

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

Sveučilišni studij

**USPOREDBA SVOJSTAVA NADZEMNOG
DALEKOVODA I PODZEMNOG KABELA ZA 10 kV
DISTRIBUCIJSKU MREŽU**

Završni rad

Marinko Mikić

Osijek, 2017.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju

Osijek, 01.09.2017.

Odboru za završne i diplomske ispite

Prijedlog ocjene završnog rada

Ime i prezime studenta:	Marinko Mikić
Studij, smjer:	Prediplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
Mat. br. studenta, godina upisa:	3941, 19.07.2014.
OIB studenta:	14799447215
Mentor:	Doc.dr.sc. Krešimir Fekete
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Naslov završnog rada:	Usporedba svojstava nadzemnog dalekovoda i podzemnog kabela za 10 kV distribucijsku mrežu
Znanstvena grana rada:	Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)
Predložena ocjena završnog rada:	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	01.09.2017.
Datum potvrde ocjene Odbora:	14.09.2017.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 15.09.2017.

Ime i prezime studenta:

Marinko Mikić

Studij:

Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

Mat. br. studenta, godina upisa:

3941, 19.07.2014.

Ephorus podudaranje [%]:

1%

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Usporedba svojstava nadzemnog dalekovoda i podzemnog kabela za 10 kV distribucijsku mrežu**

izrađen pod vodstvom mentora Doc.dr.sc. Krešimir Fekete

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Zadatak završnog rada.....	1
2. ELEKTRIČNI PARAMETRI VODA.....	2
2.1. Djelatni otpor voda.....	4
2.2. Induktivitet voda.....	6
2.3. Kapacitet voda.....	6
2.4. Odvod voda	7
3. NADZEMNI VODOVI.....	8
3.1. Vodiči	9
3.2. Izolatori	10
3.3. Pribor.....	11
3.4. Stupovi	12
3.4.1. Drveni stupovi	12
3.4.2. Armirano betonski stupovi	14
3.4.3. Čelično rešetkasti stupovi.....	16
3.5. Temelji stupova, uzemljenje i zaštitno uže.....	17
4. PODZEMNI KABELE.....	18
4.1. Osnovne značajke i dijelovi kabela	18
4.2. Energetski srednjenaponski kabele s izolacijom od impregniranog papira (IP)	20
4.2.1. IPO 13, IPO 13-A.....	20
4.2.2. IPO 14, IPO 14-A.....	21
4.3. Energetski srednjenaponski kabele s izolacijom od umreženog polietilena (XLPE).....	21
4.3.1. N2XSY, NA2XSY	22
4.3.2. N2XS(F)2Y, NA2XS(F)2Y i N2XS(FL)2Y, NA2XS(FL)2Y	23
5. USPOREDBA NADZEMNIH VODOVA I PODZEMNIH KABELE.....	25
5.1. Proračun prijenosa električne energije	28
6. ZAKLJUČAK	34
LITERATURA.....	35
SAŽETAK.....	36
ABSTRACT	36
ŽIVOTOPIS	37
PRILOZI.....	38

1. UVOD

Elektroenergetski sustav je složen sustav koji obuhvaća proizvodnju, prijenos, distribuciju i potrošnju električne energije. Možemo reći kako je elektroenergetska mreža sinonim za elektroenergetski sustav jer je ona dio tog sustava, a može se podijeliti na prijenosnu i distribucijsku mrežu. Postoji više podjela pa se tako prema nazivnom naponu može podijeliti na mreže niskog, srednjeg, visokog i vrlo visokog napona. Pod prijenosnu mrežu spadaju mreže visokog i vrlo visokog napona te uključuju napon 110 kV i više, dok se distribucijska mreža može podijeliti na mreže srednjeg i niskog napona, a koristi se napon niži od 110 kV. Jedan od glavnih dijelova u prijenosnim i distributivnim mrežama su elektroenergetski vodovi. Elektroenergetski vodovi služe za prijenos električne energije od elektrana do potrošača, a mogu biti izvedeni kao nadzemni vodovi i kabeli. Nadzemni vodovi su elektroenergetski vodovi sastavljeni od neizoliranih vodiča koji su pričvršćeni izolatorima na stupove, dok su kabeli elektroenergetski vodovi sastavljeni od vodiča dobro vodljivog materijala, koji su električki izolirani i smješteni u zajednički vanjski omotač koji štiti od vanjskih utjecaja. Kabeli se prema mjestu polaganja mogu podijeliti na podzemne i podmorske, a prema broju žila na jednožilne, trožilne i četverožilne.

U ovom završnom radu prvo će biti opisani električni parametri koji definiraju strujno-naponske prilike na vodu te će svaki od tih parametra biti opisan pojedinačno. Nakon toga biti će opisane osnovne izvedbe 10 kV distribucijskih elektroenergetskih vodova, kao i njihovi osnovni dijelovi. Biti će navedena usporedba svojstava nadzemnih vodova i podzemnih kabela koji se koriste za izgradnju 10 kV mreže te će biti prikazane njihove nadomjesne sheme pomoću kojih će biti odrađen proračun prijenosa električne energije.

1.1. Zadatak završnog rada

U radu je potrebno opisati osnovne izvedbe nadzemnih dalekovoda i podzemnih kabela koji se koriste za izgradnju 10 kV mreže. Poseban osvrt je potreban na električne parametre i nadomjesnu shemu za oba slučaja. Izvršiti samostalan proračun prijenosa električne energije na primjeru jednake distributivne trase izvedene dalekovodom i kabelom. Napraviti usporedbu i komentar dobivenih rezultata.

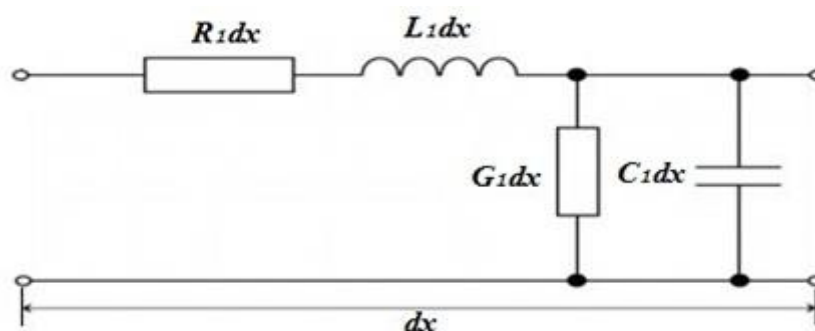
2. ELEKTRIČNI PARAMETRI VODA

U knjizi Električne energetske mreže I [1], autori o električnim parametrima voda navode sljedeće: "Karakteristične veličine pomoću kojih se definiraju strujno-naponske prilike na vodu u svim pogonskim slučajevima zovu se električni parametri voda. Brojčane vrijednosti električnih parametara vodova ovise o brojnim čimbenicima, kao što su: svojstva materijala od kojih su konstruirani, svojstva okoline koja ih okružuje te geometrijski odnosi dijelova voda međusobno i prema okolini. Važno je znati da mnoge od tih utjecajnih veličina ovise o vanjskim promjenama, npr. o promjeni temperature, vlažnosti i slično. Električni parametri voda se mjere po jedinici dužine voda, a u praksi po jednom kilometru i po jednoj fazi. Radi se o parametrima za direktni sustav simetričnog voda ukoliko nije drugačije naznačeno."

Jedinični parametri voda su [1]:

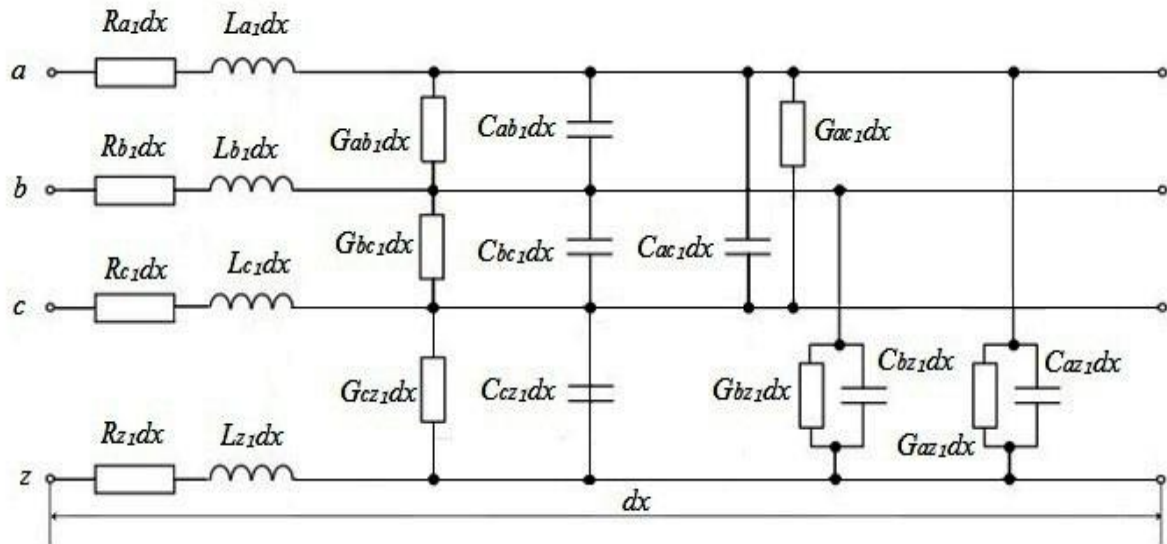
- jedinični djelatni otpor R_1 [Ω/km]
- jedinični induktivitet L_1 [H/km]
- jedinični kapacitet C_1 [F/km]
- jedinični odvod G_1 [S/km]

Također se u literaturi [1] navodi: "Vod može biti realni i idealni. Realni vod je onaj kojem su sva četiri parametra različita od nule, dok je idealni vod onaj kojem se zanemare gubitci u vodu tj. ako se zanemari jedinični djelatni otpor i jedinični odvod. Realni vodovi imaju toplinske gubitke koji nastaju prolaskom struje kroz otpor i odvod, pa zbog toga parametre možemo podijeliti na tople i hladne. Otpor i odvod spadaju u tople parametre, a induktivitet i kapacitet u hladne. Sva četiri parametra su kontinuirano raspoređena duž voda, što znači da bilo koji maleni dio voda sadrži sva četiri parametra. Zbog položaja na dijelu voda, kao što vidimo na slici 2.1., otpor i induktivitet nazivamo uzdužnim parametrima voda, a odvod i kapacitet poprečnim parametrima voda."



Sl. 2.1. Jednofazni model voda duljine dx [1]

Trofazni vod se može prikazati grafički jednofazno samo ako je simetričan, što znači da sve tri faze imaju jednake električne karakteristike, i ako je pogonski slučaj simetričan, što znači da su naponi i struje u sve tri faze po iznosu jednaki, a po fazi za 120° zakrenuti [1]. Ukoliko vod nije simetričan ili pogonski slučaj nije simetričan tada je potreban trofazni grafički prikaz voda koji je prikazan na slici 2.2. [1].



Sl. 2.2. Trofazni model voda duljine dx [1]

Hladni parametri se pri računanju mogu pojaviti u oblicima koji ovise o frekvenciji [1]:

- jedinična reaktancija ili jedinični uzdužni induktivni otpor

$$X_l = \omega L_l \text{ [}\Omega/\text{km]} , \quad X_l = 2\pi f L_l \text{ [}\Omega/\text{km]} \quad (2-1)$$

- jedinična susceptancija ili jedinična poprečna kapacitivna vodljivost

$$B_l = \omega C_l \text{ [S/km]} , \quad B_l = 2\pi f C_l \text{ [S/km]} \quad (2-2)$$

Parametre voda možemo prikazati i u obliku kompleksnih vrijednosti [1]:

- jedinična impedancija ili jedinični uzdužni prividni otpor

$$\bar{Z}_l = R_l + jX_l \text{ [}\Omega/\text{km]} \quad (2-3)$$

- jedinična admittancija ili jedinična poprečna prividna vodljivost

$$\bar{Y}_l = G_l + jB_l \text{ [S/km]} \quad (2-4)$$

Ako jedinične parametre voda pomnožimo s dužinom voda l , tada dobivamo [1]:

- rezistenciju ili djelatni otpor voda

$$R = R_l l \quad [\Omega] \quad (2-5)$$

- reaktanciju ili induktivni otpor voda

$$X = X_l l \quad [\Omega] \quad (2-6)$$

- konduktanciju ili djelatni odvod voda

$$G = G_l l \quad [S] \quad (2-7)$$

- susceptanciju ili kapacitivnu vodljivost voda

$$B = B_l l \quad [S] \quad (2-8)$$

- impedanciju ili prividni otpor voda

$$\bar{Z} = R + jX \quad [\Omega] \quad (2-9)$$

- admitanciju ili prividnu vodljivost voda

$$\bar{Y} = G + jB \quad [S] \quad (2-10)$$

2.1. Djelatni otpor voda

Djelatnim otporom određeno je svojstvo vodiča da se odupire protjecanju struje i definiran je padom napona ili gubitkom djelatne snage po jedinici duljine voda ako vodičem teče struja od 1 ampera [2]:

$$R_1 = \frac{\Delta U}{I} = \frac{\Delta P}{I^2} \quad [\Omega/m] \quad (2-11)$$

gdje su:

ΔU - promjena napona po jedinici duljine voda [V/m],

ΔP - gubitak djelatne snage po jedinici duljine voda [W/m],

I - struja kroz vodič [A].

Izraz (2-11) vrijedi i pri istosmjernoj i pri izmjeničnoj struji u vodiču.

Ako ravnim metalnim vodičem kružnog presjeka teče istosmjerna struja, tada će Jouleovi gubitci u vodiču biti najmanji te je i djelatni otpor minimalan [2]. Istosmjerni otpor ravnog metalnog vodiča kružnog presjeka računa se prema izrazu [2]:

$$R_0 = \rho \frac{l}{r^2 \pi} \quad [\Omega] \quad (2-12)$$

gdje su:

r - radijus vodiča [m],

l - duljina vodiča [m],

ρ - specifični otpor vodiča [Ωm].

Istosmjerni specifični otpor za temperature različite od 20°C računa se prema izrazu [2]:

$$\rho = \rho_{20} [1 + \alpha(t - 20)] \quad [\Omega\text{m}] \quad (2-13)$$

gdje su:

t - temperatura [°C],

α - konstanta ovisna o materijalu vodiča [1/K],

ρ_{20} - specifični otpor pri 20°C [Ωm].

Za bakar, specifični otpor pri 20°C iznosi oko $1/57 \cdot 10^6 \Omega\text{m}$, a konstanta α ima vrijednost između $34 \cdot 10^{-4}$ i $40 \cdot 10^{-4}$ 1/K, dok za aluminij specifični otpor pri 20°C iznosi oko $1/36 \cdot 10^6 \Omega\text{m}$, a konstanta α ima vrijednost između $32 \cdot 10^{-4}$ i $56 \cdot 10^{-4}$ 1/K [2].

Ako ravnim metalnim vodičem kružnog presjeka teče izmjenična struja, tada će Jouleovi gubitci u vodiču biti veći, a zbog toga je i djelatni otpor veći [2]. Osim temperature, specifičnog otpora i toka izmjenične struje na veličinu otpora utječu i drugi utjecaji kao što su: razlika između stvarnog i nazivnog poprečnog presjeka (u račun uzeti stvarni, a ne nazivni presjek), razlika između duljine žica i duljine užeta (duljina žica je veća od duljine užeta), materijal od kojeg je izrađen vodič i slično [2].

2.2. Induktivitet voda

Induktivitet je svojstvo petlje da se odupire promjeni struje, zbog toga što svaka promjena struje uzrokuje promjenu obuhvatnog toka koja u petlji inducira napon suprotnog smjera [2]. Jedinica za mjerenje induktiviteta je 1 henri (H) te induktivitet 1H ima onaj strujni krug u kojem se inducira napon 1V, kada se struja ravnomjerno mijenja za 1 amper u 1 sekundi [2].

Za permeabilnost sredine, kod vodova za prijenos električne energije, pretpostavlja se da je konstanta, što znači da su magnetska indukcija B i magnetsko polje H proporcionalni i u tom slučaju se može primijeniti teorem superpozicije koji govori da se ukupni obuhvatni tok pojedinih vodiča računa kao suma obuhvatnih tokova ostalih vodiča u strujnom krugu [2].

Odnos magnetske indukcije B i jakosti magnetskog polja H dan je izrazom:

$$B = \mu H \quad (2-14)$$

gdje je μ - permeabilnost sredine i ona se računa kao $\mu = \mu_0 \mu_r$.

μ_0 - permeabilnost vakuuma i iznosi $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ [H/m]

μ_r - relativna permeabilnost materijala

2.3. Kapacitet voda

U knjizi Parametri nadzemnih vodova [2], autor Lajos Jozsa navodi o kapacitetu voda sljedeće: "Kapacitet voda predstavlja odnos količine naboja na vodiču i visine napona na kojem se vodič nalazi. Jedinica za mjerenje kapaciteta je 1 farad (F) te kapacitet od 1F ima onaj vodič kod kojeg povećanje napona za 1V rezultira povećanjem naboja za 1C. Količine naboja na vodičima i razlike napona među vodičima su međusobno čvrsto povezane te zbog toga svi vodiči voda čine električno povezani sustav vodiča. Djelovanjem naboja svih vodiča u prostoru nastaje električno polje, a naboj svakog vodiča nastaje pod utjecajem svih ostalih vodiča. Napon je predstavljen kao razlika potencijala pa se mora odabrati jedna ploha nultog potencijala. Ta ploha nultog potencijala je referentna ploha jer se po njoj određuju potencijali vodiča i naponi između vodiča. Tu referentnu plohu predstavlja površina Zemlje." Općeniti izraz za kapacitet:

$$C = \frac{Q}{U} \quad [\text{F}] \quad (2-15)$$

2.4. Odvod voda

Odvod po jedinici dužine voda G_l definira se kao omjer trofaznih djelatnih gubitaka po jedinici dužine zbog kliznih poprečnih struja i korone ΔP_0 [W/m] i kvadrata linijskog napona U [V] [2]:

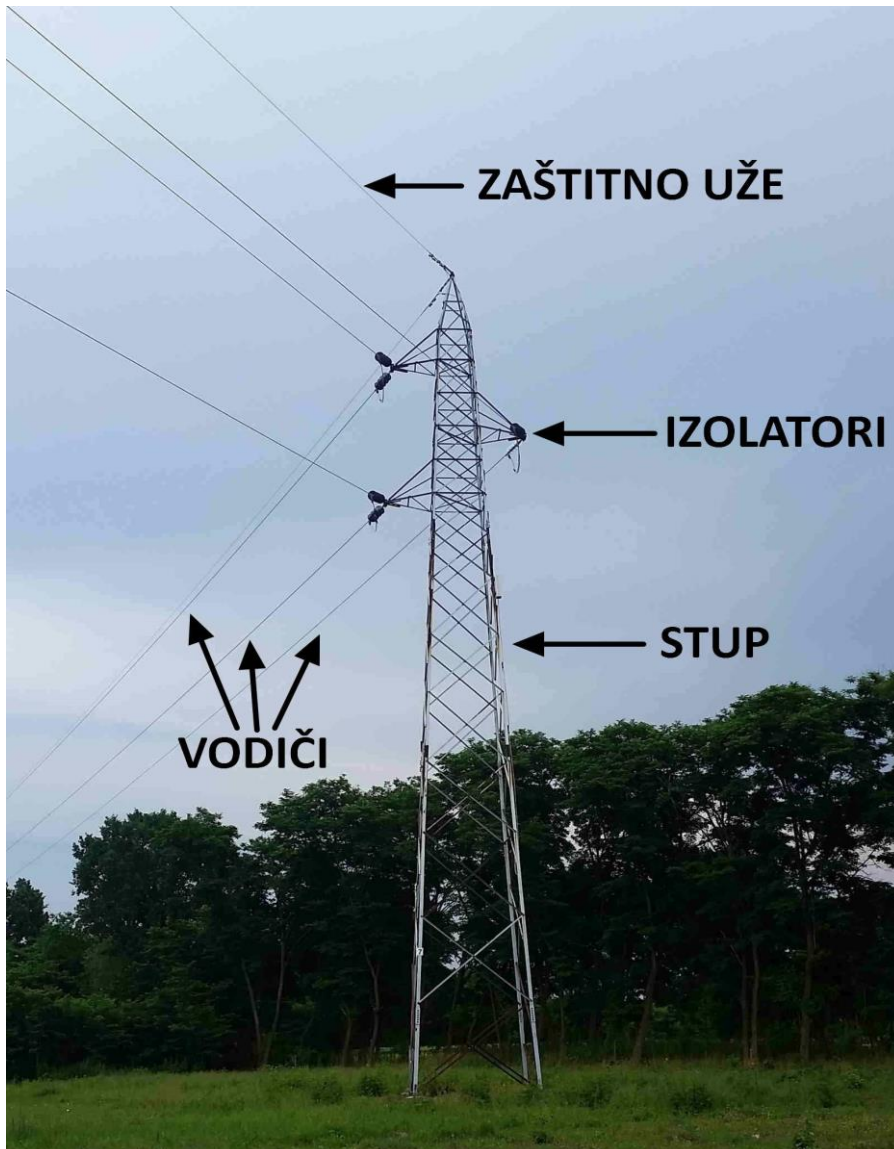
$$G_l = \frac{\Delta P_0}{U^2} \quad [\text{S/m}] \quad (2-16)$$

Ako u izraz (2-16) uvrstimo gubitke jedne faze i fazni napon, tada on vrijedi i za jednofazni prikaz voda [2].

Prema Lajos Jozsi [2]: "Prilikom prijenosa električne energije nadzemnim vodovima javljaju se gubici uzrokovani kliznim strujama i gubici uzrokovani koronom. Pojava kliznih struja ovisi o čistoći površine izolatora i o klimatskim uvjetima. Na suhom zraku odvod zbog kliznih struja ne ovisi o onečišćenju, ali pri vlažnom zraku, magli i sitnoj kiši dolazi do povećanja odvoda jer tada onečišćenja stvaraju klizne staze od vodiča pod naponom do zemlje. Pojava korone na površini vodiča nastaje kada jakost električnog polja prekorači električnu čvrstoću zraka."

3. NADZEMNI VODOVI

Nadzemni vodovi su elektroenergetski vodovi koji služe za prijenos električne energije od elektrana do potrošača. Mogu se podijeliti po više kriterija, a oni su: nazivni napon, broj trofaznih sustava vođenih na istom stupu, materijal i konstrukcija vodiča, materijal i konstrukcija stupova itd. [3]. Osnovi dijelovi nadzemnih vodova su: vodiči, izolatori, pribor, stupovi, temelji, uzemljenje i zaštitna užad. U nastavku rada biti će opisani osnovni dijelovi nadzemnih vodova.



Sl. 3.1. Osnovni dijelovi nadzemnog voda

3.1. Vodiči

Prema literaturi [3]: "Vodiči su aktivni dio voda i služe za vođenje električne struje, a mogu biti u obliku žice ili užeta koje se sastoji od najmanje 7 tankih žica. Vodiči u obliku žice koriste se kod vodova nižih napona, a vodiči u obliku užeta kod vodova visokog napona. Vodiči se izrađuju od različitih materijala koji moraju imati dobru električnu vodljivost, veliku mehaničku čvrstoću te dobru otpornost protiv oštećenja."

Bakar kao materijal za vodiče ima najbolja električna svojstva, ali danas se na nadzemnim vodovima ne upotrebljava, osim u posebnim slučajevima [3].

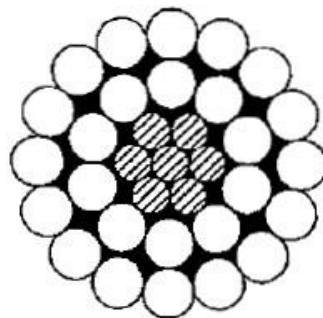
Danas, kao materijal za vodiče, se najviše koristi čisti aluminij (99,5%) koji ima manju specifičnu težinu od bakra pa je aluminijski vodič skoro duplo lakši od bakrenog vodiča [3]. Aluminij također ima dobru električnu vodljivost, ali malu mehaničku čvrstoću pa se ne upotrebljava za veće raspone [3].

Čelik ima slaba električna svojstva i dobra mehanička svojstva pa se zbog male vodljivosti rijetko koristi za vodiče, a zbog velike čvrstoće koristi se za zaštitna užad na vodovima [3].

Kako bi se poboljšala mehanička svojstva bakar i aluminij se legiraju s drugim metalima [3]. Bronca je slitina bakra uz dodatke kositra, aluminijska ili silicija, te se upotrebljava za vodove gdje je potrebna veća mehanička čvrstoća [3].

Aldrej je slitina aluminijska uz dodatke magnezija, silicija i čelika te se također upotrebljava za vodove gdje je potrebna veća mehanička čvrstoća [3].

Alučel uže se koristi od srednjih do najviših napona, a izrađuje se od aluminijska i čelika gdje čelik čini jezgru, a aluminij plašt vodiča [3]. Kombiniraju se mala specifična težina i dobra električna vodljivost aluminijska s dobrom mehaničkom čvrstoćom čelika [3].



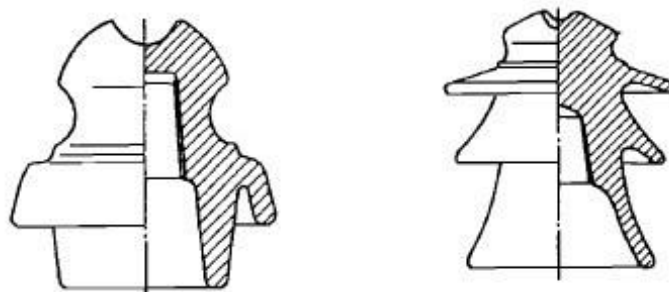
Sl. 3.2. Presjek alučel užeta [1]

3.2. Izolatori

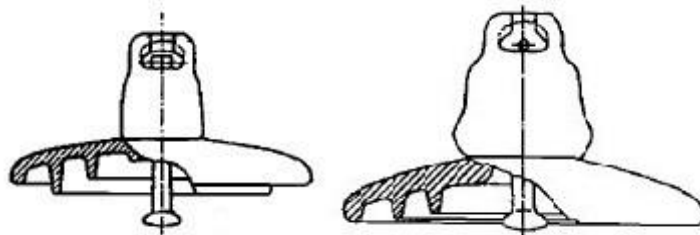
Izolaciju nadzemnog voda čini zrak, ali vodiče na stupovima je također potrebno izolirati pa se koriste izolatori [3]. Izolatori su pasivni dio voda koji sprečavaju prolazak struje između vodiča ili kroz stupove u zemlju, a moraju imati dobru električnu čvrstoću kako ne bi došlo do proboja i kratkog spoja te mehaničku čvrstoću kako ne bi došlo do loma izolatora [3]. Isto tako moraju biti otporni na temperaturne promjene i atmosferske utjecaje.

Keramički izolacijski materijali se najčešće upotrebljavaju za izradu izolatora za nadzemne vodove, a od njih se najviše koristi elektroporculan [3]. On se dobiva od smjese kaolina (50%) koji pruža bolju otpornost na toplinu, kvarca (25%) koji daje bolju mehaničku čvrstoću i glinenca (25%) koji daje bolju električnu čvrstoću [3]. Steatit je drugi najčešće upotrebljavani keramički materijal koji posjeduje dobra mehanička svojstva, a koristi se još i kaljeno staklo koje ima veliku mehaničku čvrstoću i veću otpornost na promjene temperature [3]. Kod izolatora od kaljenog stakla se odmah vide i najmanja oštećenja te dolazi do puknuća i otpadanja dijelova, dok se kod keramičkih izolatora oštećenja ponekad ne vide golim okom [3].

Izolatori se mogu podijeliti na potporne i ovjesne. Potporni izolatori se koriste za napone 0,4, 10, 20 i 35 kV te se pričvršćuju na stup, a vodiči su smješteni u žlijeb na izolatoru i pričvršćeni su posebnom stezaljkom ili žicom [3]. Za napone od 35 kV i veće se češće koriste ovjesni izolatori. Postoji više tipova ovjesnih izolatora, a najčešće korišteni su kapasti izolatori koji na porculansko ili stakleno tijelo imaju odozgo nasadenu kapu, a odozdo usađen batić te se tako mogu slagati članci kako bi se dobio izolatorski lanac koji daje bolju električnu čvrstoću [3]. Broj članaka u lancu raste s porastom napona voda. Na slici 3.3. prikazani su osnovni tipovi potpornih izolatora, a na slici 3.4. prikazani su tipovi kapastog izolatora.



Sl. 3.3. Niskonaponski potporni izolator i potporni izolator za 10 do 35 kV [3]



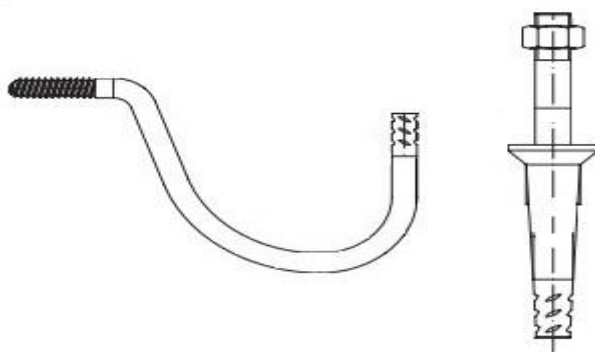
Sl. 3.4. Porculanski i stakleni kapasti izolatori [3]

3.3. Pribor

Pribor se kod nadzemnih vodova dijeli na spojni i zaštitni te se, ovisno o potrebi, izrađuje od različitih materijala kao što su bakar, aluminij, lijevana bronca, čelik i drugi [3]. U spojni pribor ubrajamo spojnice i stezaljke, podupore, pribor za sastavljanje izolatorskih lanaca i pribor za pričvršćenje vodiča na izolatore. Zaštitni pribor se uglavnom koristi kod vodova visokog napona.

Spojnice se koriste za spajanje užeta kako bi se nastavio prolazak struje te razlikujemo više tipova spojnica [3]. Vijčane spojnice se koriste kod užeta manjeg presjeka i izrađenog od jednog materijala, a za uža većeg presjeka i za kombinirane vodiče koriste se zarezne spojnice [3]. Strujne stezaljke služe za spajanje vodiča kako bi struja mogla neprestano teći, a zatezne čvrsto drže vodič te sprečavaju prekid vodiča [3].

Za pričvršćivanje potpornih izolatora na stupove koriste se podupore koje se izrađuju od čelika te su premazane bojom ili katranom [3]. Na slici 3.5. su prikazane savinuta i ravna podupora na koje se navijaju izolatori, a na slici 3.8. vidimo kako to izgleda u praksi. Savinute podupore se obično uvrnu u drvene nosive stupove, dok se ravne podupore montiraju na konzole gdje su veća mehanička opterećenja [3].



Sl. 3.5. Savinuta i ravna podupora [3]

U pribor za sastavljanje izolatorskih lanaca i za pričvršćenje vodiča na izolatorske lance spadaju mnogi dijelovi koji se koriste kod nadzemnih vodova visokog napona.

3.4. Stupovi

U knjizi Nadzemni vodovi [3], autor Lajos Jozsa o stupovima navodi sljedeće: "Stupovi nadzemnih vodova mogu biti različiti, a uloga im je zatezanje i nošenje vodiča i zaštitnog užeta pa se mogu podijeliti na nosive i zatezne. Nosivi stupovi se koriste za nošenje vodiča i zaštitnih užadi koji prolaze kraj stupa, dok se zatezni također koriste za nošenje, ali i za zatezanje vodiča i zaštitnih užadi. Posebna vrsta zateznog stupa je rasteretni zatezni stup koji mora izdržati jednostrani prekid svih vodiča. Po položaju u trasi stupovi se dijele na linijske koji se nalaze u pravocrtnom dijelu trase i kutne koji se nalaze na mjestima gdje trasa mijenja kut. Stupovi gdje se s glavnog voda odvaja ogranak u distributivnim mrežama su istovremeno i nosivi i zatezni. Tada je stup za glavni vod nosivi, a za ogranak zatezni. Postoje još i mnogi specijalni stupovi koji se koriste u posebnim slučajevima, a neki od njih su: krajnji (zadnji stup na oba kraja voda), preponski (stupovi za prijelaz preko cesta, rijeka, željezničkih pruga), križišni (stup prilagođen križanju vodiča dvaju vodova) i brojni drugi."

Na stupovima se različitim konzolama mogu stvoriti različiti oblici glave stupa, kao što su delta (Sl. 3.9.), gama (Sl. 3.9.), trapez (Sl. 3.11.), bačva i jela (Sl. 3.8.) oblik glave stupa.

Stupovi se također mogu podijeliti prema materijalu pa razlikujemo drvene, armirano betonske i čelično rešetkaste stupove.

3.4.1. Drveni stupovi

Drveni stupovi se upotrebljavaju sve do napona 220 kV, ali kod nas se danas najčešće koriste kod niskonaponskih i sredjenaponskih nadzemnih vodova [3]. Drveni stupovi se rade od obrađenih stabala bora, kestena i jele, a za spojne elemente stupova se koristi hrast [3]. Drvo je podložno truljenju te ima kratki vijek trajanja, ali se za zaštitu od truljenja drveni stupovi mogu postaviti na betonske nogare i impregnirati [3]. Impregnacija je postupak kojim se različitim sredstvima i tvarima povećava trajnost drveta i do 20 godina [3]. Drvo ima brojne prednosti, ali i nedostatke. Prednost drvenih stupova je ta što imaju malu težinu, brzo se montiraju, jeftiniji su te se ponašaju kao dodatna izolacija pa se ne mora izvoditi uzemljenje, a nedostatke čine kratkotrajnost i potreba za stalnim održavanjem [3].

Na slici 3.6. prikazan je drveni kutni 10 kV A-stup koji je naziv dobio po svom izgledu. Na sredini stupa se postavlja jedna poprečna greda koja spaja stup i drži ga u ravnoteži, a i u temelju je također povezan poprečnom gredom. U posljednje vrijeme ovi stupovi se ne koriste i zamjenjuju se drugim ekonomičnijim stupovima.



Sl. 3.6. Drveni 10 kV A-stup

Slika 3.7. prikazuje drveni kutni 10 kV stup s podupiračem koji se najčešće koristi kada trasa mijenja kut. U ovom slučaju ovaj stup je i odcjepni jer se s njega odvaja drugi vod ili ogranak.



Sl. 3.7. Drveni odcjepni 10 kV stup s podupiračem

Na slici 3.8. prikazani su drveni nosivi linijski 10 kV stup s jednostranim čeličnim konzolama za dvostruko ovješnje te ravnim poduporama za potporne izolatore i drveni nosivi linijski 10 kV stup sa savinutim poduporama za potporne izolatore. Oblik glave stupa za oba stupa je jela oblik.



Sl. 3.8. Drveni nosivi linijski 10 kV stupovi s različitim poduporama

3.4.2. Armirano betonski stupovi

Armirano betonski stupovi se izrađuju sve do napona 110 kV, ali se najčešće koriste kod niskonaponskih i srednjenaponskih nadzemnih vodova. Armirano betonski stupovi se ne koriste kod visokih napona jer su puno teži od čeličnih stupova te im je zbog toga otežan transport i montaža [3]. Prednost ovih stupova je dugotrajnost te nema potrebe za stalnim održavanjem ukoliko su dobro izrađeni [3]. Izrađuju se od betona i čeličnih žica te se manji stupovi izrađuju tvornički, dok se veći izrađuju izravno na mjestu postavljanja [3]. Najpoznatiji tvornički stupovi su centrifugirani koji su u sredini šuplji te se tako može uštedjeti materijal, dok se stupovi koji se izrađuju na mjestu postavljanja rade s punim presjekom ili im je presjek sa šupljinama [3].

Na slici 3.9. prikazani su betonski nosivi linijski 10 kV stup s dvostranom čeličnom konzolom za dvostruko ovješnje te delta oblikom glave stupa i betonski nosivi linijski 10 kV stup s dvostranom čeličnom konzolom za dvostruko ovješnje, ali s gama oblikom glave stupa.



Sl. 3.9. Betonski nosivi linijski 10 kV stupovi s različitim oblicima glave stupa

Slika 3.10. prikazuje dva betonska odcjepna 10 kV stupa s dvostranim čeličnim konzolama za dvostruko ovješnje, s tim da jedan ima gama, a drugi delta oblik glave stupa.



Sl. 3.10. Betonski odcjepni 10 kV stupovi s različitim oblicima glave stupa

3.4.3. Čelično rešetkasti stupovi

Čelično rešetkasti stupovi se izrađuju od čeličnih rešetki ili cijevi te se uglavnom ne koriste u niskonaponskim i srednjenaponskim mrežama osim u slučajevima kada je potreban prijelaz nadzemnog voda preko ceste, željezničke pruge, rijeke, drugog nadzemnog voda i slično [3]. Stupovi se izrađuju u komadima te se tako transportiraju i sastavljaju na mjestu za postavljanje. Problem kod čelično rešetkastih stupova je korozija te se moraju zaštititi od korozije nanošenjem zaštitnog sloja ili uporabom legiranog nehrđajućeg čelika, a kako bi se izbjeglo stalno premazivanje stupova vrši se vruće pocinčavanje cijelog stupa [3]. Ovakvi stupovi imaju dug vijek trajanja.

Na slici 3.11. prikazani su krajnji betonski i čelično rešetkasti 10 kV stupovi od kojih betonski stup ima dvostranu betonsku konzolu za dvostruko ovješnje te gama oblik glave stupa. Čelično rešetkasti stup ima dvostrane čelične konzole, a oblik glave stupa je trapez. Vidimo da su ovi stupovi krajnji te se javlja prijelaz iz nadzemnog u kabelski vod.



Sl. 3.11. Krajnji betonski i čelično rešetkasti 10 kV stupovi

3.5. Temelji stupova, uzemljenje i zaštitno uže

Prema literaturi [3]: "Osnovni zadatak temelja stupova je učvrstiti stupove i prenijeti sve sile sa stupa na tlo. Temelji se izvode tako da ne dođe do pomicanja pod djelovanjem sila. Drveni stupovi se mogu ukopati izravno u zemlju bez temelja i pomoću nogara koje mogu biti betonske i drvene. Njihova uloga je da zaštite drvene stupove od propadanja te da ih učvrste u tlu. Betonske nogare, prikazane na slici 3.12., su čvršće i dugotrajnije od drvenih te se češće upotrebljavaju. Drveni stupovi se mogu učvrstiti na betonske temelje, ali se tada se učvršćuju pomoću željeznih nogara. Betonski stupovi se također mogu izravno ukopati u zemlju, ali se najčešće, kao i čelično rešetkasti stupovi, ukapaju u temeljne betonske blokove."



Sl. 3.12. Betonske nogare kod drvenih stupova

Uzemljenje se izvodi kako bi se povezale pojedine točke električnog postrojenja sa zemljom, te služi za zaštitu sustava od kvarova i udara groma i za održavanje uzemljene točke na nultom potencijalu, tj. na potencijalu zemlje [3]. Uzemljenje čini uzemljivač i zemljovod koji povezuje točku sustava koju treba uzemljiti sa uzemljivačem [3]. Uzemljivači se jedino ne izvode kod niskonaponskih vodova na drvenim stupovima [1].

Zaštitno uže ima ulogu zaštite od izravnog udara groma u vodiče nadzemnog voda te preuzima na sebe dio struje ako grom udari u stup [3]. Zaštitno uže također ima ulogu zaštite kod kratkog spoja između vodiča i zemlje te tada struja kratkog spoja može teći u zemlju na većem broju stupova [3]. Zaštitna užad se ne postavljaju kod niskonaponskih vodova, a na vodovima srednjeg napona postavljaju se samo ukoliko je to potrebno.

4. PODZEMNI KABELI

Kabeli su elektroenergetski vodovi sastavljeni od vodiča dobro vodljivog materijala (bakar, aluminij), koji su električki izolirani i smješteni u zajednički vanjski omotač koji štiti od vanjskih utjecaja kao što su vlaga, mehanička oštećenja, korozija i slično [1]. Prema mjestu na kojem su položeni, kabeli se dijele na [1]:

- Podzemne kabele
- Podmorske kabele
- Zračne kabele.

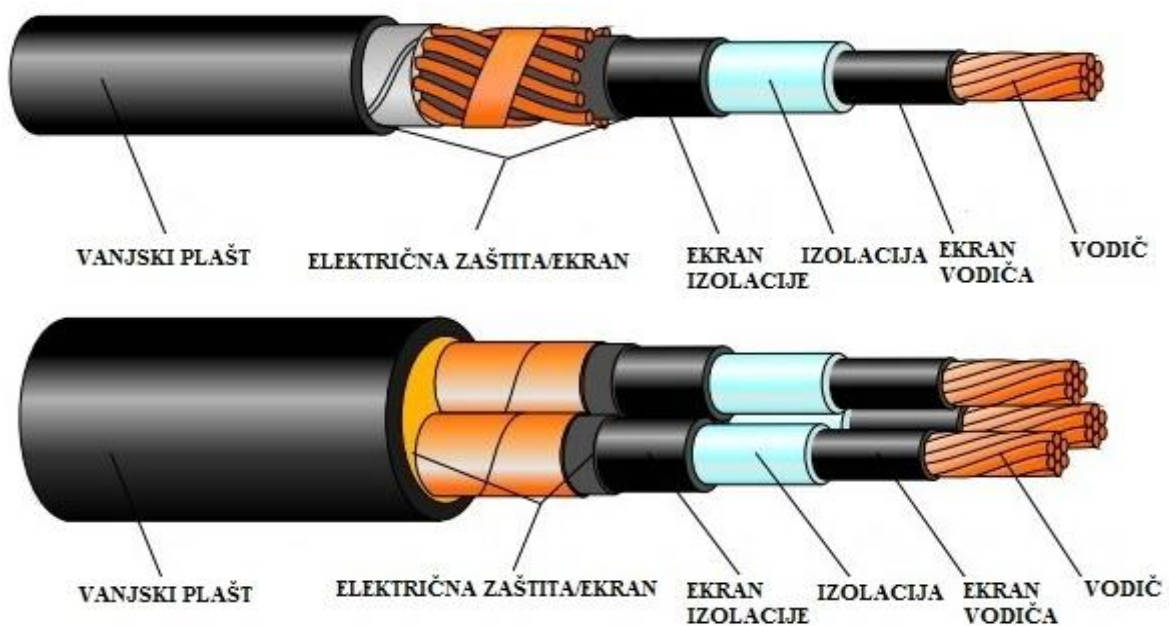
Prema broju vodiča srednjenaponski kabeli mogu biti:

- Jednožilni kabeli
- Trožilni kabeli.

U ovom završnom radu biti će opisani osnovni dijelovi te neki tipovi podzemnih distribucijskih srednjenaponskih kabela.

4.1. Osnovne značajke i dijelovi kabela

Na slici 4.1. prikazan je srednjenaponski jednožilni i trožilni kabel s osnovnim dijelovima.



Sl. 4.1. Jednožilni i trožilni kabel [4]

Vodiči se najčešće izrađuju od elektrolitskog bakra i aluminijske visoke čistoće te vodiče malih presjeka čini puna okrugla žica, a vodiče većih presjeka uže [1]. Postoji više vrsta vodiča s obzirom na strukturu i oblik, kao što su: jednožični vodič, višežični vodič, višežično uže, sektorski vodič, segmentni vodič itd.

Vodiči nisu pravilnog okruglog oblika, nego postoje izbočine i udubine od pojedinih žica i to dovodi do nepravilnog oblika električnog polja. Zbog toga je iznad vodiča postavljen ekran vodiča kako bi se dobio pravilan oblik električnog polja. Ekran vodiča je obično gladak i ima pravilan oblik kružnice.

Izolacija kabela dolazi iznad vodiča, odnosno ekrana vodiča i može biti papir, guma i termoplastična umjetna tvar. Papir je traka posebne vrste, debljine oko 0,1 mm i širine 15-25 mm, koja se namata oko vodiča te se potom oslobađa vlage i impregnira uljem [1]. Kabeli s izolacijom od gume i termoplastične umjetne tvari su jednostavniji i sigurniji za korištenje od kabela s papirnatom izolacijom [1]. Za tu vrstu izolacije koriste se elastomeri u koje spada etilen-propilen i butil, te plastomeri u koje spada polietilen (neumreženi- PE ili umreženi-XLPE) i polivinil-klorid (PVC) [1].

Ekran izolacije se nalazi iznad izolacije kabela, a ima istu ulogu kao i ekran vodiča, tj. da stvori radijalno električno polje te tako smanji mogućnost električnog tinjanja.

Električna zaštita se sastoji od bakrenih žica i bakrene trake omotane u suprotnom smjeru kod jednožilnih kabela, dok se kod trožilnih sastoji od dvije bakrene trake. Električna zaštita služi za ograničenje električnog polja.

Vanjski plašt štiti prethodno opisane dijelove od različitih vanjskih utjecaja. Metalni plašt se koristi za kabele s papirnom izolacijom i on štiti od vlage te također daje mehaničku zaštitu [1]. Metalni plašt se najčešće izrađuje od olova kojem je prednost lagana obrada, savitljivost i visoka otpornost na koroziju, dok mu je nedostatak mala mehanička čvrstoća i velika specifična masa [1]. Aluminij se također koristi za izradu plašta i prednost nad olovom mu je veća mehanička čvrstoća, mala specifična masa i dobra električka vodljivost [1]. Plašt od termoplastične mase se koristi kod kabela s PE i XLPE izolacijom [1].

4.2. Energetski srednjenaponski kabeli s izolacijom od impregniranog papira (IP)

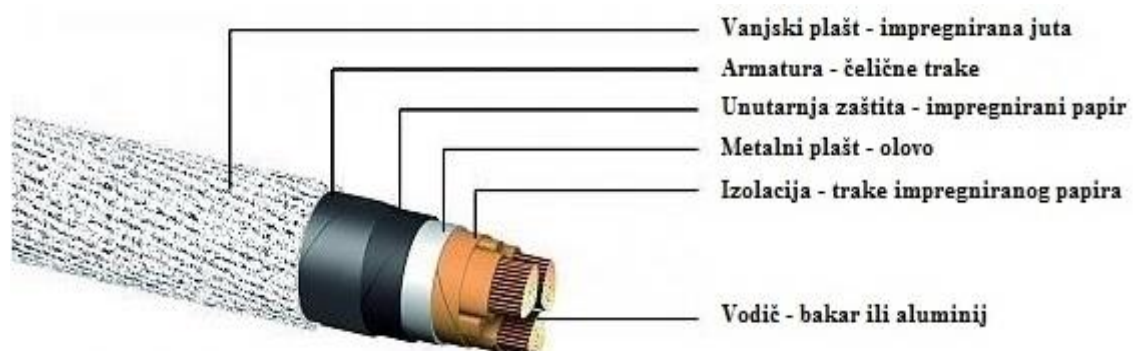
Energetski srednjenaponski kabeli s izolacijom od impregniranog papira koriste se u elektroenergetskim distribucijskim mrežama, a izolaciju čini višeslojni papirni namot koji se sastoji od trake debljine 0,1 mm i širine 15-25 mm. Oko vodiča se suha papirna traka namata posebnim strojem te se oslobađa vlage i impregnira uljem, a poslije impregnacije stavlja se metalni plašt kako bi se spriječio prodor vlage [1].

Primjeri označavanja prema JUS N.C5.020 standardu:

- a) IPO 13 – Kabel s izolacijom od impregniranog papira, vodičem od bakra, olovnim plaštem, unutarnjim zaštitnim slojem, armaturom od dvije čelične trake i vanjskim plaštem od jute.
- b) IPO 14-A – Kabel s izolacijom od impregniranog papira, vodičem od aluminijske trake, olovnim plaštem, unutarnjim zaštitnim slojem, armaturom od dvije čelične trake i vanjskim PVC plaštem.

4.2.1. IPO 13, IPO 13-A

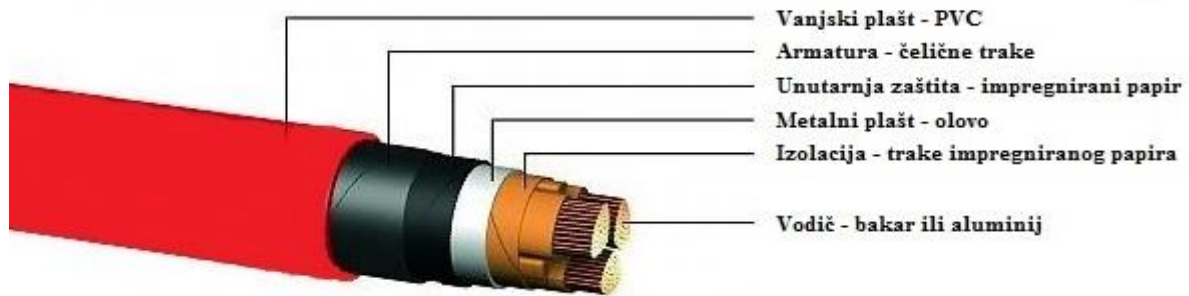
IPO 13 i IPO 13-A su energetski kabeli s izolacijom od impregniranog papira i vanjskim plaštem od impregnirane jute. Koriste se za vodoravno polaganje u zemlju te se koristi kao distributivni kabeli u gradskim i ruralnim mrežama, ali i u industriji za elektrane i postrojenja [5]. Konstruiran je za nazivne napone $U_0/U=6/10$ kV, a ispitni napon mu iznosi $U_i=17$ kV [5]. Izgled i dijelovi kabela prikazani su na slici 4.2..



Sl. 4.2. Energetski kabel IPO 13, IPO 13-A [5]

4.2.2. IPO 14, IPO 14-A

IPO 14 i IPO 14-A su energetska kabela s izolacijom od impregniranog papira i vanjskim PVC plaštem. Koriste se za polaganje u zemlju gdje se ne očekuju mehanička naprezanja te kao distributivni kabela u gradskim i ruralnim mrežama [5]. Konstruiran je za nazivne napone $U_0/U=6/10$ kV, a ispitni napon mu iznosi $U_i=17$ kV [5]. Izgled i dijelovi kabela prikazani su na slici 4.3..



Sl. 4.3. Energetski kabela IPO 14, IPO 14-A [5]

4.3. Energetski srednjenaponski kabela s izolacijom od umreženog polietilena (XLPE)

Energetski srednjenaponski kabela s XLPE izolacijom primjenjuju se u elektroenergetskim distribucijskim mrežama, a odlikuju se po kvaliteti i čvrstoći spoja između izolacije i vodljivih slojeva bez mogućnosti odvajanja pri ciklusima grijanja i hlađenja kabela u radu [4]. U tablici 4.1. prikazane su oznake kabela prema Elka katalogu.

Tablica 4.1. Oznake srednjenaponskih kabela [4]

N	VDE standard
Vodič	
-	bakar
A	aluminij
Izolacija	
Y	PVC
2Y	PE
2X	XLPE
H	LSOH-mješavina
Ekran	
S	uobičajeni bakreni ekran
SE	pojedinačno ekranizirane žile
(F)	uzdužno vodonepropustan

(FL)	uzdužno i dijagonalno vodonepropustan
C	koncentrični bakreni vodič
Unutarnja zaštita	
Y	PVC
2Y	PE
H	LSOH-mješavina
Armatura	
R	okrugla čelična žica
B	čelična traka
Vanjski plašt	
Y	PVC
2Y	PE
H	LSOH-mješavina

Primjeri označavanja [4]:

a) N2XSEY 3x95/16mm² 6/10/12 kV

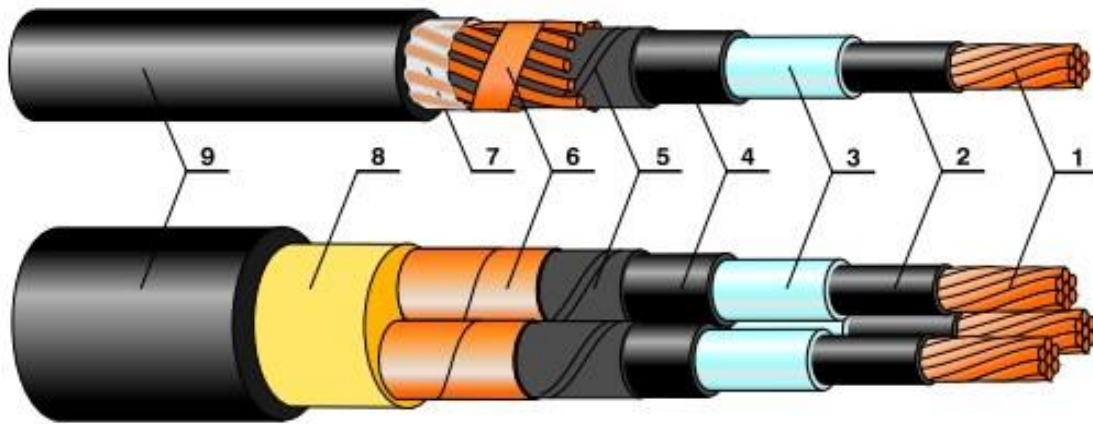
Kabel s izolacijom od umreženog polietilena s poluvodljivim slojem ispod i iznad izolacije, trožilni, s faznim vodičima od bakra presjeka 95 mm², s električnom zaštitom od bakra presjeka 16 mm² raspodijeljene oko svake žile posebno, s PVC plaštem, za nazivni napon $U_0/U=6/10$ kV i najviši napon mreže $U_m=12$ kV.

b) NA2XS(F)2Y 1x185/25 mm² 12/20/24 kV

Kabel s izolacijom od umreženog polietilena, s poluvodljivim slojem ispod i iznad izolacije, jednožilni, s faznim vodičem od aluminijske presjeka 185 mm², s električnom zaštitom od bakra presjeka 25 mm², uzdužnom vodonepropusnom izvedbom električne zaštite, s PE plaštem, za nazivni napon $U_0/U=12/20$ kV i najviši napon mreže $U_m=24$ kV.

4.3.1. N2XSY, NA2XSY

Prema Elka katalogu [4]: "N2XSY i NA2XSY su energetska kabela s XLPE izolacijom i PVC plaštem. Koriste se za polaganje u zemlju, kanale, na konzole gdje se ne očekuju mehanička oštećenja ni mehanička vlačna naprezanja. Koriste se kao distributivni kabela u gradskim i ruralnim mrežama, kao i spojni kabel za industrijske pogone. Konstruiran je za nazivne napone $U_0/U=6/10/12$ kV i najviši napon mreže je $U_m=12$ kV, a ispitni napon iznosi $U_i=21$ kV." Izgled kabela prikazan je na slici 4.4..



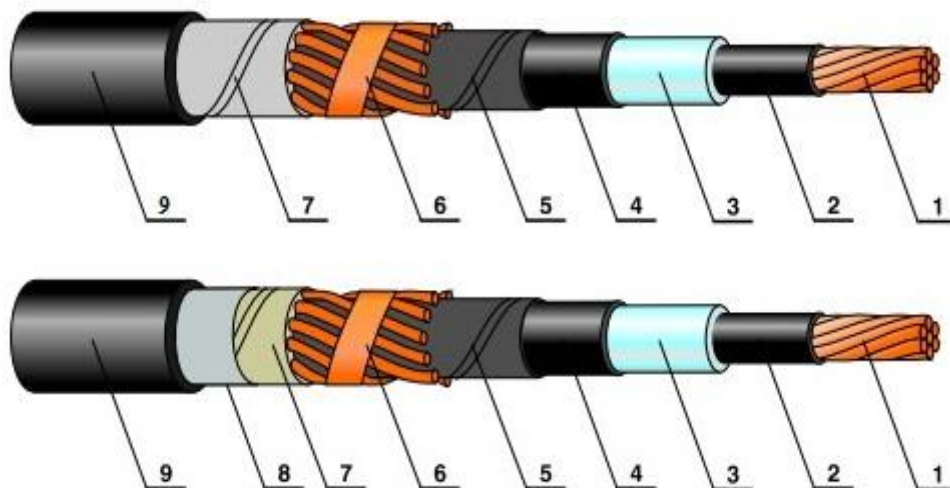
Sl. 4.4. Energetski kabel N2XSY, NA2XSY [4]

Opis konstrukcije [4]:

1. Vodič – bakreno ili aluminijsko uže, zbijeno
2. Ekran vodiča – poluvodljivi sloj na vodiču
3. Izolacija – XLPE
4. Ekran izolacije – poluvodljivi sloj na izolaciji
5. Separator – poluvodljiva vrpca
6. Električna zaštita/ekran – od bakrene žice (jednožilni) ili bakrene trake (trožilni)
7. Separator – poliesterska vrpca
8. Ispuna – PVC
9. Vanjski plašt – PVC

4.3.2. N2XS(F)2Y, NA2XS(F)2Y i N2XS(FL)2Y, NA2XS(FL)2Y

Prema Elka katalogu [4]: "N2XS(F)2Y i NA2XS(F)2Y su energetski kabeli s XLPE izolacijom i PE plaštem s uzdužnom vodonepropusnom izvedbom električne zaštite, dok su N2XS(FL)2Y i NA2XS(FL)2Y energetski kabeli s XLPE izolacijom i PE plaštem s uzdužnom i poprečnom vodonepropusnom izvedbom električne zaštite. Koriste se za polaganje u zemlju, kanale, vlažne terene, na konzole gdje se ne očekuju mehanička oštećenja ni mehanička vlačna naprezanja te se koriste kao distributivni kabeli u gradskim i ruralnim mrežama. Konstruirani su za nazivne napone $U_0/U=6/10$ kV; 12/20 kV; 18/30 kV; 20,8/36 kV i najviši napon mreže $U_m=12$ kV; 24 kV; 36 kV; 42 kV. Ispitni napon iznosi $U_i = 15$ kV; 30 kV; 45 kV; 52 kV." Izgledi kabela prikazani su na slici 4.5..



Sl. 4.5. Energetski kablei N2XS(F)2Y, NA2XS(F)2Y i N2XS(FL)2Y, NA2XS(FL)2Y [4]

Opis konstrukcije [4]:

1. Vodič – bakreno ili alumijsko užje, zbijeno
2. Ekran vodiča – poluvodljivi sloj na vodiču
3. Izolacija – XLPE
4. Ekran izolacije – poluvodljivi sloj na izolaciji
5. Separator – bupriva vrpca, poluvodljiva
6. Električna zaštita/ekran – od bakrenih žica i bakrene trake
7. Separator – bupriva vrpca
8. Laminirani plašt – alumijska traka s kopolimerom
9. Vanjski plašt – PE-HD

5. USPOREDBA NADZEMNIH VODOVA I PODZEMNIH KABELA

Kao što je već spomenuto nadzemni vodovi i podzemni kabeli se koriste za prijenos električne energije od elektrana do potrošača. U ovom poglavlju ćemo govoriti o njihovoj razlici po električnim parametrima. Električni parametri kod kabela za različite presjeke dani su u tablicama, dok kod nadzemnih vodova električni parametri nisu fiksni i nisu dani u tablicama (osim otpora). Induktivitet i kapacitet nadzemnog voda ovisi o situaciji na terenu tj. ovisi o udaljenostima. Ne postoji standardna visina stupa, nego se ona mijenja te na istoj trasi postoje različite visine ukoliko dalekovod prelazi preko šume, naselja, ceste i slično. Na temelju primjera jednog nadzemnog voda i kabela biti će prikazana usporedba električnih parametara te ćemo moći zaključiti koji električni parametri dominiraju kod nadzemnih vodova, a koji kod kabela.

Uzeti ćemo za primjer 10 kV kabel položen u ravnini, s XLPE izolacijom i aluminijskim vodičem presjeka 35 mm^2 i 10 kV nadzemni vod s alučel vodičem presjeka $35/6 \text{ mm}^2$. Iz tablice u prilogu P.5.5. vidimo da se pod presjekom $35/6 \text{ mm}^2$, 35 mm^2 odnosi na aluminijski, a 6 mm^2 odnosi na čelik što znači da je ukupni presjek veći nego kod vodiča kabela. U ovom slučaju ćemo promatrati samo 35 mm^2 aluminijski, tj. vodljive površine te iz tablica u prilogu P.5.2. i P.5.5. vidimo da nadzemni vod s alučel vodičem može prenijeti 170 A struje, dok kabel s aluminijskim vodičem može prenijeti 165 A. Vidimo da vodič nadzemnog voda može prenijeti veću struju nego vodič kabela zato što kod kabela postoji problem hlađenja. Prolaskom struje kroz vodiče kabela se stvara toplina koja dovodi do toplinskog kolapsa kabela te je zbog toga potrebno ograničiti struju koja teže kroz kabel.

U slučaju da kabel i nadzemni vod imaju isti presjek vodiča, tada je kod kabela cijeli vodič ispunjen aluminijskim, a kod alučel vodiča nije zbog toga što jezgru čini čelik. To bi značilo da je kod alučel vodiča manja vodljiva površina te će za isti presjek kabel moći prenijeti veću struju.

Iz tablice u prilogu P.5.4. uzeti ćemo podatke za električne parametre prethodno odabranog 10 kV kabela položenog u ravnini, s XLPE izolacijom i aluminijskim vodičem presjeka 35 mm^2 , dok su u tablici P.5.5. i literaturi [6] zadani su podaci o električnim parametrima 10 kV nadzemnog voda s alučel vodičem presjeka $35/6 \text{ mm}^2$, te su svi zajedno prikazani u tablici 5.1.. Jedinični kapacitet i jedinični odvod nadzemnog voda zbog velikih udaljenosti vodiča i niskog naponu su zanemarivi. Jedinični induktivitet nadzemnog voda L_1 izračunati ćemo iz jedinične reaktancije X_1 pomoću izraza (2-1) i on iznosi $L_1=1,273 \text{ mH/km}$. Otpor izolacije kabela je vrlo velik i iznosi $R=100 \text{ M}\Omega$ te će zato odvod kabela biti vrlo mali te iznosi $G_1= 10 \text{ nS/km}$.

Tablica 5.1. Podaci o električnim parametrima za nadzemni vod i kabel

Vrsta voda	Jedinični djelatni otpor R_1 (Ω/km)	Jedinični induktivitet L_1 (mH/km)	Jedinični kapacitet C_1 ($\mu\text{F}/\text{km}$)	Jedinični odvod G_1 (nS/km)	Strujno opterećenje (A)
Nadzemni vod	0,8353	1,273	0	0	170
Kabel	0,868	0,63	0,236	10	165

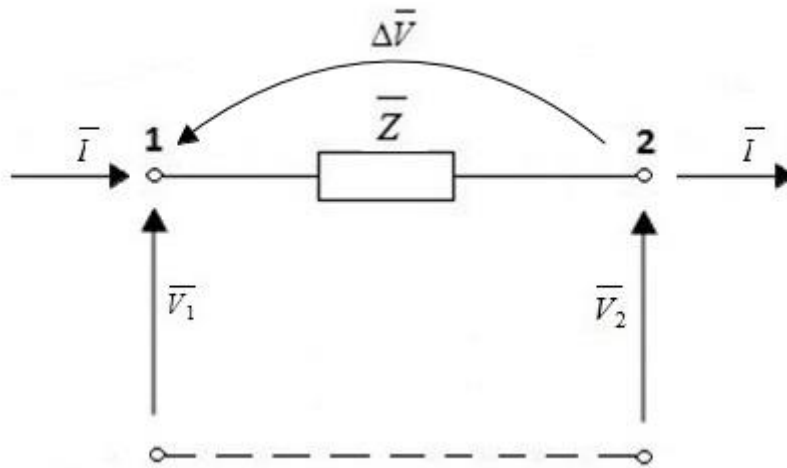
Na temelju gore navedenih podataka vidimo da je djelatni otpor kabela i nadzemnog voda vrlo sličan. Otpor ovisi o presjeku vodiča pa zbog toga nema prevelike razlike, dok se za razliku od otpora, induktivitet i kapacitet znatno razlikuju.

Vidimo da je induktivitet nadzemnog voda otprilike duplo veći nego induktivitet kabela. Induktivitet kod nadzemnih vodova je veći zbog toga što su vodiči nadzemnog voda međusobno razmaknuti, dok su vodiči kod kabela jedan blizu drugoga pa tako međuinduktivitet poništava glavni induktivitet te je zbog toga ukupni induktivitet kabela manji.

Kada govorimo o kapacitetu, kod jednožilnih kabela je svaka faza zasebno te ne postoji međusobni kapacitet zbog toga što kabel sadrži električnu zaštitu koja zatvara električno polje te ono ne izlazi van kabela, te ovo također vrijedi i za trožilne kabele ukoliko svaka faza sadrži električnu zaštitu. Za razliku od međusobnog kapaciteta koji ne postoji, postoji dozemni kapacitet između vodiča i električne zaštite te je on zbog malih udaljenosti dosta velik, dok je kod nadzemnih vodova zbog velikih udaljenosti vodiča i niskog napona kapacitet vrlo malen te ga potpuno zanemarujemo.

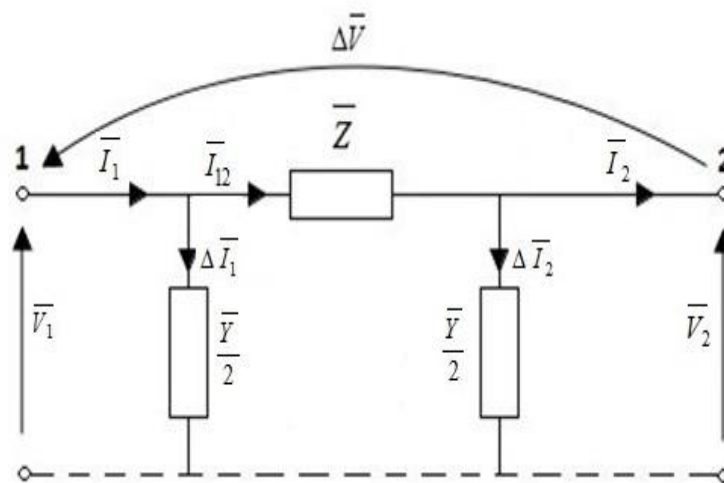
Odvod nadzemnog voda također možemo potpuno zanemariti jer se kod srednjih napona ne pojavljuju gubitci uzrokovani koronom i kliznim strujama. Odvod kod kabela je vrlo malen, ali ga ne možemo potpuno zanemariti kao kod nadzemnih vodova. Ti gubitci predstavljaju odvod izolacije pošto izolacija ima svoj otpor koji je vrlo velik pa će u konačnici odvod biti vrlo mali, ali neće biti nula kao kod nadzemnih vodova.

Nadzemni vodovi i kabeli se mogu prikazati nadomjesnom shemom te tako možemo određivati prilike na početku i kraju voda. Nadzemni vodovi srednjeg napona nisu velike dužine, nego su dosta kraćih udaljenosti te, kao što je već napomenuto u ovom petom poglavlju, kapacitet i odvod možemo potpuno zanemariti. To znači da zanemarujemo poprečni dio π -sheme pa dolazimo do zaključka da se nadzemni vod srednjeg napona u praksi prikazuje i preračunava po uzdužnoj I-shemi.



Sl. 5.1. Nadomjesna I-shema nadzemnog voda srednjeg napona [7]

Kod kabelskog voda za razliku od nadzemnog ne možemo zanemariti poprečne grane jer kod kabela kapacitet i odvod nisu zanemarivo mali odnosno nisu jednaki nuli, s toga se za prikaz i preračunavanje koristi približna π -shema.



Sl. 5.2. Nadomjesna π -shema kabelskog voda [7]

5.1. Proračun prijenosa električne energije

Zadatak:

Zadan je 10 kV distributivni vod duljine 12 km koji je na kraju opterećen sa $P_2 = 2$ MW uz $\cos\varphi_2 = 0,85$ induktivno. Podaci o električnim parametrima za nadzemni vod i kabel zadani su u tablici 5.1., a potrebno je izračunati struju, napon i snagu na početku voda ako je vod:

- realiziran nadzemnim vodom s alučel vodičem presjeka $35/6$ mm²
- realiziran kabelom položenim u ravnini, s XLPE izolacijom i aluminijskim vodičem presjeka 35 mm²

Rješenje:

- Proračun prijenosa električne energije distributivne trase izvedene nadzemnim vodom

Zadani su podaci:

$$U_2 = 10 \text{ kV}$$

$$l = 12 \text{ km}$$

$$P_2 = 2 \text{ MW}$$

$$\cos\varphi_2 = 0,85 \text{ ind.}$$

$$R_l = 0,8353 \text{ } \Omega/\text{km}; L_l = 1,273 \text{ mH/km}; C_l = 0 \text{ F/km}; G_l = 0 \text{ S/km}$$

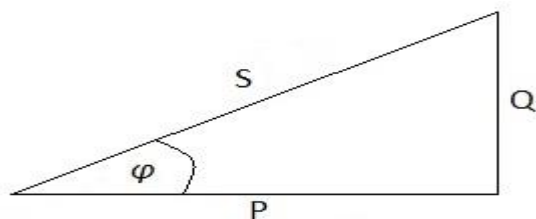
Zadani napon U_2 je linijski, a zbog toga što se proračun odnosi na jednu fazu potrebno je izračunati fazni napon \bar{V}_2 koji je postavljen u referentnoj osi s kutom od 0° .

$$\bar{V}_2 = \frac{U_2}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ = \frac{10000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ = 5,7735 \angle 0^\circ \text{ kV}$$

Iz zadanog $\cos\varphi_2$ izračunati ćemo kut φ_2 koji će biti pozitivnog predznaka zato što je $\cos\varphi_2$ zadan induktivno.

$$\varphi_2 = \cos^{-1}(0,85) = 31,78833^\circ$$

Iz trokuta snage sa slike 5.3., pomoću djelatne snage i tangensa kuta ćemo izračunati jalovu snagu na kraju voda Q_2 koja će biti induktivnog karaktera:



Sl. 5.3. Trokut snage

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{Q_2}{P_2} \Rightarrow Q_2 = \operatorname{tg} \varphi_2 \cdot P_2 = \operatorname{tg}(31,78833^\circ) \cdot 2 \cdot 10^6 = 1,2395 \text{ MVAr}$$

Dolje navedeni izraz (5-1) je izraz za trofaznu prividnu kompleksnu snagu na kraju voda \bar{S}_2 te, nakon što smo izračunali jalovu snagu Q_2 pomoću zadane djelatne snage P_2 i kuta φ_2 , možemo je zapisati:

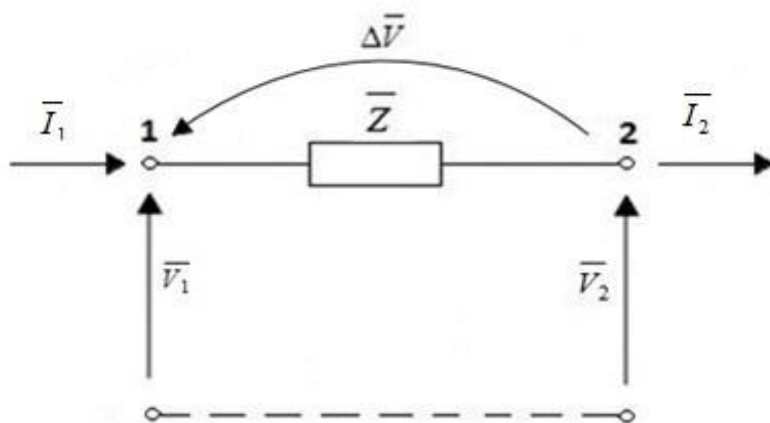
$$\bar{S}_2 = P_2 + jQ_2 = 3 \cdot \bar{V}_2 \cdot \bar{I}_2^* \quad (5-1)$$

$$\bar{S}_2 = P_2 + jQ_2 = 2 + j1,2395 \text{ MVA}$$

Iz izraza (5-1) možemo izračunati struju na kraju voda \bar{I}_2 :

$$\bar{I}_2 = \frac{\bar{S}_2^*}{3 \cdot \bar{V}_2^*} = \frac{(2 - j1,2395) \cdot 10^6}{3 \cdot 5,7735 \cdot 10^3} = \frac{2,35295 \angle -31,7886^\circ}{17320,5} = 135,847 \angle -31,78833^\circ \text{ A}$$

Kao što je već ranije rečeno u ovom poglavlju, nadzemni vodovi se prikazuju i preračunavaju po uzdužnoj I-shemi kod koje smo zanemarili poprečne grane, pa tako sa slike 5.4. zaključujemo da je struja na kraju voda ujedno i struja na početku voda zato što struja teče kroz uzdužnu granu.



Sl. 5.4. Nadomjesna I-shema

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_2 = \bar{I} = 135,847 \angle -31,78833^\circ \text{ A}$$

Sada ćemo izračunati impedanciju \bar{Z} iz električnih parametara nadzemnog voda koji su zadani u tablici 5.1., te ćemo koristiti izraze (2-9), (2-5), (2-6) i (2-1):

$$\begin{aligned} \bar{Z} &= R + jX = R_1 \cdot l + jX_1 \cdot l = R_1 \cdot l + j\omega \cdot L_1 \cdot l = \\ &= 0,8353 \cdot 12 + j2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 1,273 \cdot 10^{-3} \cdot 12 = 10,024 + j4,799 = 11,114 \angle 25,583^\circ \Omega \end{aligned}$$

Kada smo izračunali impedanciju \bar{Z} , struju \bar{I} i napon na kraju voda \bar{V}_2 , na temelju slike 5.4. možemo izračunati i napon na početku voda \bar{V}_1 :

$$\begin{aligned} \bar{V}_1 &= \bar{V}_2 + \Delta\bar{V} = \bar{V}_2 + \bar{I} \cdot \bar{Z} = \\ &= 5,7735 \cdot 10^3 + 135,847 \angle -31,78833^\circ \cdot 11,114 \angle 25,583^\circ = 7,276 \angle -1,285^\circ \text{ kV} \end{aligned}$$

Napon \bar{V}_1 koji smo izračunali je fazni te ćemo ga preračunati na linijski U_1 :

$$U_1 = \sqrt{3} \cdot V_1 = \sqrt{3} \cdot 7276 = 12,602 \text{ kV}$$

Nakon što smo izračunali struju i napon na početku voda, možemo izračunati i trofaznu prividnu kompleksnu snagu na početku voda \bar{S}_1 :

$$\bar{S}_1 = 3 \cdot \bar{V}_1 \cdot \bar{I}_1^* = 3 \cdot 7276 \angle -1,285^\circ \cdot 135,847 \angle 31,78833^\circ = 2,965 \angle 30,5^\circ = 2,555 + j1,505 \text{ MVA}$$

b) Proračun prijenosa električne energije distributivne trase izvedene kabelskim vodom

Pojedine podatke smo već izračunali te ćemo ih ponovno koristiti, a podatke za električne parametre uzeti ćemo iz tablice 5.1.:

$$\varphi_2 = 31,78833^\circ$$

$$\bar{I}_2 = 135,847 \angle -31,78833^\circ \text{ A}$$

$$\bar{V}_2 = \frac{U_2}{\sqrt{3}} = \frac{10000}{\sqrt{3}} = 5,7735 \angle 0^\circ \text{ kV}$$

$$\bar{S}_2 = 2 + j1,2395 \text{ MVA}$$

$$R_l = 0,868 \Omega/\text{km}; L_l = 0,63 \text{ mH}/\text{km}; C_l = 0,236 \mu\text{F}/\text{km}; G_l = 10 \text{ nS}/\text{km}$$

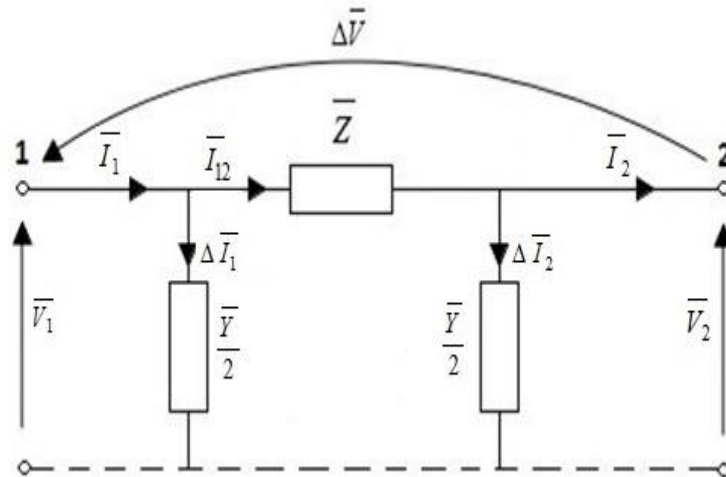
Izračunati ćemo impedanciju kablenskog voda \bar{Z} koristeći izraze (2-9), (2-5), (2-6) i (2-1) kao u prethodnom zadatku, ali ovaj put s električnim parametrima kabela zadanim u tablici 5.1.:

$$\begin{aligned}\bar{Z} &= R + jX = R_1 \cdot l + jX_1 \cdot l = R_1 \cdot l + j\omega \cdot L_1 \cdot l = \\ &= 0,868 \cdot 12 + j2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,63 \cdot 10^{-3} \cdot 12 = 10,416 + j2,375 = 10,683 \angle 12,845^\circ \Omega\end{aligned}$$

Potom računamo admitanciju kabela $\frac{\bar{Y}}{2}$ koja je podijeljena s 2 zbog toga što imamo dvije poprečne grane u π -shemi:

$$\begin{aligned}\frac{\bar{Y}}{2} &= \frac{G}{2} + j\frac{B}{2} = \frac{G_1}{2} \cdot l + j\frac{B_1}{2} \cdot l = \frac{G_1}{2} \cdot l + j\frac{\omega \cdot C_1}{2} \cdot l = \\ &= \frac{10 \cdot 10^{-9}}{2} \cdot 12 + j\frac{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,236 \cdot 10^{-6}}{2} \cdot 12 = 6 \cdot 10^{-8} + j4,4485 \cdot 10^{-4} = 4,4485 \cdot 10^{-4} \angle 89,992^\circ \text{ S}\end{aligned}$$

Sada koristimo nadomjesnu π -shemu prikazanu na slici 5.5. te računamo struju kroz poprečnu granu $\Delta\bar{I}_2$ i struju kroz uzdužnu granu \bar{I}_{12} :



Sl. 5.5. Nadomjesna π -shema

$$\Delta\bar{I}_2 = \bar{V}_2 \cdot \frac{\bar{Y}}{2} = 5,7735 \cdot 10^3 \cdot 4,4485 \cdot 10^{-4} \angle 89,992^\circ = 2,568 \angle 89,992^\circ \text{ A}$$

$$\bar{I}_{12} = \bar{I}_2 + \Delta\bar{I}_2 = 135,847 \angle -31,78833^\circ + 2,568 \angle 89,992^\circ = 134,512 \angle -30,858^\circ \text{ A}$$

Kada smo izračunali impedanciju \bar{Z} , struju kroz uzdužnu granu \bar{I}_{12} i napon na kraju voda \bar{V}_2 , na temelju slike 5.5. možemo izračunati i napon na početku voda \bar{V}_1 :

$$\begin{aligned}\bar{V}_1 &= \bar{V}_2 + \Delta\bar{V} = \bar{V}_2 + \bar{I}_{12} \cdot \bar{Z} = \\ &= 5,7735 \cdot 10^3 + 134,512 \angle -30,858^\circ \cdot 10,683 \angle 12,845^\circ = 7,154 \angle -3,56^\circ \text{ kV}\end{aligned}$$

Napon \bar{V}_1 koji smo izračunali je fazni te ćemo ga preračunati na linijski U_1 :

$$U_1 = \sqrt{3} \cdot V_1 = \sqrt{3} \cdot 7154 = 12,391 \text{ kV}$$

Prema slici 5.5., možemo izračunati struju kroz poprečnu granu $\Delta\bar{I}_1$ i struju na početku voda \bar{I}_1 :

$$\Delta\bar{I}_1 = \bar{V}_1 \cdot \frac{\bar{Y}}{2} = 7,154 \cdot 10^3 \angle -3,56^\circ \cdot 4,4485 \cdot 10^{-4} \angle 89,992^\circ = 3,1825 \angle 86,43^\circ \text{ A}$$

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_{12} + \Delta\bar{I}_1 = 134,512 \angle -30,858^\circ + 3,1825 \angle 86,43^\circ = 133,083 \angle -29,64^\circ \text{ A}$$

Nakon što smo izračunali struju i napon na početku voda, možemo izračunati i trofaznu prividnu kompleksnu snagu na početku voda \bar{S}_1 :

$$\bar{S}_1 = 3 \cdot \bar{V}_1 \cdot \bar{I}_1^* = 3 \cdot 7154 \angle -3,56^\circ \cdot 133,083 \angle 29,64^\circ = 2,856 \angle 26,08^\circ = 2,565 + j1,255 \text{ MVA}$$

c) Usporedba dobivenih rezultata

Tablica 5.2. Izračunate vrijednosti na početku i kraju voda

Vrsta voda	Mjesto voda	Struja A	Fazni napon kV	Prividna snaga MVA
Nadzemni vod	Početak voda	135,847 \angle -31,78833°	7,276 \angle -1,285°	2,555 + j1,505
	Kraj voda	135,847 \angle -31,78833°	5,7735 \angle 0°	2 + j1,2395
Kabelski vod	Početak voda	133,083 \angle -29,64°	7,154 \angle -3,56°	2,565 + j1,255
	Kraj voda	135,847 \angle -31,78833°	5,7735 \angle 0°	2 + j1,2395

Tablica 5.3. Pad napona nadzemnog i kabelskog voda

	Nadzemni vod	Kabelski vod
Pad napona $\Delta\bar{V}$ kV	1,509 \angle -6,21°	1,437 \angle -18,01°

Kada promatramo struju nadzemnog voda, vidimo da je struja na početku \bar{I}_1 i na kraju voda \bar{I}_2 ista zbog toga što u proračunu koristimo uzdužnu I-shemu u kojoj nema poprečnih grana, nego

postoji samo jedna uzdužna grana. Na toj uzdužnoj grani postoji pad napona $\Delta\bar{V}$ te je napon na početku voda \bar{V}_1 veći od napona na kraju voda \bar{V}_2 upravo onoliko koliko iznosi pad napona $\Delta\bar{V}$.

Gledajući struju kabela, vidimo da se struja na početku \bar{I}_1 i struja na kraju voda \bar{I}_2 razlikuju. Razlikuju se zbog kapacitivnih struja koje kabel generira pa je zbog toga struja na početku voda \bar{I}_1 manja od struje na kraju voda \bar{I}_2 , što znači da u proračunu nismo koristili uzdužnu I-shemu, nego smo koristili π -shemu koja ima i poprečne grane kroz koje teče struja. Napon kabela na početku voda \bar{V}_1 je veći od napona na kraju voda \bar{V}_2 zato što na vodu postoji pad napona $\Delta\bar{V}$. Kada na temelju tablice 5.3. usporedimo pad napona nadzemnog i kablenskog voda, vidimo da je kod kablenskog voda manji pad napona $\Delta\bar{V}$ nego kod nadzemnog voda, a razlog tome je manja impedancija \bar{Z} .

Kao što vidimo u tablici 5.2. struja uvijek kasni za naponom za neki kut zbog toga što je u zadatku $\cos\varphi_2$ zadan induktivno. Također vidimo da je karakter jalove snage na početku voda, isto kao i na kraju, induktivan.

Trofazna prividna kompleksna snaga na početku voda \bar{S}_1 u oba slučaja je veća nego na kraju voda \bar{S}_2 što znači da prilikom prijenosa električne energije postoje gubitci. Izračunati ćemo gubitke djelatne i jalove snage za oba slučaja:

Nadzemni vod:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 2,555 - 2 = 0,555 \text{ MW}$$

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2 = 1,505 - 1,2395 = 0,2655 \text{ MVar}$$

Kablenski vod:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 2,565 - 2 = 0,565 \text{ MW}$$

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2 = 1,255 - 1,2395 = 0,0155 \text{ MVar}$$

Vidimo da su gubitci djelatne snage malo manji kod nadzemnog voda nego kod kabela, a ta razlika dolazi zbog toga što je djelatni otpor nadzemnog voda malo manji od djelatnog otpora kabela. Jalova snaga na početku kabela je manja od jalove snage na početku nadzemnog voda iz razloga što sam kabel generira kapacitivnu jalovu snagu koja poništava induktivnu jalovu snagu potrošača pa su tako gubitci jalove snage kod kabela znatno manji nego kod nadzemnog voda.

6. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu su najprije opisane karakteristične veličine odnosno električni parametri voda pomoću kojih se definiraju strujno-naponske prilike na vodu. Postoje četiri električna parametra, a to su djelatni otpor, induktivitet, kapacitet i odvod voda, koji su kontinuirano raspoređeni duž voda. To znači da bilo koji dio voda sadrži sva četiri parametra te su na osnovu toga prikazani jednofazni i trofazni modeli voda. Svaki od tih električnih parametara je opisan u potpoglavlju gdje su dane njihove osnovne značajke. Potom su obrađeni elektroenergetski vodovi koji služe za prijenos električne energije, a razlikujemo nadzemne vodove i podzemne kabele. Nadzemni vodovi su elektroenergetski vodovi koji služe za prijenos električne energije zračnim putem, dok se taj prijenos energije kod kabela obavlja podzemnim putem. Nadzemni vodovi su više rasprostranjeni nego podzemni kabele zbog toga što se podzemni kabele najčešće koriste u specifičnim slučajevima ukoliko postoji nemogućnost prolaska nadzemnog voda, npr. ako se radi o gradskim područjima, blizini aerodroma i slično. Postoje prednosti i nedostaci obe strane, a najveći nedostatak podzemnih kabela je taj što su puno skuplji u odnosu na nadzemne vodove. Također u slučaju kvara kabela teško je pronaći mjesto kvara, a potrebno je i više vremena za uklanjanje kvara, dok kod nadzemnih vodova to nije slučaj. Nedostatak nadzemnih vodova je taj što su izloženi udarima groma, jakim vjetrovima i drugim atmosferskim utjecajima, dok su kabele zaštićeni od tih utjecaja. Prikazane su i opisane osnovne izvedbe nadzemnih vodova i podzemnih kabela koji se najčešće koriste za izgradnju 10 kV distribucijske mreže, kao i njihovi osnovni dijelovi. Možemo zaključiti da od nadzemnih vodova prevladavaju vodovi drvenih i armirano-betonskih stupova s betonskim ili čeličnim konzolama i oblicima glave stupa kao što su gama, delta, jela i drugi, dok se čelično rešetkasti stupovi najčešće koriste u specijalnim slučajevima. Od vodiča su najviše zastupljeni alučel vodiči koji su pričvršćeni izolatorima na stupove. Od podzemnih kabela koriste se najčešće kabele s XLPE izolacijom i izolacijom od impregniranog papira. Obrađena je usporedba nadzemnih vodova i podzemnih kabela koja se temelji na električnim parametrima koji imaju različiti utjecaj na nadzemne vodove i podzemne kabele. Zbog tih razlika dolazimo do zaključka da se i nadomjesne sheme razlikuju pa se tako nadzemni vodovi srednjeg napona prikazuju i preračunavaju po uzdužnoj I-shemi, dok se podzemni kabele mogu prikazati i preračunavati prema približnoj π -shemi. Pomoću tih nadomjesnih shema odrađen je proračun prijenosa električne energije iz kojeg vidimo da su za sve promjene strujno-naponskih prilika koje se pojavljuju na vodovima odgovorni električni parametri.

LITERATURA

- [1] M., Ožegović, K., Ožegović, Električne energetske mreže I, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Split, Split, 1996.
- [2] L., Jozsa, Parametri nadzemnih vodova, Elektrotehnički fakultet Osijek, Osijek, 2006.
- [3] L., Jozsa, Nadzemni vodovi, Elektrotehnički fakultet Osijek, Osijek, 2011.
- [4] Elka katalog: Energetski srednjenaponski kabeli za napone do 36 kV
- [5] Bayka, Bayerische Kabelwerke AG (Aktiengesellschaft), Energiekabel, dostupno na:
<http://www.bayerische-kabelwerke.de/Produkte/Starkstromkabel> (31.08.2017.)
- [6] S., Nikolovski, D., Šljivac, Elektroenergetske mreže - zbirka riješenih zadataka, Elektrotehnički fakultet Osijek, Osijek, 2000.
- [7] M., Ožegović, K., Ožegović, Električne energetske mreže II, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Split, Split, 1997.
- [8] R., Končar, Tehnički priručnik – četvrto izdanje, SOUR Rade Končar i IRO Tehnička knjiga, Zagreb, 1980.
- [9] R., Končar, Tehnički priručnik – peto izdanje, Končar Elektroindustrija d.d., Zagreb, 1991.

SAŽETAK

U ovom završnom radu su obrađeni električni parametri elektroenergetskog voda pomoću kojih se definiraju strujno-naponske prilike na vodu. Svaki od njih je opisan posebno, a ti električni parametri su djelatni otpor, induktivitet, kapacitet i odvod. Opisani su osnovni dijelovi nadzemnih vodova koji se koriste za izgradnju 10 kV mreže, te su dani i ukratko opisani pojedini tipovi stupova. Također su opisani kabeli te njihova podjela, kao i osnovni dijelovi podzemnih kabela. Dani su pojedini tipovi podzemnih kabela koji se najčešće koriste za izgradnju 10 kV mreže. Potom je dana usporedba nadzemnih vodova i podzemnih kabela te su prikazane nadomjesne sheme za nadzemne vodove i podzemne kabele pomoću kojih je odrađen proračun.

Ključne riječi: električni parametri voda, elektroenergetski vodovi, nadzemni vodovi, podzemni kabeli, nadomjesne sheme

ABSTRACT

In this final thesis electrical parameters of power lines were processed, by means of which the current-voltage conditions of power line are defined. Each of them is described specially, and these electrical parameters are resistance, inductance, capacitance and conductivity. Basic parts of overhead lines used to build a 10 kV network are described and some types of pillars are given and described. Also the cables and their division are described as well as the basic elements of the underground cables. Some types of underground cables are given which are most commonly used for building a 10 kV network. Then a comparison of overhead lines and underground cables is given and substitute schemes of overhead lines and underground cables are shown with which the task was calculated.

Key words: Electrical parameters of power lines, power lines, overhead lines, underground cables, substitute schemes

ŽIVOTOPIS

Marinko Mikić rođen je 10. 12. 1995. u Slavonskom Brodu. Živi u mjestu Donja Mahala nedaleko od Orašja. 2010. godine završava osnovnu školu „Osnovna škola Orašje“ sa odličnim uspjehom te se, nakon završene osnovne škole, upisuje u srednju školu „Srednja škola fra Martina Nedića Orašje“. 2014. godine završava srednju školu smjera opća gimnazija sa odličnim uspjehom.

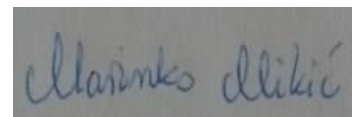
2014. godine upisuje prvu godinu preddiplomskog studija elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku te nakon završene prve godine odabire smjer elektroenergetika. Planira nastaviti svoje školovanje i upisati se na diplomski studij na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku.

Služi se engleskim jezikom, računalom i informatički je pismen.

U Osijeku, kolovoz 2017.

Marinko Mikić

Potpis:



PRILOZI

U prilogima P.5.1. i P.5.2. navedena su strujna opterećenja za 10 kV kabele s izolacijom od impregniranog papira i XLPE izolacijom, dok su u prilogima P.5.3. i P.5.4. zadani električni podaci 10 kV kabela s izolacijom od impregniranog papira i XLPE izolacijom. U prilogu P.5.5. navedeni su podaci za tipične konstrukcije alučel užadi s osnovnim mehaničkim i električnim karakteristikama.

Prilog P.5.1. Strujna opterećenja 10 kV podzemnih kabela s izolacijom od impregniranog papira [8]

Presjek vodiča mm ²	Trožilni kabel s zajedničkim olovnim plaštem	Tri jednožilna nearmirana kabela položeni u ravnini	Tri jednožilna nearmirana kabela položeni u trokut	Trožilni kabel s zajedničkim olovnim plaštem	Tri jednožilna nearmirana kabela položeni u ravnini	Tri jednožilna nearmirana kabela položeni u trokut
	Bakreni vodiči (A)			Aluminijski vodič (A)		
10	69			52		
16	90	115	105	69	88	80
25	120	150	135	89	115	105
35	145	180	165	110	135	125
50	170	215	200	130	165	150
70	215	265	245	165	205	190
95	255	315	290	195	240	225
120	290	355	330	225	275	255
150	325	400	375	255	310	290
185	365	450	420	285	350	325
240	420	510	480	325	400	375
300	470	560	540	370	450	420
400	540	640	620	430	510	490
500		700	690		570	550




Prilog P.5.2. Strujna opterećenja 10 kV kabela s XLPE izolacijom [4]

Mjesto polaganja	Zemlja						Zrak					
Vrsta vodiča	Bakar			Aluminij			Bakar			Aluminij		
Način polaganja												
Presjek vodiča mm ²	Strujno opterećenje (A)											
25	180	165	150	140	130	115	175	160	135	130	125	110
35	215	200	180	165	155	140	210	190	165	170	150	130
50	250	235	215	195	180	165	255	230	200	205	180	155
70	310	290	265	240	225	205	320	285	250	255	220	195
95	370	345	315	290	270	245	385	345	305	305	270	240
120	420	395	360	325	305	280	440	400	350	350	310	275
150	460	440	400	360	340	315	500	455	400	390	355	315
185	530	500	455	410	385	355	580	525	460	450	410	360
240	610	580	525	480	455	415	680	625	550	530	490	425
300	690	650	600	545	510	470	780	725	630	615	560	480
400	780	750		625	590		890	850		710	665	
500	890	840		700	670		990	940		805	750	

Prilog P.5.3. Električni podaci 10 kV kabela s izolacijom od impregniranog papira [8]

Presjek vodiča mm ²	Induktivni otpor (Ω/km)		Kapacitet (μF/km)		
	Trožilni kabel s zajedničkim olovnim plaštem	Trožilni kabel s pojedinačnim olovnim plaštem	Trožilni kabel s zajedničkim olovnim plaštem		Trožilni kabel s pojedinačnim olovnim plaštem
			C_{10}	C_p	$C_{10} = C_p$
10	0,142	0,152	0,12	0,17	0,205
16	0,132	0,142	0,13	0,20	0,24
25	0,122	0,134	0,16	0,26	0,275
35	0,112	0,129	0,17	0,29	0,315
50	0,106	0,121	0,20	0,35	0,375
70	0,101	0,115	0,22	0,38	0,43
95	0,098	0,111	0,25	0,43	0,48
120	0,095	0,107	0,26	0,46	0,53
150	0,092	0,104	0,31	0,54	0,59
185	0,090	0,101	0,32	0,56	0,635
240	0,089	0,099	0,37	0,67	0,715
300	0,086	0,096	0,39	0,69	0,79

Prilog P.5.4. Električni podaci 10 kV kabela s XLPE izolacijom [4]

Presjek vodiča mm ²	Istosmjerni otpor na 20°C (Ω/km)		Pogonski kapacitet (μF/km) 6/10 kV	Pogonski induktivitet (mH/km)		
	Bakar	Aluminij				
25	0,727	1,20	0,208	0,65	0,46	0,44
35	0,524	0,868	0,236	0,63	0,45	0,42
50	0,387	0,641	0,246	0,61	0,43	0,40
70	0,268	0,443	0,284	0,59	0,41	0,38
95	0,193	0,320	0,365	0,57	0,39	0,37
120	0,153	0,253	0,342	0,55	0,37	0,36
150	0,124	0,206	0,371	0,54	0,36	0,35
185	0,0991	0,164	0,401	0,53	0,35	0,34
240	0,0754	0,125	0,450	0,52	0,34	0,33
300	0,0601	0,100	0,492	0,51	0,33	0,33
400	0,0470	0,0778	0,551	0,49	0,31	0,32
500	0,0366	0,0605	0,629	0,47	0,30	0,32

Prilog P.5.5. Podaci za tipične konstrukcije alučel užadi [9]

Presjek vodiča mm ²	Konstrukcija (broj i promjer žice)		Promjer užeta (mm)	Računski presjek (mm ²)	Uzdužni otpor pri 20°C (Ω/km)	Dozvoljene trajne struje (A)
	Aluminij	Čelik				
16/2,5	6x1,80	1x1,80	5,4	17,85	1,8793	101
25/4	6x2,25	1x2,25	6,8	27,8	1,2028	135
35/6	6x2,70	1x2,70	8,1	40,0	0,8353	170
50/8	6x3,20	1x3,20	9,6	56,3	0,5946	212
70/12	26x1,85	3x2,16	11,7	80,9	0,4130	269
95/15	26x2,15	7x1,67	13,6	109,7	0,3058	327
95/55	12x3,20	7x3,20	16,0	152,8	0,2992	346
120/20	26x2,44	7x1,90	15,5	141,4	0,2374	385
120/70	12x3,60	7x3,60	18,0	193,3	0,2364	404
150/25	26x2,70	7x2,10	17,5	173,1	0,1939	442
240/40	26x3,45	7x2,68	21,9	282,5	0,1188	605
360/57	26x4,20	19x1,96	26,6	417,5	0,08014	780
490/65	54x3,40	7x3,40	30,6	553,9	0,05896	951
490/110	30x4,55	19x2,73	31,9	599,0	0,05924	961
1045/45	72x4,30	7x2,87	43,0	1090,9	0,02772	1544