

# Sabirnički sustavi u elektroenergetskim postrojenjima

---

**Lovas, Antun**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2018**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:626958>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-19**

*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Sveučilišni preddiplomski studij**

**SABIRNIČKI SUSTAVI U ELEKTROENERGETSKIM  
POSTROJENJIMA**

**Završni rad**

**Antun Lovas**

**Osijek, 2018.godina**

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

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

Osijek, 19.09.2018.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Prijedlog ocjene završnog rada**

<b>Ime i prezime studenta:</b>	Antun Lovas
<b>Studij, smjer:</b>	Prediplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
<b>Mat. br. studenta, godina upisa:</b>	3602, 19.09.2017.
<b>OIB studenta:</b>	76748614332
<b>Mentor:</b>	Doc.dr.sc. Goran Knežević
<b>Sumentor:</b>	
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Naslov završnog rada:</b>	Sabirnički sustavi u elektroenergetskim postrojenjima
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Predložena ocjena završnog rada:</b>	Izvrstan (5)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
<b>Datum prijedloga ocjene mentora:</b>	19.09.2018.
<b>Datum potvrde ocjene Odbora:</b>	26.09.2018.
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 ORIGINALNOSTIRADA**

Osijek, 26.09.2018.

**Ime i prezime studenta:**

Antun Lovas

**Studij:**

Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

3602, 19.09.2017.

**Ephorus podudaranje [%]:**

3

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Sabirnički sustavi u elektroenergetskim postrojenjima**

izrađen pod vodstvom mentora Doc.dr.sc. Goran Knežević

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.SABIRNICE.....	2
2.1. Polja.....	2
2.2. Izvedbe sabirničkih sustava.....	3
3.SABIRNIČKI SUSTAVI S CIJEVNIM SABIRNICAMA .....	7
3.1. Vodiči.....	7
3.2. Potporni izolatori.....	9
3.3. Spojevi i spojni pribor .....	11
3.4. Nosive čelične konstrukcije .....	12
3.5. Temelji .....	14
4.SABIRNIČKI SUSTAVI S UŽETNIM SABIRNICAMA.....	16
4.1.Užetni vodiči .....	17
4.2. Zatezni izolatori.....	18
4.3. Ovjesni i spojni pribor.....	20
5. PRORAČUN ODABIRA PRESJEKA SABIRNIČKE CIJEVI S OBZIROM NA MAKSIMALNU STRUJU U NORMALNOM POGONU .....	21
5.1. Primjer izračuna dopuštenog strujnog opterećenja sabirnice .....	27
6. KONTROLA PRESJEKA SABIRNIČKIH CIJEVI S OBZIROM NA ZAGRIJAVANJE ZA VRIJEME KRATKOG SPOJA.....	31
6.1. Primjer proračuna kontrole presjeka sabirnice s obzirom na zagrijavanje za vrijeme kratkog spoja .....	36
7. MEHANIČKO OPTEREĆENJE SABIRNIČKIH SUSTAVA S CIJEVNIM SABIRNICAMA U SLUČAJU KRATKOG SPOJA .....	37
7.1. Sile uslijed struja kratkog spoja .....	39
7.2. Sile između paralelnih vodiča .....	40
7.3. Sile između vodiča koji nisu paralelni .....	42
7.3.1. Sile između vodiča spojenih u obliku slova "L" .....	42
7.3.2. Sile između vodiča spojenih u obliku slova "S" .....	42
7.3.3. Sile između vodiča spojenih u obliku slova "U" .....	43
7.4. Primjer proračuna mehaničkog opterećenja cijevne sabirnice u slučaju kratkog spoja .....	44

8.ZAKLJUČAK .....	46
POPIS LITERATURE: .....	47
ŽIVOTOPIS .....	50

## **1.UVOD**

U današnjem svijetu život bez električne energije je nemoguće zamisliti. Elektroenergetski sustav se sastoji od velikog broja dijelova. Kako bi sustav uspješno radio, svi dijelovi toga sustava moraju biti ispravno dimenzionirani ovisno o opterećenjima koja ih očekuju. Sabirnice su jako važan dio elektroenergetskog sustava. Sabirničke sustave može se podijeliti na one sa cijevnim sabirnicama i na one sa užetnim sabirnicama. Svaki sabirnički sustav se sastoji od vodiča, izolatora, spojnog (ovjesnog) pribora, nosive konstrukcije i temelja. U ovom radu prikazan je proračun odabira presjeka prema trajnoj struji u normalnom pogonu koji je jako bitan u projektiranju sabirnica. Uzevši u obzir da je kratki spoj iznimno opasankvar u elektroenergetskom sustavu, ukratko će biti objašnjen kratki spoj kao pojava u elektroenergetskom sustavu, a zatim i kontrola presjeka sabirnice na zagrijavanje za vrijeme kratkog spoja te mehanička opterećenja sabirnica za vrijeme kratkog spoja.

### **1.1.Zadatak završnog rada**

U završnom radu potrebno je dati pregled sabirničkih sustava te usporediti njihove prednosti i nedostatke. Nadalje, potrebno je provesti proračun odabira presjeka prema trajnoj struji. Također, potrebno je prikazati kontrolu presjeka sabirnice na zagrijavanje i mehaničko opterećenje za vrijeme kratkog spoja.

## 2.SABIRNICE

Sabirnice su električna čvorišta i okosnica svakog sklopnog postrojenja. Njihova glavna uloga je povezivanje vodova koji dovode energiju s vodovima koji tu energiju dalje odvede te povezivanje vodova i transformatora koji služe za povezivanje mreža različitih naponskih razina. Sabirnice su najvažnije za normalan pogon sklopnih postrojenja jer su svi vodovi povezani s njima. Sabirnice se najčešće izvode od aluminijskih vodiča ili od neizoliranih bakrenih vodiča te iz legura ta dva materijala. Izvedba sabirnica ovisi o tome jesu li sklopna postrojenja unutarnje ili vanjske izvedbe. Plosnati, okrugli ili U-profilni se koriste za sklopna postrojenja unutarnje izvedbe do 38kV. Užad ili cijevi se koriste za sklopna postrojenja nazivnog napona većeg od 38 kV, neovisno je li riječ o vanjskoj ili unutarnjoj izvedbi sklopnog postrojenja. [1]

### 2.1. Polja

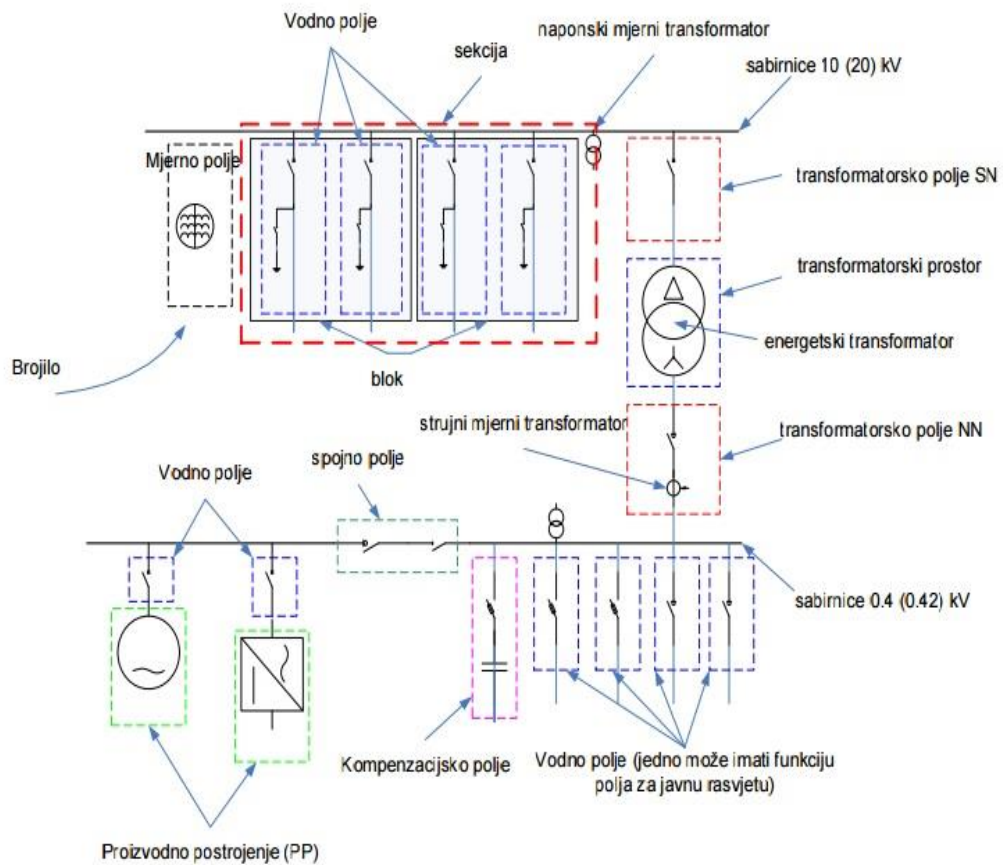
Za priključak uređaja kao što su kondenzatorske baterije, dalekovodi, transformatori, kabeli, prigušnice, itd., koristi se skupina opreme koju nazivamo polje. Ovisno o tipu sabirničkog sustava, polja su priključena na sabirnice preko sabirničkih rastavljača. Čimbenici koji utječu na projektiranje sklopnih postrojenja su oprema polja i raspored aparata u polju, raspored polja s obzirom na sabirnice i broj i položaj sabirnica. Razlikujemo postrojenja koja se nalaze uz elektrane postrojenja u čvorištima mreže. Postrojenja u čvorištima mreže mogu biti za vezu prijenosnih sustava ili za vezu različitih vodnih polja. [1]

Polja razlikujemo po njihovoj funkciji pa tako imamo različite vrste polja:

- vodno polje-koristi se za priključak vodova na postrojenje, sastoji se od jednog ili više sklopnih uređaja koji imaju funkciju zaštite ili razdvajanja strujnog kruga pod opterećenjem ili tijekom kvara, sadrže još i sklopne uređaje za zaštitno uzemljenje
- transformatorsko polje-koristi se za priključak transformatora na postrojenje, sastoji se od sklopnih i zaštitnih uređaja energetskog transformatora, ovisno o razini napona razlikujemo transformatorska polja višeg i nižeg napona
- generatorsko polje- za priključak generatora
- mjerno polje- za priključak naponskih mjernih transformatora, sastoji se od mjernih uređaja(brojila ili registracijski uređaji)
- spojno polje- za povezivanje sabirničkih sustava ili u postrojenjima s više sustavasabirnica, sastoji se od jednog ili više sklopnih uređaja koji imaju funkciju spajanja i razdvajanja dvostrukih sabirnica u beznaponskom stanju, a u posebnim slučajevima moguće su sklopne radnje i pri nazivnom opterećenju
- sekcijsko polje
- dalekovodno polje
- kompenzacijsko polje- sastoji se od sklopnih i zaštitnih uređaja i uređaja za kompenzaciju jalove snage
- polje za uzemljenje zvjezdišta transformatora- sadrži sve dijelove postrojenja koji se i inače nalaze u njemu (rastavljači, mjerni transformatori, otpornici za uzemljenje, prigušnice), primjenjuje se uzemljenje odgovarajućeg namota energetskog transformatora



ili uzemljenje pomoću kućnog transformatora, ako u transformatorskoj stanici imamo više energetskih transformatora, onda se izvodi zajedničko uzemljenje [2]

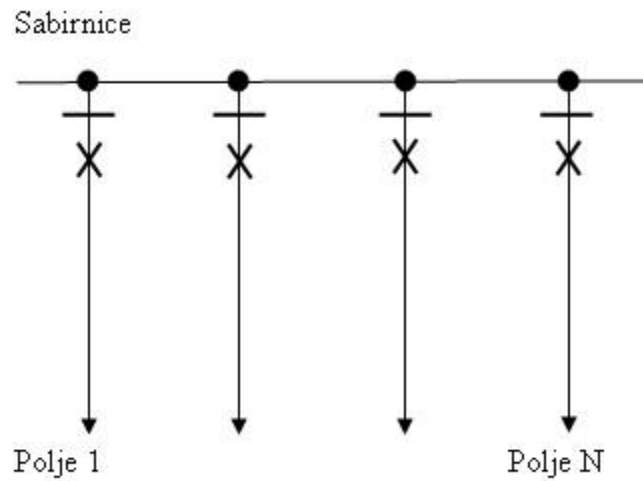


Slika 2.1. Prikaz modela električnog postrojenja [2]

## 2.2. Izvedbe sabirničkih sustava

Sabirnički sustavi su izvedeni na različite načine ovisno o vrsti polja i ulozi polja u postrojenju i mreži. Moderni sabirnički sustavi su izvedeni na više načina, pa tako imamo:

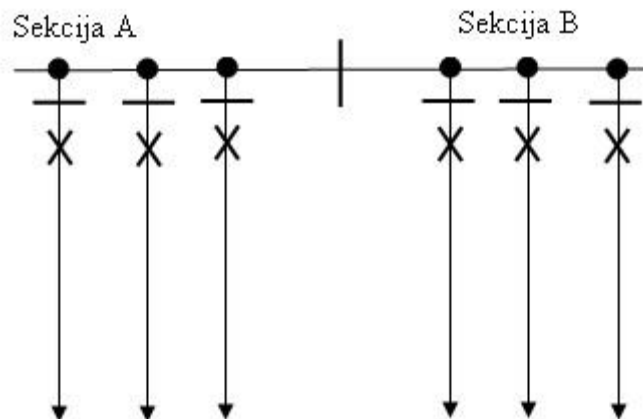
- jednostruke sabirnice



Slika 2.2.Prikaz jednostrukih sabirnica

Jednostruke sabirnice imaju minimalnu pogonsku fleksibilnost, ali su zbog svoje cijene i jednostavnosti prihvatljive u postrojenjima u kojima nisu priključena trošila kojima bi prekid napajanja prouzrokovao štetu ili nesreću. Kvarovi u ovakvim postrojenjima su rijetki.

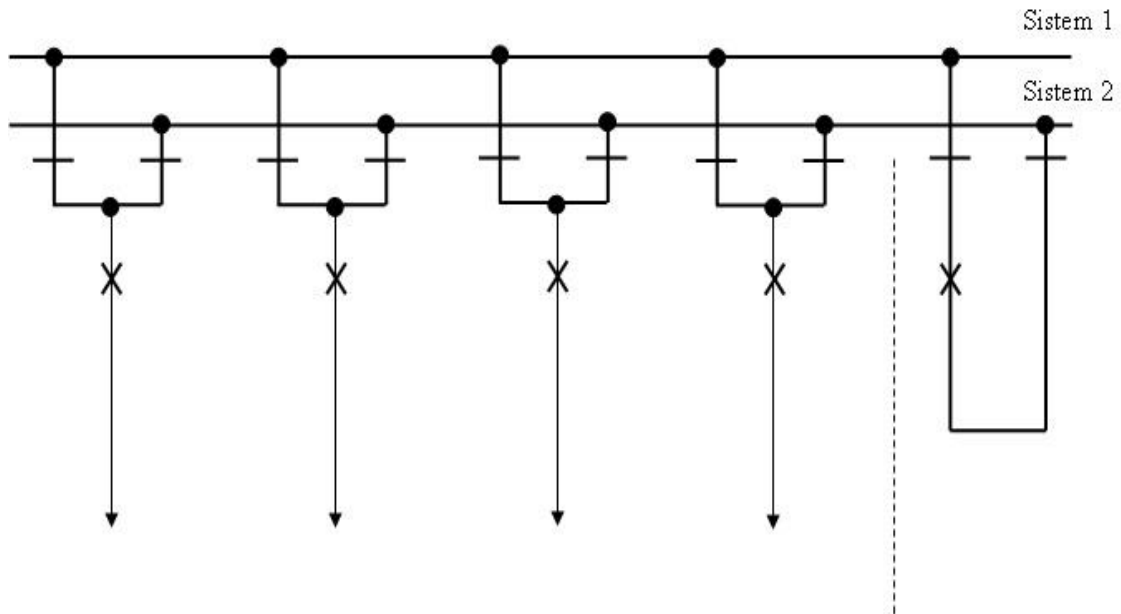
- jednostruke sekcionirane sabirnice



Slika 2.3.Prikaz jednostrukih sekcioniranih sabirnica

Ovakav tip sabirnica omogućuje veću elastičnost u pogonu u odnosu na jednostruke sabirnice jer postoje dva rastavljača u sekciji. Ti rastavljači omogućuju održavanje ili popravljanje jedne sekcije neovisno o drugoj sekciji.

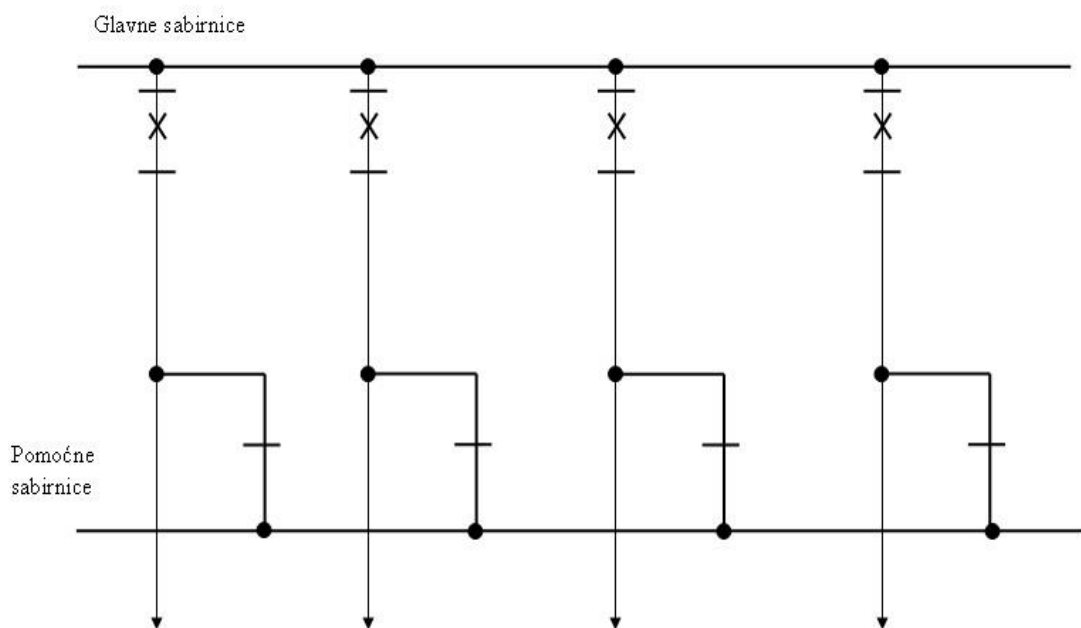
- dvostruke sabirnice



Slika 2.4. Prikaz dvostrukih sabirnica

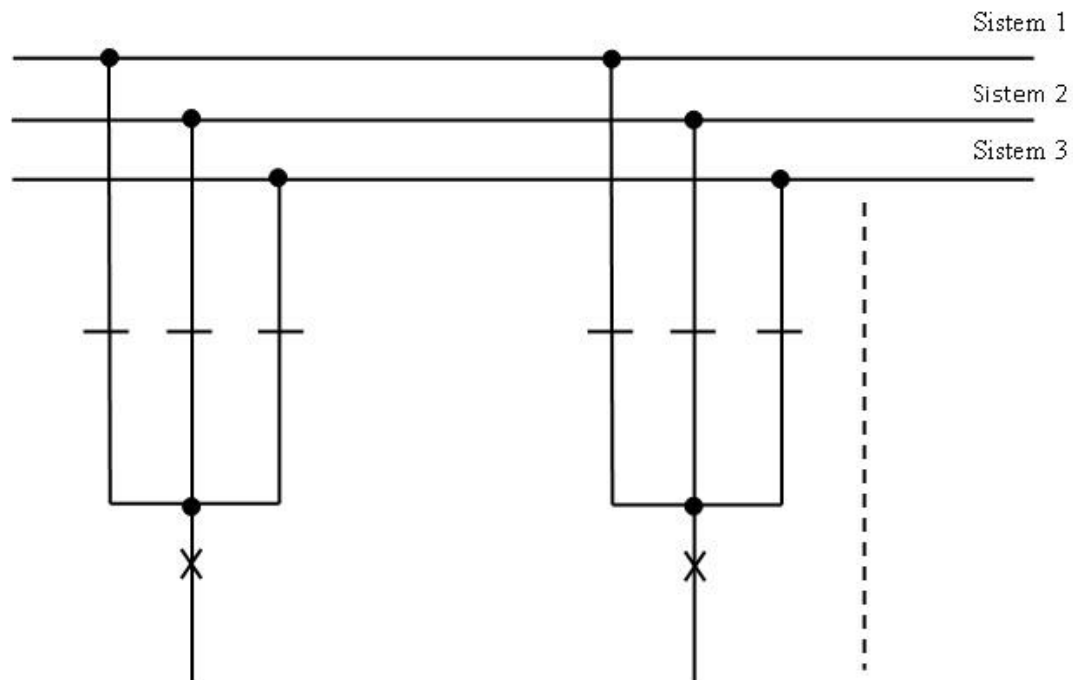
Ugradnjom dvostrukih sabirnica, čija izvedba je puno složenija od jednostrukih sabirnica, povećava se sigurnost i elastičnost u pogonu. Mogu se obavljati radovi na jednom sustavu sabirnica bez prekidanja pogona na drugom sustavu sabirnica.

- sustav glavnih i pomoćnih sabirnica



Slika 2.5. Prikaz sustava glavnih i pomoćnih sabirnica

- sustav trostrukih sabirnica



Slika 2.6. Prikaz trostrukih sabirnica

Osim ovih sustava, u inozemstvu se još koriste i prstenasti sustavi sabirnica te sustavi s  $1\frac{1}{2}$  prekidačem. [1]

### 3.SABIRNIČKI SUSTAVI S CIJEVNIM SABIRNICAMA

Cijevne sabirnice zbog mehaničkih, električkih, ekonomskih i estetskih razloga imaju velike prednosti u odnosu na sabirnice izvedene s užetima. Dijelovi sabirničkih sustava s cijevnim sabirnicama su vodiči, potporni izolatori, spojevi i spojni pribor, nosive čelične konstrukcije i temelji.

#### 3.1. Vodiči

Materijali koji se koriste za cijevne vodiče su aluminijske legure E- $\text{AlMgSi0,5F22}$  i  $\text{AlMgSi0,5F25}$ . Materijali koji se koriste za spojni pribor su aluminij ili aluminijske legure. Uzimajući u obzir bitne karakteristike, legura E- $\text{AlMgSi0,5F22}$  se koristi kada je nazivno trajno opterećenje i kratkospojno strujno opterećenje kritično za određivanje dimenzija sabirnica. Legura  $\text{AlMgSi0,5F25}$  se koristi kada prvi uvjet za određivanje dimenzija sabirnica nije električna vodljivost, već mehanička čvrstoća. [1]

*Tablica 3.1 Svojstva materijala za cijevne sabirnice [1]*

Svojstvo	Jedinica	E- $\text{AlMgSi0,5F22}$	$\text{AlMgSi0,5F25}$
Naprezanje $\sigma_{\text{maks}}$	$\text{N/mm}^2$	215	245
Naprezanje $\sigma_{0,2}$	$\text{N/mm}^2$	160	195
Električna vodljivost	$\text{m}/(\Omega\text{mm}^2)$	30,0	28,0
Električni specifični otpor	$(\Omega\text{mm}^2)/\text{m}$	0,03333	0,03571
Temperaturni koeficijent otpora	1/K	0,0036	0,0036
Modul elastičnosti	$\text{KN/mm}^2$	70	70
Temperaturni koeficijent rastezanja	1/K	$23 \times 10^{-6}$	$23 \times 10^{-6}$
Specifična toplina	$\text{Ws/kgK}$	920	920
Specifična masa	$\text{Kg/m}^3$	2700	2700

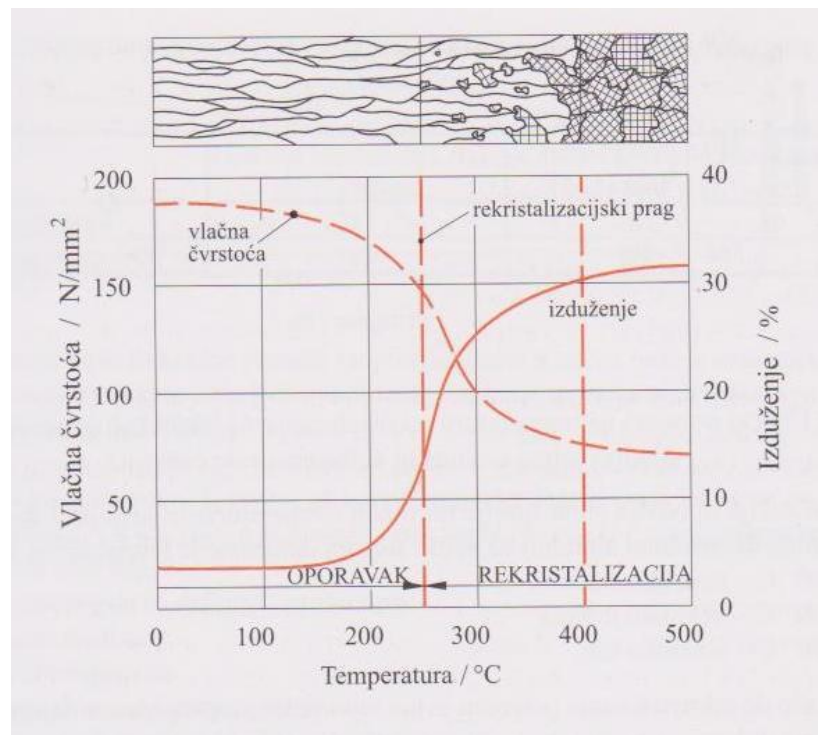
Električna vodljivost aluminija je neznatno manja od električne vodljivosti bakra. Uspoređujući ostale karakteristike (gustoća, otpornost prema atmosferskim utjecajima, postojanost prema agresivnim sredstvima, mehanička i tehnološka svojstva), aluminij se pokazao kao najbolje rješenje za primjenu u sklopnim postrojenjima. Osim navedenih prednosti, aluminij se pasivno ponaša prema izolacijskom ulju, mastima i lakovima, ima jako malu susceptibilnost te je ekonomski isplativiji (cijena mu je niža i stabilnija od cijene bakra). Kako bi legure aluminija koje se koriste za cijevne vodiče imale što bolja svojstva, obavlja se toplinska obrada. Toplinska obrada je postupak koji se sastoji od žarenja i kaljenja. Kaljenje je postupak kojim dobivamo veću čvrstoću i tvrdoću legure. Sam postupak kaljenja se sastoji od postupaka zagrijavanja, gašenja i starenja. Zagrijavanje se vrši u solnim kupkama pri temperaturama ispod linije koja predstavlja liniju skrućivanja. Pri tom postupku se atomi legiranih materijala jednakomjerno

raspodjele u strukturi i nastaju miješani kristali. Nakon toga slijedi postupak gašenja. Gašenje se odvija u vodi. Nakon zagrijavanja, predmeti se brzo hlade u vodi i tako ostaju miješani kristali. Nakon toga slijedi starenje. Starenjem se naziva vremenski interval od gašenja do stvrdnjavanja. Zbog niske temperature prvi stvrdnjavanju, atomi elemenata imaju malu pokretljivost zbog čega većina ostane zarobljena u miješanim kristalima. Zbog toga se leguri povećava tvrdoća i čvrstoća. Kao rezultat procesa kaljenja dobivamo legure koje su tvrde i čija je čvrstoća na vlak povećana. Žarenje je postupak koji se može provesti na nekoliko načina. Ti načini su:

- normaliziranje - obavlja se nakon obrade u toplom stanju, provodi se tako da se materijal zagrije na temperaturu kaljenja i nakon toga se polako hladi
- rekristalizacijsko žarenje - provodi se nakon hladne obrade
- žarenje u svrhu homogeniziranja - provodi se u kokilama i pješčanim kalupima nakon lijevanja, nakon postupka materijal postaje čvršći i plastičniji

Aluminij i njegove legure se može obrađivati i u hladnom i u toplom stanju. Hladnom obradom se smatra obrada koja se provodi pri temperatura nižim od rekristalizacijske temperature, a toplom ona obrada koja se provodi na temperaturi višoj od temperature rekristalizacije materijala. Najvažniji postupci pri obradi aluminijskih legura su:

- oporavno žarenje - povećava se sposobnost deformacije, djelomično se smanjuju svojstva čvrstoće
- meko žarenje - nakon ovoga postupka materijal ima najveće izduženje i najnižu čvrstoću
- homogenizacijsko žarenje - odstranjuju se grube intermetalne faze
- toplinsko očvršćivanje - skupni naziv za procese rastvornog žarenja, gašenja i dozrijevanja pri čemu materijal dobiva visoku vrijednost čvrstoće



Slika 3.1. Promjene strukture i mehaničkih svojstava aluminija pri različitim temperaturama [1]

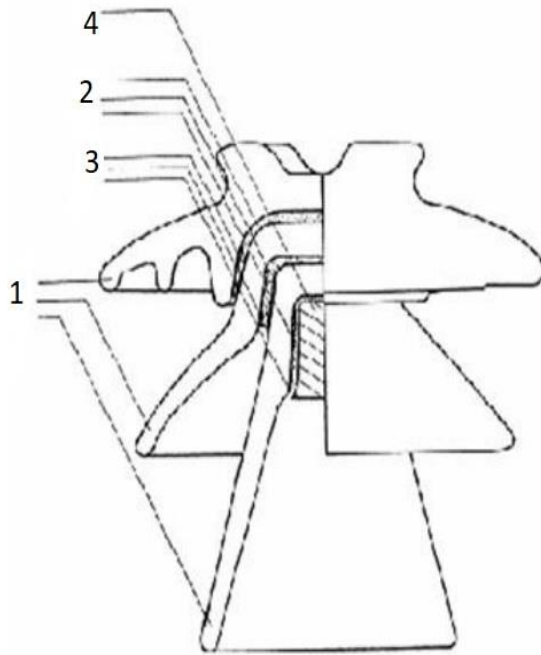
### 3.2. Potporni izolatori

Izolator je uređaj koji se sastoji od metalnih elektroda, unutarnjih dijelova te od dielektrika. Dielektrici koji se koriste u izradi potpornih izolatora su porculan (mješavina glinenca, kvarca i kaolina), staklo i organski polimerni materijal. Zbog dugogodišnje upotrebe porculanskih i staklenih izolatora oni se još nazivaju i konvencionalni izolatori. Osim što se koriste kao konstrukcijski elementi u pojedinima aparatima svih razreda napona, glavna uloga im je da služe kao nosači sabirnica. [1]



Slika 3.2. Potporni izolator na 400 kV-noj sabirnici [4]

Zadaća im je izoliranje golih vodiča od uzemljenih dijelova i preuzimanje sila koje djeluju na sabirnice. Na slici 3.3. prikazani su glavni dijelovi potpornog izolatora. Brojem 1 je označena izolatorska masa. Brojem 2 je označen sloj pijeska. Brojem 3 je označen sloj cementne mase. Sloj pijeska i cementne mase povezuju slojeve izolacije ili izolaciju i metalne dijelove. Brojem 4 je označeno mjesto montaže . [5]



Slika 3.3. Dijelovi potpornog izolatora [5]

S obzirom na mjesto ugradnje, potporni se izolatori dijele na one za unutarnju i za vanjsku montažu. Uzimajući u obzir izvedbu i mehaničku čvrstoću razlikujemo porculanske i kompozitne polimerne izolatore koji se koriste za visokonaponska postrojenja te porculanske i izolatore od umjetnih smola koji se koriste u srednjenaponskim i niskonaponskim postrojenjima. Uzimajući u obzir teške radne uvjete u kojima se nalaze potporni izolatori na otvorenom prostoru, moraju zadovoljavati nizzahtjeva. S obzirom na te zahtjeve, današnji izolatori u postrojenjima na otvorenom prostoru se izrađuju od ovih materijala [10]:

- porculan
- staklo
- silikonska smola
- cikloalifatskaepoksidna smola (araldit)



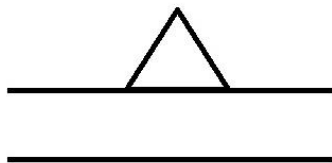


Slika 3.4. Potporni izolatori izrađeni od araldita [14]

### 3.3. Spojevi i spojni pribor

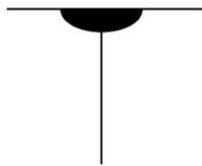
Spojevi i spojna oprema se koriste za spajanje potpornih izolatora i sabirničkih cijevi. Zadatak spojnog pribora je spajanje elemenata cijev-izolator i cijev-cijev, ograničavanje stupnjeva slobode i utjecanje na raspored unutarnjih sila u štapovima. Ovisno o načinu spajanja potpornih izolatora i cijevnih vodiča sabirnica, razlikujemo slijedeće spojeve [1]:

- klizna (pomična veza)- veza između izolatora i cijevi nije fiksna, na izolator djeluje samo vertikalna komponenta opterećenja



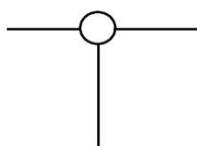
Slika 3.5. Simbol klizne (pomične) veze

- čvrsta nepomična veza- položaj cijevi je fiksna u odnosu na izolator, sve komponente opterećenja se prenose sa cijevi na izolator



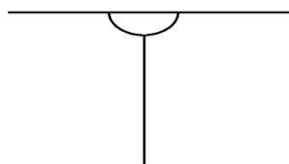
Slika 3.6. Simbol čvrste nepomične veze

- zglobna nepomična veza- cijev se ne pomiče u odnosu na izolator, nemoguć je prijenos momenta, djeluju sve komponente opterećenja na izolator i cijev



Slika 3.7. Simbol zglobne nepomične veze

- poluzglobna nepomična veza- cijev se ne pomiče u odnosu na izolator, na izolator djeluju i vertikalna i horizontalna komponenta opterećenja

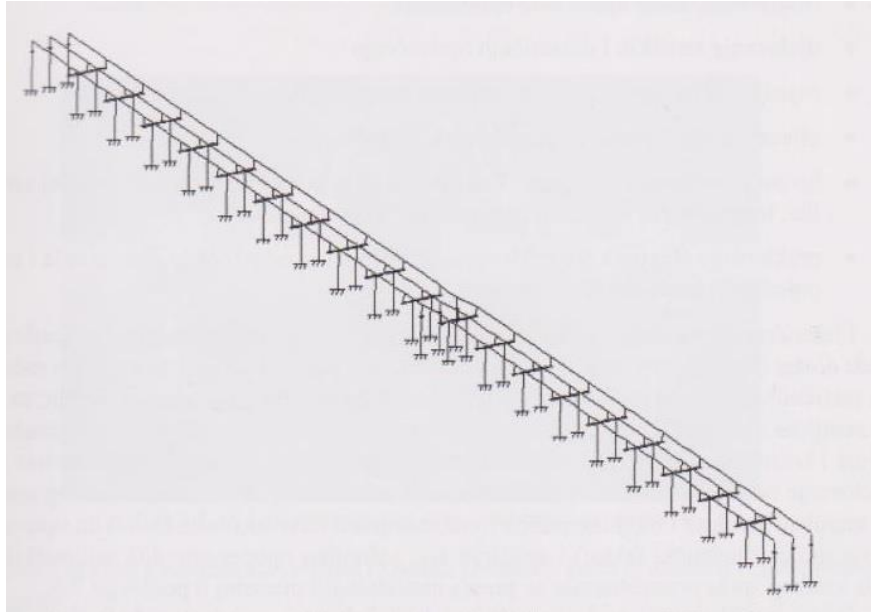


Slika 3.8. Simbol poluzglobne nepomične veze

Spoj između cijevi i potpornih izolatora se ostvaruje pomoću spojnice. Za svaki imamo određenu spojnicu.

### 3.4. Nosive čelične konstrukcije

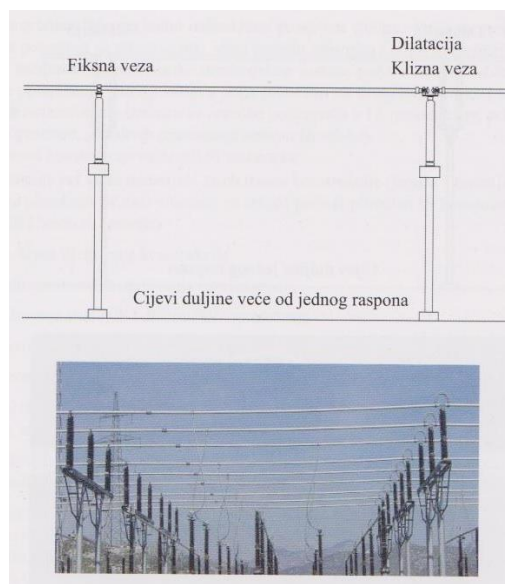
Nosiva čelična konstrukcija je cjelina koja se sastoji od sabirničkih cijevi, potpornih izolatora, čeličnog postolja i betonskih temelja. Sabirničke cijevi se najčešće izrađuju od aluminija, dok se izolatori izrađuju od porculana ili kompozitnih materijala. S obzirom da su svi dijelovi nosive čelične konstrukcije povezani, nemoguće je pomaknuti jedan od sastavnih dijelova konstrukcije, a da to ne utječe na ostale dijelove.



Slika 3.9. Nosiva konstrukcija 110 kV sabirničkog sustava duljine 180m [1]

Ovisno o nazivnom naponu postrojenja, širina polja je od 8m do 21m. Time je određen i raspon sabirničkih cijevi. Spajanje cijevi i potpornih izolatora se vrši posebnim aluminijskim spojnica. Zbog ograničenja nosivosti potpornih izolatora uvjetovanog vrstom materijala izrade, najčešće se koristi rješenje s dva potporna izolatora. Polja koja se nalaze okomito u odnosu na smjer sabirnica predstavljaju jedinstvenu cjelinu i povezana su sa sabirnicama preko sabirničkih rastavljača. Vrste sabirničkih cijevi s obzirom na kontinuiranost su [1]:

- kontinuirane- položene su duž cijelog sabirničkog sustava preko svih potpornih izolatora, spojnica se postiže prekid cijevi zbog toplinske dilatacije



Slika 3.10. Kontinuirane cijevi sabirničkog sustava [1]

- diskontinuirane- smještaju se između dva potporna izolatora, imaju duljinu jednaku širini jednog polja



Slika 3.11. Diskontinuirane cijevi sabirničkog sustava [6]

### 3.5. Temelji

U današnjim visokonaponskim postrojenjima čelične konzole ili portalna postolja se temelje na krutim betonskim ili armiranobetonskim temeljima. Ovakva vrsta temelja se još naziva i plitki temelji. Pojedinačni udaljeni stupovi koji nisu međusobno povezani se nalaze na pojedinačnim temeljima. Ovakva vrsta temelja može biti betonska ili armiranobetonska. Zbog opterećenja koje djeluje na beton, visina betonskog temelja mora biti najmanje 0,2m. Širina temeljne stope je određena nejednadžbom [1]:

$$1 < \frac{H}{B} < 2 \quad (3-1)$$

gdje je:

$H$  – visina temelja [m]

$B$  – širina temelja [m].

Namjena temelja stupova nosivih konstrukcija cijevnih sabirnica je da prenose vanjska opterećenja koja djeluju na konstrukciju stupa u tlu. Najčešća izvedba pojedinačnih temelja je blok-temelj ili temelj sa proširenom osnovom. Blok-temelj je jednostavne izvedbe i koristi se na terenima s dobrim geomehaničkim svojstvima, dok se temelj s proširenom osnovom koristi na tlima sa smanjenom nosivošću. Stup se pričvršćuje sidrenim vijcima koji se ugrađuju u temelj prilikom betoniranja. [1]



3.12. Izgradnja temelja u TS Bilice [8]

## 4.SABIRNIČKI SUSTAVI S UŽETNIM SABIRNICAMA

Izbor izvedbe sabirnice ovisi o nazivnom naponu, strujnim opterećenjima u normalnom pogonu i u slučaju kratkog spoja te o uvjetima na mjestu izgradnje. Sabirnički sustavi s užetnim sabirnicama se koriste u postrojenjima gdje su manje nazivne struje sabirnica i gdje su struje kratkog spoja manje u odnosu na sabirničke sustave s cijevnim sabirnicama. Osim toga, izvedba sabirničkih sustava s užetnim sabirnicama je skuplja od izvedbe s cijevnim sabirnicama. U Republici Hrvatskoj su užetne sabirnice korištene u 220 kV-tnim postrojenjima uz elektrane (HE Zakućac, TE Sisak, HEOrlovac) i u starijim 220 kV-tnim postrojenjima (TS Brinje, TS Đakovo, TS Pehlin, TS Bilice). Osnovni dijelovi sabirničkog sustava s užetnim sabirnicama su vodiči, zatezni izolatori, spojni pribor i ovjesni pribor. Tipična upotreba užetnih sabirnica je u postrojenjima visokog i vrlo visokog napona zbog zahtjeva za velikim razmacima između faza i između faza i uzemljenih dijelova. Prednosti sabirničkog sustava s užetnim sabirnicama su [7]:

- potrebna manja nosiva konstrukcija po polju
- bolja preglednost cijelog postrojenja
- lakše održavanje
- veća otpornost na djelovanje potresa (elastični spojevi na metalnu konstrukciju)
- manji broj izolatora i opreme u odnosu na cijevne sabirnice
- oprema jeftinija nego kod cijevnih sabirnica

Nedostaci užetnih sabirnica su:

- zbog većih međufaznih razmaka i razmaka između faza i uzemljenih dijelova samo postrojenje je površinom veće
- potrebna visoka nosiva konstrukcija
- veća količina čeličnih konstrukcija i temelja
- potrebna je veća pažnja pri odabiru razmaka između aparata međusobno i između aparata i sabirnica zbog istežanja priključnica aparata

U tablici 4.1 je dana usporedba cijevnih i užetnih sabirnica u 123 kV-tnom sabirničkom sustavu.

**Tablica 4.1** Usporedba cijevnih i užetnih sabirnica u 123 kV-tnom sabirničkom sustavu[7]

Izvedbe sabirnica Vodno polje	Površina	Površina	Temelji	Temelji	Čelična konstrukcija	Čelična konstrukcija
	m <sup>2</sup>	%	m <sup>3</sup>	%	kg	%
cijevna-1	225	100	23,3	100	6600	100
cijevna-2	282	125	27,02	117	7800	118
užetne	192	86	33,9	145	8400	127
trafopolje						
cijevna-1	193	100	52,3	100	4300	100
cijevna-2	302	156	78,4	150	9600	223
užetne	201	104	81,3	155	8800	205

Oznake koje su korištene u tablici znače:

- cijevna-1: cijevne sabirnice sa rastavljačima u liniji sa sabirnicama
- cijevna-2: cijevne sabirnice sa rastavljačima okomitima na sabirnice
- užetne: normalne užetne sabirnice

#### 4.1. Užetni vodiči

Užetni vodiči se najčešće izrađuju kao aluminijski vodič ili kao čelično uže koje se nalazi u jezgri vodiča, a u plaštu oko te jezgre se nalaze aluminijski vodiči.



Slika 4.1. Alučel vodič [15]

Čelično uže se nalazi u jezgri vodiča jer preuzima na sebe mehaničko opterećenje, dok aluminijski vodiči koji se nalaze u plaštu vodiča preuzimaju strujno opterećenje. U tablicama 4.2 i 4.3 su dane karakteristike materijala za užetne vodiče.

**Tablica 4.2** Karakteristike materijala aluminijskih užetnih vodiča [7]

Svojstvo	Jedinica	Broj žila				
		7	19	37	61	91
maksimalno naprezanje	N/mm <sup>2</sup>	70	70	70	70	70
modul elastičnosti	N/mm <sup>2</sup>	60	57	57	55	55
temperaturni koeficijent istezanja	1/K	$23 \times 10^{-6}$	$23 \times 10^{-6}$	$23 \times 10^{-6}$	$23 \times 10^{-6}$	$23 \times 10^{-6}$
jedinična težina	N/m·mm <sup>2</sup>	0,0275	0,0275	0,0275	0,0275	0,0275

**Tablica 4.3** Karakteristike Al/Č materijala za užetne sabirnice[7]

Svojtvo	Jedinica	Broj žila				
		6/1	26/7	24/7	54/7	54/19
Omjer presjeka		6,0	6,0	7,7	7,7	7,7
Maksimalno naprezanje	N/mm <sup>2</sup>	120	120	110	110	110
Modul elastičnosti	N/mm <sup>2</sup>	81	77	74	70	68
Temperaturni koeficijent istezanja	1/K	$23 \times 10^{-6}$	$23 \times 10^{-6}$	$23 \times 10^{-6}$	$23 \times 10^{-6}$	$23 \times 10^{-6}$
Jedinična težina	N/m $\times$ mm <sup>2</sup>	0,0350	0,0350	0,0336	0,0336	0,0336
Relativna masa Al	%	67,4	67,9	72,7	72,7	72,7

#### 4.2.Zatezni izolatori

Glavna uloga zateznih izolatora je osiguravanje potrebne sigurnosne razdaljine od vodiča do čelične konstrukcije. Osim toga, služe i za osiguravanje potrebne klizne staze <sup>1</sup>te za zatezanje sabirničkih užetnih vodiča. U visokonaponskim postrojenjima u današnje vrijeme se koriste 3 izvedbe izolatora, a to su [4]:

- izolatorski lanci- sastoje se od niza staklenih izolatorskih elemenata koji su povezani zdjelicama i batićima, dodavanjem određenog broja izolatorskih elemenata postiže se veća električna čvrstoća



Slika 4.2. Izolatorski lanci [4]

<sup>1</sup> Klizna staza-poznata i pod nazivom staza puzajućih struja, najmanja udaljenost između metalnih dijelova izolatora po površini vodiča



- štapni izolatori- proizvode se od keramičkog izolacijskog materijala, ne zahtijevaju često održavanje



Slika 4.3. Štapni izolator [4]

- kompozitni polimerni izolatori- sastoje se od staklenim nitima ojačane jezgre i šeširića od silikonske gume, imaju malu težinu, otporniji su na klimatske uvjete od ostalih tipova izolatora, moguća izrada izolatora duljine do 6m duljine



Slika 4.4. Kompozitni polimerni izolatori [11]

### **4.3. Ovjesni i spojni pribor**

Ovjesna oprema sabirničkih sustava s užetnim sabirnicama se sastoji od stezaljke za spoj zateznog izolatora na čeličnu konstrukciju, stezaljke za učvršćivanje vodiča na zatezni izolator, odstojnika u rasponu, dodatnih utega za odstojnike u premosnici te od dodatne armature koja služi za sprečavanje korone. Odstojnik u rasponu služi za osiguravanje razmaka kod vodiča. Dodatni uteg na odstojniku u premosnici sprečava približavanje vodiča uzemljenoj čeličnoj konstrukciji pri udaru bočnog vjetra. Najčešće se izrađuju od olova, željeza ili od betona. Dodatna armatura koja služi za sprečavanje korone se najčešće koristi u postrojenjima čiji je nazivni napon 220 kV-a i više. [7]

## 5. PRORAČUN ODABIRA PRESJEKA SABIRNIČKE CIJEVI S OBZIROM NA MAKSIMALNU STRUJU U NORMALNOM POGONU

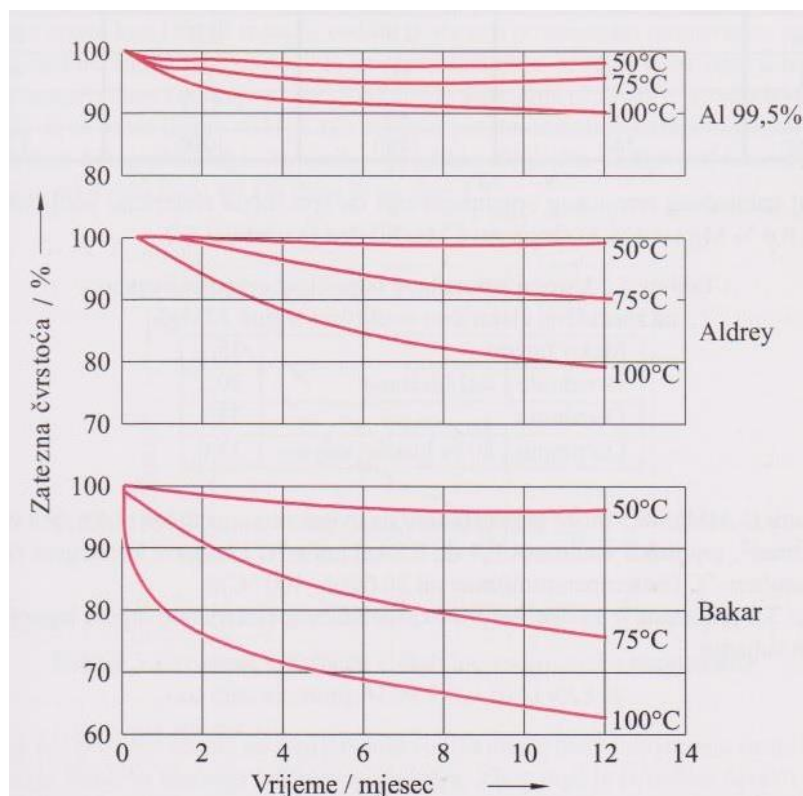
Zbog porasta energetske potrebe povećalo se strujno opterećenje vodiča. Zbog toga je potrebno odrediti trajne dopuštene struje vodiča ovisne o klimatskim uvjetima. Temperatura vodiča, uvjeti okoline i uvjeti pogona utječu na termičko opterećenje golih nadzemnih vodiča. Materijal vodiča i dimenzije vodiča su parametri koji se odnose na kemijska i fizikalna svojstva materijala izrade vodiča. Stanje površine vodiča je promjenjivo stanje i ono uvelike ovisi o atmosferskim uvjetima. Atmosferski utjecaj okoline ovisi o zemljopisnom položaju, dobu dana i dobu godine. Struja koja protječe kroz vodič je još jedan parametar koji utječe na proračunatu temperaturu površine vodiča. Tom strujom se smatra planirana ili nazivna vrijednost struje koja teče kroz vodič. Iako postoje parametri koji su dinamički, u proračunu se oni smatraju stacionarnim. U daljnjem tekstu bit će proveden proračun odabira presjeka sabirničke cijevi s obzirom na maksimalnu struju u normalnom pogonu uzimajući u obzir i utjecaj Sunčevog zračenja na porast temperature vodiča. Sljedeći izraz predstavlja toplinsku bilancu vodiča. [1]

$$P_S + P_{S0} = P_R + P_K \quad (5-1)$$

Gdje je:

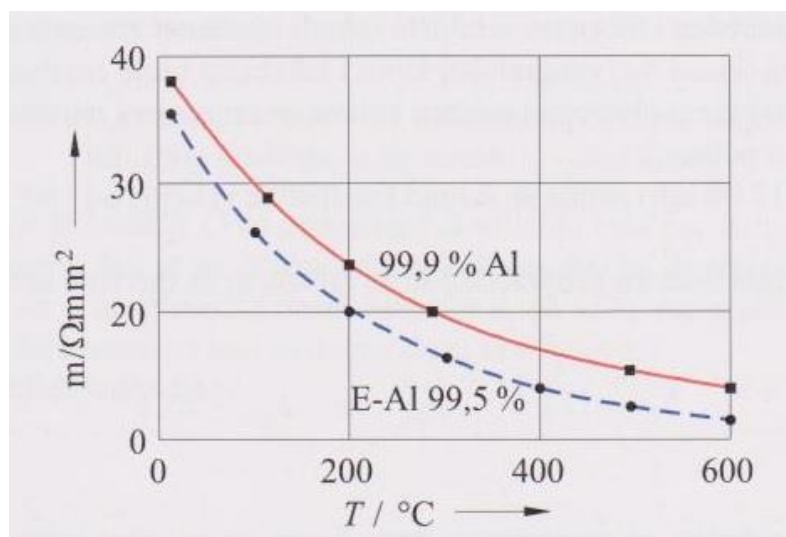
- $P_S$  - zračenje uslijed proticanja struje
- $P_{S0}$  - Sunčevo i difuzno zračenje
- $P_R$  - odvođenje topline radijacijom
- $P_K$  - odvođenje topline konvekcijom

Prve dvije komponente ove jednadžbe predstavljaju stvaranje topline, a druge dvije predstavljaju odvođenje topline. Maksimalnom trajnom temperaturom vodiča za leguru E-AlMgSi0,5 se smatra temperatura od 80°C. Čvrstoća vodiča je jedno od svojstava koje se mijenja ovisno o temperaturi i vremenu izlaganja određenoj temperaturi. Na slici 5.1 je prikazana promjena zatezne čvrstoće određenih materijala pri promjeni temperature.



Slika 5.1. Postotne vrijednosti zatezne čvrstoće u funkciji vremena za različite maksimalne pogonske temperature (50°C, 75°C i 100°C) za 99,5% aluminij, aldrey<sup>2</sup> i bakar [1]

Osim promjene zatezne čvrstoće, promjenom temperature se mijenja i specifična električna vodljivost.



Slika 5.2. Ovisnost specifične električne vodljivosti o temperaturi za čisti aluminij Al 99,9% i E-Al 99,5% [1]

<sup>2</sup>Aldrey – aluminijska legura s dodatkom 0,5% magnezija i 0,5% silicija

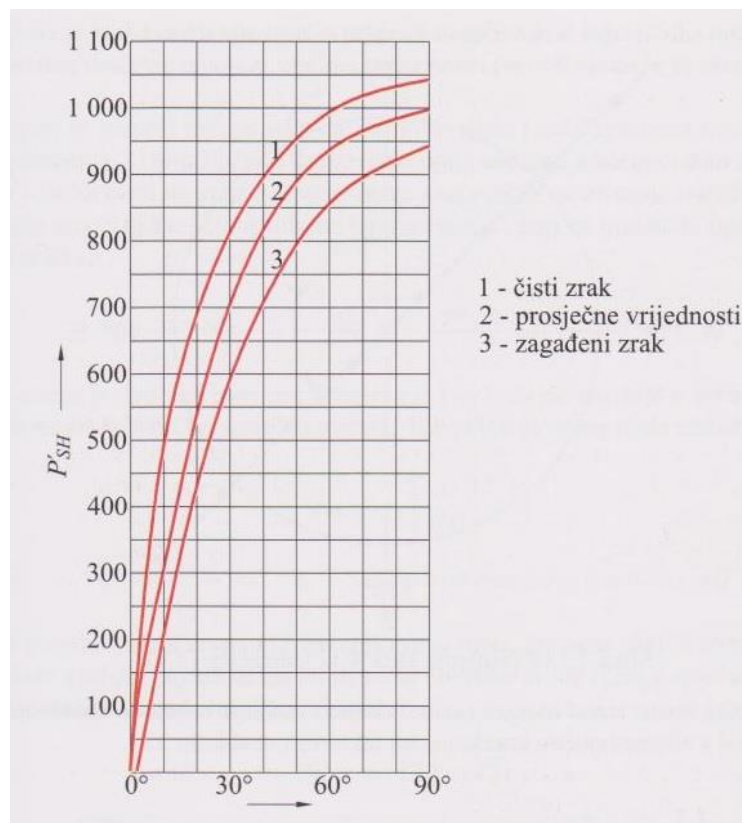
Još jedna od komponenti koja utječe na zagrijavanje vodiča je Sunčevo zračenje. Solarna konstanta  $S_0$  predstavlja intenzitet Sunčevog zračenja na gornjoj granici atmosfere te ona iznosi  $1,33 \text{ kW/m}^2$  (solarna konstanta toliko iznosu u slučaju da Sunčeve zrake padaju okomito). Još jedna od bitnih stvari je položaj Sunca, odnosno duljina puta zračenja. Ovisno o godišnjem dobu i dobu dana, dobivaju se različite vrijednosti zračenja. Uslijed Sunčevog zračenja, vodič se zagrijava prema jednadžbi [1]:

$$P_{S0} \approx \alpha_A \cdot (P'_S \cdot \sin \delta_k + P'_H) [\text{W/m}^2] \quad (5-2)$$

Gdje je:

- $\alpha_A$  - koeficijent apsorpcije
- $\delta_k$  - efektivni kut upada zraka

Na slici 5.3 je prikazan intenzitet zračenja uz različite položaje Sunca.

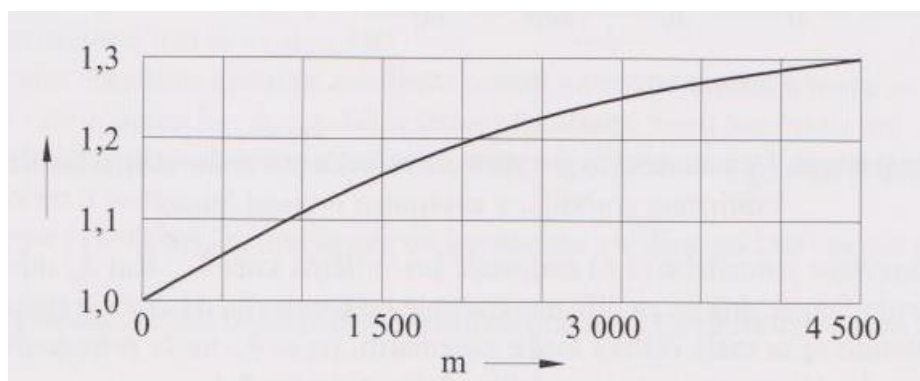


Slika 5.3. Zagrijavanje  $P'_{SH}$  normalne površine uz morskú površinu pod utjecajem Sunčevog i difuznog zračenja, u ovisnosti o visini Sunca [1]

U našem proračunu uzete su vrijednosti koje odgovaraju najvišem stupnju Sunčevog zračenja. Kako bi izraz (5-2) bio do kraja raščlanjen, potrebno je još izračunati efektivni kut upada Sunčevih zraka  $\delta_k$ . Iznos kuta  $\delta_k$  se računa prema izrazu [1]:

$$\delta_k = \arccos[\cos h_s \cdot \cos(180^\circ - \psi)] \quad (5-3)$$

Kako zračenje nije jednako na svim nadmorskim visinama, potrebno je odrediti ukupno zračenje koje se dobije množenjem vrijednosti  $P'_{SH}$  koji je prikazan na slici 5.3. s korekcijskim faktorom koji je prikazan na slici 5.4.



Slika 5.4. Korekcijski faktor koji se koristi za nadmorske visine iznad razine mora [1]

Nakon što su izračunate sve potrebne komponente, krajnja jednadžba za zagrijavanje vodiča po jedinici duljine glasi[1]:

$$P_{S0} \approx D \cdot \alpha_A \cdot P'_{SH} \cdot \sin \delta_k \quad [\text{W/m}] \quad (5-4)$$

U gornjem izrazu oznaka  $D$  [m] predstavlja promjer vodiča. Prenošenje toplinske energije se izvodi vođenjem (kondukcija), strujanjem (konvekcijom) i zračenjem (radijacijom). Kondukcija je prijenos topline pri kojem se tijelo zagrijava izravnim dodirnom s izvorom topline. Strujanje ili konvekcija je prijenos topline u tekućinama i plinovima. Takav prijenos se ostvaruje zbog promjene gustoće zagrijavanjem. Toplinsko zračenje ili radijacija je prijenos topline na način da zagrijano tijelo odašilje elektromagnetsko zračenje, a hladno tijelo upija (apsorbira) to zračenje. [12]

U razmatranju se ne uzima u obzir kondukcija jer se u promatranom slučaju vodič ne dodiruje izravno s izvorom topline. Prema [1], „Isijana snaga na jedinicu površine crnog tijela s apsolutnom temperaturom  $T_1$  na okolinu s temperaturom  $T_2$  iznosi:

$$P_R = C_S \cdot \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad (5-5)$$

Budući da postoji vodič određenih karakteristika te okolni mediji (zrak i zemlja), vodič ne može biti promatran kao crno tijelo. Ako je promatrani vodiš horizontalno postavljen, njegov gornji dio izmjenjuje toplinu sa zrakom, dok donji dio izmjenjuje toplinu sa zrakom i zemljom. Površina vodiča je zanemariva u odnosu na površinu okolnih medija. Iz tih pretpostavki i jednadžbe (5-5) proizlazi izraz snage isijavanja okolnih medija[1]:

$$P'_R = C' \cdot \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (5-6)$$

Gdje su :

- $T_1, T_2$  - apsolutne temperature [K]
- $C'$  - koeficijent koji se računa prema izrazu (5-7) [1]

$$\frac{1}{C'} = \frac{1}{C_1} + \frac{A_1}{A_2} \cdot \left( \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_S} \right) \quad (5-7)$$

Gdje su :

- $A_1, A_2$  – površine
- $C_1, C_2$  – koeficijenti emisije

Koeficijent  $C'$  se računa prema izrazu[1]:

$$C' = \varepsilon_{ri} \cdot 5,67 \text{ [W/m}^2\text{K}^4\text{]} \quad (5-8)$$

Koeficijent  $\varepsilon_{ri}$  je relativno isijavanje cijevnog vodiča prema crnom tijelu. U ovim proračunima razlikuju se dvije temperature, a to su  $T_1$  i  $T_2$ . Temperatura  $T_1$  je temperatura kod koje mehanička svojstva vodiča ostaju nepromijenjena. Temperatura  $T_2$  ovisi o fizikalnim svojstvima okolnog medija. Nadalje, temperaturu za bližu okolinu vodiča je označena s  $T_{21}$ , dok je temperatura koja se odvodi u više dijelove atmosfere označena s  $T_{22}$ . Nadalje, dobiva se izraz koji definira odavanje topline vodiča u okolinu pomoću radijacije po jedinici duljine[1]:

$$P_R \approx \pi \cdot D \cdot C_S \cdot \varepsilon_{ri} \cdot \left\{ 0,75 \cdot \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{21}}{100} \right)^4 \right] + 0,25 \cdot \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{22}}{100} \right)^4 \right] \right\} \text{ [W/m]} \quad (5-9)$$

Još je preostalo pojasniti proračun hlađenja uslijed slobodnog strujanja zraka. Vrijedi jednadžba[1]:

$$N_U = f \cdot (G_R \cdot P_R) \quad (5-10)$$

Koeficijenti  $N_U$ ,  $G_R$  i  $P_R$  su koeficijenti koji nemaju dimenziju. Oni su određeni specifičnim veličinama i dimenzijama[1]:

$$N_U = \frac{Q \cdot D}{\lambda_h \cdot O \cdot \theta} \quad (5-11)$$

$$G_R = \frac{D^3 \cdot \gamma_{az}^2 \cdot \beta_{pk} \cdot e}{\eta_{ks}^2 \cdot g_N} \quad (5-12)$$

$$P_R = \frac{c_p \cdot \eta_{ks} \cdot g_N}{\lambda_h \cdot \sigma} \quad (5-13)$$

Gdje su:

- $\lambda_h$  - koeficijent toplinske vodljivosti
- $c_p$  - specifična toplina
- $\eta_{ks}$  - dinamički koeficijent
- $\beta_{pk}$  - prostorni koeficijent prigušenja atmosferskog zraka
- $\gamma_{az}$  - gustoća atmosferskog zraka

Koristeći karakteristične veličine za zrak, veličina  $P_R$  poprima vrijednost između 0,712 i 0,705 za temperaturni interval 0°C – 100°C. Veličina  $G_R$  ima vrijednosti koje se kreću u rasponu od 1 do  $10^7$ . Koeficijent  $N_U$  se računa ovisno o iznosu varijable  $G_R$ . Za interval  $1 \leq G_R \leq 10^4$  [1]:

$$N_u \approx 0,436 + 0,55 \cdot G_r^{0,217} \quad (5-14)$$

Za interval  $10^4 \leq G_r \leq 10^7$  :

$$N_u \approx 0,55 + 0,55 \cdot G_r^{0,228} \quad (5-15)$$

Nakon izračunavanja  $N_u$ , potrebno je odrediti odvođenje topline horizontalnog vodiča. [1]

$$Q_{kf} = N_u \cdot \frac{\theta \cdot \lambda_h \cdot O}{D} \quad (5-16)$$



$$\theta = T_1 - T_{21} \quad (5-17)$$

Nakon što su određene sve potrebne veličine za proračun, moguće je odrediti hlađenje uslijed slobodnog strujanja zraka po jedinici duljine[1]:

$$P_{kf} = 1,163 \cdot \pi \cdot \lambda_h \cdot \theta \cdot N_u \quad (5-18)$$

Naposljetku, dopušteno strujno opterećenje se računa prema izrazu[1]:

$$I = \sqrt{\frac{P_R + P_{kf} - P_{S0}}{R}} \quad [\text{A}] \quad (5-19)$$

## 5.1. Primjer izračuna dopuštenog strujnog opterećenja sabirnice

Na sljedećem primjeru bit će objašnjen proračun dopuštenih strujnih opterećenja za cijev od legure E-ALMgSi0,5F22 sljedećih karakteristika i pretpostavljenih uvjeta u kojima se nalazi:

-vanjski promjer cijevi  $D=0.03\text{m}$

-unutarnji promjer cijevi  $d=0.024\text{m}$

-presjek cijevi  $A = \frac{D^2 - d^2}{4} \cdot \pi = 0,254469 \cdot 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]}$

-specifični otpor kod  $20^\circ\text{C}$   $\rho_{20} = 0,0333 \text{ [\Omega mm}^2/\text{m]}$

-maksimalna dopuštena temperatura vodiča u normalnom pogonu ( $80^\circ\text{C}$ )

$$T_1 = 80 + 273,15\text{K} = 353,15\text{K}$$

-maksimalna temperatura okoline ( $40^\circ\text{C}$ )

$$T_{21} = 40 + 273,15\text{K} = 313,15\text{K}$$

-temperatura viših slojeva atmosfere ( $-56^\circ\text{C}$ )

$$T_{22} = -56 + 273,15\text{K} = 217,15\text{K}$$

-koeficijent emisije vodiča  $\varepsilon_{ri} = 0,5$

-brzina vjetra  $v=0,5 \text{ m/s}^2$

Dopušteno strujno opterećenje će se računati prema izrazu (5-19).

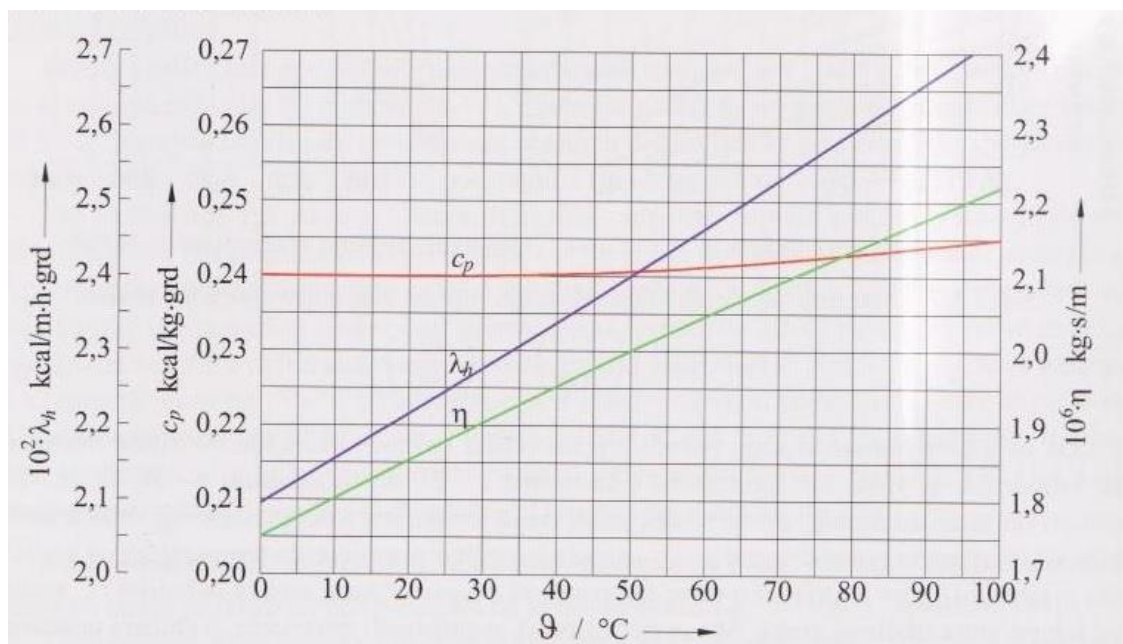
$$P_R = \pi \cdot D \cdot C_S \cdot \varepsilon_{ri} \cdot \left\{ 0,75 \cdot \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{21}}{100} \right)^4 \right] + 0,25 \cdot \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{22}}{100} \right)^4 \right] \right\}$$

$$P_R = \pi \cdot 0,03 \cdot 0,5 \cdot 5,67 \cdot \left\{ 0,75 \cdot \left[ \left( \frac{353,15}{100} \right)^4 - \left( \frac{313,15}{100} \right)^4 \right] + 0,25 \cdot \left[ \left( \frac{353,15}{100} \right)^4 - \left( \frac{217,15}{100} \right)^4 \right] \right\} = 20,791 \text{ W/m}$$

$$\theta = T_1 - T_{21} = 353,15 - 313,15 = 40 \text{ K}$$

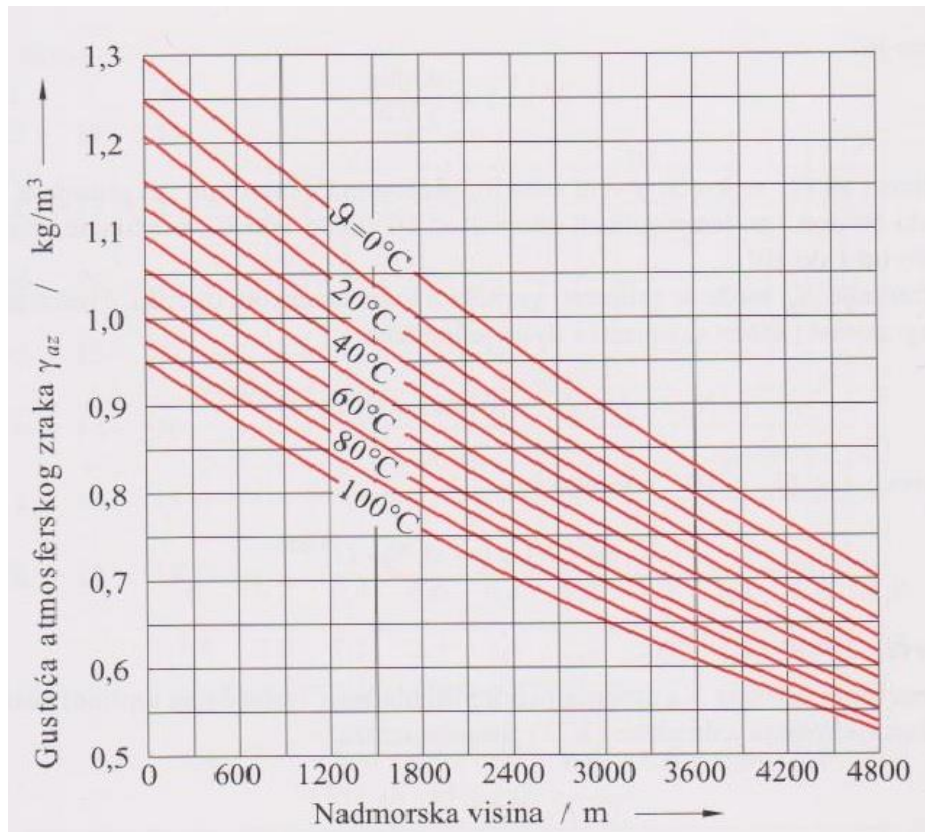
$$\vartheta_{sr} = \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2'}{2} = \frac{80 + 40}{2} = 60 \text{ K}$$

$\lambda_h$  se očitava sa slike 5.5. te iznosi  $2,46 \cdot 10^{-2} \text{ kJ/m} \cdot \text{h} \cdot \text{k}$ .



Slika 5.5. Koeficijent toplinske vodljivosti  $\lambda_h$ , specifična toplina  $c_p$  i dinamički koeficijent  $\eta_{ks}$  za atmosferski zrak u funkciji temperature

$\gamma_{az}$  se očitava sa slike 5.6. za srednju temperaturu  $\vartheta_{sr} = 60 \text{ K}$  i nadmorsku visinu od 100m te iznosi  $1,02 \text{ kg/m}^3$ .



Slika 5.6. Gustoća  $\gamma_{az}$  atmosferskog zraka u funkciji temperature i nadmorske visine

$\eta_{ks}$  se očitava sa slike 5.5. za srednju temperaturu  $\vartheta_{sr}=60K$  te iznosi  $2,04 \cdot 10^{-6} \text{kg/m}^2$ .

$$Re = \frac{v \cdot D \cdot \gamma_{az}}{g_N \cdot \eta_{ks}} = \frac{0,5 \cdot 0,03 \cdot 1,02}{9,81 \cdot 2,04 \cdot 10^{-6}} = 764,52599$$

Prema izrazu (5-14):

$$N_U = 0,32 + 0,43 \cdot 764,52599 = 13,89789$$

$$P_{kf} = 1,163 \cdot \pi \cdot 2,46 \cdot 10^{-2} \cdot 13,89789 \cdot 40 = 49,96588 \text{ W/m}$$

Postrojenje u Osijeku se nalazi na  $46^\circ$  sjeverne geografske širine te vrijedi:

$$h_s = 113,5^\circ - 46^\circ = 77,5^\circ$$

Nakon izračunavanja  $h_s$ , iz slike 5.3. očitavamo  $P'_{SH}=1010 \text{ W/m}^2$ .

$$\delta_k = \arccos \cdot [\cos(h_s) \cdot \cos(180^\circ - \psi)] = 67,5^\circ$$

Prema (5-4) i znajući da je  $\varepsilon_{ri} \approx \alpha_A$ :

$$P_{S0} = 0,03 \cdot 0,5 \cdot 1010 \cdot \sin 67,5^\circ = 13,99677 \text{ W/m}$$

Potrebno je još izračunati otpor vodiča pri temperaturi od  $20^\circ\text{C}$  te pri  $80^\circ\text{C}$ :

$$R'_{20} = \frac{0,0333}{0,254469 \cdot 10^{-3}} = 0,131 \cdot 10^{-3} \Omega/\text{m}$$

$$R'_{80} = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t) \quad (5-20)$$

$$R'_{80} = 0,131 \cdot 10^{-3} \cdot (1 + 0,0036 \cdot 40) = 0,149864 \cdot 10^{-3}$$

Nakon što su izračunate sve potrebne vrijednosti, prema izrazu (5-19) potrebno je još odrediti dopušteno strujno opterećenje:

$$I = \sqrt{\frac{20,791 + 49,96588 - 13,99677}{0,149864 \cdot 10^{-3}}} = 615,42 \text{ A}$$

## 6.KONTROLA PRESJEKA SABIRNIČKIH CIJEVI S OBZIROM NA ZAGRIJAVANJE ZA VRIJEME KRATKOG SPOJA

Svaki kratki spoj se smatra nepovoljnim jer može izazvati oštećenja na sabirnicama. U obzir je uzeta pretpostavka da je trajanje kratkog spoja jako kratko te da se u tom vremenskom intervalu toplina ne odvodi u okolinu. Time se zaključuje da je zagrijavanje proporcionalno toplini koja se stvara u vodiču. [1]

$$m \cdot c_p \cdot \Delta\vartheta_{ks} = I_t^2 \cdot R \cdot t \quad (6-1)$$

Gdje je:

- $m$  - masa vodiča [kg]
- $c_p$  - specifična toplina vodiča [Ws/kg·°C]
- $\Delta\vartheta_{ks}$  - povišenje temperature za vrijeme kratkog spoja [°C]
- $I_t$  - efektivna vrijednost struje za vrijeme trajanja kratkog spoja [kA]
- $t$  - vrijeme trajanja kratkog spoja [s]
- $R$  - djelatni otpor vodiča [ $\Omega$ ]

Nakon toga, upotrijebljeni su poznati izrazi za otpor i masu vodiča[1]:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} \quad [\Omega] \quad (6-2)$$

$$m = A \cdot l \cdot \gamma \quad [\text{kg}] \quad (6-3)$$

Uvrštavanjem izraza (6-2) i (6-3) u (6-1) dobiva se izraz[1]:

$$A^2 = I_t^2 \cdot t \cdot \frac{1}{\frac{\gamma \cdot c_p}{\rho} \cdot \Delta\vartheta_{ks}} \quad (6-4)$$

Kako je potrebno izračunati efektivnu vrijednost struje kratkog spoja, mora se riješiti integral[1]:

$$I_2^t = \frac{1}{t} \int_0^t i_k^2(t) dt \quad (6-5)$$

Prema [1], „Proizvedena toplina u jedinici vremena jednaka je onoj toplini koju vodič na svojoj površini predaje okolini i toplini koju vodič preuzima, pri čemu mu poraste temperatura.“

$$i^2 \cdot R \cdot dt = m \cdot c_p \cdot d\vartheta + A \cdot \alpha_s \cdot \vartheta \cdot dt \quad (6-6)$$

Uzimajući u obzir da se za vrijeme trajanja kratkog spoja toplina ne odvodi u okolinu, vrijedi izraz za promjenu djelatnog otpora[1]:

$$R = \rho_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot \vartheta) \cdot \frac{l}{A} \quad (6-7)$$

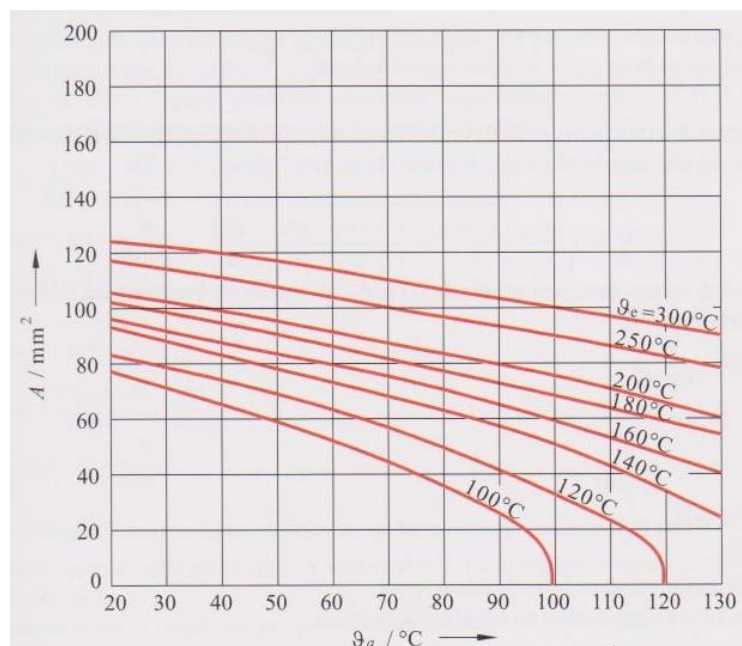
Uvrštavanjem izraza (6-3) i (6-7) u izraz (6-6), dobiva se diferencijalna jednačba čijim se rješavanjem dobiva izraz uz pomoć kojeg su nacrtane krivulje na slici 6.1. , iz kojih se može iščitati dopuštena termička naprežanja. [1]

$$\frac{i^2}{A^2} \cdot dt = \frac{\kappa_{20} \cdot \gamma \cdot c_p}{1 + \alpha \cdot \vartheta} \cdot d\vartheta \quad (6-8)$$

$$\frac{I_t}{A} = \sqrt{\frac{\kappa_{20} \cdot c \cdot \rho}{\alpha_{20} \cdot t} \cdot \ln \frac{1 + \alpha_{20} \cdot (\vartheta_e - 20)}{1 + \alpha_{20} \cdot (\vartheta_a - 20)}} \quad (6-9)$$

Konstante i njihove vrijednosti koje su korištene u prethodnom postupku su:

- $c = 910 \text{ Ws/kg} \times ^\circ\text{C}$
- $\gamma = 2,7 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$
- $\kappa_{20} = 34,8 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$
- $\alpha_{20} = 0,004 \text{ 1}/^\circ\text{C}$
- $t = 1 \text{ s}$
- $\vartheta_a$ - temperatura na početku kratkog spoja
- $\vartheta_e$  - granična temperatura na kraju kratkog spoja

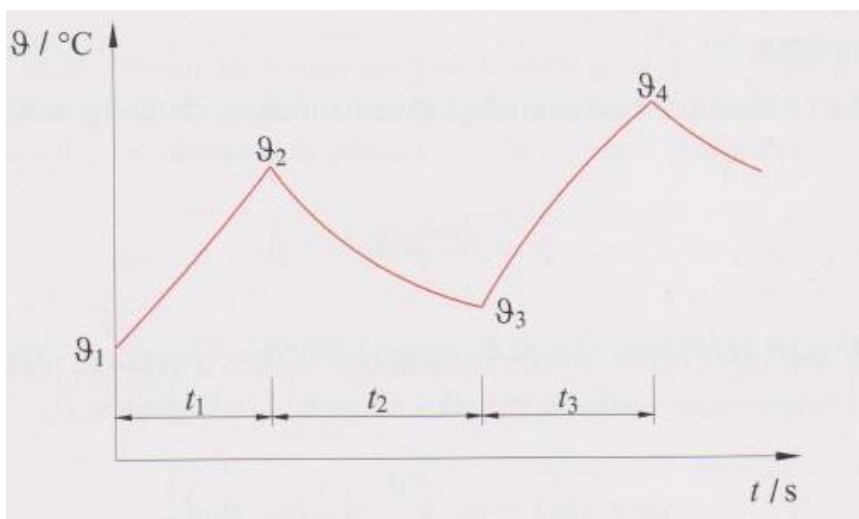


Slika 6.1. Nazivne kratkotrajne gustoće struje u  $A/mm^2$ [1]

Ovaj postupak se temelji na pretpostavci da u promatranim vremenskim intervalima nema hlađenja vodiča. Zbog toga postoji i rezerva koja je sadržana u proračunu dopuštene gustoće struje. U ovom proračunu objašnjen je postupak izračunavanja termičkih napreznja prema propisu DIN 57103/VDE0103 IZ 1988.godine.

Osim već opisane metode, biti će ukratko objašnjena i kontrola termičkih napreznja vodiča s obzirom na zagrijavanje u slučaju automatskog ponovnog uklopa. U slučaju uporabe automatskog ponovnog uklopa, postoje dva vremenska intervala zagrijavanja vodiča:

- kvar je trenutnog karaktera te se vodič za vrijeme  $t_1$  zagrije na temperaturu  $\vartheta_2$
- kvar je trajnog karaktera, u vremenu  $t_1$  vodič se zagrijava do temperature  $\vartheta_2$ , nakon toga se hladi do temperature  $\vartheta_3$  u vremenu beznaponske pauze koja traje  $t_2$ , nakon beznaponske pauze se uslijed djelovanja struje kratkog spoja zagrijava do temperature  $\vartheta_4$  u vremenu  $t_3$



Slika 6.2. Zagrijavanje vodiča uslijed automatskog ponovnog uklopa [1]

U normalnom pogonu maksimalna temperatura  $\vartheta_1$  može iznositi  $85^\circ\text{C}$ . Koristeći izraz (6-1), dobiva se jednažbu[1]:

$$\Delta\vartheta_{ks} = I_t^2 \cdot \frac{\rho}{\gamma \cdot c_p \cdot A^2} \cdot t \quad (6-10)$$

Gdje je:

- $\Delta\vartheta_{ks} = \vartheta_2 - \vartheta_1$
- $\vartheta_1$  - temperatura vodiča u trenutku nastanka kratkog spoja
- $\vartheta_2$  - temperatura koju dostigne vodič za vrijeme  $t_1$

Kako bi se mogla odrediti razlika temperatura  $\vartheta_2$  i  $\vartheta_1$ , potrebno je još odrediti specifični otpor  $\rho$  za svaku od tih temperatura te efektivnu vrijednost struje kratkog spoja  $I_t$ . [1]

$$\rho_1 = \rho_{20} \cdot [1 + \alpha \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_0)] \quad (6-11)$$

$$\rho_2 = \rho_{20} \cdot [1 + \alpha \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_0)] \quad (6-12)$$

Gdje su:

- $\alpha$  - temperaturni koeficijent otpora
- $\rho_{20}$  - specifični otpor na temperaturi  $20^\circ\text{C}$
- $\vartheta_0$  - temperatura  $20^\circ\text{C}$



Srednji specifični otpor se računa kao aritmetička sredina izračunatih  $\rho_1$  i  $\rho_2$ . Nakon što je izračunat srednji specifični otpor, potrebno je izračunati efektivnu vrijednost struje kratkog spoja. [1]

$$I_t^2 = \frac{1}{t} \cdot \int_0^t i_k^2(t) dt \quad (6-13)$$

Gdje je:

- $I_t$  – efektivna vrijednost struje kratkog spoja
- $i_k$  – trenutna vrijednost struje kratkog spoja
- $t$  – vrijeme trajanja struje kratkog spoja

Iz izraza (6-13) moguće je uočiti ovisnost između  $I_t$  i subtranzijentne struje kratkog spoja[1]:

$$I_t^2 = I_d''^2 \cdot \left[ \left(1 - \frac{1}{\sigma_g}\right)^2 \cdot \frac{T_d''}{t} \cdot \frac{1 - e^{-2\sigma_g \frac{t}{T_d''}}}{2\sigma_g} + \left(\frac{1}{\sigma_g}\right)^2 + 2 \cdot \left(1 - \frac{1}{\sigma_g}\right) \cdot \frac{T_d''}{t} \times \frac{1 - e^{-\sigma_g \frac{t}{T_d''}}}{\sigma_g} + \frac{T_a}{t} \cdot \left(1 - e^{-2\frac{t}{T_a}}\right) \right] \quad (6-14)$$

Gdje su:

- $T_d''$  - vremenska konstanta subtranzijentne komponente struje kratkog spoja
- $T_d'$  - vremenska konstanta tranzijentne komponente struje kratkog spoja
- $T_d$  - vremenska konstanta aperiodičke komponente struje kratkog spoja
- $\sigma_g = \frac{x_d}{x_a}$  - omjer ekvivalentne trajne i početne uzdužne reaktancije generatora
- $T_{d0}$  - vremenska konstanta generatora u praznom hodu
- $I_d''$  - subtranzijentna struja kratkog spoja

Uvrštavanjem izraza (6-13) u (6-9) dobiva se izraz (6-14) pomoću kojega se računa temperatura do koje će se zagrijati vodič do trenutka prvog isključenja. [1]

$$\vartheta_2 = \frac{I_t^2 \cdot t \cdot [2 \cdot \rho_{20} \cdot \alpha \cdot \vartheta_1 - 2 \cdot \rho_{20} \cdot \alpha \cdot \vartheta_0] + 2\vartheta_1 \cdot \gamma \cdot c_p \cdot A^2}{2 \cdot \gamma \cdot c_p \cdot A^2 - I_t^2 \cdot t \cdot \rho_{20} \cdot \alpha} \quad (6-15)$$

## 6.1. Primjer proračuna kontrole presjeka sabirnice s obzirom na zagrijavanje za vrijeme kratkog spoja

Koristeći relaciju (6-9) uz zadane parametre biti će izvršena kontrola presjeka sabirnice za vrijeme trajanja kratkog spoja.

Zadani su parametri sabirnice:

- $c = 910 \text{ Ws/kg} \times ^\circ\text{C}$
- $\gamma = 2,7 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$
- $\kappa_{20} = 34,8 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$
- $\alpha_{20} = 0,004 \text{ 1}/^\circ\text{C}$
- $t = 1 \text{ s}$
- $\vartheta_a$ - temperatura na početku kratkog spoja -  $80^\circ\text{C}$
- $\vartheta_e$  - granična temperatura na kraju kratkog spoja -  $180^\circ\text{C}$
- vanjski promjer cijevi  $D = 0,03 \text{ m}$
- unutarnji promjer cijevi  $d = 0,024 \text{ m}$

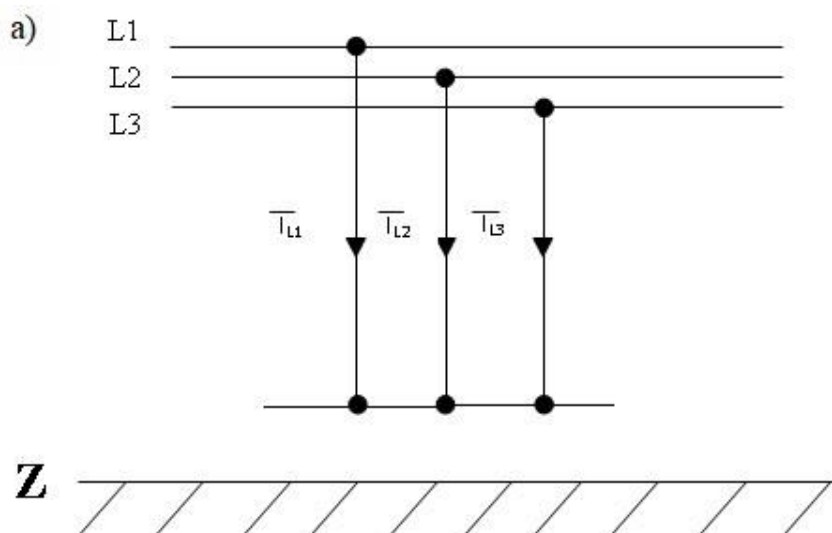
$$A' = \frac{\sqrt{2} \cdot 10 \cdot 10^3}{\sqrt{\frac{34,8 \cdot 910 \cdot 0,03333}{0,004} \cdot \ln \frac{1+0,004 \cdot (180-20)}{1+0,004 \cdot (80-20)}}} = 52,06 \text{ mm}^2$$

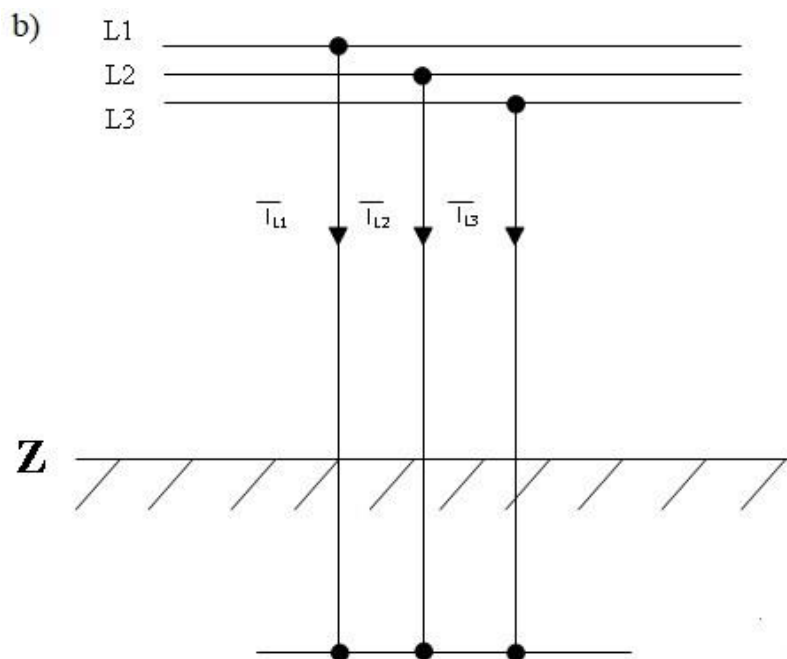
$$A = \frac{D^2 - d^2}{4} \cdot \pi = 254,47 \text{ mm}^2$$

Kako je  $A' \leq A$ , odabrana sabirnica zadovolja zadane uvjete.

## 7. MEHANIČKO OPTEREĆENJE SABIRNIČKIH SUSTAVA S CIJEVNIM SABIRNICAMA U SLUČAJU KRATKOG SPOJA

Električna mreža je skup postrojenja i vodova koji su međusobno povezani te imaju isti nazivni napon i frekvenciju. Mreže se dijele na prijenosne i distribucijske. Prijenosne mreže služe prijenosu električne energije, dok su distribucijske mreže namijenjene raspodjeli električne energije do krajnjih korisnika. Dok su prijenosne mreže nazivnih napona 110 kV, 220 kV i 400 kV, distribucijske mreže su nazivnih napona 10 kV, 20 kV i 35 kV. Kao i u svakom drugom pogonu, i u ovim mrežama dolazi do kvarova. Najčešći kvarovi su trolpolni i jednopolni kratki spojevi. Tropolni kratki spoj se javlja u slučaju spoja sva tri fazna vodiča u mreži. On se može ostvariti preko uzemljivača u zraku ili u zemlji. [1,16]



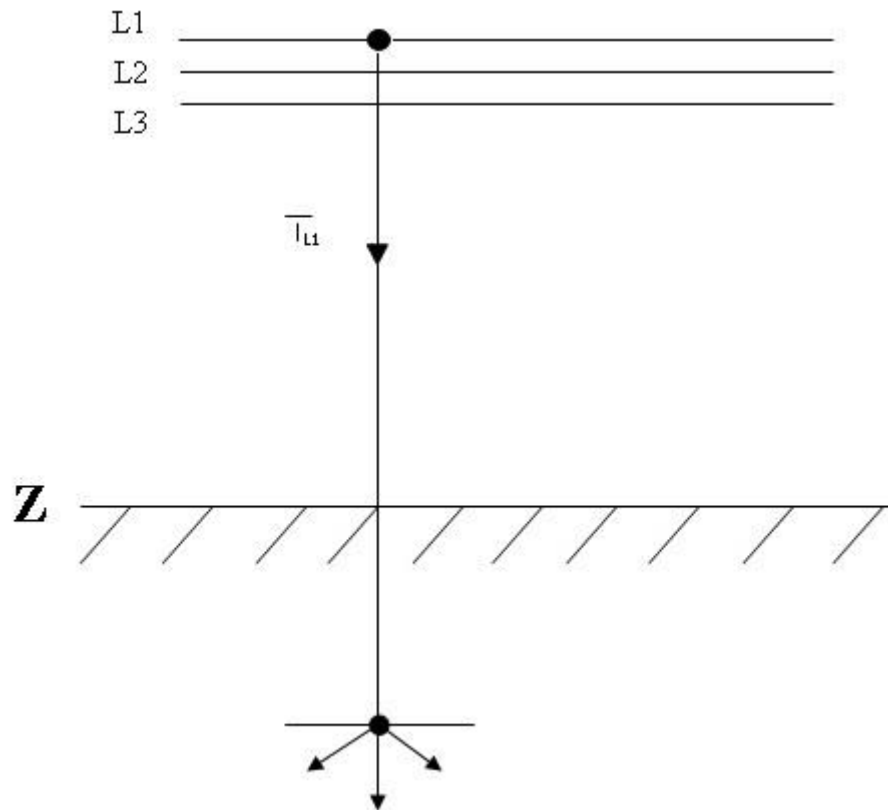


Slika 7.1. Tropolni kratki spoj u: a) zraku, b) zemlji preko uzemljivača

Gdje su:

- $L1, L2, L3$  – oznake faza
- $Z$  – zemlja
- $\bar{I}_{L1}, \bar{I}_{L2}, \bar{I}_{L3}$  – struje faza L1, L2 i L3 za vrijeme trofaznog kratkog spoja

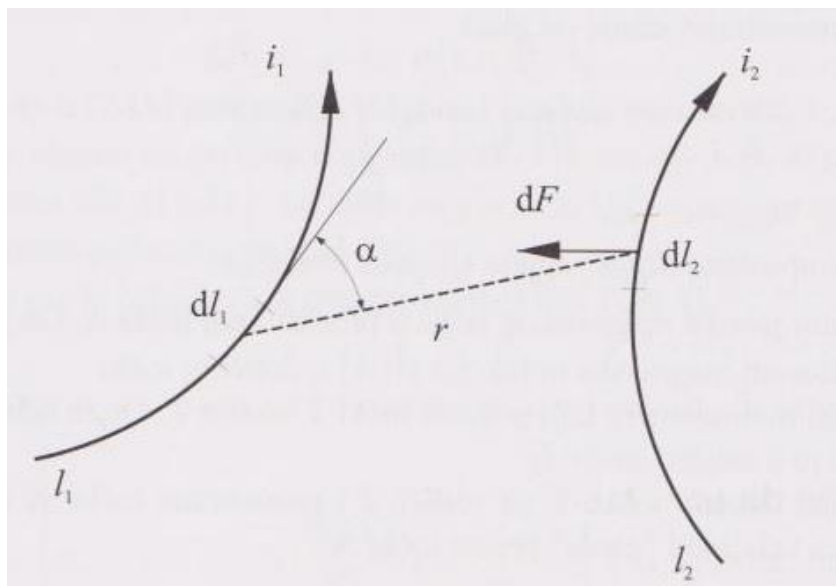
Tropolni kratki spoj je simetričan te je vektorski zbroj struja svih faza jednak nuli. Jednopolni kratki spoj se može pojaviti u prijenosnim mrežama te u distribucijskim mrežama u kojima postoji posredno uzemljenje zvjezdišta pripadnog transformatora. Uzrok jednopolnog kratkog spoja je spoj jedne faze sa zemljom u mreži s izravno ili neizravno uzemljenim zvjezdištima transformatora. Dok je trofazni kratki spoj simetričan kvar, jednopolni kratki spoj je nesimetričan kvar. [16]



Slika 7.2. Pojava jednofaznog kratkog spoja između faze L1 i zemlje

### 7.1. Sile uslijed struja kratkog spoja

Vodič protjecan strujom oko sebe stvara magnetsko polje. Ovisno o smjeru struje u vodičima, između njih se pojavljuje ili privlačna ili odbojna elektromagnetska sila.



Slika 7.3. Elektromagnetska sila među vodičima kojima protječe struja [1]

Gdje su:

- $l_1, l_2$  – dužina vodiča
- $\alpha$  – kut koji je prikazan na slici 7.3.
- $r$  – udaljenost između  $dl_1$  i  $dl_2$

Prema Biot-Savartovu zakonu je definirana elektromagnetska sila na vodič kojim teče struja  $i_1(t)$  u magnetskom polju drugog vodiča kojim teče struja  $i_2(t)$ [1]:

$$d\vec{H}_1 = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{i_1 d\vec{l}_1 \times \vec{r}}{r^3} \quad (7-1)$$

Ampereov zakon[1]:

$$d\vec{F}_{12} = i_2 \cdot d\vec{l}_2 \times B_1 \quad (7-2)$$

Nakon integriranja i uvrštavanja izraza (7-1) u (7-2) dobiva se izraz koji predstavlja ukupnu elektromagnetsku silu koja djeluje na vodič[1]:

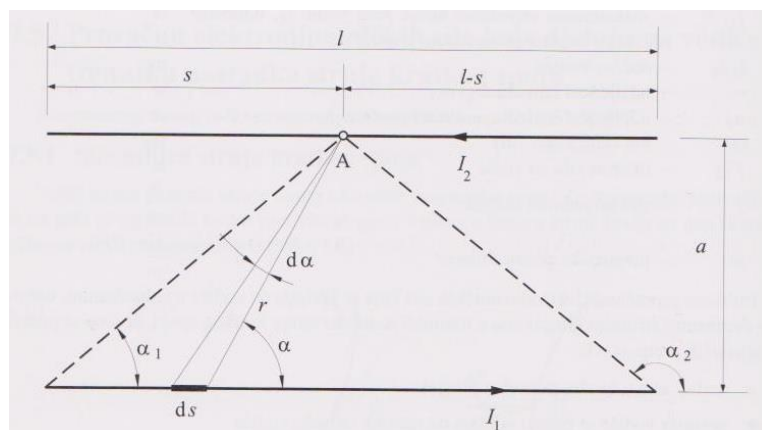
$$F_{12} = \frac{\mu}{4\pi} \cdot i_1 \cdot i_2 \quad (7-3)$$

U izrazima su korištene slijedeće oznake:

- $H_1$  – jakost magnetskog polja zbog protjecanja struje  $I_1$  kroz vodič  $l_1$  [A/m]
- $i$  – trenutna vrijednost struje [A]
- $I_1, I_2$  – maksimalne vrijednosti struja kroz vodiče  $l_1$  i  $l_2$  [A]
- $F_{12}$  – ukupna sila na vodič [N]
- $f$  – sila po jedinici duljine [N/m]
- $\mu$  – magnetska permeabilnost [H/m]

## 7.2. Sile između paralelnih vodiča

Na slici su prikazani vodiči  $I_1$  i  $I_2$  kojima teče struja. Ovisno u smjeru struje, između njih se javlja sila koja može biti ili privlačna ili odbojna.



Slika 7.4. Elektromagnetska sila između paralelnih vodiča [1]

Gdje su:

- $ds$  – element vodiča
- $r$  – udaljenost između  $ds$  i točke kojoj želimo odrediti jakost magnetskog polja
- $\alpha$  – kut između  $ds$  i  $r$
- $a$  – udaljenost između točke A i elementa vodiča  $ds$
- $l$  – duljina vodiča
- $s$  – udaljenost točke A od kraja vodiča

Promjena magnetskog polja je jednaka izrazu[1]:

$$dH = \frac{I}{4\pi} \cdot \frac{ds \sin \alpha}{r^2} \quad (7-4)$$

Udaljenost između elementa vodiča i točke kojoj treba biti definirana jakost magnetskog polja je[1]:

$$r = \frac{a}{\sin \alpha} \quad (7-5)$$

Nakon uvrštavanja izraza (7-5) u izraz (7-4) i integriranja dobivenog izraza dolazi se do vrijednosti koja odgovara jakosti magnetskog polja u točki A ako je položaj točke A definiran u odnosu na kraj vodiča[1]:

$$dH(s) = \frac{1}{4\pi a} \left[ \frac{s}{\sqrt{s^2 + a^2}} + \frac{l - s}{\sqrt{(l - s)^2 + a^2}} \right] \quad (7-6)$$

Nakon što je određena jakost magnetskog polja u točki A, slijedi računanje sile na jedinicu duljine elementa vodiča  $ds_2$  koji se nalazi u magnetskom polju struje  $I_1$ . [1]

$$\frac{dF}{ds_2} = I_2 \cdot B_1 \quad (7-7)$$

Magnetska indukcija koja odgovara jakosti magnetskog polja  $H_1$  od struje  $I_1$  označena je s  $B_1$ . Naposljetku, uzevši u obzir udaljenost točke A od kraja vodiča, dobiva se izraz koji predstavlja silu na vodič konačne duljine u točki A[1]:

$$\frac{dF}{ds_2} = \frac{I_1 \cdot I_2}{a} 10^{-7} \cdot \left[ \frac{l}{\sqrt{(l-s)^2 + a^2}} \right] \text{ [N/m]} \quad (7-8)$$

Integriranjem gornjeg izraza dobiva se izraz koji odgovara ukupnoj sili na vodič duljine  $l$  [1]:

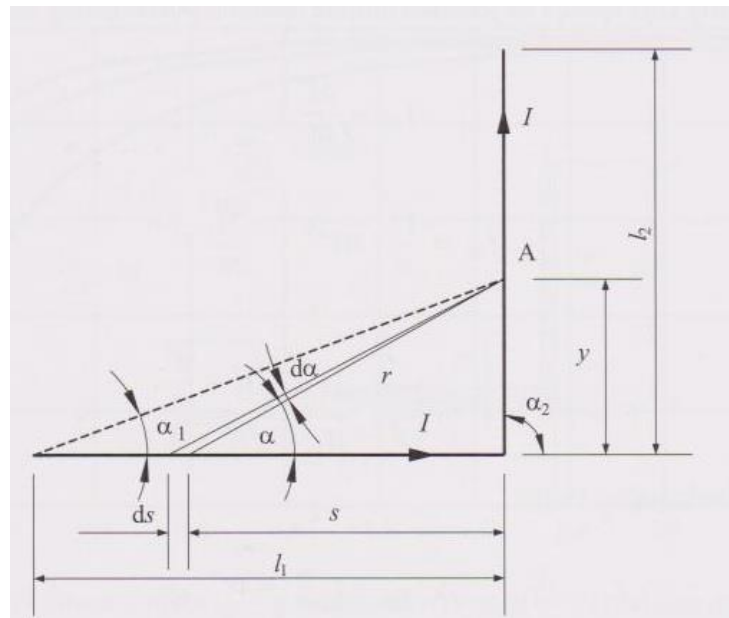
$$F = 2 \frac{I_1 \cdot I_2}{a} 10^{-7} \cdot (\sqrt{l^2 + a^2} - a) \text{ [N]} \quad (7-9)$$

### 7.3. Sile između vodiča koji nisu paralelni

U praksi se najčešće ne određuju naprezanja u spojnim vodičima. Dimenzije spojnih vodiča su određene prema približnim formulama ili prema dimenzijama sabirnica.

#### 7.3.1. Sile između vodiča spojenih u obliku slova "L"

Na slici 7.5. je prikazan vodič savijen u obliku slova "L".



Slika 7.5. Elektromagnetska sila među vodičima međusobno spojenima u obliku slova "L" [1]

Na primjeru sila između paralelnih vodiča objašnjeno je određivanje jakosti polja u točki A. Analognim načinom dolazimo do izraza za jakost polja u točki A[1]:

$$H(A) = \frac{I}{4\pi y} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin \alpha d\alpha \quad (7-10)$$

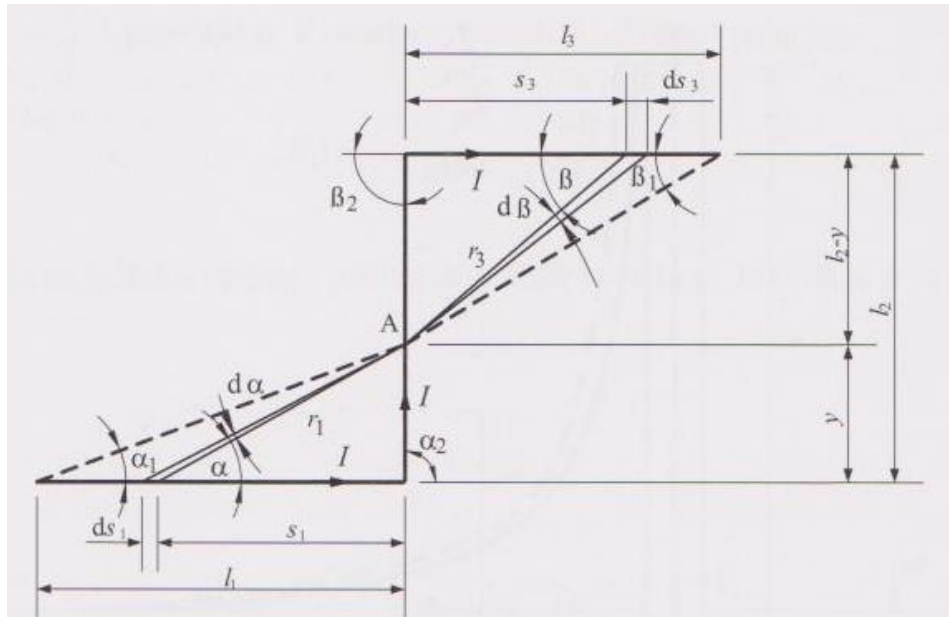
S obzirom da je magnetska permeabilnost  $\mu = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$  [H/m], a kut  $\alpha_2 = \pi/2$ , tada je prema oznakama sa slike 7.5. sila na jedinicu duljine jednaka[1]:

$$f_{ds} = \frac{I^2}{y} \cdot \frac{l_1}{\sqrt{l_1^2 + y^2}} \cdot 10^{-7} \text{ [H/m]} \quad (7-11)$$

#### 7.3.2. Sile između vodiča spojenih u obliku slova "S"

Protjecanjem struja kroz oba horizontalna dijela vodiča nastaju sile koje djeluju na srednji dio vodiča. Rezultanta sila je razlika djelovanja struja kroz oba dijela vodiča jer je njihovo međusobno djelovanje suprotno.





Slika 7.6. Utjecaj sile na srednji dio vodiča savijenog u obliku slova "S" [1]

U ranije objašnjenom postupku te koristeći oznake sa slike 7.6., izraz za određivanje sile po jedinici duljine glasi[1]:

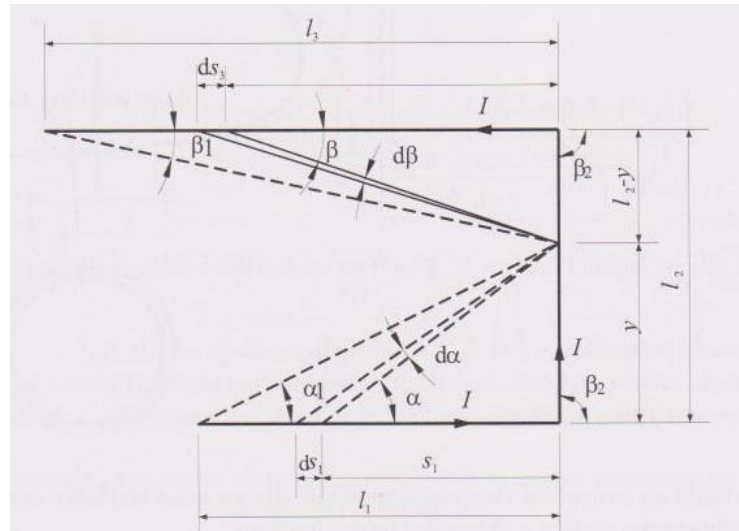
$$f_{ds} = I^2 \cdot 10^{-7} \left[ \frac{l_1}{y \sqrt{l_1^2 + y^2}} - \frac{l_3}{\sqrt{l_3^2 + (l_2 - y)^2}} \right] \text{ [N/m]} \quad (7-12)$$

Ako uzmemo u obzir pretpostavku da su nam duljine vodiča  $l_1 = l_3 = \infty$ , izraz za iznos sile po jedinici duljine glasi[1]:

$$f_{\infty} = I^2 \cdot 10^{-7} \left[ \frac{1}{y} - \frac{1}{l_2 - y} \right] \text{ [N/m]} \quad (7-13)$$

### 7.3.3. Sile između vodiča spojenih u obliku slova "U"

Kod vodiča koji su savijeni u obliku slova "U", uzrok sile koja djeluju na srednji dio vodiča su oba preostala dijela vodiča.



Slika 7.7. Elektromagnetska sila između vodiča u obliku slova "U" [1]

U ovom slučaju sile obaju dijelova djeluju u istom smjeru. Kao i u ranijim primjerima analognim postupkom dobivamo izraz za određivanje iznosa sile po jedinici duljine[1]:

$$f_{ds} = I^2 \cdot 10^{-7} \cdot \left[ \frac{l_1}{y \sqrt{l_1^2 + y^2}} + \frac{l_3}{(l_2 - y) \cdot \sqrt{l_3^2 + (l_2 - y)^2}} \right] \text{ [N/m]} \quad (7-14)$$

Ako pretpostavimo da su duljine vodiča  $l_1 = l_3 = \infty$ , tada je izraz za određivanje sile[1]:

$$f_{\infty} = I^2 \cdot 10^{-7} \cdot \left( \frac{1}{y} + \frac{1}{l_2 - y} \right) \text{ [N/m]} \quad (7-15)$$

#### 7.4. Primjer proračuna mehaničkog opterećenja cijevne sabirnice u slučaju kratkog spoja

Na primjeru će biti prikazan izračun dopuštenog mehaničkog naprezanja cijevnih sabirnica u slučaju kratkog spoja. U srednjenaponskom postrojenju, sabirnički vodiči su postavljeni na izolatore čija je dopuštena sila na vrhu 750 N. Međusobni razmak između paralelno postavljenih sabirničkih vodiča iznosi 250 mm, uzdužna udaljenost između izolatora pojedine sabirnice iznosi 1,5 m. Vrijednost struje trolejnog kratkog spoja u postrojenju iznosi 10 kA. Visina izolatora do vrha je 255 mm. Korištene su aluminijske cijevi vanjskog promjera 30 mm, dok je unutarnji promjer 24 mm.

$$F = 750 \text{ N}$$

$$l = 1,5 \text{ m}$$

$$a = 0,25 \text{ m}$$

$$h = 255 \text{ mm}$$

$$h' = 15 \text{ mm}$$

$$I_{k3} = 10 \text{ kA}$$

$I_u$  – udarna struja kratkog spoja [kA]

Prvo je potrebno odrediti udarnu struju te silu koja djeluje između vodiča uz pretpostavku udarnog koeficijenta u iznosu od 1.8:

$$I_u = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k3} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 10 = 25,46 \text{ kA}$$

Najveća sila koja će djelovati između vodiča jednaka je:

$$F = 2 \frac{I_1 \cdot I_2}{a} 10^{-7} \cdot (\sqrt{l^2 + a^2} - a) = 658,94 \text{ [N]} \quad (7-16)$$

Nakon izračunavanja udarne struje kratkog spoja i sile između vodiča, potrebno je odrediti dopuštenu silu koja smije djelovati na središte vodiča (uzima se u obzir da se hvat sile nalazi u centru vodiča koji je uklješten na vrhu izolatora).

$$F'_d = \frac{F_d \cdot h}{h+h'} = \frac{750 \cdot 255}{255+15} = 708,33 \text{ N}$$

Kako je  $F'_d$  veća od sile  $F$ , dolazimo do zaključka da sabirnica može izdržati mehaničko opterećenje koje će se pojaviti u slučaju kratkog spoja.

## 8.ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu su opisani sabirnički sustavi s cijevnim sabirnicama te sabirnički sustavi s užetnim sabirnicama. Cijevne sabirnice imaju nedvojbene prednosti u odnosu na užetne sabirnice te se zbog toga češće i koriste. Osim što cijevne sabirnice imaju bolje tehničke karakteristike, izgradnja postrojenja s cijevnim sabirnicama jeftinija je u odnosu na postrojenje s užetnim sabirnicama. Izveden je proračun odabira presjeka sabirničkih cijevi s obzirom na maksimalnu struju u normalnom pogonu. Zaključeno je kako je moguće izračunati dovoljan presjek ako su navedeni parametri materijala izrade te veličine koje ovise o Suncu (položaj, kut upadnih zraka), nadmorskoj visini, brzini vjetra, temperaturama okoline i maksimalne temperature postrojenja itd. Prikazana je i kontrola presjeka sabirničkih cijevi s obzirom na zagrijavanje za vrijeme kratkog spoja te je na praktičnom primjeru izvedena kontrola na temelju koje je zaključeno da zadani primjer cijevne sabirnice odgovara zadanom zahtjevu. Naposljetku, na temelju obrađene teorije izveden je i proračun mehaničkog opterećenja sabirničkog sustava s cijevnim sabirnicama u slučaju kratkog spoja. Kao rezultat proračuna dobiven je iznos sile koji je maksimalno dopušten te je zaključeno da sabirnički vodič iz primjera zadovoljava zadane uvjete.

## POPIS LITERATURE:

- [1] V., Ravlić, Cijevne sabirnice u visokonaponskim postrojenjima, Ravel/Kigen, Zagreb, 2006.
- [2] Razdjelne mreže i distribuirana proizvodnja, dostupno na :  
[https://www.fer.unizg.hr/download/repository/04\\_Elementi\\_razdjelnih\\_mreza%5b2%5d.pdf](https://www.fer.unizg.hr/download/repository/04_Elementi_razdjelnih_mreza%5b2%5d.pdf) ,  
pristupio: 29.8.2018.
- [3] S., Žutobradić, Projektiranje električnih postrojenja, dostupno na:  
[http://www.riteh.uniri.hr/zav\\_katd\\_sluz/ze/nastava/svel/pep/download/PREDAVANJA%203.pdf](http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/ze/nastava/svel/pep/download/PREDAVANJA%203.pdf),  
pristupio: 29.8.2018.
- [4] G., Knežević, materijali s predavanja kolegija Elektroenergetska postrojenja, dostupno na:  
[https://loomen.carnet.hr/pluginfile.php/1019090/mod\\_resource/content/1/Elementi%20glavnog%20postrojenja%20A%20dio%2C%202017.pdf](https://loomen.carnet.hr/pluginfile.php/1019090/mod_resource/content/1/Elementi%20glavnog%20postrojenja%20A%20dio%2C%202017.pdf), pristupio:11.9.2018.
- [5] M., Delimar, Prijenos i razdjela električne energije, dostupno na :  
[https://www.fer.unizg.hr/download/repository/PRIJENOS\\_I\\_RAZDJELA\\_ELEKTRICNE\\_ENERGIJE.pdf](https://www.fer.unizg.hr/download/repository/PRIJENOS_I_RAZDJELA_ELEKTRICNE_ENERGIJE.pdf), pristupio:12.9.2018.
- [6] Dalekovod Projekt d.o.o, službena stranica, dostupno na:  
<http://www.dalekovod-projekt.com/dalekovodi.aspx>, pristupio: 12.9.2018.
- [7] V.,Ravlić, Užetne sabirnice u visokonaponskim postrojenjima 1.dio, Školska knjiga d.d., Zagreb, 2017.
- [8]Sanac, službena stranica, Sanacije temelja, dostupno na:  
<http://www.sanac.hr/reference-sanacija-ts-bilice.html>, pristupio:12.9.2018.
- [9] Dalekovod, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, dostupno na:  
<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=13722>, pristupio: 12.9.2018.
- [10] Elektroenergetski vodovi, Elektroindustrijska i obrtnička škola Rijeka dostupno na:  
<http://mabacic.eios.hr/oo/vodovi.pdf> , pristupio:13.9.2018.
- [11]Xigaoelectricenergygroup, dostupno na:  
<http://www.ba.xgdisconnect.com/insulator/composite-type-insulator/oem-made-outdoor-33kv-35kv-40-5kv-72-5kv.html> , pristupio:13.9.2018.
- [12] Toplina,Leksikografski zavod Miroslav Krleža, dostupno na:  
<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=61787>, pristupio: 13.9.2018.

[13] Električna postrojenja, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, dostupno na:

[http://www.riteh.uniri.hr/zav\\_katd\\_sluz/ze/nastava/svel/ep/download/ELEKTRICNA%20POSTROJENJA%205-p.pdf](http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/ze/nastava/svel/ep/download/ELEKTRICNA%20POSTROJENJA%205-p.pdf), pristupio:13.9.2018.

[14] EL-IZO M.C., službena stranica, dostupno na:

<http://www.el-izo.hr/Proizvodnja/Potporni-izolatori-od-cikloalifatske-smole-za-unut/Potporni-izolator-JOp6.aspx>, pristupio:15.9.2018.

[15] Alučel vodič, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, dostupno na:

<http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=2040>, pristupio:15.9.2018.

[16] Električna postrojenja, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, dostupno na:

[http://www.riteh.uniri.hr/zav\\_katd\\_sluz/ze/nastava/svel/ep/download/ELEKTRICNA%20POSTROJENJA%204-p.pdf](http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/ze/nastava/svel/ep/download/ELEKTRICNA%20POSTROJENJA%204-p.pdf), pristupio:15.9.2018.

## SAŽETAK

Zadatak ovog završnog rada je pobliže objasniti sabirničke sustave ovisno o izvedbi te provesti proračun odabira presjeka prema trajnoj struji u normalnom pogonu. Osim toga, potrebno je prikazati kontrolu presjeka sabirnice na zagrijavanje i mehaničko opterećenje za vrijeme kratkog spoja. U prvom poglavlju dan je uvod i zadatak završnog rada. U drugom poglavlju smo dali osnovne informacije o sabirnicama, njihovoj ulozi te izvedbama koje se najčešće koriste. U trećem poglavlju detaljnije su opisani sabirnički sustavi s cijevnim sabirnicama te njihovi osnovne dijelovi. U četvrtom poglavlju opisani su sabirnički sustavi s užetnim sabirnicama. Nakon teorijskog dijela, u petom poglavlju je opisan proračun odabira presjeka sabirničkih cijevi s obzirom na maksimalnu struju u normalnom pogonu. U šestom poglavlju je prikazana kontrola presjeka sabirničkih cijevi s obzirom na zagrijavanje u slučaju kratkog spoja. U osmom poglavlju su opisani slučajevi mehaničkog opterećenja sabirničkih sustava s cijevnim sabirnicama u slučaju kratkog spoja.

Ključne riječi: sabirnica, cijevne sabirnice, užetne sabirnice

## ABSTRACT

The purpose of this paper was to explain the busbar system more accurately depending on the performance and to perform the calculation of the selection of the conductor size to the constant current in the normal drive. It was necessary to show the control of the busbar size for heating and the mechanical strength during short circuit. The first chapter presents the introduction and task of the final work. In the second chapter, basic information about busses, their parts and the most commonly used performances are provided. In the third chapter, in more detail tube busbar systems and their basic parts are described. In the fourth chapter, bus systems with ropes are described. After the theoretical part, chapter 5 describes the calculation of the selection of the conductor size of the tube busbar relating to the maximum current in the normal drive. The sixth chapter shows the conductor size control of the tube busbar with regard to heating in the event of a short circuit. The eighth chapter describes the cases of mechanical strength of the tube busbar system in the event of a short circuit.

Keywords: busbar, tube busbar, rope busbar

## **ŽIVOTOPIS**

Antun Lovas je rođen 31.prosinca 1993.godine. Nakon završene osnovne škole 2008.godine upisuje Elektrotehničku i prometnu školu Osijek za zanimanje elektrotehničar. Za vrijeme srednjoškolskog obrazovanja u razdoblju od 2010. do 2012.godine je obavljao stručnu praksu u Hrvatskoj elektroprivredi, HEP – Operator distribucijskog sustava d.o.o. Elektroslavonija Osijek. 2012.godine završava srednju školu i polaže državnu maturu. Iste godine upisuje preddiplomski studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, tada još Elektrotehnički fakultet Osijek. Na drugoj godini studija odabire izborni blok elektroenergetika.