Izračun veličina magnetskog polja trofaznih vodova

Primorac, Tomislav

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:014618

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA

Sveučilišni preddiplomski studij

IZRAČUN VELIČNA MAGNETSKOG POLJA TROFAZNIH VODOVA

Završni rad

Tomislav Primorac

Osijek, 2018. godina

FERIT
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

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

Osijek, 18.09.2018.

Odboru za završne i diplomske ispite

Prijedlog ocjene završnog rada

Ime i prezime studenta:	Tomislav Primorac
Studij, smjer:	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. studenta, godina upisa:	3953, 27.09.2017.
OIB studenta:	95712401702
Mentor:	Izv. prof. dr. sc. Marinko Barukčić
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Naslov završnog rada:	Izračun veličina magnetskog polja trofaznih vodova
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: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	18.09.2018.
Datum potvrde ocjene Odbora:	

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, 24.09.2018.

Ime i prezime studenta:	Tomislav Primorac
Studij:	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. studenta, godina upisa:	3953, 27.09.2017.
Ephorus podudaranje [%]:	1

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom**: Izračun veličina magnetskog polja trofaznih vodova**

izrađen pod vodstvom mentora Izv. prof. dr. sc. Marinko Barukčić

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 1
2. STUPOVI NADZEMNIH VODOVA 2
2.1. Općenito o stupovima nadzemnih vodova 2
2.2. Vrste stupova 2
2.3. Materijal i izvedba stupova 4
2.4. Temelj stupova 7
3. UTJECAJ MAGNETSKIH POLJA NA OKOLINU 8
3.1. Utjecaj na životinjski svijet 8
3.1.1. Temeljni utjecaji 8
3.1.2. Utjecaji na uzgoj svinja 8
3.1.3. Utjecaji na uzgoj goveda 9
3.1.4. Utjecaji na imunološku funkciju ovaca 9
3.1.5. Utjecaj na divlje životinje 9
3.1.6. Utjecaji na ptice 9
3.1.7. Utjecaj na morski svijet 10
3.1.8. Utjecaj na pčele 10
3.2. Utjecaj na biljni svijet 10
3.2.1. Povijest i osnovni utjecaji na biljke 10
3.2.2. Utjecaj 500 kV dalekovoda na usjeve i žitarice 10
3.2.3. Utjecaj magnetskog polja na klijavost sjemena 10
3.2.4. Utjecaj magnetskih i električnih polja na rast kukuruza i pšenice 10
3.3. Utjecaji na ljudsko biće 11
3.3.1. Povijesna istraživanja 11
3.3.2. Istraživanja danas 11
3.3.3. Agencija za zaštitu okoliša 12

3.3.4. Nacionalna akademija znanosti 12
3.3.5. Međunarodna agencija za istraživanje tumora 12
3.4. Ograničenja magnetskih veličina u Hrvatskoj 13
4. PRIKAZ ANALITIČKOG IZRAČUNA MAGNETSKOG POLJA 14
4.1. Tipični oblik krivulja magnetske indukcije trofaznih vodova 14
4.2. Teorijski izvod izračuna magnetskog polja trofaznog strujnog kruga 15
4.3. Izračun magnetskog polja za gama glavu stupa nazivnog napona 20 kV 22
4.4. Izračun magnetskog polja za glavu stupa jela nazivnog napona 110 kV 26
4.5 Izračun magnetskog polja za gama glavu stupa nazivnog napona 400 kV 30
4.6 Izračun magnetskog polja za gama glavu stupa s vodičima koji su protjecani nesimetričnim strujama nazivnog napona 400 kV 34
5. ZAKLJUČAK 37
LITERATURA 38
Popis slika: 38
Popis tablica: 40
Sažetak 40
Abstract 41
Životopis 41

1. UVOD

Utjecaj elektromagnetskih polja prijenosnih vodova na žive organizme i dalje privlači svjetsku pozornost zbog mnogih studija koje pokazuju moguće štetne utjecaje ako su organizmi izloženi zračenju elektromagnetskih polja. Mnoga istraživanja procjenjuju da elektromagnetska polja induciraju struje u živim organizmima. Smatra se da su današnji dalekovodi bezopasni za neposrednu okolinu. Međutim, ova pretpostavka nije nikada bila adekvatno ispitana. Štetni učinci niske razine mogu biti zanemareni, zbog toga se ovaj utjecaj mora dodatno ispitati jer su vodovi svuda oko nas. Specijalna pozornost se pridaje i mogućim štetnim utjecajima magnetskih polja na prirodnu okolinu koja se nalazi u blizini dalekovoda. [2]

Tema ovog završnog rada je analiza i proračun magnetskih veličina u okolišu trofaznih vodova analitičkim metodama. U prvom dijelu se objašnjavaju vrste i izvedba stupova na kojima se nalaze vodovi, opisani su materijali koji se koriste za izradu istih, dakako objašnjeni su i temelji koji su vrlo važan dio stupa. U nastavku rada opisuju se utjecaji magnetskih polja na živa bića i prirodu koja se nalazi blizu stupova, a samim time i vodova koji se nalaze na njima. Investitori zahtijevaju da su magnetske veličine u blizini investicija zračnih vodova u dozvoljenim granicama. Prilikom gradnje nadzemnih dalekovoda kroz naseljena mjesta provode se simulacije i proračuni za izračunavanje „magnetskog zračenja“ u blizini tih vodova. Naposljetku se iznosi teorijski izvod za proračun gustoće magnetskog polja u okolišu trofaznih vodova, implementiranjem tog teorijskog izvoda na nekoliko konkretnih primjera daje se direktan uvid vrijednosti gustoće magnetskog toka oko trofaznih vodova.

1.1. Zadatak

U radu je potrebno opisati i prezentirati način proračuna magnetske indukcije u okolišu trofaznih nadzemnih vodova uz opis osnovnih značajki magnetskog polja općenito. Iz literature je potrebno proučiti analitičke metode za izračun magnetske indukcije u ovome slučaju. Na nekoliko primjera rasporeda vodiča nadzemnoga voda obaviti proračun magnetske indukcije koristeći prezentirani analitički postupak iz literature. Proračun obaviti u MS Excel, MATLAB, SageMath ili nekom drugom softveru.

2. STUPOVI NADZEMNIH VODOVA

2.1. Općenito o stupovima nadzemnih vodova

Stupovi dalekovoda imaju funkciju zatezanja i nošenja vodiča i zaštitnih užadi. Stupovi mogu biti veoma različiti s obzirom na materijale od kojih su napravljeni i svoje sastavne dijelove, ali načelno imaju iste elemente:[1]

1. Zaštitno uže
2. Vrh stupa
3. Konzola
4. Izolacijski lanac
5. Trup
6. Dozemni vod
7. Temelj
8. Uzemljivač

Stup dalekovoda posjeduje jedan ili više temelja koji su ukopani u zemlji. Glavni dio stupa dalekovoda je trup koji podiže vodove i zaštitnu užad na određenu visinu iznad tla. Vrh stupa služi za držanje zaštitne užadi, a konzole za pričvršćenje vodiča. Zemljovod stupa služi za uzemljenje pojedinih točaka na stupu, tj. njihovo galvansko odvajanje preko uzemljivača tog stupa.

Izbor materijala za izradu stupa u prvom pogledu karakteriziraju tehnički i ekonomski faktori, između ostalog ovisi o terenskim uvjetima, mogućnostima održavanja voda. U Hrvatskoj se najčešće upotrebljavaju čelično rešetkasti stupovi za naponske razine 110, 220 i 400 kV, dakako za 0,4; 10, 20 i 35 kV, betonski stupovi kao linijski i čelično rešetkasti stupovi kao kutno-zatezni stupovi, a kod manje značajnih vodova i drveni stupovi.

2.2. Vrste stupova

Prema funkcijskoj podijeli u sklopu dalekovoda razlikuju se zatezni i nosivi stupovi. Stupovi koji služe za nošenje vodiča i zaštitnih užadi koji prolaze kraj stupova i nisu pričvršćeni za stup nazivaju se nosivi stupovi. Zatezni stupovi prvenstveno služe za odvojeno zatezanje vodiča i zaštitnih užadi s obje strane stupa, također služe za nošenje vodiča i zaštitnih užadi. Zatezni stupovi postavljaju ovisno o ekonomskim prilikama na svaka 3 kilometara ili 8 kilometara. Duža zatezna polja su znatno jeftinija zbog manjih cijena nosivih stupova od zateznih, ali su zato kraća zatezna polja povoljna u slučaju neprilika. Vrlo često terenske prilike utječu na dužinu zateznih polja.

Nosivi i zatezni stupovi po položaju u trasi mogu biti linijski i kutni. Kutni stupovi su oni koji se nalaze na kutu trase, a linijski koji su u pravcu trase. Nosivi linijski stupovi omogućavaju poništavanje vlačne sile što znači da se nikakva vlačna sila ne prenosi na stup. Nosivi kutni stupovi se izvode samo ako je lom trase manji od 20°. U tom slučaju stup je opterećen direktno vlačnom silom vodiča. Općenito, kod zateznih linijskih stupova vlačna sila koja opterećuje stup bit će razlika zateznih sila s jedne i druge strane stupa, dok kod kutnih zateznih stupova sila koju trpi stup je rezultanta zatezanja vodiča i zaštitnih užadi.

Prekid vodiča uzrokuje poremećeno stanje kod kojih nastaju jednostrana horizontalna opterećenja u smjeru trase. Takva opterećenja su na zateznim stupovima znatno veća nego na nosivim. Rasteretni zatezni stup je posebna vrsta zateznog stupa koja mora izdržati jednostrani prekid svih vodiča.

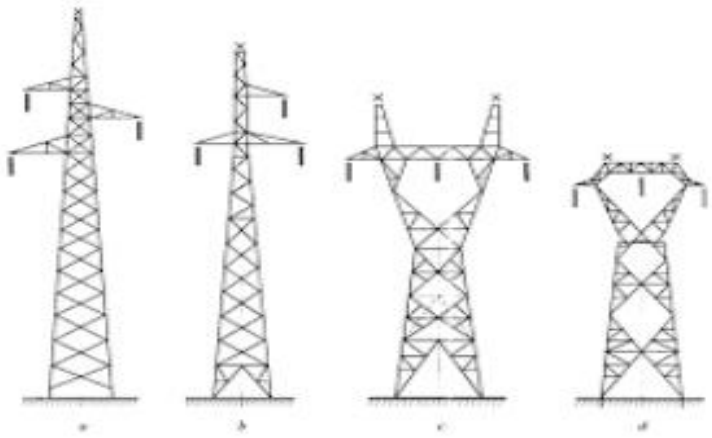
Specijalni stupovi prema posebnim funkcijama:[1]

a) Krajnji stup
b) Preponski stup
c) Međustup
d) Križni stup
e) Prepletni stup

Krajnji stup je stup prije spoja na rasklopno postrojenje, u većini dalekovoda je rasteretni. Preponski stup nije jednoliko opterećen sa svake strane zbog toga što dolazi do promjene maksimalno dozvoljenog naprezanja vodiča, on se koristi kod prijelaza preko autocesta, željezničkih pruga, tjesnaca i željezničkih pruga. Međustup je nosivi stup koji se nalazi u preponskom zateznom polju kako bi podigao vodiče na željenu visinu. Cijena samog stupa je vodeći faktor građenja ovih stupova. Križni stup je umetnut na mjesto gdje se križaju dva voda. Prepletni stup nam omogućava simetrične prilike na vodovima u razmatranju kapaciteta i induktiviteta.

2.3.Materijal i izvedba stupova

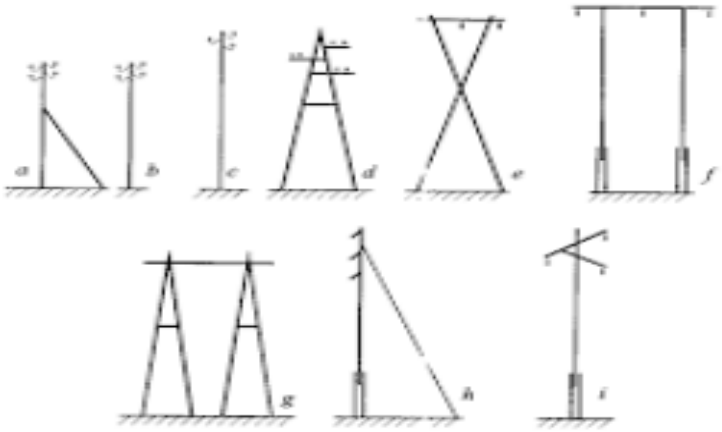
Najčešće se cijeli stup gradi od istog materijala, ali se materijali mogu kombinirati tako da se pojedini dijelovi stupa rade od različitih materijala. Stupovi dalekovoda izrađuju se od drveta, metala, armiranog betona i poliestera. Pošto se navedeni materijali bitno razlikuju po svojim svojstvima, tako su i izvedbe od tih materijala bitno različite. Najčešći materijal za izradu stupova je čelik, koji danas dominira u izradi dalekovodnih stupova. Takvi stupovi obično se izrađuju kao rešetkaste konstrukcije od štapova kutnog profila, osim za niski napon i eventualno 10 kV gdje se koriste čelične cijevi. Glavni dio tereta preuzimaju uzdužni profilni štapovi. Konstrukcija stupova se većinom zavaruje pri tvorničkoj izradi, tako da elementi stupa budu pogodni za transport. Veliki problem kod čeličnih stupova je izloženost koroziji. Zaštita od korozije provodi se na dva načina. Prvi podrazumijeva upotrebu legura nastalih od čelika koji ne korodiraju, ali mora se pripaziti da takve legure zadrže potrebna mehanička svojstva. Ovaj način je vrlo skup. Nanošenje zaštitnog sloja na čeličnu konstrukciju predstavlja drugi način zaštite od korozije. Premazivanjem stupova bojom otpornom na vanjske utjecaje je klasična zaštita, ali pri tome je važna priprema površine stupa kao i kvaliteta boje. Nedostatci takve zaštite jesu skupoća boje i nemogućnost radova tijekom pogona. Osim toga trajnost sloja boje je ograničena što znači da se boja mora povremeno obnavljati. Navedeno premazivanje bojom se izbjegava pocinčavanjem cijelog stupa ili dijela stupa. To je proces koji ne zahtjeva mnogo, a sastoji se od: čišćenje čelika u kiselini, poslije čišćenja dolazi ispiranje vodom, te se konačno uranja u kupku s rastopljenim cinkom. Pocinčani dijelovi se ne smiju naknadno obrađivati. Primjeri metalnih rešetkastih konstrukcija prikazani su na slici 2.2. [1]



Slika2.1. *Jednostruki čelično-rešetkasti stupovi[1]*
a) "jela" b)modificirana jela c) Y-stup d) „mačka"

Prvi materijal koji se koristio izradu stupova dalekovoda za napone 220 kV i niže je drvo. U Hrvatskoj se drvo upotrebljava za stupove niskonaponskih vodova. U zemljama bogatim kvalitetnim drvetom kao što su Kanada, Rusija, Skandinavske države je najčešće upotreba za izradu stupova. Drvo se koristi u prirodnom obliku nakon obrade, te se sastavlja u konstrukcije koje su jednostavne. Za sastavljane drvenih konstrukcija koriste se tesarski spojevi s vijcima. Oblici drvenih stupova dani su na slici 2.3.

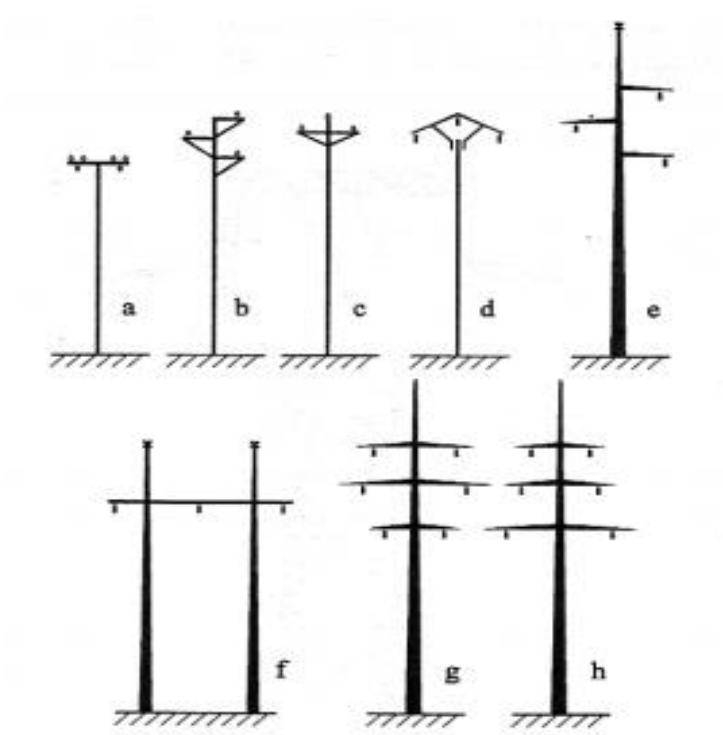
a) Niski napon, kutni
b) Niski napon, linijski
c) 10 - 20 kV, linijski
d) 10 - 20 kV, kutni A-stup
e) 35 kV, nosivi X-stup
f) 110 kV, nosivi, portal
g) 35 - 110 kV, zatezni, kutni „dvostrana piramida“
h) 35 kV, kutni, usidreni jarbol „igla“
i) 35 - 110 kV, nosivi



***Slika2.2**. Tipične izvedbe drvenih stupova[1]*

Trajnost drvenih stupova ovisi o lokalnim prilikama. Temperatura i prosječna vlažnost zraka kao i njihove varijacije utječu na trajnost drva. Trup stupa na mjestu gdje izlazi iz tla je najviše izložen djelovanju mikroorganizama, plijesni i insekata. Impregnacija drveta se koristi za povećanje trajnosti stupova. Prednosti drveta je u brzoj montaži, niskoj cijeni i maloj težini kao i u izolacijskim svojstvima drveta zbog kojih se drveni stupovi ne uzemljuju. [1]

Ušteda na čeliku prilikom izrade dalekovodnih stupova postiže se tako da se koristi armirani beton kao materijal za izradu umjesto čelika. Kod takvog pristupa imamo količinsku uštedu u čeliku za polovicu. Problemi koji pritom dolaze do izražaja su težina, što uzrokuje probleme u transportu i montaži dalekovodnih stupova. Kvalitetno izrađeni betonski stupovi posjeduju vrlo jednostavni oblik i veliku trajnost bez potrebe za održavanjem. Pri izradi stupa zahtjeva se pogodan oblik, korištenje što manje betona, čvrstoća. Stupovi koji se izrađuju tvornički su oni manji, dok se za velike izrada vrši na samom mjestu postavljanja stupa. Poprilično je teško održati uvjete čistoće i radne postupke koji garantiraju čvrstoću na samom mjestu postavljanja velikih betonskih stupova dalekovoda. [1]



Na tvornički izrađenim stupovima se može lako postići unutarnja šupljina kojom se štedi materijal. Centrifugalni stupovi su najpoznatiji koji se pri lijevanju i stvrdnjavanju kalup okreće oko uzdužne osi čime se postiže gust i otporan beton na površini stupa, a šupljina u sredini. Kod stupova četvrtastog presjeka šupljina se postiže tako što se u kalup za lijevanje umeće jezgra koja se izvuče van nakon stvrdnjavanja betona.

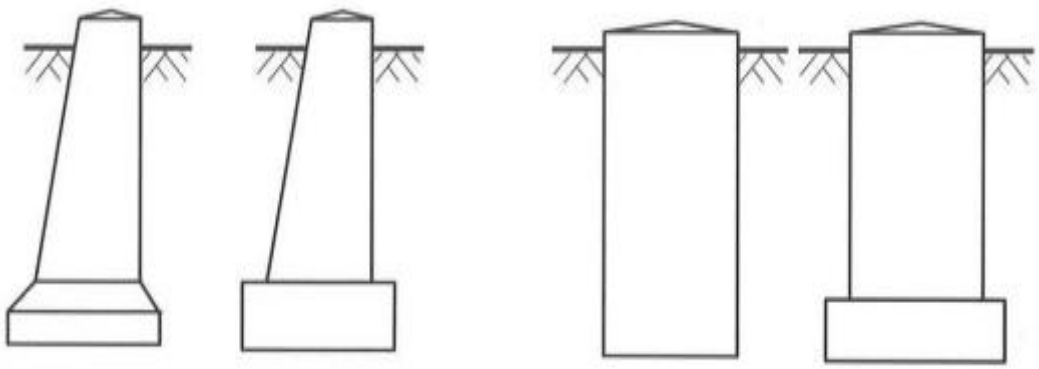
***Slika2.3**. Tipične izvedbe betonskih stupova[1]*
a)niski napon b)niski napon c)niski napon d) 10 - 20 kV
e) 35 – 110 kV, „jela“ f) 110 kV „portal“
g) 35 – 110 kV, „bačva“ h) 35 – 110 kV, „dvostruka jela“

Stupovi koji se izrađuju na samom mjestu postavljanja ili se rade sa punim presjekom ili im je presjek sa šupljinama koje se lakše izrađuju ili imaju rešetkastu konstrukciju.

2.4.Temelj stupova

Fiksiranje stupova i prenošenje svih sila stupa na tlo glavni je zadatak temelja. Sile kojima temelj može biti napregnut su : na tlak, na izvlačenje i na prevrtanje. Pod djelovanjem mogućih sila temelj ne smije dopustiti pomicanja stupa. Temelji se prema načinu izrade mogu podijeliti na prefabricirane temelje i temelje izrađene na gradilištu, prema materijalu izrade temelji se mogu podijeliti na: armirano betonske, betonske, drvene, čelične i kombinirane od navedenih materijala. Drveni se stupovi ukopavaju direktno u zemlju ili pomoću nogara na koje se stup stavlja. Direktnim ukopavanjem statičku stabilnost postižemo konstrukcijom onog njegovog dijela koji se ukopava. Betonski nogari imaju veću čvrstoću i trajnost u odnosu na drvene nogare, ali drvene nogare se lakše zamjene kada istrunu. Posebni slučajevi temeljenja drvenih nogara u betonske temelje zahtijevaju željezne nogare jer bi inače drvo istrunulo u kratkom vremenskom periodu. Na slici 2.5. vidimo kako izgledaju oblici temelja za stup nadzemnih vodova. [1]

Centrifugalni nosivi stupovi za niže napone mogu se direktno ukopati u zemlju kao i drugi lakši tipovi tvornički izvedenih stupova. Dakako, najčešće se izrađuje temeljni blok od armiranog ili ne armiranog betona. Takav slučaj je kod ukopa čeličnih stupova, ali ukop se vrši tako što čelični stup prolazi kroz više temeljnih blokova. Nosivi čelično-rešetkasti stupovi se ukopavaju direktno u zemlju s pojačanjem na dnu stupa horizontalnom rešetkom izrađenom od čeličnih štapova.



***Slika2.4**. Oblici temelja za stup nadzemnog voda[1]*

3. UTJECAJ MAGNETSKIH POLJA NA OKOLINU

3.1. Utjecaj na životinjski svijet

3.1.1. Temeljni utjecaji

Istraživanja su pokazala da magnetska polja iz nadzemnih vodova u suštini nemaju nikakav utjecaj na ponašanje i zdravlje životinja koje su izložene istima. Brojne životinjske vrste često se hrane ili odmaraju ispod nadzemnih vodova. Sveobuhvatno istraživanje na jedanaest farmi koje su bile locirane blizu 765 kilovoltnog dalekovoda nije ustupilo nikakve dokaze da je djelovanje, ponašanje i zdravlje određenih životinja ugroženo zbog izloženosti magnetskom polju. Šestogodišnji elaborat na pedeset pet farmi na kojima se proizvodi mlijeko koje se nalaze u blizini 765 kilovoltnog dalekovoda, ne postoje indikacije da je prisutnost tog dalekovoda prouzročilo nekakve dugoročne učinke na proizvod mlijeko. Nisu uočeni nikakvi efekti na plodnost domaćih životinja za vrijeme provođenja studija provedenog na stada koja su oplođena umjetnim putem u blizini 400 kilovoltnog dalekovoda. Veće istraživanje na sto šest farmi u Švedskoj nije pokazalo nikakve znakove da krave imaju oslabljenu plodnost. U prosjeku, bile su izložene 400 kilovoltnom dalekovodu petnaest dana u godini. Nadalje, još jedno pokusno istraživanje je pokazalo da parametri plodnosti na pedeset osam promatranih krava nisu oštećeni pri izlaganju magnetskom polju 400 kilovoltnog dalekovoda. Razmnožavanje se ostvarilo pomoću umjetne oplodnje i parametri plodnosti su: estorusni ciklus, stopa koncepcije i broj inseminata po trudnoći. Ove životinje su bile pod utjecajem magnetskih polja u pokusnom roku od sto dvadeset dana koja su u prosjeku iznosila 2 μT i električnih polja koja su u prosjeku iznosila 4 kV/m uz frekvenciju 50 Hz.[3]

3.1.2. Utjecaji na uzgoj svinja

Na farmi u kojoj su uzgajane svinje ispod 345 kilovoltnog dalekovoda je proveden još jedan eksperiment koji je promatrao ponašanje i djelovanje tih životinja. Utvrđeno je da ne postoji promjena kod tih životinja povezana s efektima dalekovoda koja bi utjecala na njihovu tjelesnu težinu, životinjska trupla, ponašanje i unos hrane. Druga faza tog eksperimenta kojoj je bio predmet reprodukcija utvrdila je da nema nikakve povezanosti s stopom trudnoće, frekvencijom nedostataka u porođaju ili pravilnog dobivanja na tjelesnoj težini kod novorođenčadi.[3]

3.1.3. Utjecaji na uzgoj goveda

Na farmi blizu prototipa 1200 kilovoltnog dalekovoda provedeno je opažanje ponašanja goveda kroz vremenski period od pet godina. Životinje se nisu ustezale kako bi pasle travu ili pile ispod navedenog prototipa dalekovoda. Osim jedne životinje koja je uginula od bakterijske infekcije, sve ostale opažane životinje tijekom pet godišnjeg promatranja su i dalje ostale zdrave i bez neprirodnih stanja.[3]

3.1.4. Utjecaji na imunološku funkciju ovaca

Nisu pronađene nikakve promjene u imunološkoj funkciji ovaca na kojima su provedeni pregledi nakon izlaganja ovaca električnom i magnetskom polju u trajanju 27 mjeseci. Odnosno jačine od 5,2 kV/m do 5,8 kV/m za električno polje i 3,5 μT do 3,8 μT za magnetsko polje. [3]

3.1.5. Utjecaj na divlje životinje

Istraživanja podsjećaju da bilo kakav utjecaj električnih i magnetskih polja na divlje životinje je suptilan i težak za uočiti. Također istraživanja su pokazala da ova polja ne djeluju nepovoljno na ponašanje i divljih životinja. Prema studiji provedenoj na divljim životinjama u laboratoriju pokazano je da divlje životinje mogu primijetiti električna polja pomoću toga što im je stimulirana kosa. Nije bilo očiglednih učinaka koje su prouzročili magnetsko i električno polje proizvedeno od 500 kilovoltnog dalekovoda na prirodno kretanje jelena i losova koji su se nalazili u blizini istih. [3]

3.1.6. Utjecaji na ptice

Studije koje se baziraju na cvrkutu ptica koje se nalaze u blizini dalekovoda ukazuju da je pokorena vegetacija glavni faktor koji utječe na ophođenje i ponašanje, a ne električna i magnetska polja. Nadalje, istraživanja su pokazala da jastrebovi koji su se gnijezdili na stupovima 500 i 230 kilovoltnog dalekovoda koji su bili pod naponom pokazala su prosječno isti broj mladunčadi kao i kod jastrebova koji su se gnijezdili u šumama i na stijenama. Isto tako nisu pronađeni nikakvi dokazi da dalekovodi remete leteće migracije ptica. Laboratorijsko istraživanje kojim je napravljen prototip 765 kilovoltnog dalekovoda dokazano je smanjenje u uspješnosti izlijeganja jaja i povećanju veličina jaja.[3]

3.1.7. Utjecaj na morski svijet

Neke vrste riba su osjetljive na jako slaba, niskofrekventna električna i magnetska polja. Američka jegulja i atlantski losos osjete niskofrekventna električna polja između 7 i 70 kV/m.[3]

3.1.8. Utjecaj na pčele

Iako nisu generalno objavljena izvješća od pčelara, studije su pokazale da polja proizvedena od dalekovoda mogu utjecati na košnice. Ukoliko se košnice moraju nalaziti u neposrednoj blizini dalekovoda potrebno ih je zaštititi. Na primjer, uzemljenjem poklopca na metalnim košnicama ili uvođenjem uzemljenih vodova oko košnice.[3]

3.2. Utjecaj na biljni svijet

3.2.1. Povijest i osnovni utjecaji na biljke

Učinci magnetskih i električnih polja na biljke zanimali su znanstvenike još od osamnaestog stoljeća, glavni razlog bio je moguće povećanje uroda raznoraznih biljaka. Tijekom 19. stoljeća neke studije su bile specifično usmjerene na istraživanja utjecaja frekvencije na biljke. U kasnijim razmatranjima proučavali su se učinci magnetskog polja na biljke.[3]

3.2.2. Utjecaj 500 kV dalekovoda na usjeve i žitarice

Nije bilo razlike u urodu sojinog graha i riže između onog koji se uzgajao ispod dalekovoda i onog koji je uzgajan na farmi daleko od dalekovoda. Dakako, prihod pamuka je bio manji za 15% ispod dalekovoda. Istraživači nisu mogli utvrditi je li taj efekt nastao zbog električnog, magnetskog polja ili zbog neuspješnog nanošenja poljoprivrednih kemikalija na usjeve blizu dalekovoda.[3]

3.2.3. Utjecaj magnetskog polja na klijavost sjemena

Sjeme je bilo izloženo magnetskom polju od 50 μT s vrlo niskom frekvencijom, neki istraživači su uočili poboljšanje kod nicanja sjemena iz zemlje. Mehanizam ovog efekta nije protumačen i ostali istraživači nisu bili u mogućnosti potvrditi ovaj pronalazak. [3]

3.2.4. Utjecaj magnetskih i električnih polja na rast kukuruza i pšenice

Studija koja je provođena četiri godine u kojoj su pronađeni dokazi o fiziološkim reakcijama koje je prouzrokovano promjenom jačine magnetskog polja. Jačina magnetskog polja kretala se do maksimalnog iznosa od 4,5 μT, a jačina električnog polja sve do 3,9 kV/m. Dakako udaljenost

kukuruza i pšenice od 380 kV dalekovoda je bila raznolika. Unatoč tome što su pronađene fiziološke reakcije, varijacije nisu bili statistički značajne, i nije bilo očite povezanosti s jačinom polja, zbog toga što bi takve male promjene mogli povezati s različitim tlom na kojem je posađen kukuruz ili pšenica. Prema tome, ako je studija otkrila utjecaj magnetskim i električnih polja koji se odnose na prirodnu okolinu, oni su bili neznatni.[3]

3.3. Utjecaji na ljudsko biće

3.3.1. Povijesna istraživanja

Prva rasprava na moguće nepovoljne utjecaje magnetskih polja na čovjekovo zdravlje je stimulirana 1979. godine na epidemiološkoj studiji koju su objavili Wertheimer i Leeper, uvidjeli su moguću povezanost između dugoročnog izlaganja magnetskim poljima proizvedenim dalekovodom i leukemije kod djece. Većina izvještaja koja povezuju mogući nastanak tumora s elektromagnetskim poljima baziraju se na epidemiološkim studijama. Takvi pronalasci nisu potvrđeni u kontroliranim laboratorijskim proučavanjima. Rasprava oko teme je stimulirana u laboratoriju kao i određeni aspekti koji su se odnosili na epidemiologiju, rezultat je bio: [3]

- U epidemiologiji, činilac (u ovom slučaju, elektromagnetsko polje) može imati povezanost ili korelaciju s događajem (u ovom slučaju, leukemija), ali veza između njih ne mora nužno indicirati na posljedično uzročnu vezu.
- Veza koja je indicirana epidemiološkim studijima, ako je postojala, bila je neznatna.
- Broj slučajeva leukemije u tim studijima je bio vrlo mali.

3.3.2. Istraživanja danas

Mnoga istraživanja na temu učinaka električnih i magnetskih polja na ljudsko zdravlje tijekom prošla dva desetljeća. Neki od tih istraživanja, gledano sa znanstvene strane bili su veće kvalitete i bili su dizajnirani i provedeni na vjerodostojnije načine od ostalih. Članci koji su izvješteni od sljedećih organizacija su poredani po datumu objavljivanja:[3]

- Agencija za zaštitu okoliša, 1990;
- Nacionalna akademija znanosti, 1996;
- Međunarodna agencija za istraživanje tumora, 2001;

3.3.3. Agencija za zaštitu okoliša

Pri procjeni potencijalnih kancerogenih kemijskih elemenata, Agencija za zaštitu okoliša je izgradila pristup koji je pokušavao integrirati sve dostupne informacije u kratki spis koji sadrži listu kancerogenih tvari koje djeluju na čovjek i time izazivaju tumor. U to vrijeme, klasifikacija koja bi povezivala tumor s izloženošću elektromagnetskim poljima nije bila dostupna zbog toga što osnovno međudjelovanje elektromagnetskih polja i bioloških procesa koji vode do tumora nije bilo razjašnjeno.

S našim današnjim poimanjem, možemo prepoznati učinke magnetskih polja frekvencije 60 herca koja su stvorena u dalekovodima i čak ostalim izvorima u kućanstvima kao moguće, ali ne do dosada dokazane, uzroke tumora kod čovjeka. [3]

3.3.4. Nacionalna akademija znanosti

Temeljeno na opsežnom vrednovanju objavljenih istraživanja koja proučavaju učinke električnih i magnetskih polja na stanice, tkivo, i organizme, zaključak na temelju trenutnih dokaza je da izloženost ovim poljima ne predstavlja opasnost po ljudsko zdravlje. Konkretno, nema uvjerljivih i dosljednih dokaza koji ukazuju da izloženost magnetskim i električnim poljima uzrokuje tumor, nepovoljno neurološko ponašanje, reproduktivne utjecaje ili zaostatke u razvoju. [3]

3.3.5. Međunarodna agencija za istraživanje tumora

Međunarodna agencija za istraživanje tumora je zaključila da magnetska polja vrlo male frekvencije su vjerojatno kancerogena za ljude, na temelju dosljednih statističkih podataka. Djeca koja su izložena magnetskim poljima vrlo male frekvencije koja su ispod vrijednosti 0.4 μT nemaju povećani rizik oboljenja od leukemije.

Međutim, analize podataka brojnih dobro vođenih istraživanja pokazuju stvarno dosljednu statističku povezanost između rizika oboljenja od leukemije i niskofrekventnih magnetskih polja snage iznad 0.4 μT. U kontrastu, nisu pronađeni dosljedni dokazi koji bi povezivali tumor na mozgu ili bilo kakav drugi trajni tumor s izloženošću niskofrekventnim magnetskim ili električnim poljima. Nisu pronađeni konzistentni dokazi da izloženost niskofrekventnim magnetskim i električnim poljima kod odraslih povećavaju rizik oboljenja od bilo koje vrste tumora. [3]

3.4.Ograničenja magnetskih veličina u Hrvatskoj

Tablica 3.1.*. Granične vrijednosti magnetskog polja i magnetskog toka*[4]

Frekvencija f	Jakost magnetskog polja H (A/m)	Gustoća magnetskog toka B (μT)
< 1 Hz	32000	40000
1-8 Hz	$32000/f^2$	$40000/f^2$
8-25 Hz	4000/f	5000/f
0,025-0,8 kHz	4/f	5/f

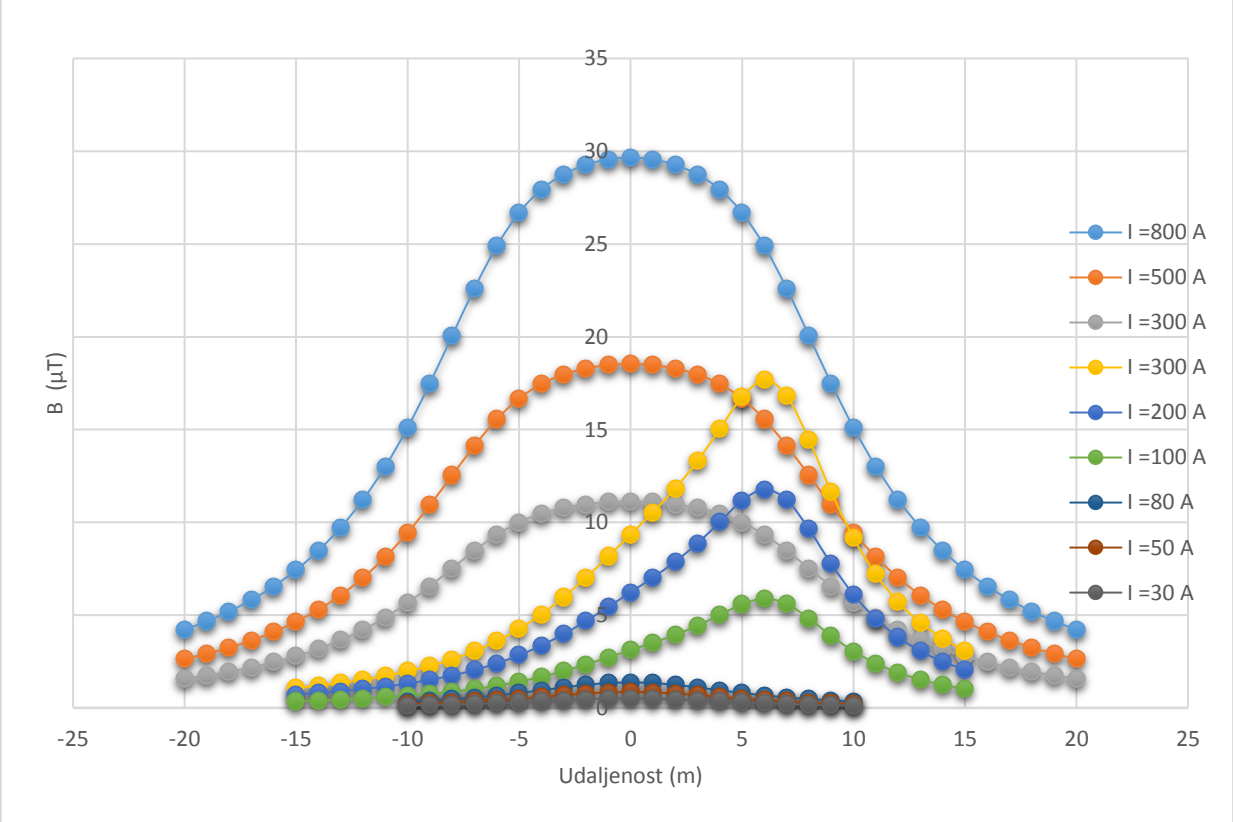
Granične veličine magnetskog polja, gustoće magnetskog toka za pojedinačnu frekvenciju za područja profesionalne izloženosti. Granične razine dane su za efektivne vrijednosti jakosti nesmetanog polja i gustoće magnetskog toka, a vrijede za jednoliku izloženost cijelog ljudskog tijela magnetskim poljima. [4]

4. PRIKAZ ANALITIČKOG IZRAČUNA MAGNETSKOG POLJA

4.1. Tipični oblik krivulja magnetske indukcije trofaznih vodova

Slika 4.1. nam prikazuje različite vrijednosti magnetske indukcije za različite tri različita razmještaja vodova na stupu. Svaka krivulja magnetske indukcije ima različitu vrijednost struje. Stupovi s rasporedom vodiča gama nazivnog napona 400 kV i 20 kV su simetrične krivulje s obzirom na ordinatu. Vidljive su tri krivulje koje započinju u -10 na apscisi, te krivulje magnetske indukcije proizvodi dalekovod nazivnog napona 20 kV, tri krivulje magnetske indukcije koje započinju u -15 na apscisi proizvodi dalekovod nazivnog napona 110 kV, preostaju još tri krivulje magnetske indukcije koje proizvodi dalekovod nazivnog napona 400 kV.

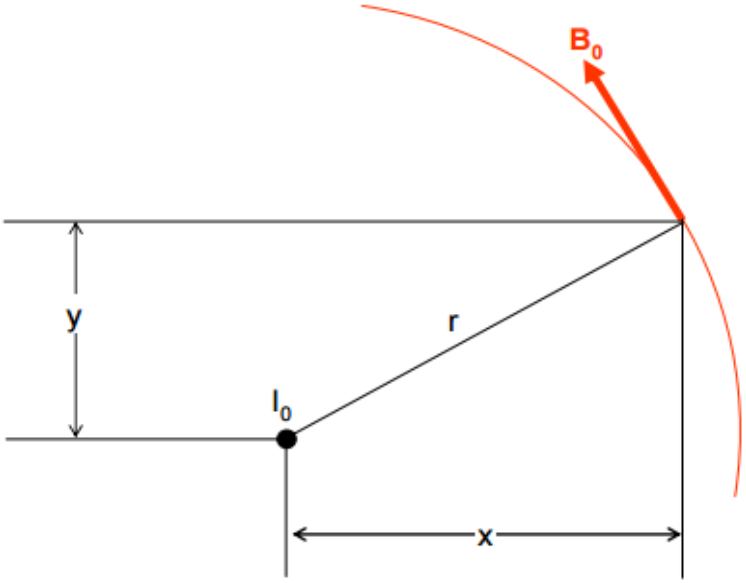
Ako je udaljenost između promatrača i izvora elektromagnetskog polja manja od valne duljine elektromagnetskog vala tada međusobno neovisno djeluju magnetsko i električko polje na promatrača. Nazivna frekvencija mreže je 50 Hz, tada je valna duljina elektromagnetskog vala 6000 km. Učinci tog elektromagnetskog vala se promatraju na udaljenosti od nekoliko desetaka metara, stoga se električko i magnetsko polje računaju, mjere i iskazuju zasebno.[5]



Slika 4.1. *Prikaz ukupne magnetske indukcije za gama glavu stupa nazivnog napona 20 kV, 400 kV i glavu stupa jela 110 kV*

4.2. Teorijski izvod izračuna magnetskog polja trofaznog strujnog kruga

Uzeti ćemo u obzir jedinstveni trofazni krug sa beskonačno dugim, ravnim vodičima. Postupno ćemo razvijati proračun, stoga promatrajmo vodič protjecan strujom, I_0. U nastavku je opisan analitički proračun magnetske indukcije vodova prezentiran u [6].



Slika 4.2. *Magnetsko polje prouzročeno jednom strujom[6]*

Magnetsko polje koje ta struja stvara formira oblik koncentričnih kružnica. U točki (x, y) orijentacija magnetskog polja je prikazana na slici 4.2. s pretpostavkom da električna struja izlazi iz točke u kojoj se nalazi struja I_0.

Gustoća magnetskog polja dana je Amperovim zakonom:

$$B = \frac{\mu_0 I_0}{2\pi r} \tag{4-1}$$

kada odredimo r pomoću Pitagorinog poučka:

$$r = \sqrt{(x^2 + y^2)} \tag{4-2}$$

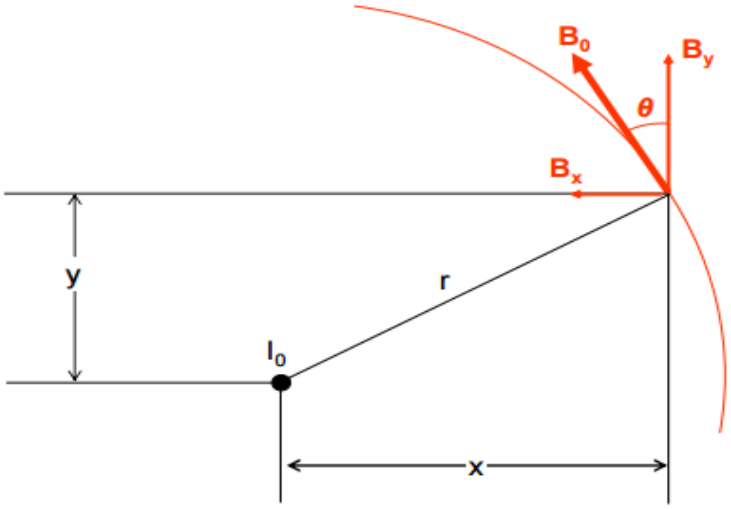
slijedi:

$$B = \frac{\mu_0 I_0}{2\pi\sqrt{(x^2 + y^2)}} \tag{4-3}$$

Rastavljanjem magnetske indukcije na vertikalnu i horizontalnu komponentu slika 4.2. :

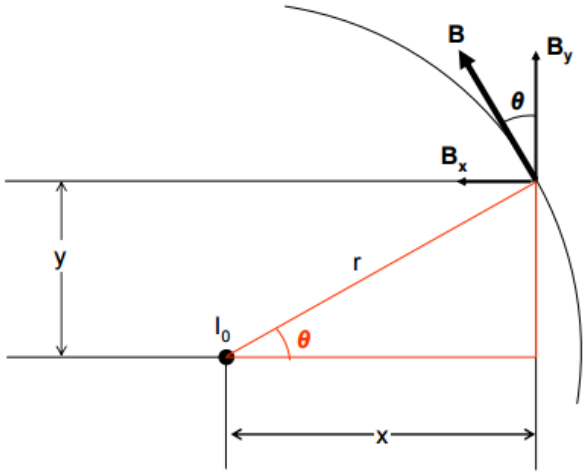
$$B_x = -B_0 \sin\theta \tag{4-4}$$

$$B_{y=} B_0 \cos\theta \tag{4-5}$$



***Slika 4.3**. Vertikalna i horizontalna komponenta magnetske indukcije [6]*

Uočimo da ako smo postavili koordinate kako je prikazano na slici 4.3. i da je pretpostavka da struja koja izlazi iz stranice pozitivnog predznaka, tada se predznak minus pojavljuje u horizontalnoj magnetskoj komponenti B_x. S drugačijim postavljanjem koordinata, predznak minusa bi se pojavio na drugom mjestu, ali iznos i orijentacija konačne magnetske indukcije se neće mijenjati. [6]



***Slika 4.4**. Prikaz geometrijskih odnosa [6]*

Iz slike 4.4. proizlazi:

$$\cos\theta = \frac{x}{r} = \frac{x}{(x^2+y^2)^{\frac{1}{2}}} \tag{4-6}$$

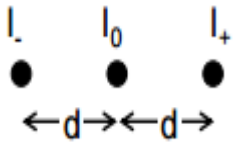
$$\sin\theta = \frac{y}{r} = \frac{y}{(x^2+y^2)^{\frac{1}{2}}} \tag{4-7}$$

Uvrštavanjem u jednadžbu (4-4) i (4-5) proizlazi:

$$B_x = -\frac{\mu_0 I_0}{2\pi\,(x^2+y^2)^{\frac{1}{2}}}\sin(\theta) = -\frac{\mu_0 I_0}{2\pi\,(x^2+y^2)^{\frac{1}{2}}}\,\frac{y}{(x^2+y^2)^{\frac{1}{2}}} = -\frac{\mu_0 I_0 y}{2\pi\,(x^2+y^2)} \tag{4-8}$$

$$B_y = \frac{\mu_0 I_0}{2\pi\,(x^2+y^2)^{\frac{1}{2}}}\cos(\theta) = \frac{\mu_0 I_0}{2\pi\,(x^2+y^2)^{\frac{1}{2}}}\,\frac{x}{(x^2+y^2)^{\frac{1}{2}}} = \frac{\mu_0 I_0 x}{2\pi\,(x^2+y^2)} \tag{4-9}$$

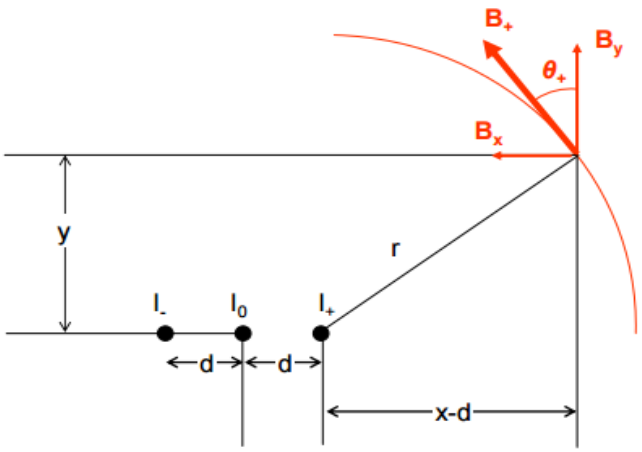
Sada kada smo odredili polje koje stvara jedan vodič protjecan strujom, dodajemo još dva beskonačno duga vodiča da bi dobili trofazni strujni krug. Izabrali smo razmatranje na beskonačno dugim ravnim vodičima međusobno razmaknutim za duljinu d po koordinati x, ali razmatranje vrijedi za bilo koji slučaj.



Slika 4.5. *Prikaz struja za tri beskonačno duga vodiča[6]*

Nazovimo trenutno struje I_-, I_0 i I_+, kasnije ćemo se brinuti za stvarne predznake i odnose tih struja.[6]

Uočimo polje koje proizvodi struja I_+:



***Slika 4.6**. Magnetsko polje prouzročeno strujom I_+ protjecanom kroz vodič[6]*

Geometrija je identična kao i za struju I_0 iz prošlog primjera samo što umjesto x vrijednosti uvrštavamo x-d. Magnetsku indukciju računamo na isti način, zamjenom x sa x-d:

$$B_x = -\frac{\mu_0 I_+ y}{2\pi\,((\llbracket x-d)\rrbracket^2 + y^2)} \tag{4-10}$$

Isto tako možemo pronaći vertikalnu komponentu:

$$B_y = \frac{\mu_0 I_+ (x-d)}{2\pi\,((\llbracket x-d)\rrbracket^2 + y^2)} \tag{4-11}$$

Nadalje, za komponentu električne struje I_- procedura je ista samo što uvrštavamo x+d, što je vidljivo na slici 4.6. Sada posjedujemo sve geometrijske faktore za svaku pojedinu struju, pa ih možemo tablično zapisati:

***Tablica 4.1.** Komponente magnetske indukcije za vodiče protjecan strujom I_0, I_-, I_+*[6]

	I_-	I_0	I_+
B_x	$-\frac{\mu_0 y}{2\pi\,((\llbracket x+d)\rrbracket^2 + y^2)}$	$-\frac{\mu_0 y}{2\pi\,(x^2+y^2)}$	$-\frac{\mu_0 y}{2\pi\,((\llbracket x-d)\rrbracket^2 + y^2)}$
B_y	$\frac{\mu_0 (x+d)}{2\pi\,((\llbracket x+d)\rrbracket^2 + y^2)}$	$\frac{\mu_0 x}{2\pi\,(x^2+y^2)}$	$\frac{\mu_0 (x-d)}{2\pi\,((\llbracket x-d)\rrbracket^2 + y^2)}$

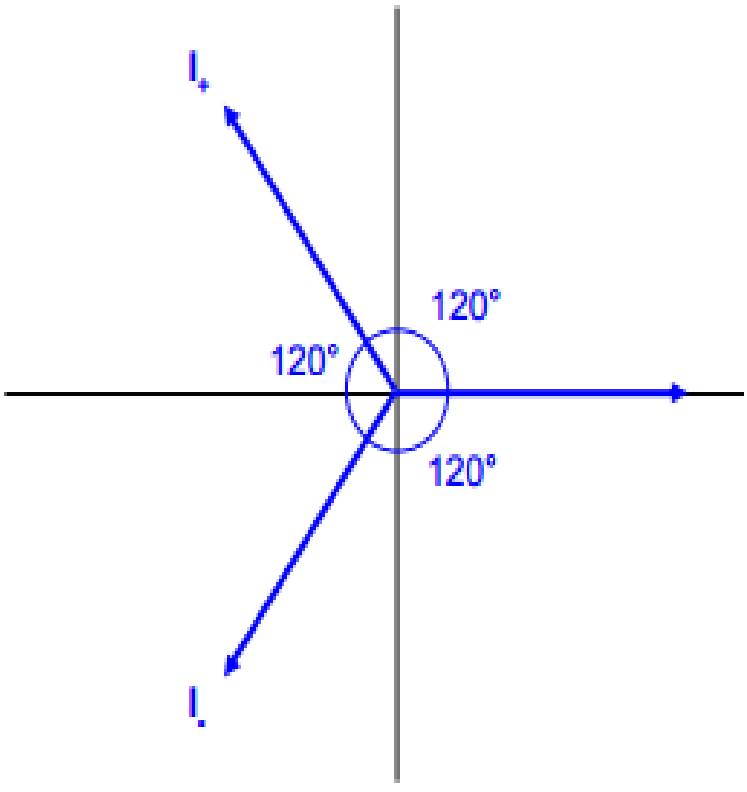
Moramo zadati odnos između struja. U jednostavnom strujnom krugu, struje će biti zadane na ovaj način:

Tablica 4.2. *Fazorski zapis električnih struja[6]*

I_-	I_0	I_+
$Isin(wt - 120°)$	$Isin(wt)$	$Isin(wt + 120°)$

Kada imamo samo jedan strujni krug, zapravo nije važno kako ćemo postaviti odnos električnih struja u krugu, zbog toga što svaka pojedina struja uvijek ima fazni pomak za 120° u odnosu na druge dvije. Ako imamo više od jednog strujnog kruga, tada moramo imati dogovoreno pravilo koje opisuje odnose faznih pomaka. [6]

Moramo odrediti iznose jakosti električnih struja, a to možemo pomoću dijagrama na slici 4.7. :



Slika 4.7*. Fazorski dijagram struja[6]*

Korištenjem dijagrama na slici 4.7. i osnove trigonometrije, dobivamo:

Tablica 4.3. *Rastav struja na komponente[6]*

	I_-	I_0	I_+
I_1	$-\frac{1}{2}I$	I	$-\frac{1}{2}I$
I_2	$-\frac{\sqrt{3}}{2}I$	0	$\frac{\sqrt{3}}{2}I$

Kada smo dobili iznose jakosti električne struje za svaku pojedinu komponentu, možemo izračunati utjecaje sve tri električne struje u pojedinoj točki. Na primjer uzmimo samo jednu komponentu, neka to bude struja I_+ po y osi.

Geometrijski faktor te električne struje: $\frac{\mu_0(x-d)}{2\pi\,((\llbracket x-d)\rrbracket^2+y^2)}$

Iznos električne struje: $\frac{\sqrt{3}}{2}I$

Rezultantna komponenta polja: $\frac{\mu_0(x-d)}{2\pi\,((\llbracket x-d)\rrbracket^2+y^2)} * \frac{\sqrt{3}}{2}I$

Pridržavajući se ovog teorema, vidljivo je da postoje tri komponente struje po y osi, kada se zbroje utjecaji od sve tri komponente dobije se:

$$B_{y,2} = \frac{u_0}{2\pi} I[\frac{(x+d)}{((x+d)^2+y^2)}\frac{-\sqrt{3}}{2} + \frac{x}{(x^2+y^2)}0 + \frac{(x-d)}{((x-d)^2+y^2)}\frac{\sqrt{3}}{2}] \quad (4\text{-}12)$$

Nadalje:

$$B_{y,1} = \frac{u_0}{2\pi} I[\frac{(x+d)}{((x+d)^2+y^2)}\frac{-1}{2} + \frac{x}{(x^2+y^2)} + \frac{(x-d)}{((x-d)^2+y^2)}\frac{-1}{2}] \quad (4\text{-}13)$$

Određivanjem izraza $B_{y,2}$ i $B_{y,1}$ problem nije riješen, trebamo izračunati i $B_{x,2}$ i $B_{x,1}$. Izrazi su:

$$B_{x,2} = \frac{Iu_0}{2\pi}[\frac{-y}{((x+d)^2+y^2)}\frac{-\sqrt{3}}{2} - \frac{y}{(x^2+y^2)}0 - \frac{y}{((x-d)^2+y^2)}\frac{\sqrt{3}}{2}] \quad (4\text{-}14)$$

Odredimo i drugu komponentu polja po x osi:

$$B_{x,1} = \frac{Iu_0}{2\pi}\left[-\frac{y}{((x+d)^2+y^2)}\frac{-1}{2} - \frac{y}{(x^2+y^2)} - \frac{y}{((x-d)^2+y^2)}\frac{-1}{2}\right] \quad (4\text{-}15)$$

Očito je da bi se ovakvi izrazi pojednostavili, ali često se računske operacije rade numerički tako da pojednostavljenje nije nužno.

Izračunata polja zbrajaju sve umnoške geometrijskih faktora sa pojedinim komponentama struje koja su proizvela to polje. Kako bi dobili konačni iznos magnetskog polja, korjenujemo zbroj kvadrata svake pojedine komponente i konačni izraz glasi:

$$\mathrm{B_{ukupno}} = \sqrt{B_{x,1}^2 + B_{x,2}^2 + B_{y,1}^2 + B_{y,2}^2} \quad (4\text{-}16)$$

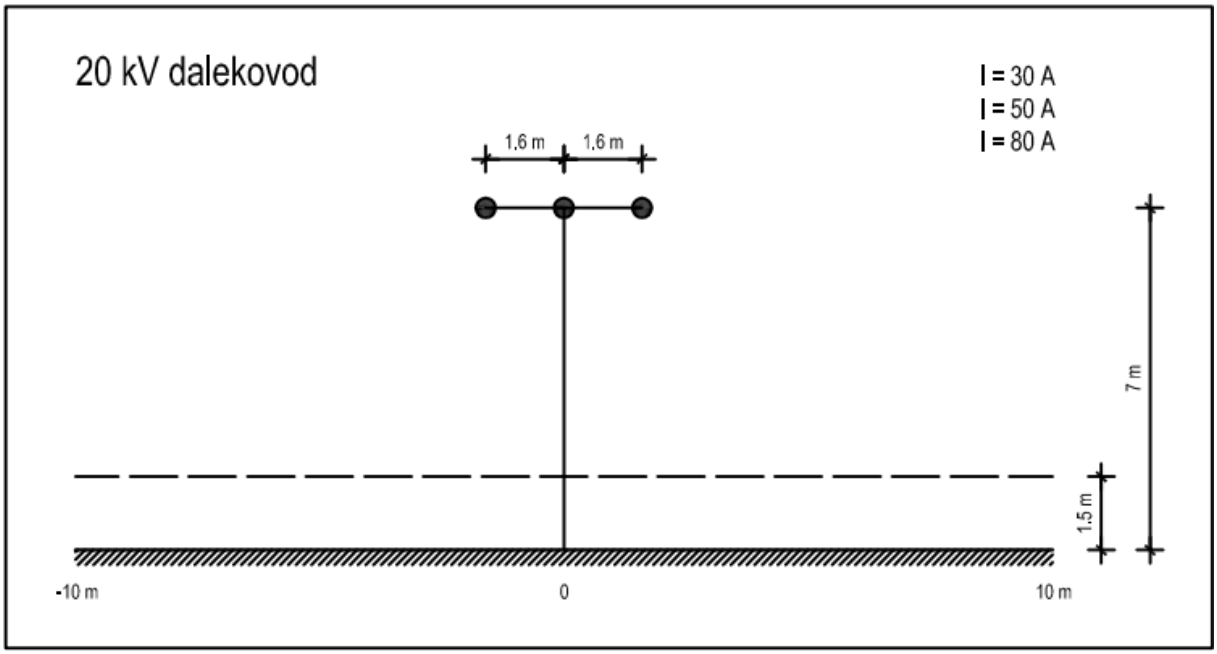
Zamijetimo kako smo definirali *I* kao amplitudu struje. Kako smo koristili amplitudu struje, dobijemo amplitudu magnetskog polja. Isto tako, da smo koristili efektivne vrijednosti struje, dobili bi smo efektivnu vrijednost polja, što je vrlo često i slučaj.[6]

Kompliciranije situacije:

I. U slučaju ako imamo više od jednog električnog kruga.
II. U slučaju da struje nisu fazno pomaknute za točno 120°. Tada bi morali koristiti zadane kutove i računati sin i cos izraze iz fazorskog dijagrama numerički.
III. U slučaju da vodiči nisu beskonačno dugi ili ravni. Tada se mora rastaviti na manje ravne vodiče i računati utjecaj svakog ravnog vodiča

4.3. Izračun magnetskog polja za gama glavu stupa nazivnog napona 20 kV

Ovaj primjer karakterizira raspored vodiča kao na slici 4.8. Vidljivo je da su sva tri vodiča na istoj vertikalnoj udaljenosti od zemlje te da se samo mijenja horizontalna udaljenost svih komponenti magnetskog polja, a u konačnici i ukupno magnetsko polje.



***Slika 4.8**. Raspored vodiča stupa gama glave, 20 kV*

Zadatak:

Izračunati gustoću magnetskog toka (B) koje stvara ovaj dalekovod na visini od 1.5 m.

Obrazloženje:

Zbog toga što su vitalni organi čovjeka vertikalno udaljeni otprilike 1.5 m od tla na toj visini provodimo mjerenja. Uzevši u obzir kretanje čovjeka moramo izračunati gustoću magnetskog toka za što više horizontalnih točaka na visini od 1.5 m.

Zadano:

1) I=30 A , μ_0=1,25564*10^(-6) H/m
2) I=50 A , μ_0=1,25564*10^(-6) H/m
3) I=80 A , μ_0=1,25564*10^(-6) H/m

Rješenje:

Slijedeći izvod iz prošlog poglavlja i implementiranjem istoga u Microsoftovom programu Excel izračunate su sljedeće vrijednosti.

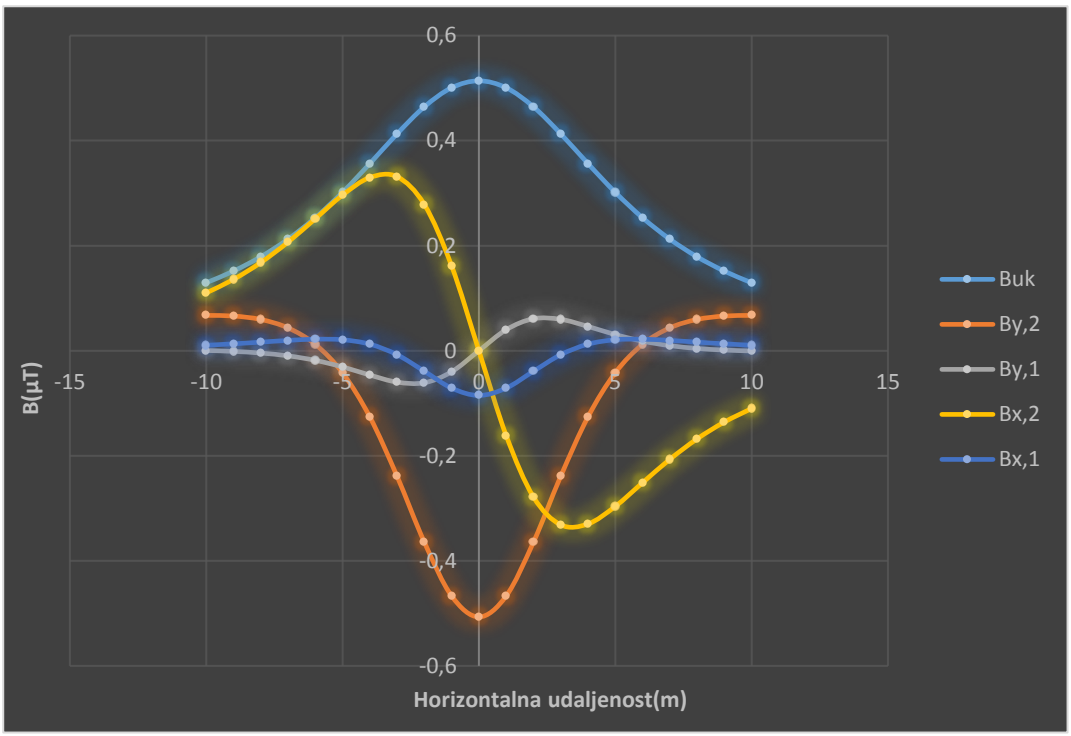
***Tablica 4.4**. Magnetska indukcija gama glave stupa, 20 kV, I=30 A*

x	By,2	By,1	Bx,2	Bx,1	Buk
-10	6,72433E-08	4,74846E-10	1,10087E-07	1,04306E-08	1,29421E-07
-9	6,6095E-08	-1,26175E-09	1,35784E-07	1,31658E-08	1,51594E-07
-8	5,94962E-08	-4,38387E-09	1,67864E-07	1,63693E-08	1,789E-07
-7	4,3482E-08	-9,71008E-09	2,06801E-07	1,96614E-08	2,12458E-07
-6	1,21485E-08	-1,82594E-08	2,51347E-07	2,19597E-08	2,53256E-07
-5	-4,20811E-08	-3,07693E-08	2,96346E-07	2,09043E-08	3,01622E-07
-4	-1,25987E-07	-4,62915E-08	3,29769E-07	1,25062E-08	3,56258E-07
-3	-2,39085E-07	-5,97742E-08	3,31366E-07	-7,55183E-09	4,13031E-07
-2	-3,64565E-07	-6,09621E-08	2,7839E-07	-3,90629E-08	4,64382E-07
-1	-4,66888E-07	-4,00505E-08	1,61452E-07	-7,1135E-08	5,00715E-07
0	-5,06787E-07	0	0	-8,51182E-08	5,13886E-07
1	-4,66888E-07	4,00505E-08	-1,61452E-07	-7,1135E-08	5,00715E-07
2	-3,64565E-07	6,09621E-08	-2,7839E-07	-3,90629E-08	4,64382E-07
3	-2,39085E-07	5,97742E-08	-3,31366E-07	-7,55183E-09	4,13031E-07
4	-1,25987E-07	4,62915E-08	-3,29769E-07	1,25062E-08	3,56258E-07
5	-4,20811E-08	3,07693E-08	-2,96346E-07	2,09043E-08	3,01622E-07
6	1,21485E-08	1,82594E-08	-2,51347E-07	2,19597E-08	2,53256E-07
7	4,3482E-08	9,71008E-09	-2,06801E-07	1,96614E-08	2,12458E-07
8	5,94962E-08	4,38387E-09	-1,67864E-07	1,63693E-08	1,789E-07
9	6,6095E-08	1,26175E-09	-1,35784E-07	1,31658E-08	1,51594E-07
10	6,72433E-08	-4,74846E-10	-1,10087E-07	1,04306E-08	1,29421E-07

Rješenje je dobiveno slijedeći postupak koji je detaljno opisan u poglavlju 4.

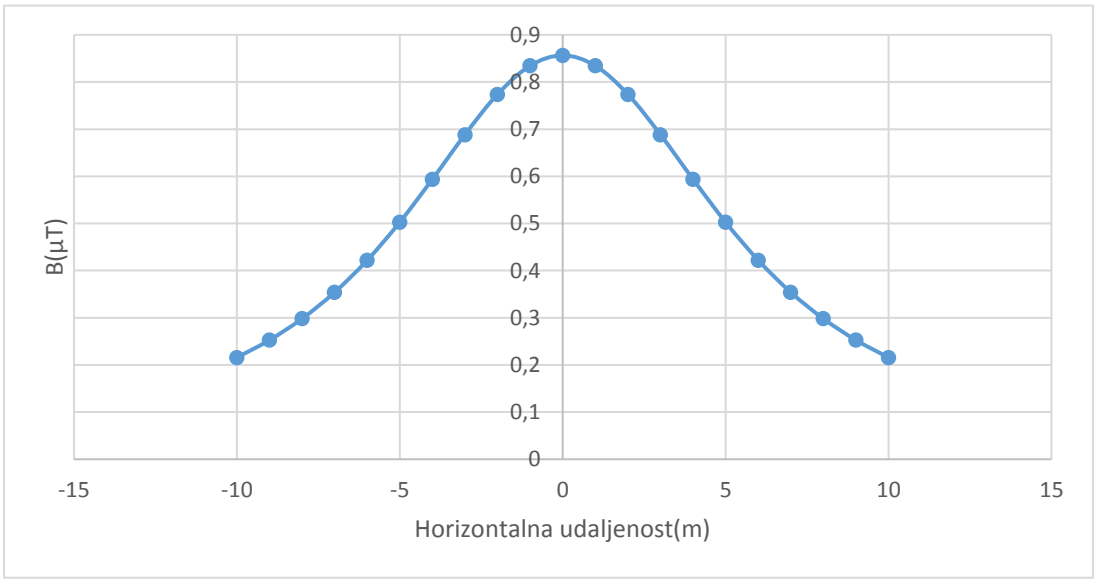
Slike koji slijede u nastavku grafički su rezultati proračuna za naznačene slučajeve 1), 2) i 3).

1)



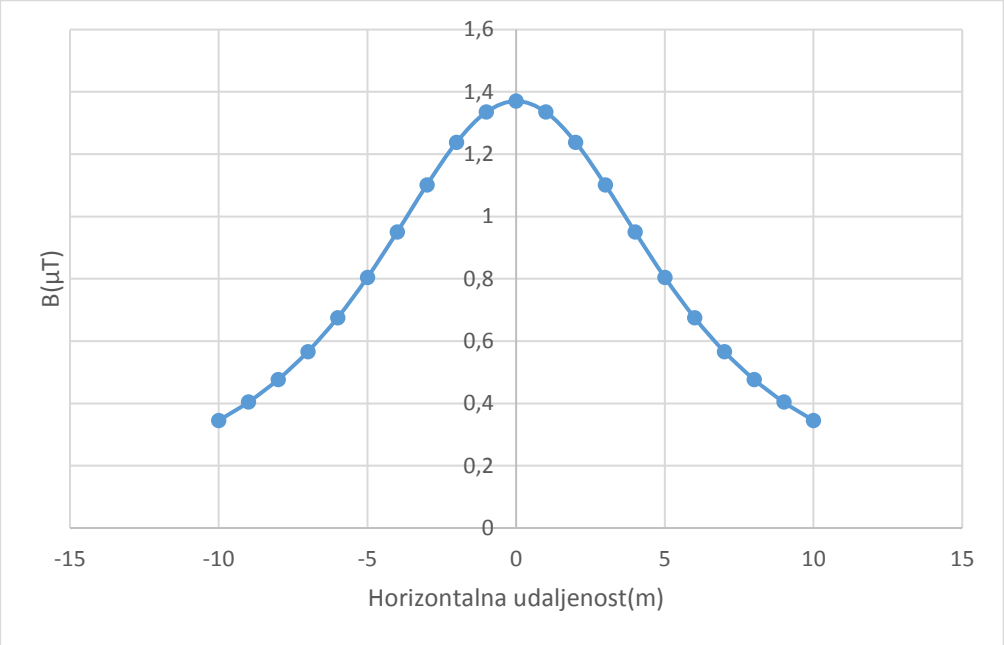
***Slika 4.9**. Prikaz komponenti i ukupne magnetske indukcije za gama glavu stupa nazivnog napona 20 kV,*
I = 30 A

2)

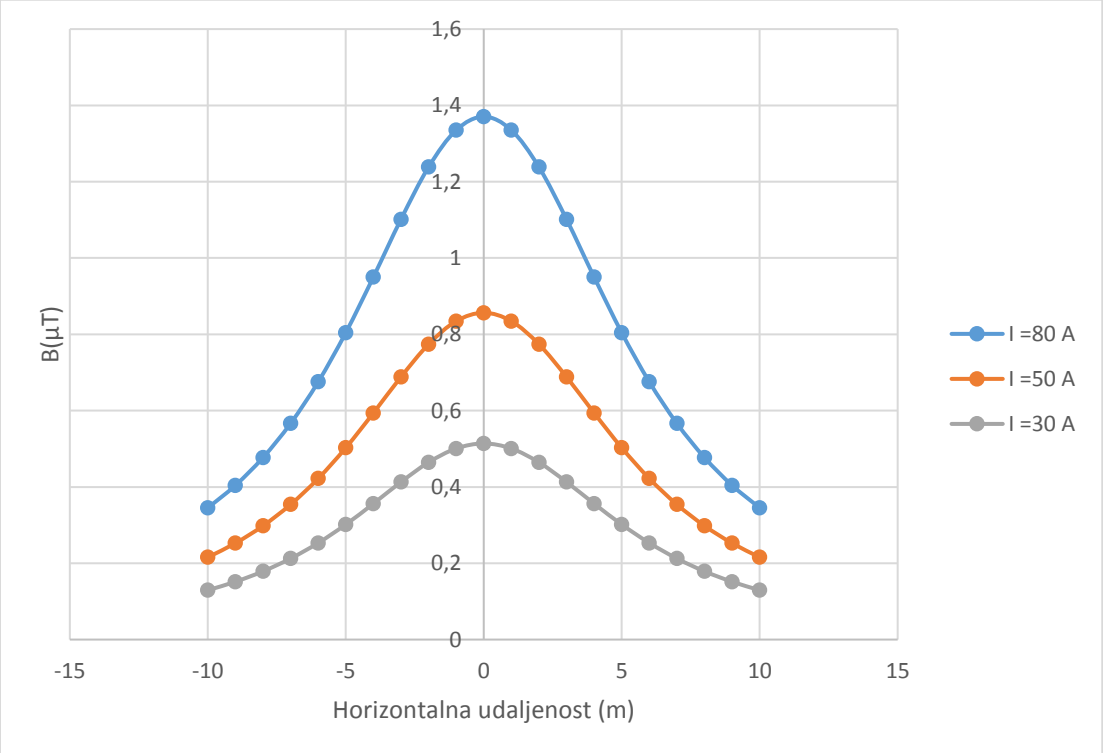


***Slika 4.10**. Prikaz ukupne magnetske indukcije za gama glavu stupa nazivnog napona 20 kV*
I = 50 A

3)



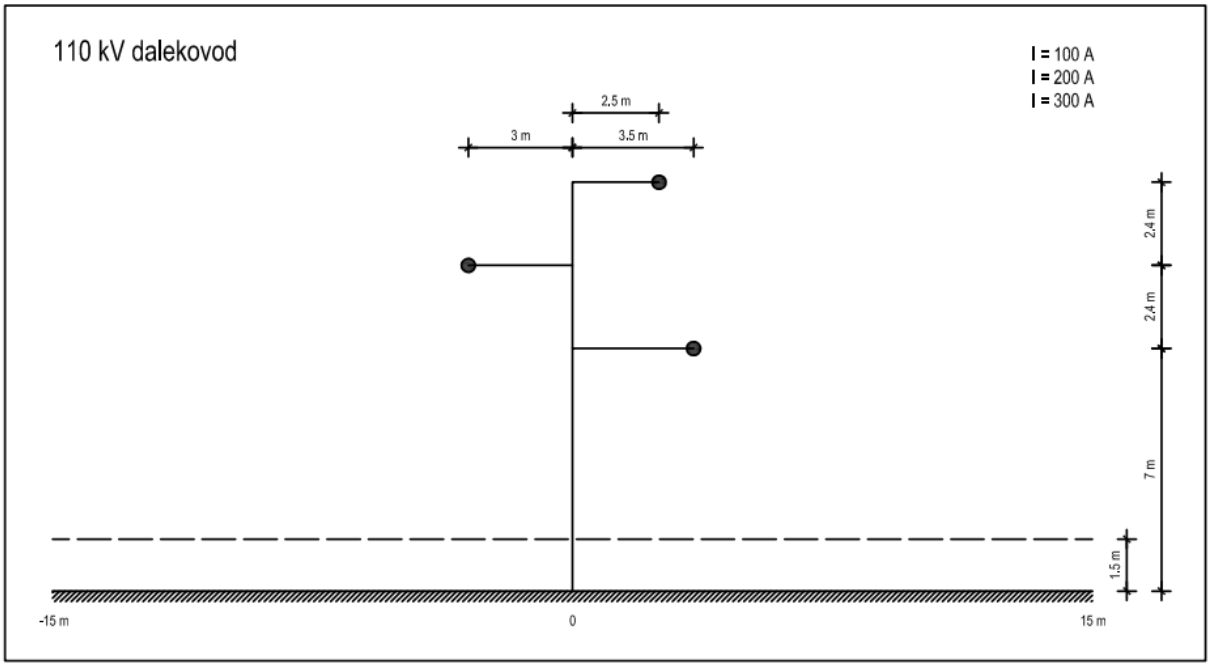
Slika 4.11. *Prikaz ukupne magnetske indukcije za gama glavu stupa nazivnog napona 20 kV*
I = 80 A



Slika 4.12. *Prikaz ukupne magnetske indukcije za gama glavu stupa nazivnog napona 20 kV*

4.4.Izračun magnetskog polja za glavu stupa jela nazivnog napona 110 kV

Ovaj primjer karakterizira raspored vodiča kao na slici 4.13. Uočimo kako raspored vodiča nije simetričan kao kod gama stupa stoga moramo izabrati jedan od vodiča kao referentnu točku. U ovom slučaju izabran je vodič lijevo od stupa.



Slika 4.13. *Raspored vodiča stupa glave jela, 110 kV*

Zadatak:

Izračunati gustoću magnetskog toka (B) koje stvara ovaj dalekovod na visini od 1.5 m.

Obrazloženje:

Zbog toga što su vitalni organi čovjeka vertikalno udaljeni otprilike 1.5 m od tla na toj visini provodimo mjerenja. Uzevši u obzir kretanje čovjeka moramo izračunati gustoću magnetskog toka za što više horizontalnih točaka na visini od 1.5 m.

Zadano:

1) I = 100 A , μ_0=1,25564*10^(-6) H/m
2) I = 200 A , μ_0=1,25564*10^(-6) H/m
3) I = 300 A , μ_0=1,25564*10^(-6) H/m

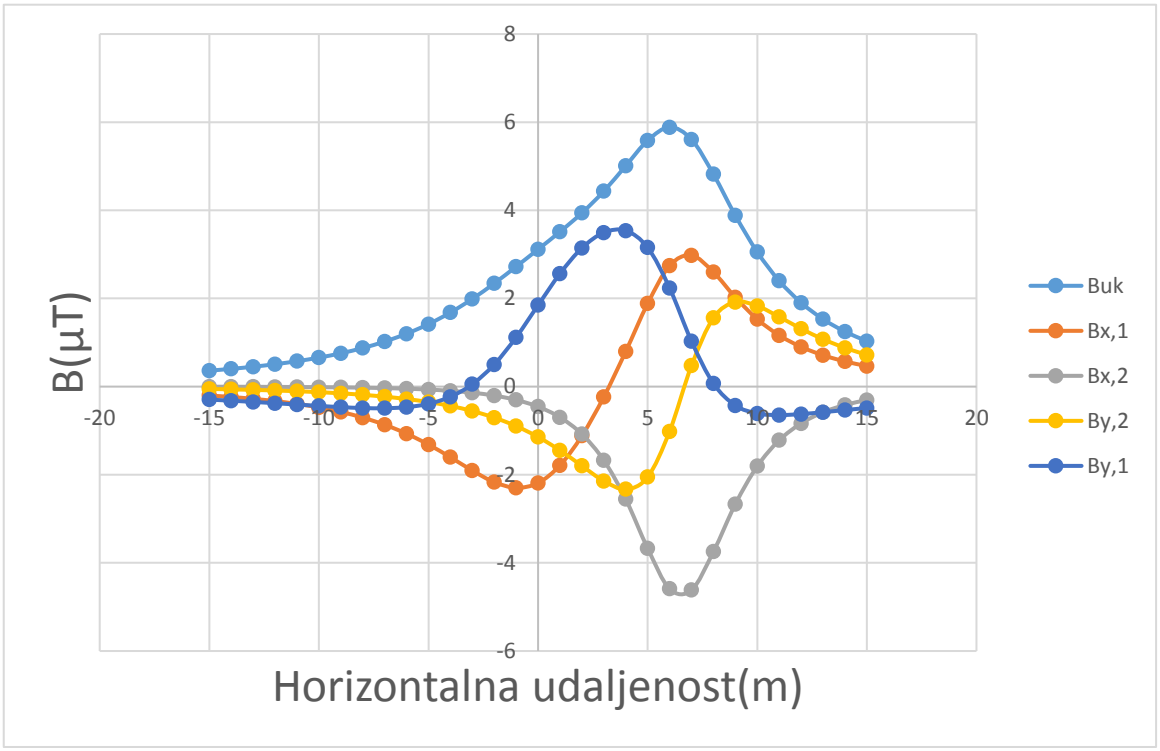
Rješenje:

***Tablica 4.5**. Magnetska indukcija za glavu stupa jela, 110kV, I=100 A*

x	By,2	By,1	Bx,2	Bx,1	Buk
-15	-5,35446E-08	-2,94945E-07	-2,54619E-09	-2,01576E-07	3,61247E-07
-14	-6,30133E-08	-3,20151E-07	-3,61189E-09	-2,35605E-07	4,0248E-07
-13	-7,44879E-08	-3,4754E-07	-5,03715E-09	-2,77329E-07	4,50854E-07
-12	-8,84821E-08	-3,76862E-07	-6,95402E-09	-3,28884E-07	5,08003E-07
-11	-1,05664E-07	-4,07465E-07	-9,54952E-09	-3,93068E-07	5,76008E-07
-10	-1,26909E-07	-4,37986E-07	-1,30917E-08	-4,73527E-07	6,57523E-07
-9	-1,53372E-07	-4,65832E-07	-1,79696E-08	-5,74956E-07	7,55924E-07
-8	-1,86584E-07	-4,86316E-07	-2,47551E-08	-7,03213E-07	8,75464E-07
-7	-2,28586E-07	-4,9126E-07	-3,43007E-08	-8,65145E-07	1,02139E-06
-6	-2,82106E-07	-4,66899E-07	-4,78957E-08	-1,06764E-06	1,19988E-06
-5	-3,50787E-07	-3,91165E-07	-6,75183E-08	-1,31488E-06	1,41758E-06
-4	-4,39463E-07	-2,3141E-07	-9,62491E-08	-1,60225E-06	1,68023E-06
-3	-5,54451E-07	5,38888E-08	-1,38954E-07	-1,90545E-06	1,99007E-06
-2	-7,03733E-07	5,02533E-07	-2,0342E-07	-2,16722E-06	2,34222E-06
-1	-8,96718E-07	1,11984E-06	-3,0224E-07	-2,29448E-06	2,72289E-06
0	-1,14282E-06	1,84694E-06	-4,55887E-07	-2,18602E-06	3,11508E-06
1	-1,44701E-06	2,56423E-06	-6,97483E-07	-1,78656E-06	3,51388E-06
2	-1,79829E-06	3,14371E-06	-1,079E-06	-1,11537E-06	3,94018E-06
3	-2,14252E-06	3,49387E-06	-1,67423E-06	-2,33835E-07	4,43343E-06
4	-2,32841E-06	3,538E-06	-2,55507E-06	7,98E-07	5,01041E-06
5	-2,05241E-06	3,15451E-06	-3,67038E-06	1,88365E-06	5,58418E-06
6	-1,01653E-06	2,23862E-06	-4,58869E-06	2,74441E-06	5,88495E-06
7	4,76516E-07	1,02748E-06	-4,6152E-06	2,97778E-06	5,60803E-06
8	1,55996E-06	6,87442E-08	-3,74526E-06	2,59732E-06	4,8178E-06
9	1,91825E-06	-4,27107E-07	-2,6663E-06	2,02397E-06	3,88171E-06
10	1,83026E-06	-6,09988E-07	-1,80668E-06	1,52931E-06	3,05365E-06
11	1,58217E-06	-6,46055E-07	-1,21871E-06	1,16348E-06	2,39991E-06
12	1,31423E-06	-6,23557E-07	-8,34025E-07	9,0127E-07	1,90366E-06
13	1,07615E-06	-5,80539E-07	-5,82857E-07	7,11461E-07	1,53004E-06
14	8,79119E-07	-5,3243E-07	-4,16534E-07	5,7117E-07	1,24742E-06
15	7,20638E-07	-4,85338E-07	-3,042E-07	4,65235E-07	1,03143E-06

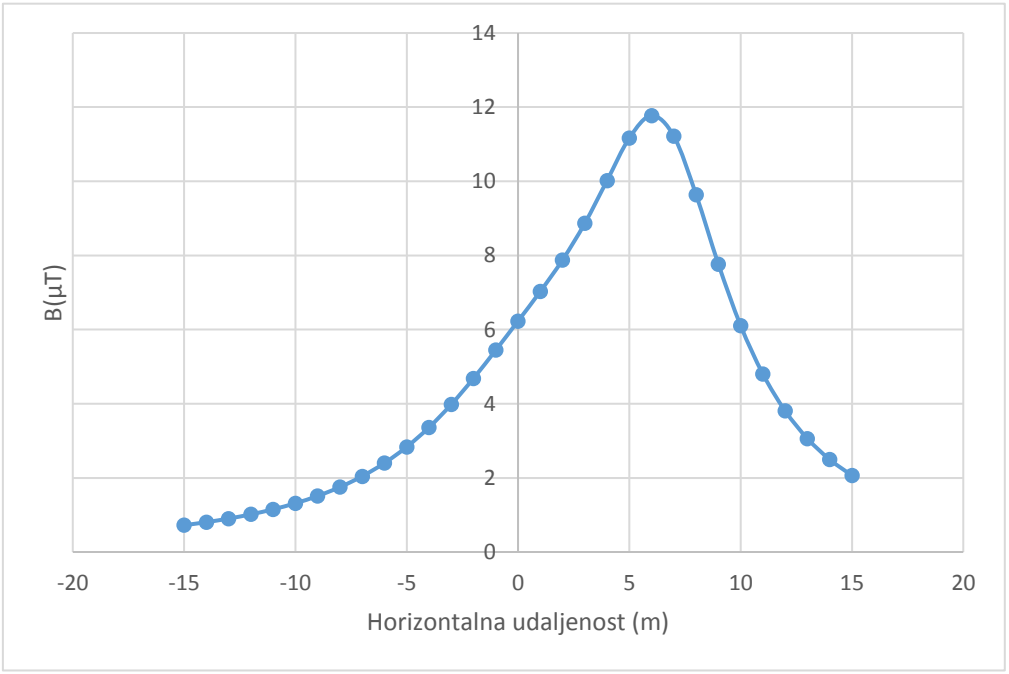
Slike koji slijede u nastavku grafički su rezultati proračuna za naznačene slučajeve 1), 2) i 3).

1)



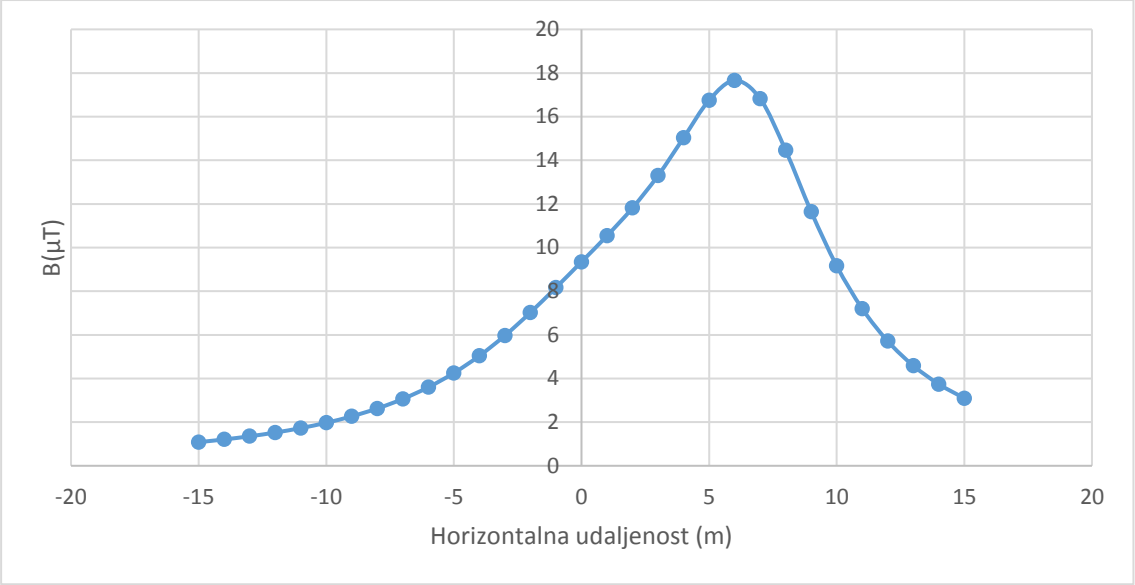
***Slika 4.14**. Prikaz komponenti i ukupne magnetske indukcije za glavu stupa jela nazivnog napona 110 kV,*
I = 100 A

2)

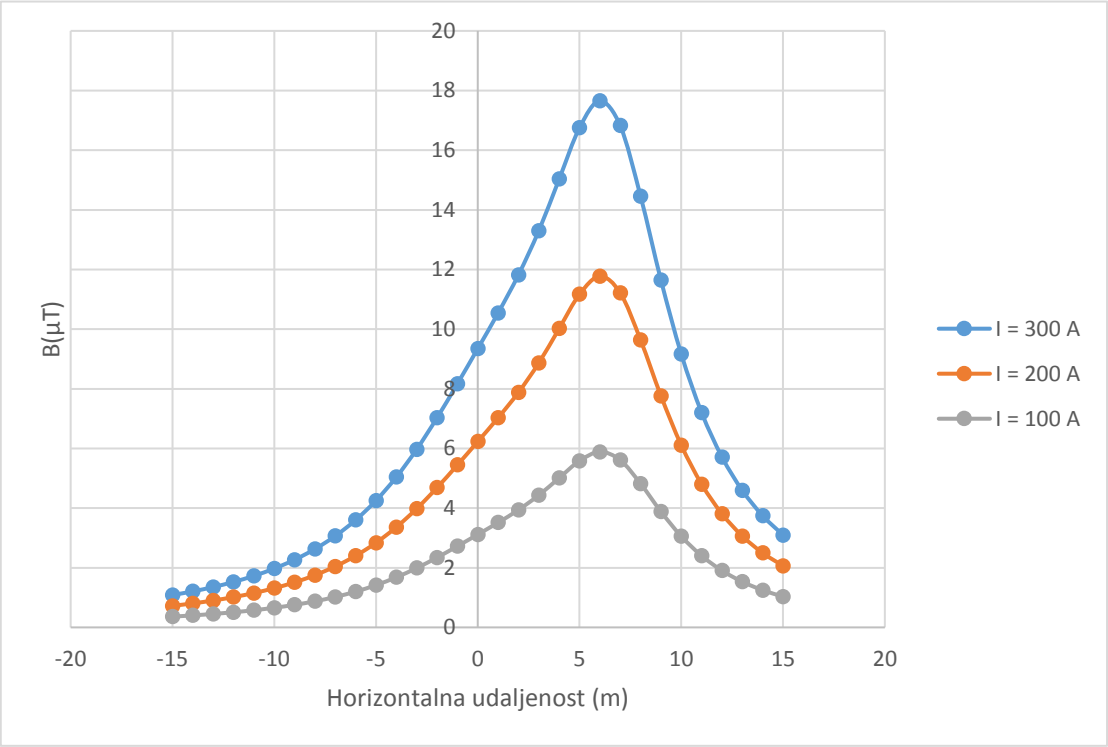


***Slika 4.15.** Prikaz ukupne magnetske indukcije za glavu stupa jela nazivnog napona 110 kV*
I = 200 A

3)



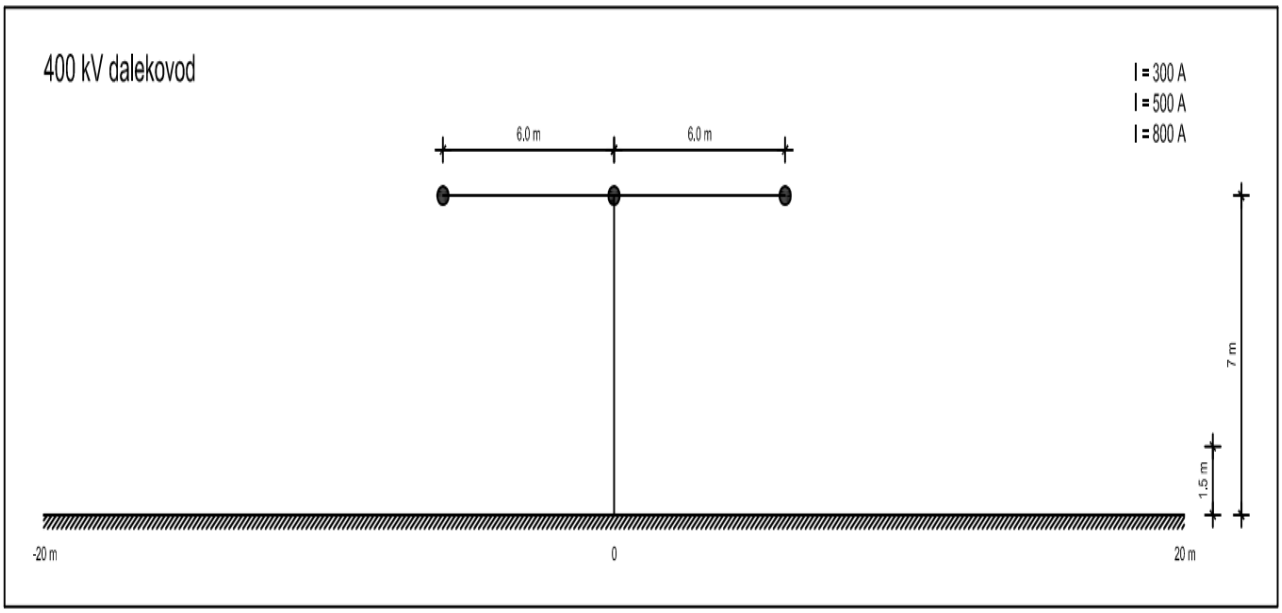
Slika 4.16. *Prikaz ukupne magnetske indukcije za glavu stupa jela nazivnog napona 110 kV*
I = 300 A



Slika 4.17. *Prikaz ukupne magnetske indukcije za glavu stupa jela nazivnog napona 110 kV*

4.5 Izračun magnetskog polja za gama glavu stupa nazivnog napona 400 kV

Raspored vodiča na slici 4.18. je sličan onom na slici 4.8. Razlika je u udaljenosti vodiča koji sada iznosi 6 metara. Dakako ovo je dalekovod s većim nazivnim vrijednostima napona i struja stoga će i magnetska polja ovog dalekovoda biti većeg iznosa nego u prijašnjim primjerima.



***Slika 4.18**. Raspored vodiča stupa gama glave , 400 kV*

Zadatak:

Izračunati gustoću magnetskog toka (B) koje stvara ovaj dalekovod na visini od 1.5 m.

Obrazloženje:

Zbog toga što su vitalni organi čovjeka vertikalno udaljeni otprilike 1.5 m od tla na toj visini provodimo mjerenja. Uzevši u obzir kretanje čovjeka moramo izračunati gustoću magnetskog toka za što više horizontalnih točaka na visini od 1.5 m.

Zadano:

1) I = 300 A , μ_0=1,25564*10^(-6) H/m
2) I = 500 A , μ_0=1,25564*10^(-6) H/m
3) I = 800 A , μ_0=1,25564*10^(-6) H/m

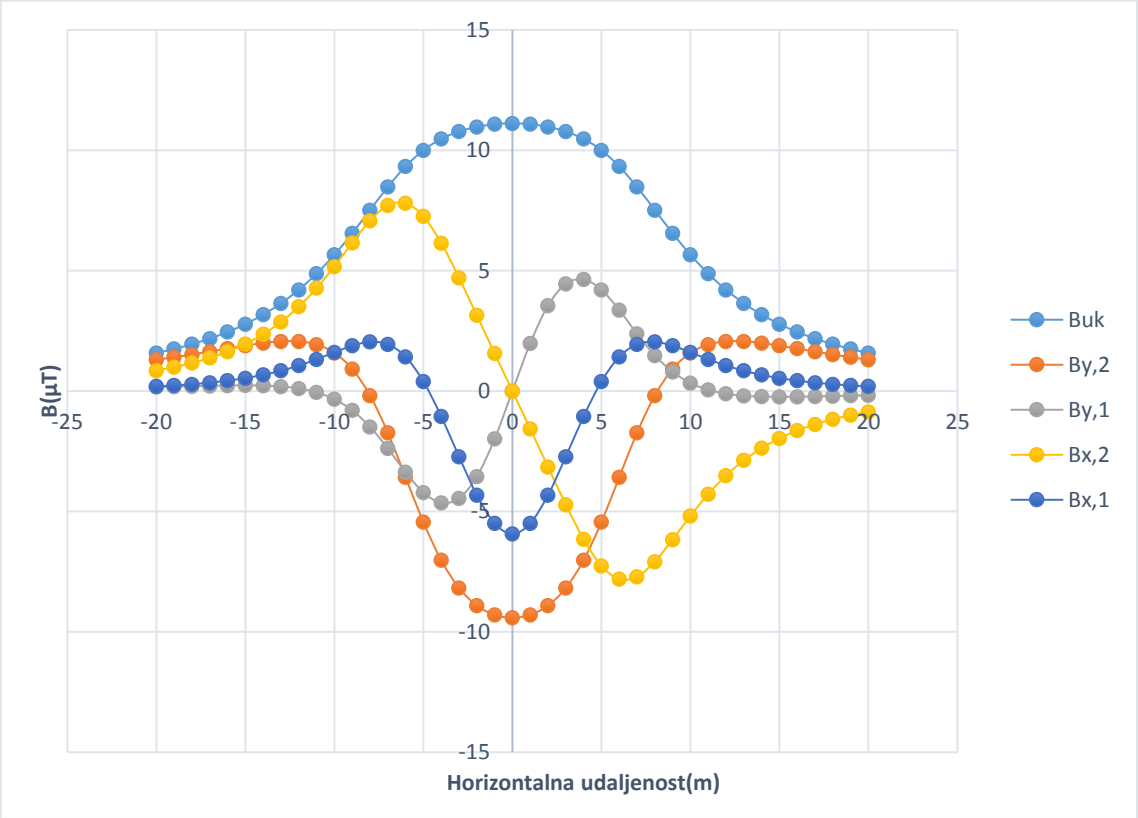
Slike koji slijede u nastavku grafički su rezultati proračuna za naznačene slučajeve 1), 2) i 3).

Rješenje:

Tablica 4.6*.Magnetska indukcija gama glave stupa, 400 kV, I=300 A*

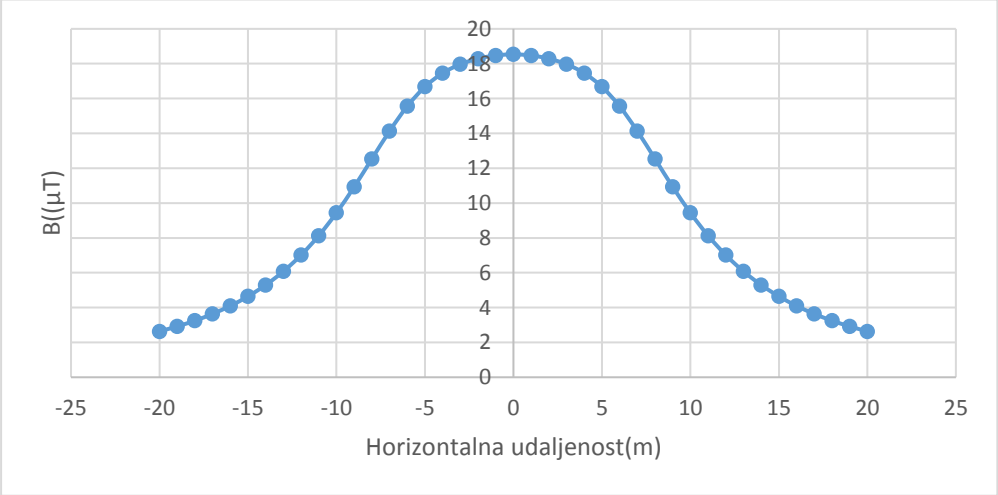
x	By,2	By,1	Bx,2	Bx,1	Buk
-20	3,47301E-06	4,57873E-07	2,28933E-06	5,22438E-07	4,21727E-06
-19	3,75388E-06	5,01875E-07	2,66178E-06	6,30579E-07	4,67185E-06
-18	4,05701E-06	5,46484E-07	3,11654E-06	7,66759E-07	5,2018E-06
-17	4,37873E-06	5,88334E-07	3,67597E-06	9,39398E-07	5,82363E-06
-16	4,71044E-06	6,21263E-07	4,36911E-06	1,1595E-06	6,55803E-06
-15	5,03494E-06	6,3435E-07	5,23316E-06	1,44114E-06	7,43074E-06
-14	5,32031E-06	6,08667E-07	6,31467E-06	1,80159E-06	8,47331E-06
-13	5,51011E-06	5,12083E-07	7,66857E-06	2,26009E-06	9,72309E-06
-12	5,50854E-06	2,91558E-07	9,35212E-06	2,83335E-06	1,12214E-05
-11	5,16123E-06	-1,3656E-07	1,14065E-05	3,52385E-06	1,30071E-05
-10	4,23885E-06	-8,93534E-07	1,38155E-05	4,29439E-06	1,51022E-05
-9	2,44804E-06	-2,1279E-06	1,64309E-05	5,02388E-06	1,74853E-05
-8	-4,82798E-07	-3,95909E-06	1,88828E-05	5,4546E-06	2,00554E-05
-7	-4,60652E-06	-6,35292E-06	2,05624E-05	5,18418E-06	2,26112E-05
-6	-9,54243E-06	-8,98124E-06	2,08199E-05	3,78754E-06	2,48904E-05
-5	-1,45114E-05	-1,12215E-05	1,93486E-05	1,06149E-06	2,66833E-05
-4	-1,87296E-05	-1,23673E-05	1,64001E-05	-2,80219E-06	2,79386E-05
-3	-2,18006E-05	-1,1872E-05	1,25663E-05	-7,25513E-06	2,87534E-05
-2	-2,37453E-05	-9,47153E-06	8,39192E-06	-1,15115E-05	2,92658E-05
-1	-2,47788E-05	-5,29357E-06	4,17727E-06	-1,46441E-05	2,9562E-05
0	-2,50984E-05	0	0	-1,58079E-05	2,96617E-05
1	-2,47788E-05	5,29357E-06	-4,17727E-06	-1,46441E-05	2,9562E-05
2	-2,37453E-05	9,47153E-06	-8,39192E-06	-1,15115E-05	2,92658E-05
3	-2,18006E-05	1,1872E-05	-1,25663E-05	-7,25513E-06	2,87534E-05
4	-1,87296E-05	1,23673E-05	-1,64001E-05	-2,80219E-06	2,79386E-05
5	-1,45114E-05	1,12215E-05	-1,93486E-05	1,06149E-06	2,66833E-05
6	-9,54243E-06	8,98124E-06	-2,08199E-05	3,78754E-06	2,48904E-05
7	-4,60652E-06	6,35292E-06	-2,05624E-05	5,18418E-06	2,26112E-05
8	-4,82798E-07	3,95909E-06	-1,88828E-05	5,4546E-06	2,00554E-05
9	2,44804E-06	2,1279E-06	-1,64309E-05	5,02388E-06	1,74853E-05
10	4,23885E-06	8,93534E-07	-1,38155E-05	4,29439E-06	1,51022E-05
11	5,16123E-06	1,3656E-07	-1,14065E-05	3,52385E-06	1,30071E-05
12	5,50854E-06	-2,91558E-07	-9,35212E-06	2,83335E-06	1,12214E-05
13	5,51011E-06	-5,12083E-07	-7,66857E-06	2,26009E-06	9,72309E-06
14	5,32031E-06	-6,08667E-07	-6,31467E-06	1,80159E-06	8,47331E-06
15	5,03494E-06	-6,3435E-07	-5,23316E-06	1,44114E-06	7,43074E-06
16	4,71044E-06	-6,21263E-07	-4,36911E-06	1,1595E-06	6,55803E-06
17	4,37873E-06	-5,88334E-07	-3,67597E-06	9,39398E-07	5,82363E-06
18	4,05701E-06	-5,46484E-07	-3,11654E-06	7,66759E-07	5,2018E-06
19	3,75388E-06	-5,01875E-07	-2,66178E-06	6,30579E-07	4,67185E-06
20	3,47301E-06	-4,57873E-07	-2,28933E-06	5,22438E-07	4,21727E-06

1)



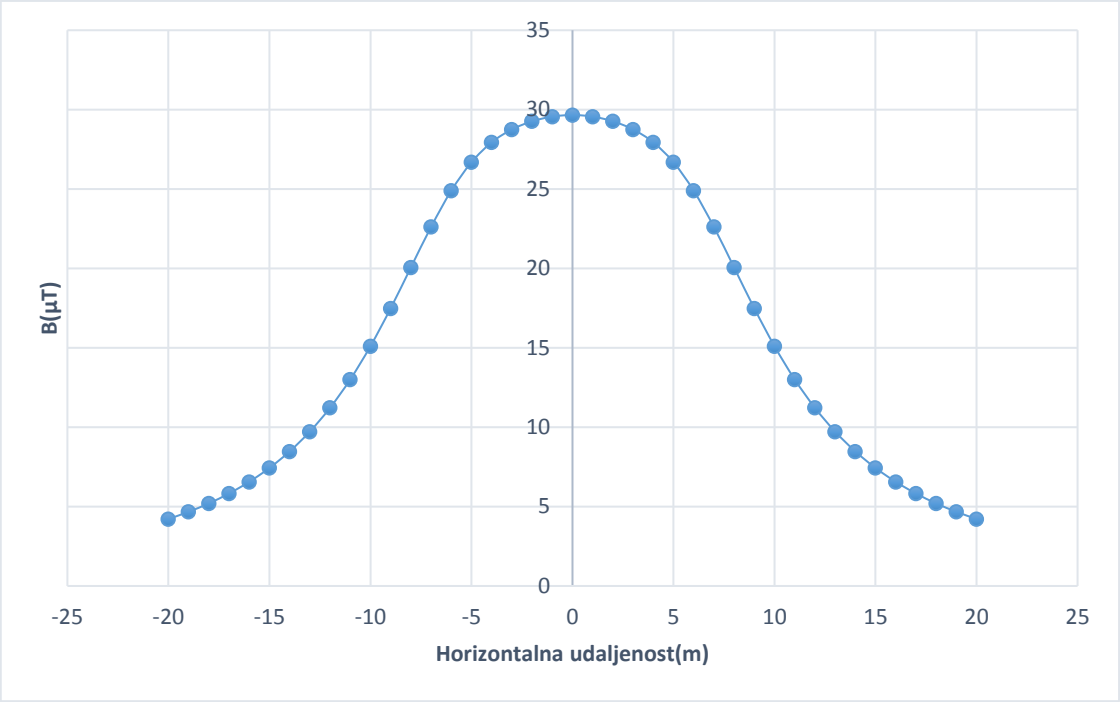
Slika 4.19*. Prikaz komponenti i ukupne magnetske indukcije za gama glavu stupa nazivnog napona 400 kV,*
I = 300 A

2)

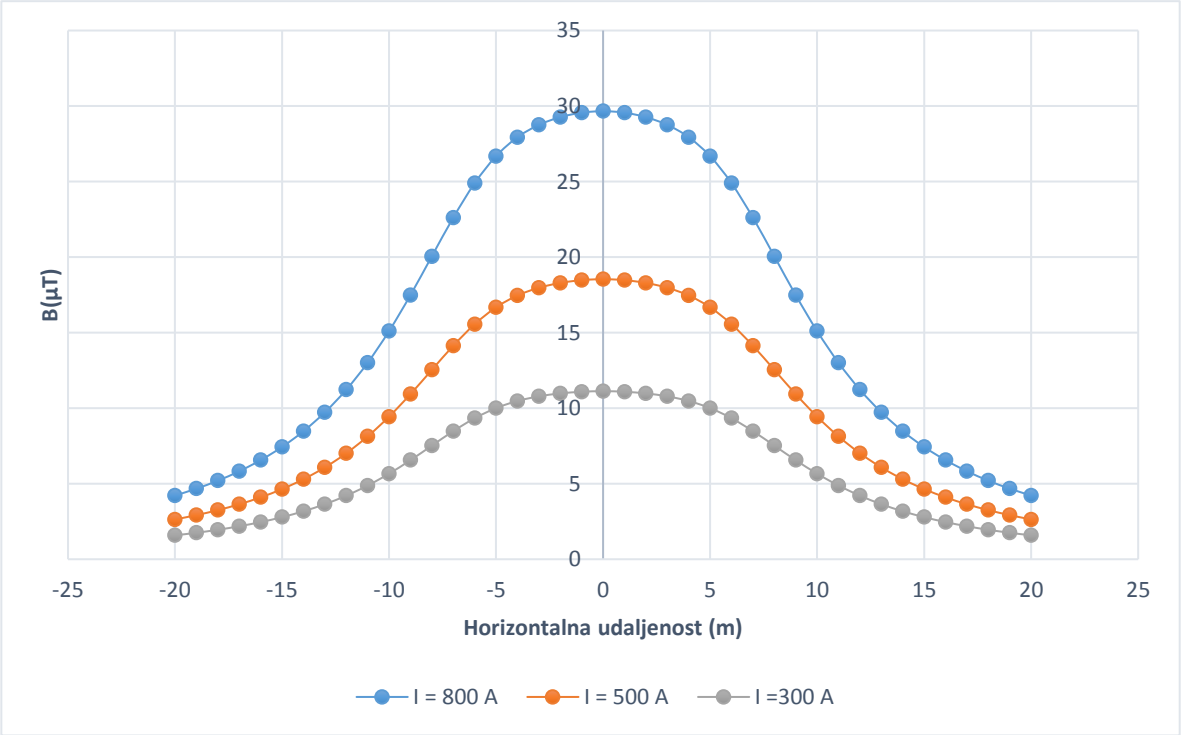


Slika 4.20. *Prikaz ukupne magnetske indukcije za gama glavu stupa nazivnog napona 400 kV*
I = 500 A

3)



Slika 4.21. *Prikaz ukupne magnetske indukcije za gama glavu stupa nazivnog napona 400 kV*
I = 800 A



Slika 4.22. *Prikaz ukupne magnetske indukcije za gama glavu stupa nazivnog napona 400 kV*

4.6 Izračun magnetskog polja za gama glavu stupa s vodičima koji su protjecani nesimetričnim strujama nazivnog napona 400 kV

Raspored vodiča je identičan onomu kao na slici 4.18. uz to da kroz vodiče protječu nesimetrične struje.

Zadatak:

Izračunati gustoću magnetskog toka (B) koje stvara ovaj dalekovod na visini od 1.5 m.

Obrazloženje:

Zbog toga što su vitalni organi čovjeka vertikalno udaljeni otprilike 1.5 m od tla na toj visini provodimo mjerenja. Uzevši u obzir kretanje čovjeka moramo izračunati gustoću magnetskog toka za što više horizontalnih točaka na visini od 1.5 m.

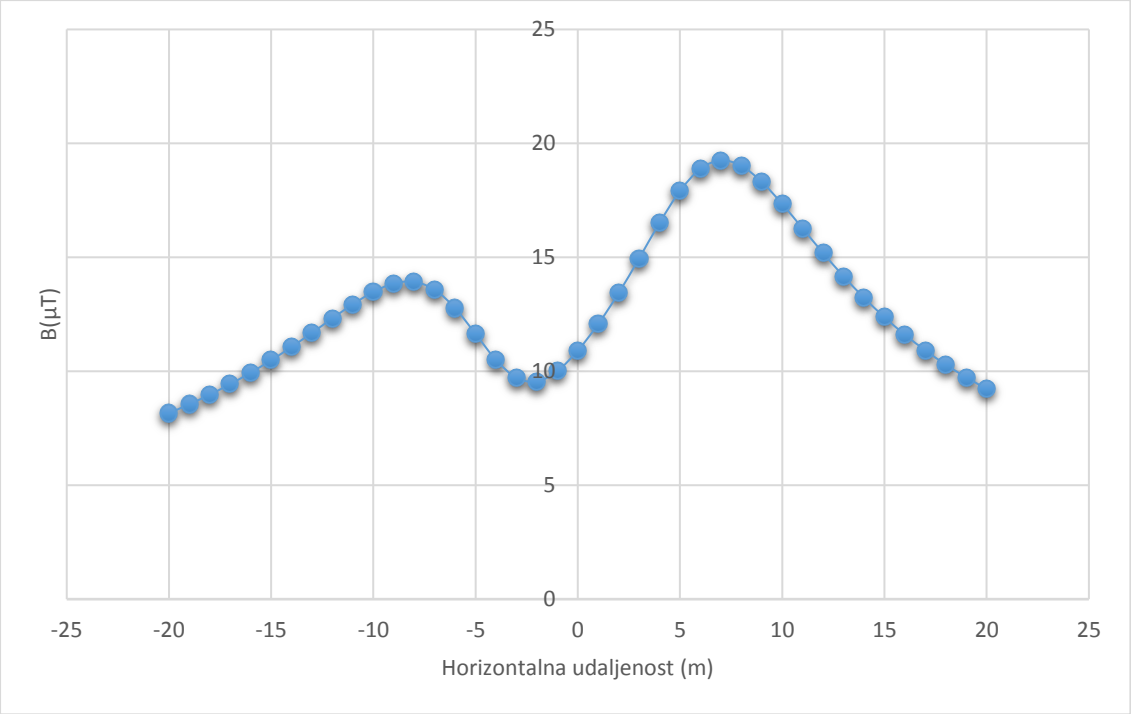
Zadano:

I_-= 400 A, I_0= 500 A, I_+= 600 A, , μ_0=1,25564*10^(-6) H/m

Rješenje:

Tablica 4.7*.Magnetska indukcija gama glave stupa s vodičima koji su protjecani nesimetričnim strujama, 400 kV*

x	By,2	By,1	Bx,2	Bx,1	Buk
-20	1,61306E-07	8,74892E-07	3,55275E-08	8,11E-06	8,16161E-06
-19	2,02014E-07	1,04012E-06	4,27593E-08	8,49E-06	8,5513E-06
-18	2,54308E-07	1,244E-06	4,87632E-08	8,89E-06	8,97568E-06
-17	3,21834E-07	1,49731E-06	5,1701E-08	9,31E-06	9,43792E-06
-16	4,09373E-07	1,81406E-06	4,83425E-08	9,77E-06	9,94068E-06
-15	5,23043E-07	2,21228E-06	3,31035E-08	1,02E-05	1,04853E-05
-14	6,70274E-07	2,71451E-06	-3,54372E-09	1,07E-05	1,10704E-05
-13	8,59124E-07	3,34732E-06	-7,76057E-08	1,12E-05	1,16891E-05
-12	1,09592E-06	4,13823E-06	-2,15321E-07	1,16E-05	1,23245E-05
-11	1,37921E-06	5,10648E-06	-4,5783E-07	1,18E-05	1,29428E-05
-10	1,68695E-06	6,24217E-06	-8,64372E-07	1,18E-05	1,34839E-05
-9	1,95413E-06	7,46903E-06	-1,50661E-06	1,14E-05	1,38526E-05
-8	2,04638E-06	8,59928E-06	-2,43959E-06	1,05E-05	1,39226E-05
-7	1,75615E-06	9,325E-06	-3,63813E-06	9E-06	1,35731E-05
-6	8,64671E-07	9,31652E-06	-4,92461E-06	7,16E-06	1,27678E-05
-5	-7,32933E-07	8,41462E-06	-5,96614E-06	5,34E-06	1,16389E-05
-4	-2,93494E-06	6,73728E-06	-6,37789E-06	3,93E-06	1,04953E-05
-3	-5,44135E-06	4,57054E-06	-5,8467E-06	3,11E-06	9,71419E-06
-2	-7,80031E-06	2,17447E-06	-4,20604E-06	2,83E-06	9,55341E-06
-1	-9,45406E-06	-3,15471E-07	-1,52022E-06	2,91E-06	1,00127E-05
0	-9,87993E-06	-2,87586E-06	1,81132E-06	3,14E-06	1,0909E-05
1	-8,85112E-06	-5,53706E-06	5,09674E-06	3,29E-06	1,20736E-05
2	-6,58904E-06	-8,31543E-06	7,63338E-06	3,11E-06	1,34345E-05
3	-3,62757E-06	-1,11373E-05	8,99334E-06	2,34E-06	1,49515E-05
4	-5,67796E-07	-1,37628E-05	9,08128E-06	7,49E-07	1,65157E-05
5	2,05979E-06	-1,57711E-05	8,06068E-06	-1,7E-06	1,79131E-05
6	3,86976E-06	-1,67083E-05	6,30194E-06	-4,8E-06	1,88844E-05
7	4,72408E-06	-1,6378E-05	4,30302E-06	-7,8E-06	1,92517E-05
8	4,77187E-06	-1,50042E-05	2,50928E-06	-1E-05	1,90113E-05
9	4,32572E-06	-1,30696E-05	1,15326E-06	-1,2E-05	1,83087E-05
10	3,68105E-06	-1,10272E-05	2,52546E-07	-1,3E-05	1,7338E-05
11	3,0256E-06	-9,1517E-06	-2,87129E-07	-1,3E-05	1,62618E-05
12	2,44578E-06	-7,55192E-06	-5,79768E-07	-1,3E-05	1,51853E-05
13	1,96599E-06	-6,23839E-06	-7,1771E-07	-1,3E-05	1,41649E-05
14	1,58172E-06	-5,17882E-06	-7,64377E-07	-1,2E-05	1,32252E-05
15	1,27839E-06	-4,32917E-06	-7,59834E-07	-1,1E-05	1,23725E-05
16	1,04E-06	-3,64732E-06	-7,28236E-07	-1,1E-05	1,16042E-05
17	8,52414E-07	-3,09766E-06	-6,83716E-07	-1E-05	1,09134E-05
18	7,04141E-07	-2,65167E-06	-6,34342E-07	-9,9E-06	1,02922E-05
19	5,8621E-07	-2,28711E-06	-5,84585E-07	-9,4E-06	9,73261E-06
20	4,91741E-07	-1,98676E-06	-5,36813E-07	-9E-06	9,22705E-06



Slika 4.23. *Prikaz ukupne magnetske indukcije za gama glavu stupa protjecanog nesimetričnim strujama nazivnog napona 400 kV*
I_- = 400 A, I_0= 500 A, I_+= 600 A

5. ZAKLJUČAK

Utjecaj magnetskih polja dalekovoda se ni u kojem slučaju ne smije zanemariti i zapostaviti, trebaju se vršiti točna i koncizna mjerenja i na temelju istih provoditi istraživanja o utjecaju magnetskih polja na okolinu u kojoj se nalaze dalekovodi. Na temelju dobivenih rezultata u ovom završnom radu se ne može odrediti sigurna udaljenost od dalekovoda zbog toga što sve vrijednosti dobivene u tablicama proračuna premašuju dopuštene vrijednosti profesionalne izloženosti magnetskoj indukciji u Republici Hrvatskoj. Trajna i svakodnevna ljudska aktivnost unutar prostora proračuna nije preporučljiva zbog toga što su vrijednosti magnetske indukcije daleko veće od dozvoljenih. Dakako, aproksimirani dalekovod u prezentiranim primjerima postavljen je u najnepovoljnijoj točci. Tamo gdje je provjes dalekovoda najveći, jer su na tom mjestu vodiči najbliže površini zemlje. Ovakva aproksimacija ostavila je trag na dobivena rješenja koja su znatno veća od propisanih ograničenja. Uočeno je da dalekovod s glavom stupa gama kroz koje protječu simetrične električne jakosti struje stvara za svaku točku koja je jednako horizontalno i vertikalno udaljena od referentne točke stupa jednaku magnetsku indukciju, što je i očekivano uzevši u obzir simetričnu raspodjelu vodiča na gama glavi stupa dalekovoda. Magnetska indukcija koju proizvodi dalekovod s glavom stupa jela kroz koje protječu simetrične električne struje ima najveću vrijednost koja utječe na čovjeka oko vodiča koji je najbliže zemlji. Takva fizikalna pojava proizlazi iz zakona da je magnetsko polje veće vrijednosti što je bliže točci na koju djeluje. Dalekovod s glavom stupa gama kroz koje protječu nesimetrične električne jakosti struje ima najveću magnetsku indukciju oko vodiča kroz koji protječe najveća električna struja zato što je magnetska indukcija pojedinog vodiča proporcionalna s električnom strujom tog vodiča, a u konačnici i s ukupnom magnetskom indukcijom.

Dakle, ovim radom je ustvrđeno da vrijednosti magnetske indukcije nastale protjecanjem električne struje kroz vodiče dalekovoda mogu biti veće od dozvoljenih te je potencijalni štetni utjecaj na živu i neživu prirodu može biti prisutan stoga se moraju pronaći načini za smanjenje vrijednosti magnetske indukcije kako bi potencijalni štetni utjecaj na okolinu u kojoj se nalazi dalekovod bio što manji.

LITERATURA

[1.] J. Lajos, N. Srete: Nadzemni vodovi, Elektrotehnički fakultet sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera, Osijek, 1995.

[2.] N. Mehdi, S. Ghahraman, J. Masoud: Magnetic field calculation of 63 kV transmission lines, IJRRAS, Marvdasht Iran, 2013. http://www.arpapress.com/Volumes/Vol17Issue2/IJRRAS_17_2_10.pdf 11.9.2018.

[3.] P. H. Pretorius: Electric and magnetic fields from overhead power lines, Empetus, 2006., http://www.eskom.co.za/OurCompany/SustainableDevelopment/EnvironmentalImpactAssessments/Documents/Anderson_Substation_Appendix_C_-_Electric_and_Magnetic_Fields_from_Overhead_Power_Lines1.pdf 7.9.2018.

[4.] Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja: Granične razine referentnih veličina https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2003_12_204_3306.html , datum pristupa: 11.9.2017.

[5.] B. Posedel, P. Posedel: Proračun elektromagnetskih polja zračnih distributivnih vodova, Sveučilište u Zagrebu Ekonomski fakultet, Umag, 2017., dostupno na http://www.ho-cired.hr/ datum pristupa: 12. 9. 2018.

[6.] How to calculate the magnetic field from a three-phase circuit, http://www.emfs.info/wp-content/uploads/2014/07/Howtocalculatethemagneticfieldfromathree.pdf datum pristupa 15.9.2018.

Popis slika:

Slika2.1. Jednostruki čelično-rešetkasti stupovi[1] a) “jela“ b) modificirana jela c)Y-stup d)“mačka“[1]……...4

Slika2.2. Tipične izvedbe drvenih stupova[1]…….5

Slika2.3. Tipične izvedbe betonskih stupova a)niski napon b)niski napon c)niski napon d) 10-20kV e) 35 – 110 kV, „jela“ f) 110 kV „portal“ g) 35 – 110 kV, „bačva“ h) 35 – 110 kV, „dvostruka jela“[1]…….6

Slika2.4. Oblici temelja za stup nadzemnog voda[1]……..7

Slika 4.1. Prikaz ukupne magnetske indukcije za gama glavu stupa nazivnog napona 20 kV, 400 kV i glavu stupa jela 110 kV…….....14

Slika 4.2. Magnetsko polje prouzročeno jednom strujom[6]……15

Slika 4.3. Vertikalna i horizontalna komponenta magnetske indukcije [6]…….…16

Slika 4.4. Prikaz geometrijskih odnosa [6]…….…….……..…..……..16

Slika 4.5. Prikaz struja za tri beskonačno duga vodiča[6]……...17

Slika 4.6 Magnetsko polje prouzročeno strujom I_+ protjecanom kroz vodič [6]……..18

Slika 4.7. Fazorski dijagram struja[6]……...19

Slika 4.8. Raspored vodiča stupa gama glave, 20 kV……...22

Slika 4.9. Prikaz komponenti i ukupne magnetske indukcije za gama glavu stupa nazivnog napona 20 kV, I = 30 A……24

Slika 4.10. Prikaz ukupne magnetske indukcije za gama glavu stupa nazivnog napona 20 kV I = 50 A……24

Slika 4.11. Prikaz ukupne magnetske indukcije za gama glavu stupa nazivnog napona 20 kV I =80 A……...25

Slika 4.12. Prikaz ukupne magnetske indukcije za gama glavu stupa nazivnog napona 20 kV…25

Slika 4.13. Raspored vodiča stupa glave jela, 110 kV……...26

Slika 4.14. Prikaz komponenti i ukupne magnetske indukcije za glavu stupa jela nazivnog napona 110 kV, I = 100 A…….28

Slika 4.15. Prikaz ukupne magnetske indukcije za glavu stupa jela nazivnog napona 110 kV I = 200 A……28

Slika 4.16. Prikaz ukupne magnetske indukcije za glavu stupa jela nazivnog napona 110 kV I = 300 A……...29

Slika 4.17. Prikaz ukupne magnetske indukcije za glavu stupa jela nazivnog napona 110 kV...29

Slika 4.18. Raspored vodiča stupa gama glave , 400 kV…….30

Slika 4.19. Prikaz komponenti i ukupne magnetske indukcije za gama glavu stupa nazivnog napona 400 kV, I = 300 A……32

Slika 4.20. Prikaz ukupne magnetske indukcije za gama glavu stupa nazivnog napona 400 kV I = 500 A……..32

Slika 4.21. Prikaz ukupne magnetske indukcije za gama glavu stupa nazivnog napona 400 kV I = 800 A……..33

Slika 4.22.Prikaz ukupne magnetske indukcije za gama glavu stupa nazivnog napona 400 kV.33

Slika 4.23. Prikaz ukupne magnetske indukcije za gama glavu stupa protjecanog nesimetričnim strujama nazivnog napona 400 kV I_- = 400 A, I_0= 500 A, I_+= 600 A……..36

Popis tablica:

Tablica 3.1.. Granične vrijednosti magnetskog polja i magnetskog toka[4]……..……..13

Tablica 4.1. Komponente magnetske indukcije za vodiče protjecan strujom I_0, I_-, I_+[6].....18

Tablica 4.2. Fazorski zapis električnih struja[6].....19

Tablica 4.3. Rastav struja na komponente[6].....20

Tablica 4.4. Magnetska indukcija gama glave stupa, 20 kV.....23

Tablica 4.5. Magnetska indukcija za glavu stupa jela, 110kV.....27

Tablica 4.6.Magnetska indukcija gama glave stupa, 400 kV.....31

Tablica 4.7.Magnetska indukcija gama glave stupa s vodičima koji su protjecani nesimetričnim strujama, 400 kV.....35

Sažetak

U ovom završnom radu opisana je analiza i proveden proračun magnetskih polja u okolišu trofaznih vodova. Na početku rada koncizno su opisani mogući stupovi dalekovoda te detaljno obrazloženo kako se i od čega izrađuju temelji i stupovi dalekovoda. Zatim su opisani temeljni utjecaji magnetskih veličina na raznoliku živu te neživu prirodu, prikazana je tablica ograničenja magnetskih veličina u Republici Hrvatskoj. Na kraju rada provodi se teorijski pregled analitičkog izračuna magnetskog polja, pojednostavljena shema jednog vodiča protjecanog električnom strujom postupno se proširuje i na kraju dobivamo zadovoljavajuću aproksimaciju dalekovoda u

stvarnosti. Primjenom te aproksimacije na zadanim primjerima stvarnog dalekovoda izračunate su magnetske veličine i nacrtana krivulja koja nam grafički predočuje izračunate vrijednosti.

Ključne riječi: magnetsko polje, dalekovod, temelji dalekovoda, stupovi dalekvooda, električna struja

Abstract

The final thesis describes analyze and calculation of magnetic fields in surroundings of three-phase lines. At the beginning of the thesis, the possible columns of the transmission line are described concisely, how and from which material are the foundations and columns of the transmission line made is explained in detail. Then the basic effects of magnetic magnitudes on the diverse living and inanimate nature are described, a table of magnetic magnitude limitations in the Republic of Croatia is presented. At the end of the thesis, a theoretical review of the analytical calculation of the magnetic field is preformed, the simplified scheme of one conductor with electric current is gradually expanding and finally we get a satisfactory approximation of the transmission line in reality. By applying this approximation to the given examples of the real transmission line, magnetic magnitudes are calculated, a curve is drawn that graphically presents the calculated values.

Key words: magnetic field, overhead transmission towers, the foundation of the transmission line, column of the transmission line, electrical current

Životopis

Tomislav Primorac rođen je 05. siječnja 1996. godine u Osijeku. Pohađao je osnovnu školu „Fran Krsto Frankopan“ u Osijeku, po završetku 2010. godine upisuje „Elektrotehničku i prometnu školu u Osijeku“. Po završetku srednjoškolskog obrazovanja upisuje preddiplomski studij elektrotehnike na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku.

Po završetku preddiplomskog sveučilišnog studija elektrotehnike želi upisati diplomski sveučilišni studij elektrotehnike u Osijeku.

U Osijeku 11. rujna 2018. Tomislav Primorac

Potpis: