskim temperaturama te ujedno posjeduje dva do tri puta veću prijenosnu moć u usporedbi s ACSR vodičem. Temperaturni raspon pogonske temperature ACCR vodiča kreće se od 210°C do 240°C ovisno o proizvođaču, što je znatno bolje u usporedbi s klasičnim ACSR i HTLS ACCC vodičem.



Slika 4.3. ACCR vodič

Prednosti ACCR vodiča:

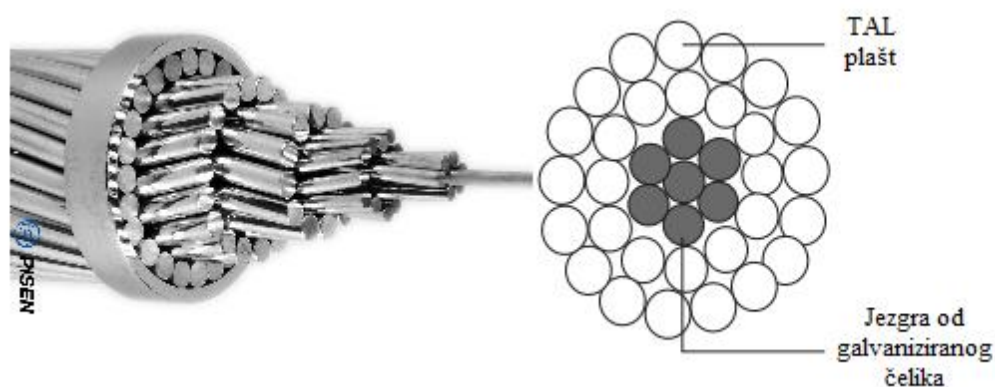
- Otpornost na koroziju.
- Visoke pogonske temperature (od 210°C do 240°C).
- Manja masa po jedinici duljine u usporedbi s klasičnim alučeličnim vodičem.
- Manji koeficijent toplinskog rastezanja jezgre u usporedbi s klasičnim alučeličnim vodičem.

Nedostaci ACCR vodiča:

- Skuplji od klasičnih alučeličnih vodiča (3 do 6 puta).
- Zahtijevaju specijalizirane tehnike montaže kako bi se osigurale njihove optimalne performanse. Nepravilna instalacija može umanjiti njihove prednosti.

4.4. TACSR vodiči

TACSR vodiči su po svojem dizajnu konstrukcije izrazito slični klasičnim alučeličnim (ACSR) vodičima. Sastoje se od jezgre izrađene od galvaniziranog čelika i plašta od tvrdo vučenih žica legure aluminija TAL otporne na toplinu. TACSR vodiče karakterizira oko 150% veća prijenosna moć u odnosu na tradicionalne ACSR vodiče te su dizajnirani za trajnu pogonsku temperaturu do 150°C (TAL žice se ne žare do te temperature) što im ujedno predstavlja glavnu prednost. TACSR vodiči imaju istu instalacijsku tehniku kao i ACSR vodiči.



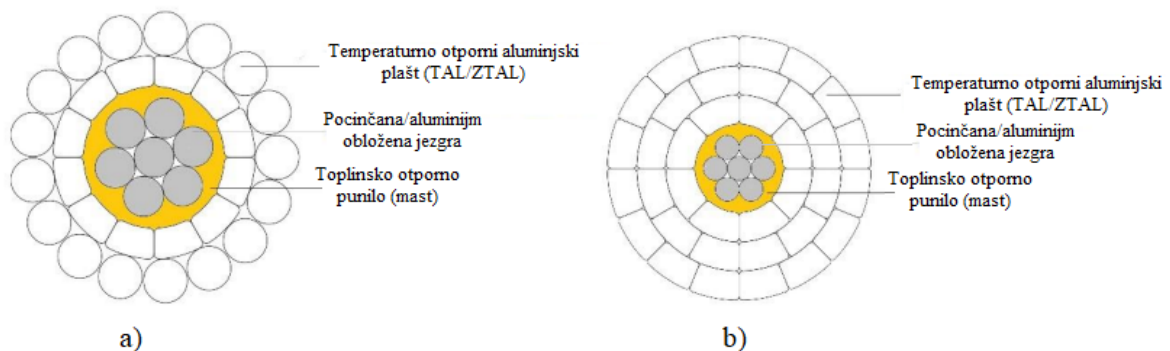
Slika 4.4. TACSR vodič [27]

Postoje dvije osnovne podvrste TACSR vodiča:

- ZTACSR (Ultra Thermal Resistant Aluminium Alloy Conductor, Steel Reinforced) vodiči
- GTACSR (eng. Gap-Type Super Thermal Resistant Aluminium Alloy Conductor Steel Reinforced) vodiči

Kod ZTACSR vodiča dodan je cirkonij (Zr) u aluminijsku leguru plašta što rezultira poboljšanim mehaničkim i električkim svojstvima plašta na temperaturi od 210°C, tj. omogućena je viša radna temperatura upotrebom ZTAL plašta u usporedbi klasičnom TAL izvedbom plašta kod TACSR vodiča. Ujedno, viša radna temperatura omogućena je crnim premazom vanjske površine vodiča koji rezultira većom emisijom topline u okolinu uz povećanu prijenosnu moć od 5% do 10%. Takvi vodiči se još nazivaju u praksi „black conductors – crni vodiči“.

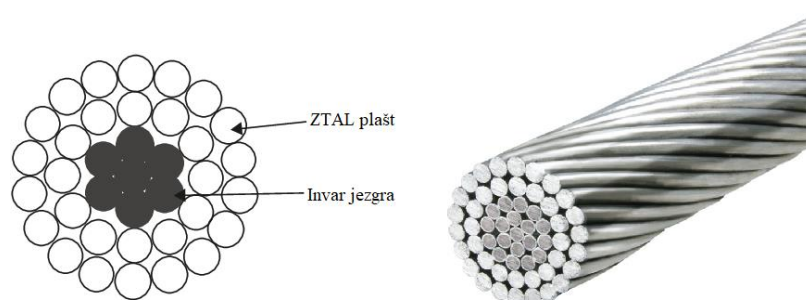
GTACSR vodič ima male praznine između čelične jezgre i plašta sačinjenog od aluminijskih slojeva. Praznine su prisutne kako bi se naprezanja prisutna na vodiču prenijela isključivo na jezgru vodiča. Praznine su ispunjenje toplinskim otpornim mastima (punilom) kako bi se onemogućio prodor vode te smanjilo trenje između jezgre i plašta. GTACSR vodiči financijski su isplativiji u usporedbi s ostalim izvedbama HTLS vodiča, ali su izrazito zahtjevni u montaži. Pored GTACSR „gap“ vodiča koji posjeduje 1.6 puta veću prijenosnu moć u usporedbi s klasičnim ACSR vodičem postoji i izvedba „gap“ vodiča GZTACSR koji sadrži super aluminijsku leguru koja je još otpornija na visoke pogonske temperature što rezultira dva puta većom prijenosnom moći u usporedbi s ACSR vodičem. Ujedno, „gap“ vodiči karakterizirani su izrazitom mehaničkom čvrstoćom na radnim temperaturama u rasponu od 150°C do 210°C ovisno o izvedbi uz mali provjes.



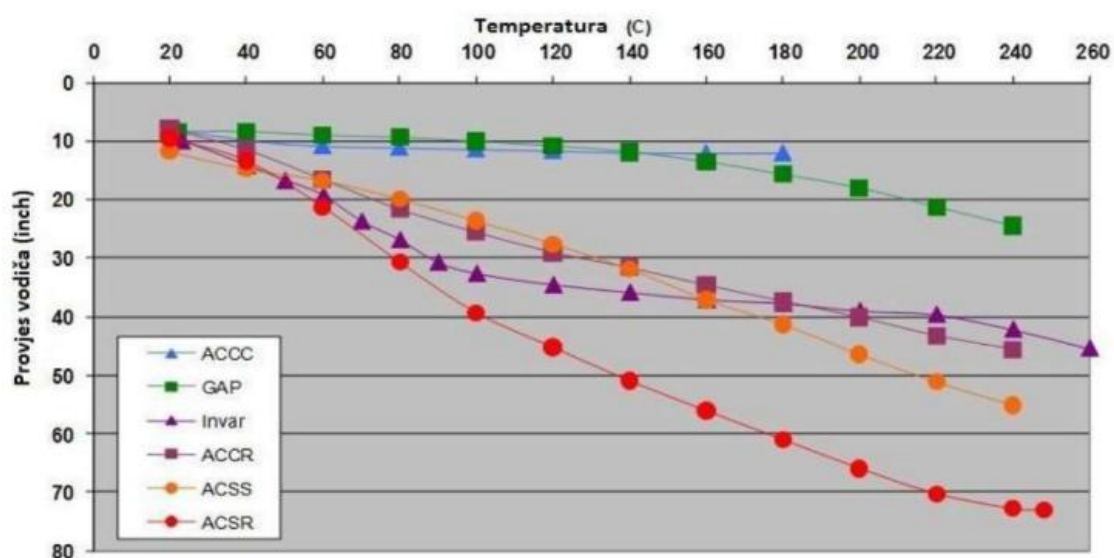
Slika 4.5. Gap vodič: a) tip GTACSR, b) tip GZTACSR [28]

4.5. ZTACIR vodiči

ZTACIR vodiči sastoje se od jezgre izrađene od okruglih žica legure invara (FeNi36) koja je karakterizirana malim temperaturnim koeficijentom toplinskog rastezanja pri djelovanju visokih temperatura. Invar je materijal kojeg karakteriziraju bolja mehanička svojstva i manji provjes u usporedbi s klasičnom čeličnom jezgrom Al/Fe vodiča. Plašt je napravljen od ZTAL (legura aluminija s dodatkom cirkonija) žice što poboljšava svojstva vodiča pri visokim pogonskim temperaturama u iznosu do 210°C. Uz prednosti kao što je visoka radna temperatura i mali provjes iznad temperatura točke „koljena“, ZTACIR vodič karakteriziran je nedostacima: manje vlačne čvrstoće, veće cijene proizvodnje i nabave te je provjes za temperature ispod točke „koljena“ u ovisnosti o temperaturi sličan značajkama kao kod klasičnog ACSR vodiča.



Slika 4.6. ZTACIR vodiči [27]



Slika 4.7. Usporedba provjesa tipova HTLS vodiča s klasičnim alučeličnim ACSR vodičem [21]

5. RAZLOZI REKONSTRUKCIJE EEM-A UPOTREBOM HTLS VODIČA

Elektroenergetske mreže igraju ključnu ulogu u prijenosu električne energije od elektrana do krajnjih potrošača. Kroz desetljeća, elektroenergetske mreže su evoluirale kako bi podržale rastuće potrebe za električnom energijom i promjenama u načinu proizvodnje, prijenosa i distribucije električne energije. Prvobitno su dizajnirane s fokusom na prijenos električne energije od koncentriranih izvora energije (elektrana) prema potrošačima (jednosmjernan tok energije), kao što su konvencionalne termoelektrane i hidroelektrane. Međutim, dinamika elektroenergetske industrije brzo se mijenja kako se sve više okreće prema obnovljivim izvorima energije i decentraliziranom modelu proizvodnje (dvosmjernan tok energije i veće opterećenje). S razvojem tehnologije i promjenama u načinu proizvodnje energije, elektroenergetske mreže suočavaju se s rastućim zahtjevima za povećanim kapacitetom, pouzdanošću i efikasnošću. U ovom kontekstu, rekonstrukcija mreža postaje nužna kako bi se omogućila adekvatna podrška novim energetske trendovima. S porastom udjela obnovljivih izvora energije, poput vjetroelektrana i fotonaponskih sustava, na elektroenergetskim mrežama počinju se pojavljivati dinamičke promjene u obrascima proizvodnje i potrošnje. Ovi izvori proizvode električnu energiju na specifičnim lokacijama koje su udaljene od glavnih potrošačkih centara. Kako bi se omogućila sve veća integracija novih visokoenergetskih izvora energije (elektrana) u mreže i osigurala distribucija do potrošača, rekonstrukcija mreža postaje neizbježna.

Rekonstrukcija elektroenergetskih mreža primjenom visoko-temperaturnih nisko-provjesnih vodiča (HTLS vodiča), ima za cilj unaprijediti kapacitet, pouzdanost i efikasnost mreža. HTLS vodiči omogućavaju povećanje kapaciteta prijenosa energije kroz isti presjek vodiča. Zamjenom konvencionalnih vodiča s HTLS vodičima, mreže se mogu revitalizirati bez potrebe za gradnjom novih paralelnih veza. Ova inovativna tehnologija pruža mogućnost povećanja kapaciteta prijenosa energije i optimizacije mreža kako bi se bolje odgovorilo na današnje energetske izazove. Uz povećanje kapaciteta, HTLS vodiči pružaju visoku temperaturnu stabilnost, omogućavajući veće struje pri visokim radnim temperaturama. To je ključno za suočavanje s dinamičkim promjenama u opterećenju mreža i fluktuacijama proizvodnje energije. Rekonstrukcija mreža s HTLS vodičima pruža temelj za fleksibilniju i otporniju elektroenergetsku infrastrukturu koja je sposobna nositi se s izazovima današnjeg energetskeg sektora.

5.1. HTLS vodiči u prijenosnoj mreži

Iako su HTLS vodiči prisutni već više od tri desetljeća te usprkos svojim prednostima, nisu bili odmah prvi izbor pri odabiru vrste vodiča za nadzemne vodove. Razlog tome je bila njihova velika cijena, nedovoljna saznanja o njihovim svojstvima i promjenama karakteristika tokom pogonskih opterećenja te su klasični Al/Fe vodiči u periodu njihove pojave još uvijek zadovoljavali sve tadašnje potrebe za prijenosnim kapacitetima. Sve strukture nadzemnih vodova prijenosne mreže izrađene u prošlom stoljeću bile su namijenjene jednosmjernom prijenosu električne energije. Jednosmjernan tok energije podrazumijeva: proizvodnju energije u elektranama velikih snaga, prijenos proizvedene energije na velike udaljenosti pomoću prijenosne mreže do distribucijske mreže te naposljetku distribuciju energije prema potrošačima. U novije vrijeme, sve veća potreba za energijom rezultira i sve većim brojem novo izgrađenih elektrana. S ciljem ostvarivanja održivog razvoja, trenutno je u naglom porastu trend proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije te napuštanje gradnje elektrana na fosilna goriva (prvenstveno ugljen). Većina elektrana koje koriste obnovljive izvore energije za proizvodnju električne energije, najčešće se nalaze priključene na distribucijske mreže te spadaju u skupinu distribuiranih izvora energije. Nagli rast broja distribuiranih izvora energije doveo je do značajnog povećanja opterećenja kapaciteta prijenosnih vodova te do dvosmjernih tokova energije. Dvosmjerni tok energije karakterizira prijenos proizvedene energije na način da se energija predaje iz distribucijskog u prijenosni sustav i obrnuto. Kako bi se odgovorilo na rast potrošnje električne energije, svakodnevno se grade brojni distribuirani izvori električne energije s naglaskom na upotrebu obnovljivih izvora energije, proširuju se postojeći proizvodni kapaciteti nuklearnih i drugih elektrana. Uz distribuirane izvore energije, grade se nove elektrane velikih snaga poput vjetroelektrana koje se priključuju na prijenosnu mrežu, što rezultira opterećenjem prijenosnih kapaciteta. Porast proizvodnje električne energije rezultira preopterećenjem postojećih prijenosnih kapaciteta prijenosne mreže te se zbog toga moraju izgraditi novi prijenosni sustavi ili se treba nadograditi postojeći. Izgradnja novih dalekovoda prijenosne mreže predstavlja vrlo zahtjevan, skup i vremenski dugotrajan proces. Umjesto izgradnje novih trasa dalekovoda, trenutno je u trendu rekonstrukcija postojećih trasa zamjenom postojećih alučeličnih ACSR vodiča visokotemperaturnim nisko-provjesnim (HTLS) vodičima. Montaža HTLS vodiča se vrlo malo razlikuje u usporedbi s montažom klasičnog alučeličnog vodiča, ali se spojna i ovjesna oprema prilagođavaju vrsti materijala i pogonskim temperaturama vodiča. Ključna prednost rekonstrukcije uporabom HTLS vodiča leži u njihovoj tehničkoj sposobnosti da se suoče s povećanim kapacitetima prijenosa energije (boljoj prijenosnoj moći). Njihova otpornost na visoke temperature

omogućava smanjenje provjesa vodova, što pak omogućava veću pouzdanost i stabilnost čak i u zahtjevnim uvjetima rada.

5.2. HTLS vodiči u distribucijskoj mreži

Distribuirani izvori energije, kao što su solarne elektrane i vjetroelektrane, povećavaju kapacitete za proizvodnju električne energije na lokalnoj razini. Kroz sve veći broj kućanstava, kompanija i institucija koje prepoznaju prednosti čiste energije, distribuirani izvori postaju ključni u energetske sektoru. Njihova sposobnost proizvodnje energije na lokalnoj razini smanjuje ovisnost o centraliziranim elektranama i povećava energetske samodostatnost zajednica. To otvara vrata novim tehnološkim rješenjima i poslovnim modelima, promičući energetske inovacije na svim razinama. S rastućim trendom potražnje električne energije i povećanim brojem distribuiranih izvora energije u bližoj budućnosti distribucijska mreža će se suočiti s novim izazovima. Iako trenutno nema velikog broja distribuiranih izvora energije velike snage koji bi intenzivno opterećivali distribucijsku mrežu, za očekivati je da će u budućnosti porast potrebe za električnom energijom rezultirati naglim rastom broja distribuiranih izvora energije koji su i trenutno u trendu rasta što će izazvati veća opterećenja prijenosnih kapaciteta distribucijske mreže. Stoga je ključno unaprijediti infrastrukturu kako bi se zadovoljile buduće potrebe distribucijskih kapaciteta distribucijskih mreža. Tehnologija visoko-temperaturnih nisko-provjesnih (HTLS) vodiča predstavlja obećavajuće rješenje za povećanje kapaciteta distribucijske mreže. Iako se trenutno ne susrećemo s velikim opterećenjem, potreba za pripremom mreže za buduće izazove postaje ključna. HTLS vodiči imaju sposobnost nositi se s većim količinama energije i temperaturama, što će biti neophodno kako se distribuirani izvori energije budu razvijali.

5.3. Prednosti primjene HTLS vodiča u prijenosnim i distribucijskim mrežama

Prijenosna i distribucijska električna mreža, kao strateški važni infrastrukturni sustavi, igraju ključnu ulogu u osiguravanju kontinuiranog napajanja električnom energijom u modernom društvu. S naglim porastom potreba za električnom energijom, povećanom integracijom obnovljivih izvora energije i rastućim izazovima povezanim s ekološkom održivošću, električne mreže moraju se prilagoditi kako bi osigurale visoku razinu pouzdanosti, učinkovitosti i operativne fleksibilnosti. U tom kontekstu, visoko-temperaturni nisko-provjesni (HTLS) vodiči postali su

ključni element transformacije elektroenergetskih mreža. Za razliku od tradicionalnih alučeličnih (Al/Fe) vodiča, koji su dosad dominantno korišteni, HTLS vodiči donose niz značajnih prednosti koje su ključne za ispunjavanje suvremenih zahtjeva energetske sustava.

Prednosti primjene HTLS vodiča u prijenosnim mrežama:

- Povećanje prijenosnih kapaciteta/prijenosne moći
 - Jedna od primarnih prednosti HTLS vodiča je njihova sposobnost da prenose značajno veće količine električne energije u usporedbi s konvencionalnim vodičima zahvaljujući svojoj konstrukciji i materijalima visoke vodljivosti.
- Smanjenje gubitaka
 - Klasični Al/Fe vodiči suočavaju se s izazovom gubitaka energije zbog otpora vodiča. Nasuprot tome, HTLS vodiči koriste materijale visoke vodljivosti što rezultira manjom vrijednosti otpora u usporedbi s Al/Fe vodičima, što značajno smanjuje gubitke energije tijekom prijenosa.
- Smanjenje emisija stakleničkih plinova:
 - Smanjenjem gubitaka energije u mreži dolazi do smanjenja potrebe za dodatnom proizvodnjom električne energije, što ima pozitivan učinak na emisije stakleničkih plinova i ukupni ekološki otisak elektroenergetskog sektora.
- Povećana pouzdanost:
 - HTLS vodiči su otporni na mehanička naprezanja (opterećenja) i ekstremne vremenske uvjete, uključujući led i vjetar. Ova otpornost povećava stabilnost elektroenergetskog sustava, smanjujući rizik od prekida u napajanju.
- Optimizacija prostora:
 - S obzirom na veću prijenosnu moć HTLS vodiča, ista količina prostora može prenijeti značajno veću snagu. To otvara mogućnost za smanjenje potrebe za izgradnjom novih vodova ili proširenjem postojećih, pridonoseći učinkovitijem iskorištavanju raspoloživih resursa.

Prednosti primjene HTLS vodiča u distribucijskim mrežama:

- Povećana pouzdanost distribucije:
 - HTLS vodiči unaprjeđuju pouzdanost distribucijskog sustava smanjenjem opterećenja vodova, čime se smanjuje rizik od prekida napajanja i osigurava kontinuirana opskrba energijom potrošačima.

- Integracija obnovljivih izvora energije:
 - Distribucijska mreža postaje sve više kompleksno okruženje integracije obnovljivih izvora energije poput solarnih elektrana i vjetroelektrana. HTLS vodiči omogućavaju bolju upravljivost oscilacija u proizvodnji koja je svojstvena tim izvorima energije.
- Smanjenje potrebe za infrastrukturnim nadogradnjama:
 - Zamjena postojećih vodiča HTLS vodičima omogućava modernizaciju i poboljšanje distribucijskog sustava bez potrebe za radikalnim infrastrukturnim promjenama.
- Ušteda energije i resursa:
 - Manji gubici energije u distribucijskoj mreži znače manje troškove održavanja i manju potrebu za dopunskom proizvodnjom energije, što rezultira financijskim uštedama.
- Otpornost na nepogode:
 - HTLS vodiči osiguravaju veću otpornost na nepogode kao što su led, snijeg i vjetar, čime se smanjuje rizik od oštećenja i povećava trajnost distribucijske mreže.

6. KOMERCIJALNA RJEŠENJA HTLS VODIČA

S obzirom na ubrzan rast potrošnje električne energije i integraciju obnovljivih izvora energije te proširenja postojećih proizvodnih kapaciteta, traže se inovativni načini za povećanje učinkovitosti i kapaciteta elektroenergetskih prijenosnih i distribucijskih mreža. Komercijalna rješenja temeljena na HTLS (eng. High Temperature Low Sag) vodičima postaju ključni alat u transformaciji prijenosnih i distribucijskih sustava. Neke od tvrtki koje pružaju komercijalna rješenja HTLS vodiča su: APAR, ZMS CABLE, CTC GLOBAL (proizvodi samo ACCC vodiče). Ovo poglavlje fokusira se na pregled raspoloživih komercijalnih rješenja HTLS vodiča koje pruža tvrtka APAR.

6.1. Pregled komercijalnih rješenja koje pruža tvrtka APAR

APAR Industries je tvrtka pokrenut 1958. godine u Indiji. Tvrtka APAR Industries posluje u više od 140 zemalja kao proizvođač i dobavljač vodiča, širokog izbora kabela, specijalnih ulja, polimera i maziva. U nastavku ovog podpoglavlja, biti će prikazana komercijalna rješenja HTLS vodiča koje tvrtka APAR nudi u svom katalogu.

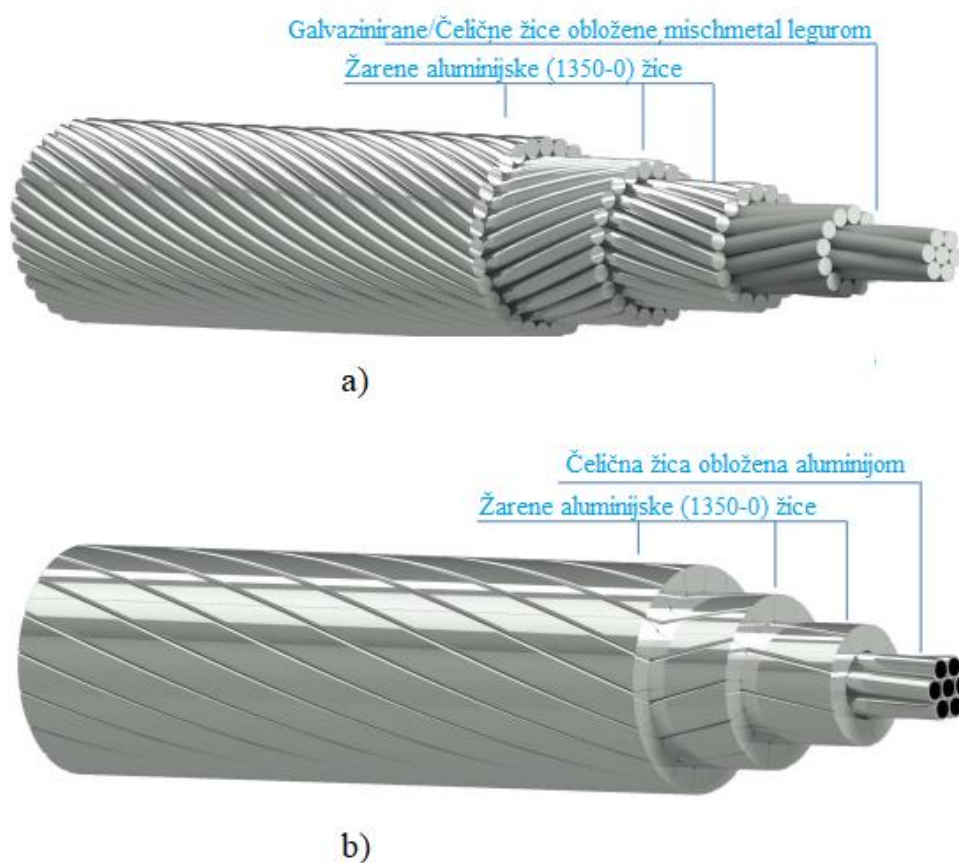
6.1.1. ACSS (eng. Aluminum Conductor Steel Supported) vodiči

Konstrukcija ACSS vodiča:

- Jezgra ACSS vodiča sačinjena je od čeličnih niti, oko koje je sukan jedan ili više slojeva aluminijskih žica tipa 1350-O.
- Čelična jezgra nosi veći dio ili cijeli mehanički teret vodiča zbog svojstva aluminija.
- Čelična jezgra zaštićena je od korozije postupkom galvanizacije, oblaganjem aluminijem ili premazom legure mischmetala. Odabir postupka zaštite od korozije ovisi o okruženju kojem će vodič biti izložen.

Primjena ACSS vodiča:

- ACSS vodiči koriste se za nadzemne vodove prijenosnih i distribucijskih mreža.
- Dizajnirani su za kontinuirani rad na povišenim temperaturama do 250°C bez gubitaka čvrstoće. Manje se savija pod većim pogonskim opterećenjem (većim od normalnih pogonskih opterećenja).
- Prednosti ACSS vodiča posebno dolaze do izražaja u situacijama rekonstrukcije gdje je potrebno povećanje struje uz postojeća naprezanja i razmake između vodiča, kao i u novim primjenama prijenosnih/distribucijskih vodova gdje se mogu optimizirati konstrukcije zahvaljujući smanjenju savijanja vodiča (manji provjes).



Slika 6.1. ACSS vodič: a) s plaštom sukanog okruglim žicama, b) s plaštom izvedenim trapezoidnim žicama (ACSS/TW) [29]

Tablica 6.1. Specifikacije komercijalnih izvedbi ACSS vodiča iz kataloga tvrtke APAR [29]

Naziv vodiča	Presjek (mm ²)	Sukanje				Promjer cijelog vodiča (mm)	Masa			DC otpor @ 20°C (Ω/km)	Dozvoljena struja		
		Broj žica		Promjer žice			Aluminij (kg/km)	Čelik (kg/km)	Ukupno (kg/km)		@ 85°C	@ 200°C	@ 250°C
		Aluminij	Čelik	Aluminij	Čelik						(A)	(A)	(A)
		(Br.)	(Br.)	(mm)	(mm)						(A)	(A)	(A)
Partridge /ACSS	135	26	7	2,57	2,00	16,31	374,00	171,78	545,78	0,2031	365	740	836
Junco /ACSS	135	30	7	2,40	2,40	16,76	374,90	247,36	622,26	0,2018	368	748	846
Ostrich /ACSS	152	26	7	2,73	2,12	17,27	420,60	193,01	613,61	0,1808	391	798	903
Linnet /ACSS	170	26	7	2,89	2,25	18,29	471,40	217,40	688,80	0,1611	420	860	974
Oriole /ACSS	170	30	7	2,69	2,69	18,82	472,60	310,75	783,35	0,1601	423	870	986
Brant /ACSS	201	24	7	3,27	2,18	19,61	557,20	204,09	761,29	0,1368	462	953	1080
Ibis /ACSS	201	26	7	3,14	2,44	19,89	557,20	255,67	812,87	0,1365	464	958	1086
Lark /ACSS	201	30	7	2,92	2,92	20,47	558,50	366,16	924,66	0,1355	468	970	1101
Flicker /ACSS	242	24	7	3,58	2,39	21,49	668,60	245,30	913,90	0,1142	515	1072	1217
Hawk /ACSS	242	26	7	3,44	2,67	21,79	668,60	306,14	974,74	0,1135	518	1080	1227
Hen /ACSS	242	30	7	3,20	3,20	22,43	670,30	439,75	1110,05	0,1129	523	1093	1242
:::	:::	:::	:::	:::	:::	:::	:::	:::	:::	:::	:::	:::	:::
Thrasher /ACSS	1171	76	19	4,43	2,07	45,77	3256,40	500,45	3756,85	0,0240	1263	2923	3371
Joree /ACSS	1274	76	19	4,62	2,16	47,75	3542,40	544,92	4087,32	0,0220	1321	3086	3563

::: - postoji ostatak podataka koji se nalazi u katalogu navedenom u literaturi

Tablica 6.2. Specifikacije komercijalnih izvedbi ACSS/TW vodiča iz kataloga tvrtke APAR [29]

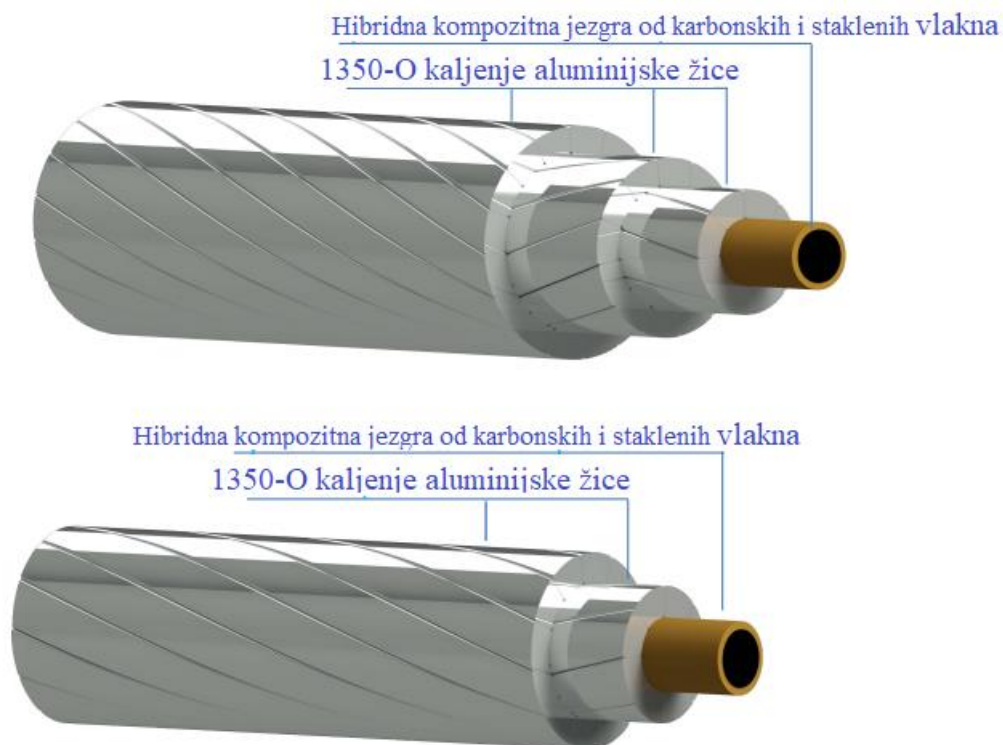
Naziv vodiča	Presjek (mm ²)	Površina poprečnog presjeka		Sukanje				Promjer cijelog vodiča	Masa	DC otpor 20°C	Dozvoljena struja		
		Aluminij	Čelik	Broj Al žica	Broj slojeva Al-a	Broj čeličnih žica	Promjer čeličnih žica				@	@	@
											85°C	200°C	250°C
(mm ²)	(mm ²)	(Br.)	(Br.)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(Ω/km)	(A)	(A)	(A)		
Tern/ ACSS/TW	403	402,84	28,08	17	2	7	2,26	24,38	1329,34	0,06860	680	1437	1635
Cheyenne/ ACSS/ TW	592	591,93	30,62	30	2	7	2,36	29,34	1876,78	0,04690	850	1837	2097
Flicker/ ACSS/TW	242	241,74	31,40	18	2	7	2,39	19,71	912,60	0,11420	506	1044	1184
Catawba/ ACSS/TW	645	644,58	33,27	30	2	7	2,46	30,56	2042,68	0,04330	890	1935	2211
Parakeet/ ACSS/TW	282	282,00	36,60	18	2	7	2,58	21,21	1064,45	0,09740	556	1156	1313
Mohawk/ ACSS/TW	290	289,68	37,74	18	2	7	2,62	21,49	1094,38	0,09480	565	1177	1336
Hawk/ ACSS/TW	242	241,68	39,49	18	2	7	2,68	20,04	976,14	0,11350	509	1053	1194
Rook/ ACSS/TW	322	322,26	41,88	20	2	7	2,76	22,61	1216,93	0,08530	602	1260	1432
Puffin/ ACSS/TW	403	402,84	43,72	18	2	7	2,82	24,89	1453,01	0,06860	684	1447	1646
Mystic/ ACSS/TW	338	337,81	43,72	20	2	7	2,82	23,19	1274,01	0,08140	619	1300	1477
Dove/ ACSS/TW	282	282,00	46,24	20	2	7	2,90	21,64	1140,26	0,09710	559	1165	1323
Calumet/ ACSS/TW	286	286,39	46,88	20	2	7	2,92	21,84	1156,66	0,09580	564	1177	1336
...
Powder/ ACSS/TW	1091	1091,09	89,57	64	4	19	2,45	40,69	3722,06	0,02560	1206	2736	3146
Santee/ ACSS/TW	1331	1330,97	108,79	64	4	19	2,70	44,75	4537,63	0,02100	1340	3096	3571

... - postoji ostatak podataka koji se nalazi u katalogu navedenom u literaturi

6.1.2. ACCC (eng. Aluminium Conductor Composite Core) vodiči

Konstrukcija i karakteristike ACCC vodiča:

- Sastoji se od kompozitne jezgre sačinjene od karbonskih i staklenih vlakna oko koje su koncentrično upletene žarene trapezoidne aluminijske žice.
- Posjeduju izvrsne električne karakteristike, izvrsnu otpornost na povećanje provjesa pri visokim pogonskim temperaturama te su karakterizirani izrazitom otpornošću na koroziju.
- U usporedbi s klasičnim alučeličnim ACSR vodičima imaju manju masu, sličnu čvrstoću i strujnu opteretivost te manje gubitke.
- Zbog tih karakteristika ACCC vodiči su široko prihvaćeni u prijenosnim mrežama, a u distribucijskim mrežama njihova upotreba je ograničena.
- Mogu raditi pri pogonskim temperaturama do 180°C.
- Imaju najmanji provjes u usporedbi s ostalim HTLS vodičima zbog najmanjeg koeficijenta toplinskog rastezanja i većeg omjera čvrstoće i mase.
- Ujedno je vodič koji posjeduje najveću vodljivost među HTLS vodičima.



Slika 6.2. ACCC vodič [31]

Tablica 6.3. Specifikacije komercijalnih izvedbi ACCC vodiča iz kataloga tvrtke APAR [31]

Naziv vodiča	Površina poprečnog presjeka			Promjer		Masa jezgra+ plašt	Nazivna čvrstoća		DC otpor @ 20°C	Dozvoljena struja		
	AI	Jezgra	Ukupno	Vodič	Jezgra	Ukupno	Jezgra	Vodič		@ 85°C	@ 120°C	@ 180°C
	(mm ²)	(mm ²)	(mm ²)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(kN)	(kN)	(Ω/km)	(A)	(A)	(A)
Internacionalne veličine												
SILVASSA	122,70	28,00	150,70	14,35	5,97	392,00	59,60	66,50	0,2286	335	479	632
HELSINKI	150,60	28,00	178,60	15,65	5,97	469,00	59,60	68,10	0,1862	378	543	719
JAIPUR	155,70	47,10	202,80	16,51	7,75	522,00	101,00	109,80	0,1801	389	560	742
ZADAR	177,40	39,70	217,10	17,09	7,11	564,00	85,00	95,00	0,1576	419	604	802
ROVINJ	187,80	28,00	215,80	17,09	5,97	575,00	59,60	70,20	0,1487	431	622	825
COPENHAGEN	219,90	28,00	247,90	18,29	5,97	659,00	59,60	72,00	0,1272	473	684	910
REYKJAVIK	223,10	39,70	262,80	18,82	7,11	692,00	85,00	97,50	0,1256	479	694	924
MONTE CARLO	228,50	87,30	315,80	20,78	10,54	798,00	185,90	198,80	0,1230	494	720	962
GLASGOW	236,70	47,10	283,80	19,53	7,75	743,00	101,00	114,30	0,1184	497	722	962
GDANSK	248,80	28,00	276,80	19,20	5,97	741,00	59,60	73,60	0,1126	507	736	981
CASABLANCA	273,60	39,70	313,30	20,50	7,11	832,00	85,00	100,40	0,1024	539	786	1050
OSLO	313,80	60,30	374,10	22,40	8,76	981,00	129,00	146,70	0,0893	588	861	1154
LISBON	315,50	39,70	355,20	21,79	7,11	946,00	85,00	102,70	0,0887	587	858	1148
AMSTERDAM	367,40	47,10	414,50	23,55	7,75	1104,00	101,00	121,70	0,0762	643	944	1267
25 MM	383,20	87,30	470,50	24,99	10,54	1222,00	185,90	207,30	0,0730	665	981	1319
CORDOBA	399,40	47,10	446,50	24,41	7,75	1191,00	101,00	123,50	0,0700	675	994	1336
LEIPZIG	406,40	71,30	477,70	25,15	9,53	1258,00	151,70	174,60	0,0690	684	1010	1358
BRUSSELS	421,40	51,90	473,30	25,15	8,13	1264,00	110,80	134,50	0,0666	696	1028	1382
STOCKHOLM 3L	453,70	60,30	514,00	26,39	8,76	1368,00	129,00	154,50	0,0617	730	1081	1457
STOCKHOLM 2L	463,30	60,30	523,60	26,39	8,76	1395,00	129,00	155,10	0,0605	737	1092	1471
WARSAW	507,50	60,30	567,80	27,71	8,76	1519,00	129,00	157,60	0,0553	778	1156	1561
DUBLIN	524,50	71,30	595,80	28,14	9,53	1584,00	151,70	181,20	0,0534	794	1181	1596
:::	:::	:::	:::	:::	:::	:::	:::	:::	:::	:::	:::	:::
BERLIN	1006,50	87,30	1093,80	38,20	10,54	2948,00	185,90	242,50	0,0278	1148	1755	2407
MADRID	1013,10	75,10	1088,20	38,20	9,78	2944,00	160,10	217,10	0,0276	1151	1760	2414
ATHENS	1409,70	87,30	1497,00	44,75	10,54	4064,00	185,90	265,20	0,0199	1364	2125	2949

::: - postoji ostatak podataka koji se nalazi u katalogu navedenom u literaturi

6.1.3. ZTACSR/TW (eng. Super Thermal Resistant Aluminium Alloy Conductors Steel Reinforced) vodiči

Konstrukcija i karakteristike ZTACSR/TW vodiča:

- Konstruirani su od jezgre koja se sastoji od galvaniziranog (pocinčanog) čelika oko koje je koncentrično obavijen plašt sačinjen od trapezoidnih žica aluminij-cirkonij (tip-AT3).
- Može raditi pri pogonskim temperaturama do 210°C s određenim gubitkom čvrstoće.
- Mogu podnijeti 100-150% veću struju u odnosu na ACSR vodiče istih dimenzija.
- Za nadogradnju (rekonstrukciju) postojećih dalekovodnih koridora, nisu potrebne modifikacije ili ojačanja postojećih stupova.
- Primjenjuju se u prijenosnim mrežama.



Slika 6.3. ZTACSR/TW vodič [32]

Tablica 6.4. Specifikacije komercijalnih izvedbi ZTACSR/TW vodiča iz kataloga tvrtke APAR [32]

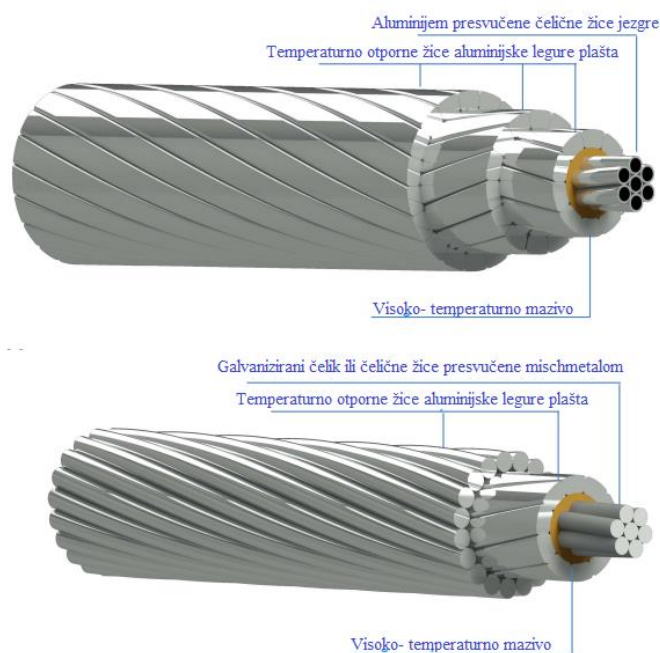
Presjek	Površina poprečnog presjeka			Sukanje				Promjer cijelog vodiča	Čvrstoća		DC otpor @20°C	Dozvoljena struja		
	STAL	Čelik	Ukupno	Br.	Br.	Br.	Promjer		Nazivna čvrstoća	Ultra visoka čvrstoća		@85°C	@150°C	@210°C
				STAL žica	STAL slojeva	čeličnih žica	čeličnih žica							
(mm ²)	(mm ²)	(mm ²)	(mm ²)	(Br.)	(Br.)	(Br.)	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(Ω/km)	(A)	(A)	(A)
170	170,45	9,46	179,91	14	2	1	3,47	15,60	38,83	41,43	0,1720	393	665	817
205	205,26	11,70	216,97	14	2	1	3,86	17,12	46,33	49,96	0,1428	440	750	922
240	241,70	39,19	280,89	18	2	7	2,67	19,80	88,60	99,18	0,1213	492	848	1046
280	281,98	45,92	327,90	20	2	7	2,89	21,40	103,61	116,01	0,1039	540	936	1157
290	289,68	37,74	327,42	18	2	7	2,62	21,32	92,34	102,53	0,1012	547	948	1171
320	322,26	52,49	374,75	20	2	7	3,09	22,88	114,08	128,51	0,0910	585	1020	1262
340	336,85	54,90	391,75	20	2	7	3,16	23,38	119,28	134,37	0,0870	601	1049	1300
390	389,25	50,81	440,06	20	2	7	3,04	24,72	122,17	137,92	0,0753	653	1146	1421
405	402,83	52,15	454,98	20	2	7	3,08	25,14	125,90	140,24	0,0728	666	1171	1453
480	479,69	47,20	526,89	35	3	7	2,93	26,98	136,68	149,43	0,0614	725	1283	1595
490	489,57	63,55	553,13	24	2	7	3,40	27,70	153,22	170,70	0,0599	738	1309	1629
525	523,67	26,85	550,53	30	3	7	2,21	27,50	114,77	122,02	0,0562	759	1347	1676
590	586,76	41,28	628,03	33	3	7	2,74	29,40	142,02	153,16	0,0502	813	1452	1810
625	625,07	79,63	704,69	38	3	19	2,31	31,32	196,93	218,43	0,0471	851	1528	1908
640	636,97	44,03	681,00	35	3	7	2,83	30,60	153,18	165,07	0,0462	853	1530	1910
680	676,24	85,95	762,20	39	3	19	2,40	32,58	212,81	236,02	0,0436	890	1606	2007
690	688,96	47,52	736,48	36	3	7	2,94	31,80	165,55	178,38	0,0428	892	1607	2008
725	725,09	91,78	816,87	39	3	19	2,48	33,72	227,69	252,47	0,0406	928	1680	2102
730	726,41	91,78	818,19	39	3	19	2,48	33,75	227,89	252,67	0,0405	929	1682	2105
740	737,40	51,14	788,54	36	3	7	3,05	32,92	175,50	189,57	0,0399	929	1680	2101
780	776,92	98,56	875,49	39	3	19	2,57	34,90	244,25	270,86	0,0379	965	1755	2199
790	789,13	54,55	843,69	36	3	7	3,15	34,05	187,59	202,59	0,0373	966	1753	2196
820	821,87	108,79	930,65	39	3	19	2,70	36,00	264,17	293,54	0,0358	998	1821	2284
840	839,80	58,07	897,88	36	3	7	3,25	35,14	199,66	215,63	0,0351	1000	1822	2285
880	876,90	111,22	988,11	42	3	19	2,73	37,10	275,65	305,67	0,0336	1035	1895	2379
890	891,08	61,70	952,78	42	3	7	3,35	36,18	211,95	228,92	0,0331	1034	1890	2373
900	901,93	73,54	975,47	42	3	19	2,22	36,70	233,44	253,29	0,0327	1044	1911	2399
980	976,36	123,77	1100,13	42	3	19	2,88	39,12	306,84	340,26	0,0302	1099	2027	2549
990	987,86	68,90	1056,76	42	3	7	3,54	38,10	230,76	254,53	0,0298	1097	2018	2539
1090	1092,45	88,84	1181,29	64	4	19	2,44	40,40	279,77	303,76	0,0271	1174	2178	2745
1330	1331,25	108,79	1440,04	64	4	19	2,70	44,60	341,60	370,97	0,0222	1308	2461	3117

- postoji ostatak podataka koji se nalazi u katalogu navedenom u literaturi

6.1.4. GTACSR i GZTACSR (eng. Gap Type Thermal-Resistant Aluminium Alloy Conductor, Steel Reinforced) vodiči

Konstrukcija i karakteristike GTACSR i GZTACSR vodiča:

- GTACSR vodiči imaju male praznine (eng. gap) između čelične jezgre i prvog sloja plašta sačinjenog od aluminijevih žica. Praznine su prisutne kako bi se naprezanja prenijela isključivo na jezgru te su te praznine ujedno ispunjene toplinski otpornim punilom.
- GZTACSR vodiči imaju koncentrično sukani plašt od žica aluminij-cirkonija (tip AT1 ili AT3) oko čelične jezgre s prisutnim razmakom između jezgre i plašta kao i kod GTACSR vodiča.
- Ovako konstruirani tip vodiča nudi bolje mehaničke i električke karakteristike u usporedbi s ACSR vodičem.
- Može raditi pri pogonskim temperaturama do 210°C s određenim gubitkom čvrstoće.
- Mogu podnijeti 100-150% veću struju u odnosu na ACSR vodiče istih dimenzija.
- Za nadogradnju (rekonstrukciju) postojećih dalekovodnih koridora, nisu potrebne modifikacije ili ojačanja postojećih stupova.
- Ograničeno je povećanje provjesa s povećanjem temperature na račun koeficijenta toplinskog rastezanja iznad točke koljena čelične jezgre.



Slika 6,4. GTACSR i GZTACSR vodiča [33]

Tablica 6.5. Specifikacije komercijalnih izvedbi GTACSR i GZTACSR vodiča iz kataloga tvrtke

APAR [33]

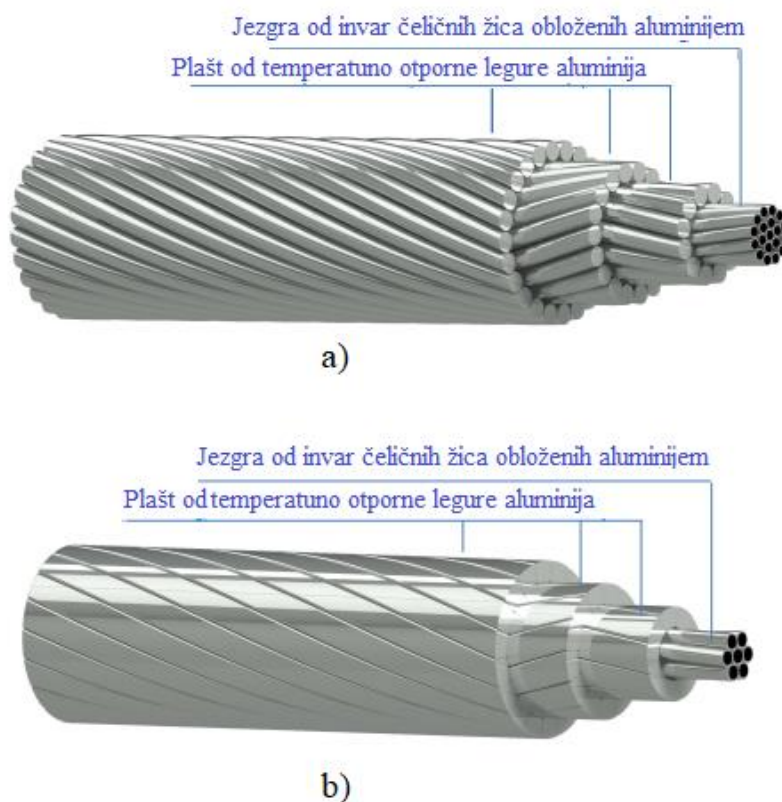
Presjek	Sukanje				Površina poprečnog presjeka		Promjer cijelog vodiča	Masa			Nazivna čvrstoća	DC otpor @ 20°C	Dozvoljena struja		
	Br. žica		Promjer žice		TAL	Čelik		TAL	Čelik	Ukupno s masom masti			@ 85°C	@ 150°C	@ 210°C
	TAL	Čelik	TAL	Čelik											
(mm ²)	(Br.)	(Br.)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(mm ²)	(mm)	(kg/km)	(kg/km)	(kg/km)	(kN)	(Ω/km)	(A)	(A)	(A)
175	8/12	7	3,35 (TW)	2,10	176,2	24,25	17,50	486,98	189,44	691,42	66,14	0,1668	409	698	859
190	12/16	7	2,92 (TW)	2,30	187,3	29,08	18,20	517,66	227,24	761,90	74,44	0,1569	425	728	896
195	20/12	7	2,40(R) 2,88(TW)	2,20	168,8	26,61	18,06	466,53	207,91	690,44	69,51	0,1741	403	689	849
218	18/12	7	2,78(R) 2,94(TW)	2,25	190,5	27,83	19,10	526,51	217,47	759,98	74,47	0,1542	433	744	917
240	8/12	7	4,02 (TW)	2,40	253,4	31,67	20,60	700,35	247,43	964,78	88,34	0,1159	507	877	1083
248	12/8	7	3,71(TW)	2,40	216,12	31,67	19,40	597,32	247,43	862,75	83,00	0,1360	463	796	981
287	18/12	7	3,15(R) 3,43(TW)	2,55	251,0	35,75	21,77	693,72	279,33	993,04	94,85	0,1171	510	886	1096
287	20/12	7	2,90(R) 3,55(TW)	2,55	251,0	35,75	21,77	693,72	279,33	993,04	95,33	0,1171	510	886	1096
310	16/12	7	3,90(R) 3,69(TW)	2,80	319,4	43,10	24,40	882,76	336,78	1241,54	116,10	0,0920	589	1033	1281
400	18/12	7	3,90(R) 4,45(TW)	2,80	401,4	43,10	26,90	1109,40	336,78	1468,18	129,16	0,0732	673	1190	1480
410	14/12	7	4,90(R) 3,99(TW)	3,00	414,0	49,48	27,60	1144,22	386,61	1554,83	138,95	0,0710	687	1218	1515
439	15/12	7	4,50(R) 4,04(TW)	2,90	392,5	46,24	26,84	1084,80	361,27	1469,07	132,44	0,0749	665	1176	1462
462	14/12	7	4,90(R) 3,99(TW)	2,95	414,3	47,84	27,60	1145,05	373,83	1542,88	136,47	0,0709	687	1219	1516
540	24/14 /10	7	3,55(R) 3,98(TW)	3,10	536,2	52,83	31,30	1483,12	412,81	1920,93	164,15	0,0548	799	1436	1793
620	16/12 /12	7	4,80(TW) 4,75(TW) 3,47(TW)	3,20	615,7	56,30	31,50	1703,01	439,88	2168,89	177,96	0,0478	856	1539	1922

- postoji ostatak podataka koji se nalazi u katalogu navedenom u literaturi

6.1.5. STACIR i STACIR/TW (eng. Super Thermal Resistant Aluminium Alloy Conductor, Aluminium Clad Invar Reinforced) vodiči

Konstrukcija i karakteristike STACIR i STACIR/TW vodiča:

- Jezgra ovih HTLS vodiča konstruirana je od invar čelika (legura NiFe) obloženog aluminijem.
- Oko jezgre je koncentrično upreden (sukan) plašt vodiča koji je građen od okruglih (STACIR) ili trapezoidnih (STACIR/TW) žica temperaturno otporne legure aluminija (Aluminij-cirkonij žice tipa AT3).
- Može raditi pri pogonskim temperaturama do 210°C s određenim gubitkom čvrstoće.
- Mogu podnijeti 100-150% veću struju u odnosu na ACSR vodiče istih dimenzija.
- Za nadogradnju (rekonstrukciju) postojećih dalekovodnih koridora, nisu potrebne modifikacije ili ojačanja postojećih stupova.



Slika 6.5. a) STACIR vodič, b) STACIR/TW vodič [34]

Tablica 6.6. Specifikacije komercijalnih izvedbi STACIR vodiča iz kataloga tvrtke APAR [34]

Presjek	Sukanje				Površina poprečnog presjeka			Promjer cijelog vodiča	Masa	Nazivna čvrstoća	DC Otpor @ 20°C	Dozvoljena struja		
	Br. žica		Promjer žice		STAL	Invar	Ukupno					@ 85°C	@ 150°C	@ 210°C
	STAL	Invar	STAL	Invar										
(mm ²)	(Br.)	(Br.)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(mm ²)	(mm ²)	(mm)	(kg/Km)	(kN)	(Ω/km)	(A)	(A)	(A)
200	30	7	2,60	2,60	159,28	37,17	196,44	18,20	704,32	65,38	0,1746	403	690	850
240	30	7	2,90	2,90	198,16	46,24	244,39	20,30	876,23	79,92	0,1403	460	794	980
300	30	7	3,20	3,20	241,27	56,30	297,57	22,40	1066,90	94,82	0,1153	518	901	1114
300	30	7	3,20	3,20	241,27	56,30	297,57	22,40	1066,90	94,82	0,1153	518	901	1114
380	26	7	4,00	3,10	326,73	52,83	379,56	25,30	1278,95	104,26	0,0866	612	1076	1335
380	26	7	4,00	3,10	326,73	52,83	379,56	25,30	1278,95	104,26	0,0866	612	1076	1335
480	26	7	4,50	3,50	413,51	67,35	480,86	28,50	1622,10	132,42	0,0684	704	1253	1559
480	26	7	4,50	3,50	413,51	67,35	480,86	28,50	1622,10	132,42	0,0684	704	1253	1559
520	45	7	3,70	2,47	483,85	33,54	517,39	29,61	1576,17	113,10	0,0597	748	1336	1665
520	45	7	3,70	2,47	483,85	33,54	517,39	29,61	1576,17	113,10	0,0597	748	1336	1665
590	54	7	3,50	3,50	519,54	67,35	586,89	31,50	1917,27	150,84	0,0549	790	1419	1771
600	54	7	3,53	3,53	528,49	68,51	596,99	31,77	1950,28	152,20	0,0540	797	1434	1791
630	54	19	3,63	2,18	558,85	70,92	629,77	32,68	2053,17	163,93	0,0511	824	1486	1857
690	54	7	3,80	3,80	612,42	79,39	691,81	34,20	2260,03	176,38	0,0466	869	1576	1972
710	54	19	3,85	2,31	628,65	79,63	708,27	34,65	2308,54	182,37	0,0454	883	1602	2006
730	45	7	4,40	2,90	684,24	46,24	730,48	35,10	2220,44	155,82	0,0423	914	1663	2084
770	54	7	4,00	4,00	678,59	87,96	766,55	36,00	2504,19	193,40	0,0421	922	1682	2108
800	54	19	4,09	2,45	709,47	89,57	799,04	36,79	2603,23	205,51	0,0403	946	1729	2169
900	54	19	4,34	2,61	798,85	101,65	900,50	39,09	2936,90	230,40	0,0357	1014	1868	2348

- postoji ostatak podataka koji se nalazi u katalogu navedenom u literaturi

Tablica 6.7. Specifikacije komercijalnih izvedbi STACIR/TW vodiča iz kataloga tvrtke APAR [34]

Presjek	Površina poprečnog presjeka			Sukanje				Promjer cijelog vodiča	Masa	Nazivna čvrstoća	DC otpor @ 20°C	Dozvoljena struja		
	STAL	Invar	Ukupno	Br. STAL žica	Br. STAL slojeva	Br. Invar žica	Promjer Invar žica					Ukupno	@ 85°C	@ 150°C
	(mm ²)	(mm ²)	(mm ²)	(Br.)	(Br.)	(B.)	(mm)		(mm)			(kg/km)	(kN)	(Ω/km)
320	322,26	52,49	374,75	20	2	7	3,09	22,88	1262,80	100,95	0,0876	596	1039	1287
340	336,85	54,90	391,75	20	2	7	3,16	23,38	1320,19	105,55	0,0838	612	1069	1324
390	389,25	50,81	440,06	20	2	7	3,04	24,72	1435,47	109,47	0,0731	662	1163	1442
405	402,83	52,15	454,98	20	2	7	3,08	25,14	1482,51	112,86	0,0706	676	1189	1475
480	479,69	47,20	526,89	35	3	7	2,93	26,98	1665,58	123,00	0,0600	733	1298	1613
490	489,57	63,55	553,13	24	2	7	3,40	27,70	1802,96	136,19	0,0581	759	1347	1676
525	523,67	26,85	550,53	30	3	7	2,21	27,50	1642,35	107,39	0,0556	763	1354	1685
590	586,76	41,28	628,03	33	3	7	2,74	29,40	1919,97	131,16	0,0494	820	1464	1825
625	625,07	79,63	704,69	38	3	19	2,31	31,32	2301,51	177,43	0,0458	862	1549	1935
640	636,97	44,03	681,00	35	3	7	2,83	30,60	2078,75	141,60	0,0455	860	1542	1925
680	676,24	85,95	762,20	39	3	19	2,40	32,58	2488,55	191,75	0,0423	903	1630	2037
690	688,96	47,52	736,48	36	3	7	2,94	31,80	2247,67	151,77	0,0421	899	1620	2024
725	725,09	91,78	816,87	39	3	19	2,48	33,72	2665,57	205,21	0,0395	940	1703	2131
730	726,41	91,78	818,19	39	3	19	2,48	33,75	2669,22	205,41	0,0394	941	1705	2134
740	737,40	51,14	788,54	36	3	7	3,05	32,92	2407,70	162,72	0,0393	936	1692	2117
780	776,92	98,56	875,49	39	3	19	2,57	34,90	2857,70	218,33	0,0368	979	1780	2231
790	789,13	54,55	843,69	36	3	7	3,15	34,05	2575,34	173,95	0,0367	973	1767	2213
820	821,87	108,79	930,65	39	3	19	2,70	36,00	3055,38	235,56	0,0348	1012	1847	2316
840	839,80	58,07	897,88	36	3	7	3,25	35,14	2740,81	185,14	0,0345	1008	1837	2304
880	876,90	111,22	988,11	42	3	19	2,73	37,10	3225,22	246,40	0,0326	1050	1923	2414
890	891,08	61,70	952,78	42	3	7	3,35	36,18	2908,76	195,42	0,0325	1043	1907	2394
900	901,93	73,54	975,47	42	3	19	2,22	36,70	3025,04	213,21	0,0320	1054	1931	2425
980	976,36	123,77	1100,13	42	3	19	2,88	39,12	3590,64	274,28	0,0293	1115	2056	2587
990	987,86	68,90	1056,76	42	3	7	3,54	38,10	3228,22	217,12	0,0293	1105	2035	2560

- postoji ostatak podataka koji se nalazi u katalogu navedenom u literaturi

6.2. Revitalizacija/rekonstrukcija prijenosne mreže u Hrvatskoj

Prema HOPS-ovom dokumentu „DESETOGODIŠNJI PLAN RAZVOJA PRIJENOSNE MREŽE 2023. – 2032.“ planira se revitalizacija oko 1500 km nadzemnih vodova i kabela 220 kV i 110 kV, od kojih će veći dio u trenutku revitalizacije biti stariji od 60 godina. Dio će se starijih vodova revitalizirati radi povećanja prijenosne moći odnosno značaja, a dio i radi lošeg stanja (stanje stupova, uzemljivača, posljedica posolice) [35].

Temeljni koncept prilikom revitalizacije vodova podrazumijeva zamjenu postojećih Al/Č vodiča veličine 150/25 mm² novim HTLS vodičima visokog prijenosnog kapaciteta od minimalno 150 MVA. Ujedno proces revitalizacije podrazumijeva minimalne zahvate na konstrukcijskim dijelovima vodova koji su definirani ocjenom stanja i preostalog životnog vijeka.

Povećanje prijenosne moći pojedinih prijenosnih vodova Al/Č 240/40 mm² i većih presjeka obavljati će se prema potrebama radi što boljeg iskorištenja postojećih prijenosnih koridora, ugradnjom novih HTLS vodiča s obzirom na stanje postojećih stupova [35].

Prijenosni vodovi predviđeni za rekonstrukciju ili revitalizaciju sa ili bez povećanja prijenosne moći s planiranim početkom radova do 2027. navedeni su, uz iskazanu dinamiku po godinama, u tablici 6.8., dok su vodovi predviđeni za revitalizaciju/rekonstrukciju s početkom u razdoblju 2028.-2032. navedeni u tablici 6.9. [35].

Tablica 6.8. Lista vodova 110-400 kV za revitalizaciju / rekonstrukciju u tijeku ili s početkom radova do 2027. godine [35]

REVITALIZACIJA / REKONSTRUKCIJA	2023.	2024.	2025.	2026.	2027.	2028.	2029.	2030.	2031.	2032.
DV 220 kV Senj-Melina - revitalizacija i povećanje prijenosne moći										
DV 220 kV Konjsko - Krš Padene - Brinje - povećanje prijenosne moći										
DV 110 kV Ston - Rudine - Komolac - revitalizacija i povećanje prijenosne moći										
DV 110 kV Lovran - Plomin (23,5 km) Revitalizacija i povećanje prijenosne moći										
DV 110 kV Matulji - Lovran (8,74 km) Revitalizacija i povećanje prijenosne moći										
DV 110 kV Benkovac - Zadar - revitalizacija (DIO HOPS)										
DV 110 kV Buje -Kopar										
DV 110 kV Matulji - Ilirska Bistrica - revitalizacija i povećanje prijenosne moći										
DV 110 kV Obrovac -Bruška 1,2 - revitalizacija i povećanje prijenosne moći (DIO HOPS)										
DV 110 kV Bruška - Benkovac 1,2 - revitalizacija i povećanje prijenosne moći										
DV 110 kV Vrata-Vrbovsko										
DV 110 kV Delnice-Moravice										
DV 110 kV Moravice-Vrbovsko										
DV 110 kV Bilice - Benkovac - revitalizacija i povećanje prijenosne moći (DIO HOPS)										
DV 110 kV Bilice - Biograd - revitalizacija i povećanje prijenosne moći										
DV 110 kV Obrovac - Gračac - revitalizacija i povećanje prijenosne moći										
DV 110 kV Občac - Senj - povećanje prijenosne moći										
DV 110 kV Občac-Lički Osik - povećanje prijenosne moći										
Zamjena 110 kV kabela - južna petlja, dionica Hvar - Brač sa rekonstrukcijom pripadnih KS (5,3 km)										
DVKB 110 kV Krk - Lošinj (7,6 km) Zamjena kabela dio Krk (Mali Bok) - Cres (Merag)										
DVKB 110 kV Krk - Lošinj (1 km) Zamjena kabela dio Cres (Osor 1) - Lošinj (Osor2)										
Zamjena 110 kV Kabela - južna petlja, dionica Hvar - Korčula (17,0 km) sa rekonstrukcijom pripadnih KS										
DVKB 110 kV Melina-Krk: Zamjena kabela dio KK Tiha-KK Šilo (3,7km)										
DV 110 kV Jertovec – Žerjavinec										
DV 110 kV HE Gojak - Pokuplje – revitalizacija (dvostuki dalekovod)										
DV 2x110 kV Pračno - Mraclin – revitalizacija										
DV 110 kV Cres (Merag) - Lošinj										
DV 110 kV Vrbovsko – Švarča										
DV 2X220 KV Orlovac - Konjsko - revitalizacija i povećanje prijenosne moći										
DV 2x110 kV Mraclin – Tumbri										
DV 2X110 KV Bilice - Ražine - revitalizacija										
DV 110 KV Krk-Lošinj										
DV 110 KV Resnik – Sesvete – zamjena elektromontažne opreme										
DVKB 110 KV Dunat - Rab - zamjena kabela dio KK Surbova - KK Sbjan (10,6 km)										
DV 110 KV Peruća - Sinj - revitalizacija i povećanje prijenosne moći										
DV 110 KV Peruća - Buško Blato - revitalizacija i povećanje prijenosne moći										
DV 110 KV Konjsko - Ogorje - povećanje prijenosne moći (STUM dio HOPS)										
DV 110 kV Žerjavinec – Sesvete										
DV 110 kV Daruvar - Virovitica – revitalizacija										

Tablica 6.9. Lista vodova 110-400 kV za revitalizaciju / rekonstrukciju s početkom radova u razdoblju 2028. – 2032. godine [35]

REVITALIZACIJA / REKONSTRUKCIJA	2023.	2024.	2025.	2026.	2027.	2028.	2029.	2030.	2031.	2032.
DV 2x110 kV Mračlin - Resnik – revitalizacija										
DV 220 kV Đakovo-Gradačac - revitalizacija										
DV 220 kV Đakovo - Tuzla - revitalizacija										
DV 220 kV Zakučac - Mostar - revitalizacija										
DV 220 KV Pehlin - Divača										
DV 220 kV TE Sisak – Mračlin 1										
DV 110 kV Pehlin-Matulji - Povećanje prijenosne moći										
DV 110 kV Vrbovsko - Gojak – zamjena elektromontažne opreme										
DV 110 kV Nedeljanec – Čakovec 2										
DV 110 kV Nedeljanec – Čakovec 1										
DV 110 kV TE Sisak – Kutina										
DV 2x110 kV TETO – Resnik – revitalizacija										
DV 110 kV Međurič – Kutina										
DV 110 kV Plomin – Raša 2										
DV 110 kV Našice-Slatina - povećanje prijenosne moći										
DV 110 kV Vinkovci - Županja										
Rekonstrukcija DV na otoku Pagu - Kabliranje dijela DV 110 kV Novalja - Karlobag										
DV 110 kV Pag – Novalja										
DV 110 kV Rab – Novalja										
DV 110 kV Nin – Pag										
DV 110 kV Biograd - Zadar										
DV 110 KV HE Vinodol - Plase – povećanje prijenosne moći										
DV 110 KV Plase - Melina – povećanje prijenosne moći										
DV 110 KV HE Vinodol - Melina – povećanje prijenosne moći										
DV 110 KV Nedeljanec - Formin - revitalizacija i povećanje prijenosne moći										
DV 110 KV Vinodol – Crikvenica - revitalizacija i povećanje prijenosne moći										
DV 110 KV Crikvenica - Vrataruša - revitalizacija i povećanje prijenosne moći 25,1 km										
DV 110 KV Kraljevac - Lukovac - revitalizacija i povećanje prijenosne moći										
DV 110 KV Lukovac - Voštane - revitalizacija i povećanje prijenosne moći										
DV 110 KV Voštane - Buško Blato - revitalizacija i povećanje prijenosne moći										
DV 110 KV Kraljevac - Katuni - revitalizacija i povećanje prijenosne moći										
DV 110 KV Katuni - Zagvozd - revitalizacija i povećanje prijenosne moći										
DV 110 KV Zagvozd - Imotski - revitalizacija i povećanje prijenosne moći										
DV 110 KV Senj - Vrataruša - revitalizacija i povećanje prijenosne moći										
DV 110 kV Neum – Ston										

7. ZAKLJUČAK

U današnjem svijetu koji teži održivom razvoju i energetskej tranziciji, integracija obnovljivih izvora energije u elektroenergetske mreže postaje ključna. U skladu s tim, ovaj rad usmjeren je na temu primjene visoko-temperaturnih nisko-provjesnih vodiča (HTLS vodiča) u prijenosnim i distribucijskim mrežama kao odgovor na ubranu potrebu za modernizacijom postojećih mreža i povećanjem njihove energetske učinkovitosti.

Visoko-temperaturni nisko-provjesni vodiči predstavljaju naprednu tehnologiju koja ima značajne prednosti u području elektroenergetike. Tradicionalni nadzemni elektroenergetski vodovi susreću izazove kao što su gubici energije, mehanička opterećenja te potreba za povećanjem kapaciteta prijenosa uslijed povećane integracije obnovljivih izvora energije i proširenja postojećih proizvodnih kapaciteta. HTLS vodiči su razvijeni kako bi odgovorili na ove izazove i unaprijedili učinkovitost i pouzdanost elektroenergetskih sustava. Ključne karakteristike HTLS vodiča uključuju sposobnost da podnesu visoke radne temperature, što omogućava povećanje kapaciteta prijenosa energije bez potrebe za dodatnim vodovima. Također, ovi vodiči imaju manji provjes u usporedbi s tradicionalnim alučeličnim Al/Fe vodičima, zahvaljujući sposobnosti da zadrže stabilan oblik pri visokim temperaturama. Ovo smanjenje provjesa donosi višestruke koristi, uključujući smanjenje potrebe za visokim stupovima i bolju mehaničku izdržljivost. Dodatno, HTLS vodiči koriste materijale visoke vodljivosti, što rezultira manjom vrijednosti otpora u usporedbi s Al/Fe vodičima, što značajno smanjuje gubitke energije tijekom prijenosa. Povećana snaga prijenosa ovih vodiča omogućava prenošenje većih količina električne energije korištenjem postojeće konstrukciji nadzemnih voda gdje su prethodno bili ugrađeni ACSR vodiči. Brza montaža je još jedna prednost, s obzirom na manji provjes i jednostavniju postavu. Za nadogradnju (rekonstrukciju) postojećih dalekovodnih koridora, načelno nisu potrebne modifikacije ili ojačanja postojećih stupova. Također, materijali korišteni u HTLS vodičima obično imaju poboljšanu otpornost na koroziju, što produžuje vijek trajanja vodiča.

Učestalost primjene visoko-temperaturnih nisko-provjesnih vodiča (HTLS vodiča) u prijenosnim i distribucijskim mrežama sve više raste kako se energetskej sektor suočava s izazovima modernizacije, povećane potražnje za energijom i potrebom za održivijim energetskej rješenjima. HTLS vodiči postaju sve značajniji izbor u elektroenergetskom inženjeringu, nudeći niz prednosti koje podržavaju napredak elektroenergetskih sustava. Revitalizacija elektroenergetskih

prijenosnih i distribucijskih mreža HTLS vodičima od izuzetnog je značaja. Proces revitalizacije oslanja se na zamjenu tradicionalnih alučeličnih vodiča HTLS vodičima u postojećim mrežama. Samim time se povećava prijenosni kapacitet vodova, povećava energetska efikasnost i smanjuju gubici energije. Osim toga, ovakav pristup omogućuje odgađanje potrebe za izgradnjom potpuno novih elektroenergetskih koridora. Revitalizacija se ne oslanja samo na tehničku modernizaciju, već također doprinosi održivosti energetskeg sektora kroz smanjenje emisija stakleničkih plinova i bolje iskorištenje resursa.

LITERATURA

- [1] „Elektrane i elektroenergetske mreže“, s Interneta, https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektrane_i_elektroenergetske_mre%C5%BEE, 31. srpnja 2023.
- [2] „Termoelektrane“, s Interneta, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Termoelektrane>, 31. srpnja 2023.
- [3] „Termoelektrane“, s Interneta, <https://www.hep.hr/proizvodnja/termoelektrane-1560/1560>, 31. srpnja 2023.
- [4] „Hidroelektrane“, s Interneta, <https://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/1528>, 31. srpnja 2023.
- [5] „Vjetroelektrane“, s Interneta, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Vjetroelektrana>, 01. kolovoz 2023
- [6] „Fotonaponska elektrana“, s Interneta, https://hr.wikipedia.org/wiki/Fotonaponska_elektrana, 02. kolovoza 2023.
- [7] „Neintegrirane sunčane elektrane“, s Interneta, <https://www.hep.hr/projekti/obnovljivi-izvori-energije/neintegrirane-suncane-elektrane/3422>, 02. kolovoza 2023.
- [8] „Nuklearna elektrana“, s Interneta, https://energyeducation.ca/encyclopedia/Nuclear_power_plant, 02. kolovoza 2023.
- [9] „Biomass power plants: operation, advantages and disadvantages“, s Interneta, <https://www.be-atex.com/en/node/153>, 02. kolovoza 2023.
- [10] „Kogeneracijska elektrana na biomasu u Gospiću (Hrvatska) puštena u komercijalni rad“, s Interneta, <http://www.ddtep.hr/kogeneracijska-elektrana-na-biomasu-u-gospicu-hrvatska-pustena-u-komercijalni-rad/>, 02. kolovoza 2023.
- [11] „Geotermalna elektrana“, s Interneta, https://hr.wikipedia.org/wiki/Geotermalna_elektrana, 02. kolovoza 2023.
- [12] „Geotermalna energija“, s Interneta, <https://eko.zagreb.hr/geotermalna-energija/97>, 02. kolovoza 2023.
- [13] Komen V.: „Uvod u prijenos i distribuciju električne energije“, materijali s kolegija Prijenos i distribucija električne energije, Rijeka 2021
- [14] „Gone with the Steam, s Interneta, https://www.scottmadden.com/content/uploads/2021/10/ScottMadden_Gone_With_The_Steam_WhitePaper_final4.pdf, 04. kolovoz 2023.
- [15] „Velike hidroelektrane, s Interneta, https://hr.wikipedia.org/wiki/Velike_hidroelektrane, 04. kolovoz 2023.
- [16] „Transformatori“, s Interneta, <https://www.stem.ba/fizika/tutorijali/item/105-transformatori>, 07. kolovoza 2023.

- [17] „energetski-transformatori“, s Interneta, <https://www.koncar-institut.hr/en/english-high-voltage-equipment/energetski-transformatori/>, 07. kolovoza 2023.
- [18] Požar, H.; “Visokonaponska rasklopna postrojenja - treće popravljeno izdanje“, Tehnička knjiga, Zagreb, 1990.
- [19] „TS 110/35 kV Pokuplje (0001-2/16)“, s Interneta, <https://www.helb.hr/hr/reference/ts-110-35-kv-pokuplje-0001-2-16/>, 08. kolovoz 2023.
- [20] Komen V.: „Kabelski elektroenergetski vodovi“, materijali s kolegija Prijenos i distribucija električne energije, Rijeka 2021
- [21] Komen V.: „Nadzemni elektroenergetski vodovi“, materijali s kolegija Prijenos i distribucija električne energije, Rijeka 2021
- [22] „Dalekovodi“, s Interneta, <https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/dalekovodi.pdf>, 15. kolovoza 2023.
- [23] Mirošević, G.; Vidaković, F.: “Projektiranje, građenje i održavanje dalekovoda“, KIGEN d.o.o., Zagreb, 2008.
- [24] „ACCC (Aluminum Conductor Composite Core)“, s Interneta, <https://www.midalcable.com/acc%C2%AE-aluminum-conductor-composite-core>, 22. kolovoz 2023.
- [25] „ACCC conductor“, s Interneta, https://en.wikipedia.org/wiki/ACCC_conductor, 22. kolovoz 2023.
- [26] „HTLS conductors“, s Interneta, <https://www.elsewedyelectric.com/media/4598/htls.pdf>, 22. kolovoza 2023.
- [27] „HTLS Conductors: A Way to Optimize RES Generation and to Improve the Competitiveness of the Electrical Market—A Case Study in Sicily“, s Interneta, https://pdfs.semanticscholar.org/491b/1a2597a6b5feaf4794986acf0984576f8fb1.pdf?_gl=1*_b_wdfuj*_ga*MjAwOTczNzMxMC4xNjkyNzk5NjYz*_ga_H7P4ZT52H5*MTY5Mjc5OTY2Mi4xLjAuMTY5Mjc5OTY4OC4zNC4wLjA., 23. kolovoz 2023.
- [28] „Gap-Type Super Thermal Resistant Aluminium Alloy Conductor Steel Reinforced (GTACSR/GZTACSR)“, s Interneta, <https://www.sterlitepower.com/wp-content/uploads/2021/12/GAP-Conductor.pdf>, 23. kolovoz 2023.
- [29] „Aluminium Conductor Steel Supported - (ACSS)“, s Interneta, <https://www.apar.com/wp-content/uploads/2021/02/5.-Aluminium-Conductor-Steel-Supported-ACSS.pdf>, 23. kolovoz 2023.
- [30] „HTLS Conductor Cables — ACSS Cable“, s Interneta, <https://www.kvcable.com/products/htls-conductor-cable/acss-conductor-cable/>, 23. kolovoza 2023.

- [31] „Aluminum Conductor Composite Core (ACCC®)“, s Interneta, <https://apar.com/wp-content/uploads/2021/02/4.-Aluminium-Conductor-Composite-Core-ACCC.pdf>, 28. kolovoz 2023.
- [32] „Super Thermal Resistant Aluminium Alloy Conductor Steel Reinforced (ZTACSR & ZTACSR/TW)“, s Interneta, <https://apar.com/wp-content/uploads/2021/02/2c.-Thermal-resistant-alloy.pdf>, 29. kolovoz 2023.
- [33] „Gap Type Thermal-Resistant Aluminum Alloy Conductor, Steel Reinforced (GTACSR & GZTACSR)“, s Interneta, <https://apar.com/wp-content/uploads/2021/02/6.-GAP-type-thermal-resistant-aluminium-alloy-conductor.pdf>, 29. kolovoz 2023.
- [34] „Super Thermal Resistant Aluminum Alloy Conductor, Aluminum Clad Invar Reinforced (STACIR & STACIR/TW)“, s Interneta, <https://apar.com/wp-content/uploads/2021/02/3.-Invar.pdf>, 29. kolovoz 2023.
- [35] „Desetogodišnji plan razvoja prijenosne mreže 2023.-2032. s detaljnom razradom za početno trogodišnje i jednogodišnje razdoblje“, s Interneta, https://www.hera.hr/hr/docs/2023/Prijedlog_2023-01-30.pdf, 29. kolovoz 2023.
- [36] Franković, D.: „Glavni elementi postrojenja - Rastavljači_Prekidaci“, materijali s kolegija Električna postrojenja, Rijeka 2020.
- [37] Prenc, R.: Materijali s kolegija Zaštita i automatika električnih postrojenja, Rijeka 2022.

SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

Elektroenergetske prijenosne i distribucijske mreže igraju ključnu ulogu u transportu električne energije od elektrana do krajnjih potrošača. Kroz desetljeća, elektroenergetske mreže su evoluirale kako bi podržale rastuće potrebe za električnom energijom i promjenama u načinu proizvodnje i distribucije. U trenutnom razdoblju, vrlo je popularan s izrazitom tendencijom rasta trend integracije obnovljivih izvora energije po svim naponskim razinama s ciljem ostvarivanja ekološke održivosti i energetske neovisnosti. Značajna integracija obnovljivih izvora energije rezultira potrebom za većim prijenosnim kapacitetima, što zahtjeva izgradnju novih prijenosnih i distribucijskih koridora i/ili pojačanja postojećih. Zamjenom vodiča na postojećim nadzemnim vodovima s visoko-temperaturnim nisko-provjesnim (HTLS) vodičima povećava se njihova prijenosna moć te se odgađa potreba za gradnjom novih paralelnih veza. Ujedno, revitalizacija postojećih nadzemnih vodova HTLS vodičima predstavlja relativno jednostavno i investicijski prihvatljivo rješenje za otklanjanje zagušenja u mreži.

U radu je opisana struktura prijenosne i distribucijske mreže te je nakon toga stavljen poseban naglasak na konstrukciju nadzemnih vodova kako bi se omogućilo bolje razumijevanje same strukture budući da HTLS vodiči koriste istu. Nadalje, obrađene su vrste HTLS vodiča te su dani razlozi rekonstrukcije elektroenergetskih mreža upotrebom HTLS vodiča. Na kraju rada dan je pregled komercijalnih rješenja HTLS vodiča dostupnih na tržištu.

Ključne riječi:

- Visoko-temperaturni nisko-provjesni (HTLS) vodiči
- Prijenosna mreža
- Distribucijska mreža
- Prijenosni kapacitet
- Prijenosna moć
- Revitalizacija/Rekonstrukcija

ABSTRACT AND KEYWORDS

Electric power transmission and distribution networks play a key role in the transportation of electrical energy from power plants to end consumers. Over decades, electric power networks have evolved to accommodate growing electrical energy demands and changes in production and distribution methods. In the current period, the integration of renewable energy sources at all voltage levels is highly popular, driven by a pronounced trend towards achieving ecological sustainability and energy independence. The significant integration of renewable energy sources results in the need for greater transmission capacities, necessitating the construction of new transmission and distribution corridors or the reinforcement of existing ones. The replacement of conductors on existing overhead lines with high-temperature low-sag (HTLS) conductors enhances their transmission capabilities and defers the need for the construction of new parallel connections. Additionally, the revitalization of existing overhead lines with HTLS conductors presents a relatively straightforward and financially viable solution for alleviating network congestion.

The paper describes the structure of transmission and distribution networks, with a specific focus on overhead line construction to provide a better understanding of the structure, as HTLS conductors utilize the same. Furthermore, the types of HTLS conductors are discussed, and the reasons for the reconstruction of electric power networks using HTLS conductors are provided. Finally, the paper concludes with an overview of commercial solutions of HTLS conductors available in the market.

Keywords:

- High-temperature low-sag (HTLS) conductors
- Transmission network
- Distribution network
- Transmission capacity
- Transmission power
- Revitalization/Reconstruction