# Izbor betonskih stupova i vodiča za izgradnju niskonaponske mreže sa samonosivim kabelskim snopom

**Dejanović, Dragan**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2017**

*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:200:959766

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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

*Repository / Repozitorij:*

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

# IZBOR BETONSKIH STUPOVA I VODIČA ZA IZGRADNJU NISKONAPONSKE MREŽE SA SAMONOSIVIM KABELSKIM SNOPOM

**Završni rad**

**Dragan Dejanović**

**Osijek, 2017.**

# Sadržaj

1. UVOD ..... 1
1.1. Zadatak završnog rada ..... 1
2. ELEKTROENERGETSKI SUSTAV ..... 2
2.1. Distribucija električne energije ..... 4
2.2. Niskonaponska mreža ..... 6
2.3. Vrste niskonaponskih mreža s obzirom na izvedbu vodova ..... 8
2.3.1. Nadzemni vodovi u niskonaponskoj mreži ..... 8
2.3.3. Samonosivi kabelski snop ..... 13
2.4. Armiranobetonski centrifugirani stupovi ..... 17
3. PRORAČUN OPTEREĆENJA I ODABIR VODIČA I STUPOVA U NISKONAPONSKOJ MREŽI ..... 21
3.1. Odabir presjeka vodiča ..... 21
3.1.1. Vršno strujno opterećenje i maksimalna snaga ..... 21
3.1.2. Pad napona u mreži ..... 23
3.2. Iznos sile na vrhu stupa pri odabiru betonskih stupova ..... 25
3.2.1. Linijski nosivi betonski stup ..... 25
3.2.2. Zatezni stup ..... 28
3.2.3. Kutni stup ..... 30
4. PRIMJER ODABIRA VODIČA I STUPOVA ZA ULICU S OBITELJSKIM KUĆAMA. 33
4.1. Dozvoljena trajna struja ..... 33
4.2. Dozvoljeni postotni pad napona ..... 34
4.3. Odabir stupa s odgovarajućom nazivnom silom ..... 34
4.4. Provjera rezultata u računalnom programu ..... 35
5. ZAKLJUČAK ..... 39
POPIS LITERATURE ..... 40
SAŽETAK ..... 41
ŽIVOTOPIS ..... 42

# 1. UVOD

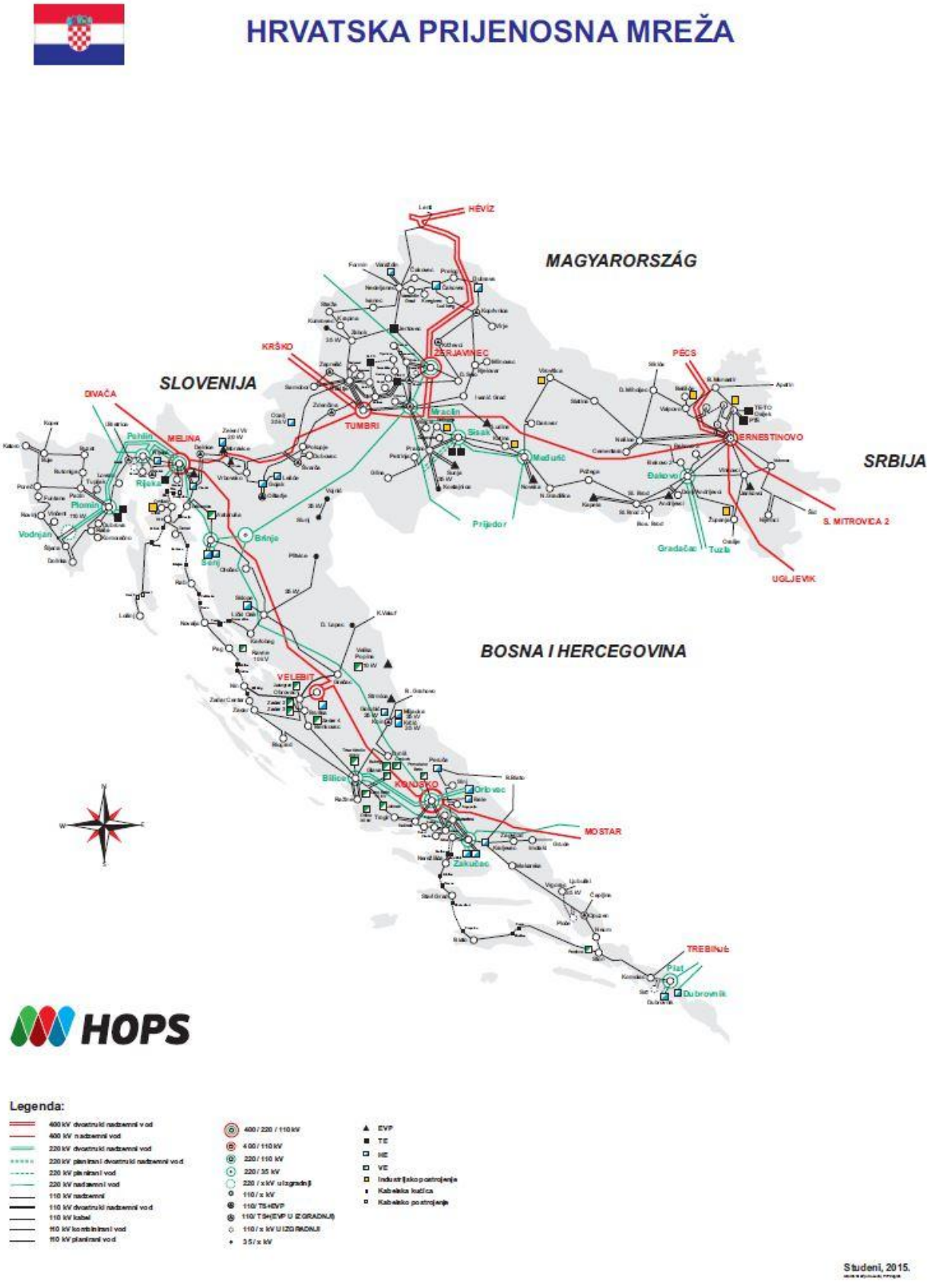
Tema ovog rada je odabir vodiča i betonskih stupova u niskonaponskoj mreži. Da bi se električna energija sigurno prenijela od izvora do potrošača, potreban je složen tehnički sustav koji se sastoji od mnogo različitih komponenti, od kojih su samo neke vodiči i stupovi. Strukturno se rad sastoji od pet poglavlja. U drugom poglavlju opisan je elektroenergetski sustav s naglaskom na mreže s nadzemnim vodovima. Govori se o vrstama i tehničkim karakteristikama samonosivog kabelskog snopa i armiranobetonskih centrifugiranih stupova te o njihovoj ulozi u niskonaponskoj distributivnoj mreži. Treće poglavlje orijentirano je na teorijski dio izračuna presjeka vodiča i sile na vrh stupa, dok je u četvrtom poglavlju odrađen klasičan proračun uz provjeru u računalnom programu.

## 1.1. Zadatak završnog rada

U radu je potrebno dati kratak opis izvedbe niskonaponskih distributivnih mreža,a poseban naglasak je potrebno staviti na mreže s betonskim stupovima i samonosivim kabelskim snopom. Opisati smjernice za odabir betonskih stupova i vodiča u praksi. Samostalno izvršiti odabir betonskih stupova i vodiča za primjer distributivne mreže te provedeni proračun provjeriti u dostupnom računalnom programu.

# 2. ELEKTROENERGETSKI SUSTAV

Prirodni oblici energije rijetko se mogu iskoristiti kao oblici energije, pa je potrebno obaviti pretvorbu energije u pogodniji oblik, lakši za transport i korištenje. Temeljne energetske pretvorbe ostvaraju se izgaranjem, s pomoću fotoćelija, nuklearnim reakcijama itd. Električnom energijom se zadovoljavaju potrebe za mehaničkom energijom u kućanstvima, industriji, pa čak i u transportu. Prema [1], energetski sustav čine postrojenja za eksploataciju prirodnih oblika energije, postrojenja za pretvorbu oblika energije, postrojenja za transport oblika energije, postrojenja za razdiobu oblika energije, postrojenja za uskladištenje oblika energije i potrošači oblika energije. Najveći dio električne energije dobiva se u elektranama, gdje se mehanička energija pretvara u električnu. Zadatak je elektroenergetskog sustava da osigura kvalitetnu isporuku električne energije uz minimalne troškove u elektroenergetskom sustavu [1]. Osnovni dijelovi elektroenergetskog sustava su izvori električne energije, rasklopna postrojenja, prijenosne i razdjelne mreže i potrošači električne energije. Po fazama tehnološkog procesa, elektroenergetska mreža se dijeli na izvore (proizvodnju), prijenosnu mrežu, distribucijsku mrežu i potrošnju. Po tehničkoj podjeli prijenosnu mrežu čine postrojenja i vodovi nazivnog napona 110 kilovolta i više, a ostalo je distribucijska mreža [2]. Na slici 2.1. prikazan je izgled hrvatske prijenosne mreže iz 2015. godine.

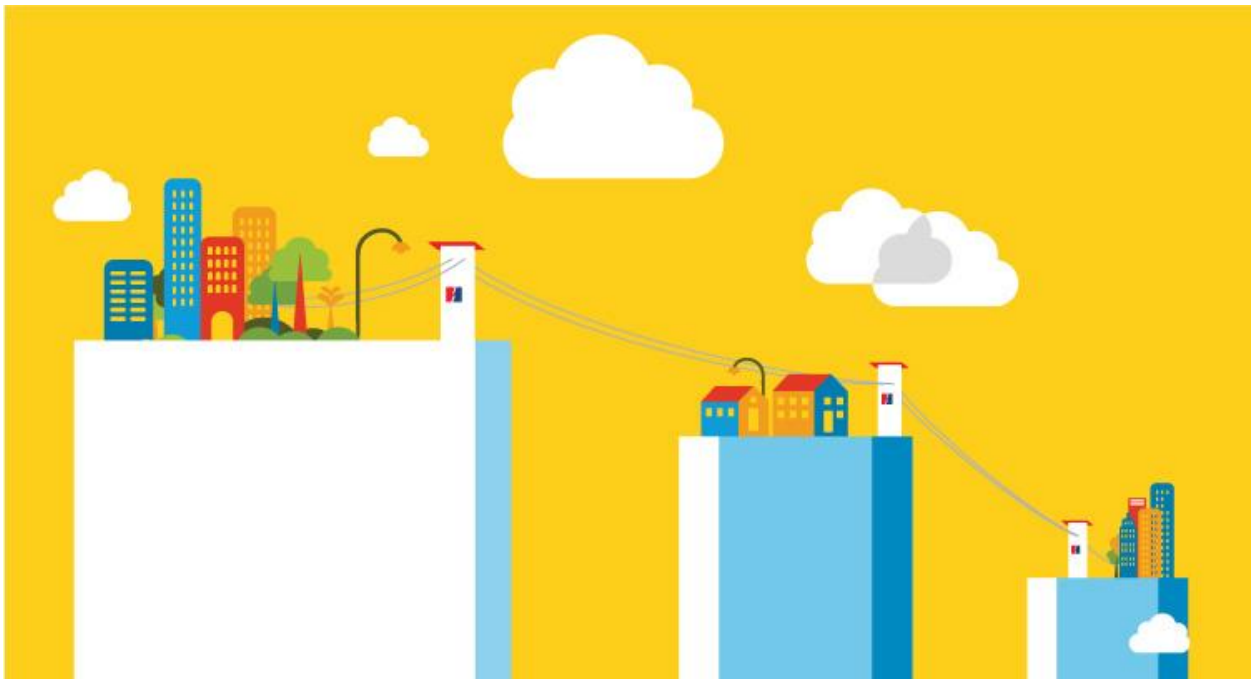



***Sl. 2.1.*** *Shema hrvatske prijenosne mreže iz studenog 2015. [3]*

## 2.1. Distribucija električne energije

Distribucijska mreža je dio elektroenergetskog sustava koji opskrbljuje potrošače i transformatorske stanice zadnjeg stupnja transformacije električnom energijom. Sastoji se od razdjelnih vodova, transformatora i druge električne opreme. Distribucija je transport električne energije preko distribucijskog sustava visokog, srednjeg i niskog napona s ciljem njene isporuke kupcima, ali ne uključuje opskrbu [4]. Fizička ili pravna osoba odgovorna za pogon, osiguravanje održavanja i razvoj distribucijske mreže je operator distribucijskog sustava. U Republici Hrvatskoj funkcioniranje energetskih subjekata koji obavljaju djelatnost prijenosa i distribucije električne energije je regulirano zakonskim i podzakonskim aktima. Mrežna pravila elektroenergetskog sustava u članku 2.3. definiraju dužnosti operatora distribucijskog sustava u odnosu na distribucijsku mrežu na sljedeći način: sigurno i učinkovito vođenje distribucijske mreže uz što manje utjecaja na prirodu i okoliš radi isporuke električne energije zajamčene kvalitete, kontinuitet i pouzdanost napajanja električnom energijom, upravljanje tokovima električne energije u distribucijskoj mreži, osiguranje pristupa mreži za treće osobe na reguliranoj osnovi, osim u slučaju ograničenih tehničkih ili pogonskih mogućnosti mreže, pružanje potrebnih informacija operatoru prijenosnog sustava radi sigurnog i učinkovitog pogona, usklađenog razvoja i omogućavanja pogona međusobno povezanih mreža, utvrđivanje potrebnih uputa za pravilan rad distribucijske mreže, koordinaciju s operatorom prijenosnog sustava i provođenje pogonskih pravila i uputa, prikupljanje potrebnih podataka o planiranim aktivnostima u distribucijskoj mreži te dostavljanje tih podataka operatoru prijenosnog sustava radi izrade rasporeda isporuke i preuzimanja električne energije [5]. Operator distribucijskog sustava odgovoran je u odnosu na pogon distribucijske mreže za pogonske manipulacije sklopnim aparatima u postrojenjima distribucijske mreže, pogonska mjerenja i signalizacije u mreži, primjenu pravila i mjera zaštite na radu, ugovaranje korištenja distribucijske mreže s korisnicima mreže te dostavljanje tog ugovora operatoru tržišta, osiguravanje energije za pokrivanje gubitaka u mreži, analiza gubitaka te provođenje mjera za njihovo smanjenje, davanje potrebnih informacija i podataka operatoru prijenosnog sustava i korisnicima mreže o planiranim aktivnostima na distribucijskoj mreži, vođenje statistike pogonskih događaja i prekid ili promjenu načina pogona mreže i isporuke električne energije korisnicima sukladno Općim uvjetima za opskrbu električnom energijom [5]. U odnosu na održavanje distribucijske mreže, operator distribucijskog sustava odgovoran je za održavanje pogonske spremnosti mreže, skrb o primarnoj opremi mreže, skrb o zaštitnim uređajima mreže, skrb o opremi obračunskog mjernog

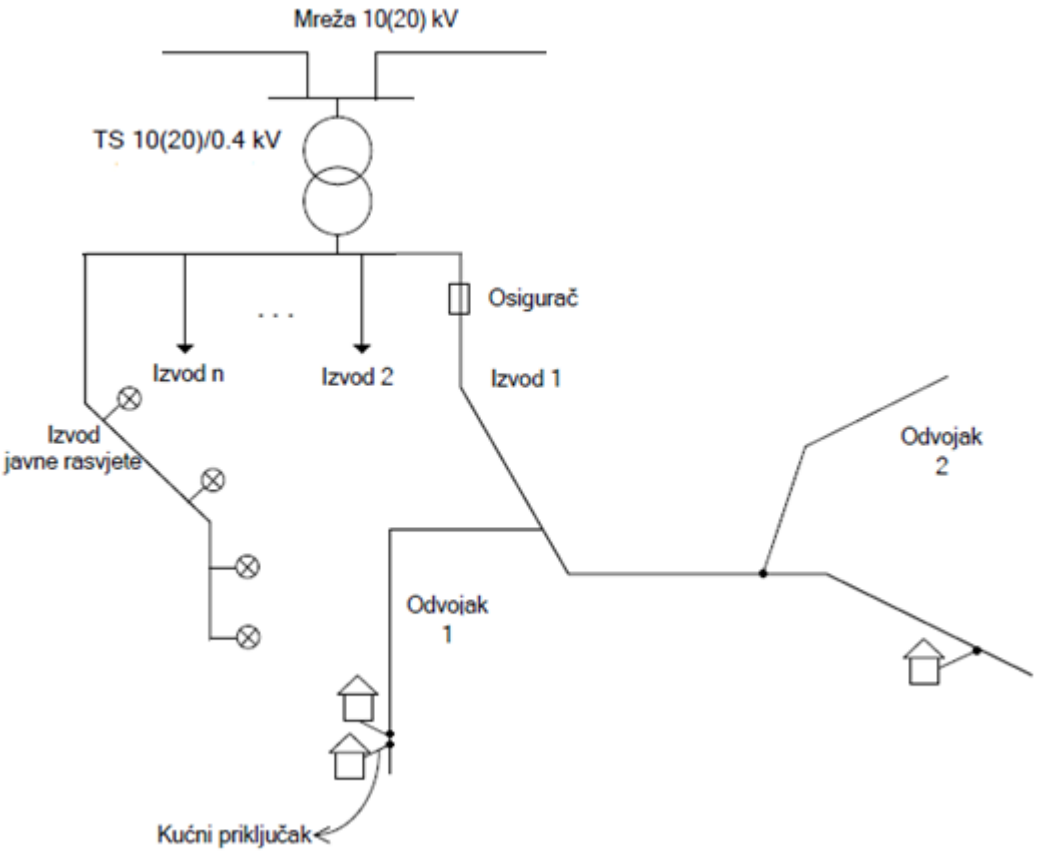
mjesta, skrb o uređajima procesne informatike i telekomunikacija, skrb o pomoćnim pogonima i instalacijama, skrb o sustavima uzemljenja i sustavima zaštite od požara, skrb o građevinskim i konstrukcijskim dijelovima distribucijske mreže i skrb o uređajima za prijam i prijenos obračunskih i pogonskih mjerenja u distribucijskoj mreži [5]. U odnosu na razvoj i izgradnju distribucijske mreže, operator distribucijskog sustava odgovoran je za osiguravanje dugoročne sposobnosti distribucijske mreže radi zadovoljenja razboritih zahtjeva za distribucijom električne energije, doprinos pouzdanosti napajanja odgovarajućim distribucijskim kapacitetima i pouzdanosti mreže, poticanje ekonomičnog razvoja mreže, uzimajući u obzir prethodno maksimalno opterećenje i proizvodnju, kao i zahtjeve korisnika mreže u okviru plana razvoja mreže, pripremu izgradnje i nadzor nad izgradnjom objekata mreže, utvrđivanje uvjeta za priključak na distribucijsku mrežu novih korisnika mreže te uvjeta za povećanje priključne snage postojećim korisnicima mreže i usklađivanje planova razvoja s operatorom prijenosnog sustava [5]. Distribucijska mreža obično se dijeli na dvije cjeline: srednjenaponsku distribucijsku mrežu, koja najčešće ima nazivne napone od 10 do 35 kilovolta, i niskonaponsku distribucijsku mrežu, najčešće nazivnog napona 0,4 kilovolta. Sastavni dio distribucijske mreže su kabelski i zračni vodovi kojima se električna energija prenosi na udaljenosti od desetak metara do nekoliko desetaka kilometara te distribucijski transformatori preko kojih se električna energija transformira ili između dvije podmreže ili iz distribucijske mreže u električno postrojenje industrijskog potrošača. Potrošači električne energije su fizičke ili pravne osobe koje preuzimaju električnu energiju iz mreže i koriste ju za vlastite potrebe, tj. za napajanje različitih vrsta električnih trošila. Od strane elektroenergetske mreže na koju je spojen, potrošač bi bio svaki objekt koji je priključen na mrežu i koji iz mreže uzima reaktivnu i radnu energiju. Potrošač se kao sastavni dio mreže, ovisno o pogonskim karakteristikama, može prikazati kao oduzimanje stalnog iznosa jalove i radne snage u čvoru, tako da se odgovarajuća impedancija mijenja ovisno o stvarnom naponu u istom čvoru ili kao impedancija stalnog iznosa neovisno o spomenutom naponu. Dojam povezanosti različitih naponskih nivoa i opskrbe potrošača možemo steći pomoću slike 2.2.



***Slika 2.2.*** *Ilustracija distribucijske mreže HEP ODS [6]*

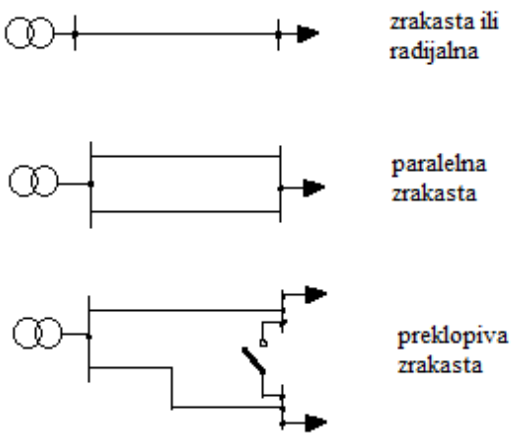
## 2.2. Niskonaponska mreža

Najvažnija značajka niskonaponske mreže je da se većina potrošača napaja na niskom naponu od 400 volta. Zbog te činjenice broj trafostanica 10(20)/0.4 kV u elektroenergetskom sustavu je jako velik, pa je njihova izgradnja i održavanje jedan od najznačajnijih dijelova distribucijske djelatnosti. Preko osigurača se na niskonaponske izvode spajaju potrošači, dok su izvodi za napajanje javne rasvjete obično odvojeni. Postoje slučajevi viševodičkih izvoda kad se s tri faze napajaju potrošači, a javna rasvjeta s dodatnom jednom ili dvije faze. Čak i u tom slučaju je javna rasvjeta poseban strujni krug, s mogućim zajedničkim nul vodičem. Potrošači se obično u niskonaponskoj mreži dijele u tri kategorije: kućanstva, javna rasvjeta i ostali potrošači, gdje su ostali potrošači manje industrijske radnje, uslužne djelatnosti i slično. Kod proračuna opterećenja u niskonaponskoj mreži, osnovni parametri koje treba poznavati kod potrošača su radna snaga i faktor snage (ili jalova snaga) koju uzima iz mreže. Slika 2.3. pokazuje primjer jedne niskonaponske mreže, s izvodom javne rasvjete i potrošačkim izvodima.



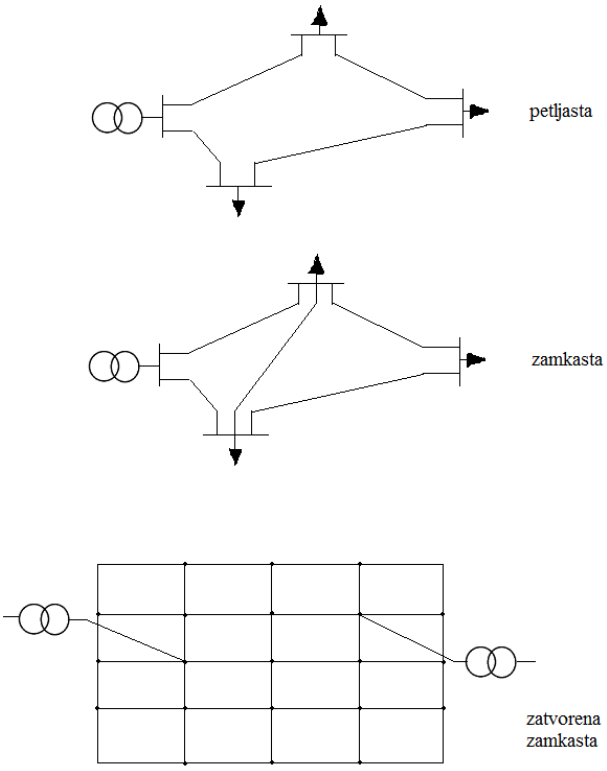

***Slika 2.3.*** *Primjer niskonaponske mreže*

S obzirom na tip mreže, možemo ih podijeliti na otvorene i zatvorene. Otvorene mreže su zrakasta ili radijalna, paralelna zrakasta i preklopiva zrakasta, prikazano na slici 2.4.




***Slika 2.4.*** *Primjeri tipova otvorene mreže [7]*

Zatvorene mreže mogu biti petljaste, zamkaste ili zatvorene zamkaste, vidljivo na slici 2.5.




***Slika 2.5.*** *Primjeri tipova zatvorene mreže [7]*

## 2.3. Vrste niskonaponskih mreža s obzirom na izvedbu vodova

Niskonaponske mreže ovisno o načinu prenošenja električne energije mogu biti nadzemne mreže s izoliranim vodičima (samonosivi kabelski snop), nadzemne s klasičnim golim vodičima ili kabelske mreže.

### 2.3.1. Nadzemni vodovi u niskonaponskoj mreži

Osnovni elementi nadzemnih vodova su stupovi, fazni i zaštitni vodiči, temelji, uzemljivači, izolatori te spojni, ovjesni i zaštitni pribor. Niskonaponski nadzemni vodovi razlikuju se s obzirom na broj strujnih krugova, materijal i način konstrukcije vodiča te materijal i konstrukciju stupova. Materijal koji čini vodiče može biti aluminij, čelik, njihova kombinacija ili bakar. Vodovi mogu biti konstruirani kao vodiči ili užad. Stupovi mogu biti armiranobetonski, drveni ili čelično-rešetkasti, iako se čelično-rešetkasti ne koriste u niskonaponskim mrežama.

Stupovi pružaju vodičima određenu visinu nad tlom, a istovremeno pružaju zaštitu od električnog udara pri direktnom dodiru postavljanjem izvan dohvata ruke. Stupovi su mehanički opterećeni u više smjerova: težinom vodiča, izolatora i eventualnog dodatnog tereta (snijeg, led) na vodičima vertikalno prema dolje, silama horizontalnog zatezanja vodiča (koje se mogu potpuno ili djelomično poništiti) horizontalno u smjeru trase voda te horizontalno okomito na trasu voda ima utjecaj vjetra na vodiče i stupove.

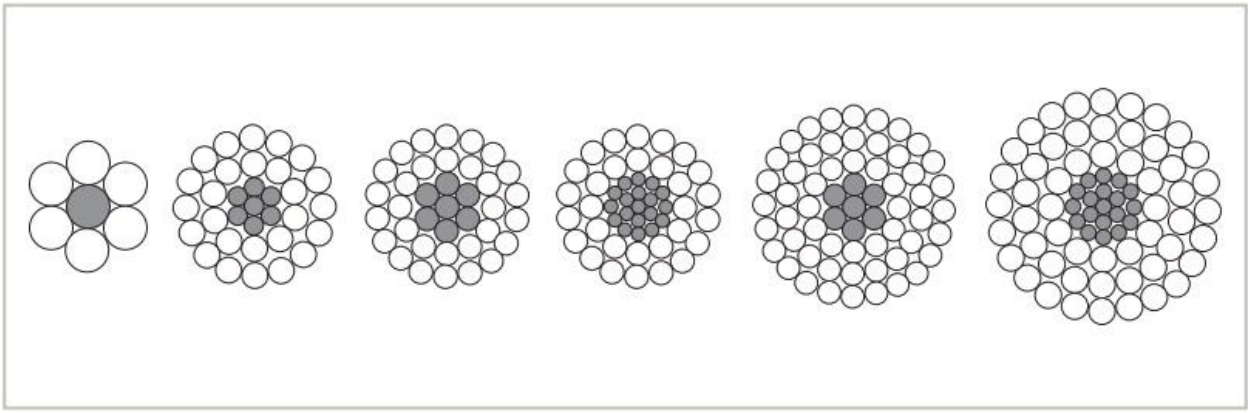
Prema položaju u trasi stupove dijelimo na kutne i linijske. Kutni se nalaze na mjestima loma vertikalne projekcije trase, a linijski na ravnim dijelovima. Prema načinu vješanja vodiča stupovi mogu biti nosni ili zatezni, ovisno o neporemećenom stanju horizontalne sile u smjeru trase. Kod nosnih su te sile uvijek međusobno poništene, odnosno istog su iznosa suprotno orijentirane.

Drveni stupovi (slika 2.6.) se lako montiraju i relativno su jeftini, ali su kratkotrajni i dosta skupi u pogonu te se danas ne ugrađuju u mrežu. Još uvijek su dosta česti u niskonaponskim mrežama. Pretežno se koriste armiranobetonski stupovi zbog malog održavanja i dugotrajnosti.



***Slika 2.6.*** *Drveni stup s betonskim temeljem i samonosivim kabelskim snopom*

Vodiči su jedini aktivni dio voda, provode električnu struju od polazišne do odredišne točke. Vodiči mogu biti izrađeni u obliku žice ili užeta, gdje se za prijenose većih snaga koriste isključivo vodiči u obliku užeta. Kod materijala za izradu vodiča bitne su mnoge karakteristike. Potrebna je dobra električna vodljivost, mogućnost lagane obrade, dobra mehanička čvrstoća, dug životni vijek te prihvatljiva cijena. Pošto ne postoji materijal koji zadovoljava sve tražene karakteristike, često se koriste kombinirani vodiči, sastavljeni od najmanje dva različita materijala. Materijali od kojih se rade vodiči su bakar (najbolja električna svojstva), aluminij (lakši i jeftiniji od bakra) i čelik (vrlo loša električna, ali dobra mehanička svojstva). Alučel je kombinirani vodič s jezgrom od čelične žice ili užeta omotanom aluminijskim žicama. Čelik preuzima mehaničko opterećenje dok aluminij ima ulogu električnog vodiča. Ovisno o željenoj mehaničkoj čvrstoći dobivamo omjer presjeka aluminija i čelika, a najčešći je 6:1. Kako taj presjek izgleda vidljivo je na slici 2.7.



***Slika 2.7.*** *Presjek alu-čelične užadi za nadzemne vodove [8]*

Presjeci užeta su normirani, a stvarni presjeci odstupaju od normiranih nazivnih presjeka te se uzimaju iz tablica. Uz presjek aluminijskog plašta navodi se i presjek čelične jezgre, pa su za alu-čelik neki od normiranih presjeka 16/2,5, 25/4, 35/6 i tako dalje.

Izolatori imaju dvije bitne uloge. Oni prenose mehaničke sile s vodiča na stup i električki izoliraju vodiče od stupa. Materijali od kojih se izrađuju izolatori su kaljeno staklo, porculan, steatit i kompozitni materijali, a sadrže i metalne dijelove. Po načinu nošenja vodiča se dijele na potporne ili zvonaste i ovjesne ili lančaste. Potporni (slika 2.8.) se danas rade samo za najmanje naponske nivoe (400 V).



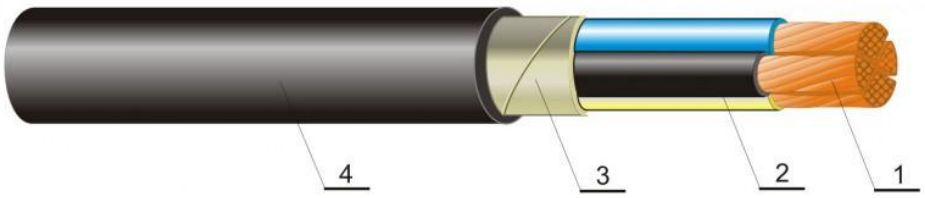
***Slika 2.8.*** *Potporni izolator PI 580/24-10 [9]*

Temelji prenose sile sa stupa na tlo. Veličina i oblik temelja ovise o veličini i vrsti naprezanja, o vrsti tla i o samome stupu. Neki lakši armiranobetonski i drveni stupovi ukopavaju se u zemlju bez dodatnih temelja. Kao zaštita od propadanja u zemlju, katkad im se doda betonska ili drvena nogara.

### 2.3.2. Kabelski vodovi

Glavni dijelovi kabela su vanjski omotač, ispuna, izolacija, poluvodljivi sloj i fazni vodič. Fazni vodiči se izvode kao užad, slično kao kod nadzemnih vodova. Najčešći materijali korišteni za izradu faznih vodiča su bakar i aluminij. Iznad faznog vodiča se nalazi izolacija, najčešće

napravljena od umreženog polietilena. Vanjski omotač služi za zaštitu kabela od mehaničkih oštećenja, vlage i slično. Na slici 2.9. brojevima su označeni redom od 1 do 4 vodiči, izolacija od XLPE mase, ispuna i plašt.

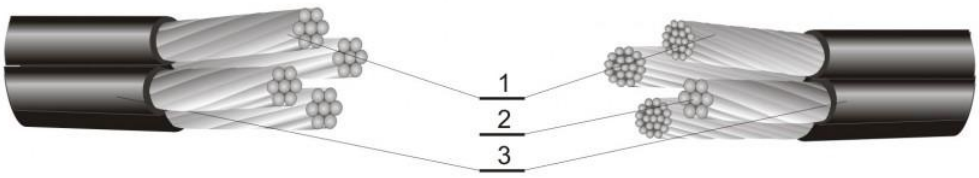



***Slika 2.9.*** *Energetski kabel s XLPE izolacijom i PE plaštem [8]*

Prema izvedbi, kabeli mogu biti jednožilni i višežilni, ovisno o broju faznih vodiča unutar kabela. Kabelski vodovi mogu biti podmorski, podzemni i zračni, ovisno o mjestu polaganja kabela. Prednosti kabela nad nadzemnim vodovima su veća pogonska pouzdanost (nisu izloženi atmosferskim utjecajima), nemogućnost slučajnog ili namjernog uništavanja i vizualna netaknutost prirode. Nedostaci su im ekonomske prirode i teže lociranje i uklanjanje mogućih kvarova.

### 2.3.3. Samonosivi kabelski snop

Samonosivi kabelski snop (SKS) najčešće je korišten u distributivnoj niskonaponskoj mreži za nadzemne kućne priključke i niskonaponske vodove, za napajanje udaljenih objekata i naselja privremenog i trajnog karaktera. To je izolirani zračni vodič gdje su fazni vodiči izrađeni od kompaktnog aluminijskog užeta, nulti vodič od legure AlMg ili AlMgSi, a izolacija od XLPE mase crne boje. Na slici 2.10. brojevima su redom označeni fazni vodič, nul vodič te izolacija.




***Slika 2.10.*** *Samonosivi kabelski snop sa XLPE izolacijom [8]*

Nazivni napon „*ELKALEX-1*“ samonosivog kabelskog snopa iznosi 1 kV, uz ispitni napon od 4 kV. Glavne mehaničke karakteristike samonosivog kabelskog snopa prikazane su u tablici 2.1.

| **Presjek ($mm^2$)** | **Vanjski promjer užeta (mm)** | **Otpor vodiča na 20°C-max (Ω/km))** | **Debljina izolacije (mm)** | **Promjer preko izolacije(kg/km)** |
|---|---|---|---|---|
| FAZNI VODIČ | | | | |
| 16 | 4,9 | 1,91 | 1,2 | 7,5 |
| 25 | 6,1 | 1,20 | 1,4 | 9,0 |
| 35 | 7,2 | 0,868 | 1,6 | 10,6 |
| 50 | 8,5 | 0,641 | 1,6 | 11,8 |
| 70 | 10,3 | 0,443 | 1,8 | 14,0 |
| NULTI VODIČ | | | | |
| 7,5 AlMg 1 | 10,6 | 0,47 | 1,8 | 14,6 |
| 70 AlMgSi | 10,2 | 0,50 | 1,5 | 13,6 |
| 54,6 AlMgSi | 9,6 | 0,63 | 1,6 | 12,9 |

***Tablica 2.1.*** *Osnovne značajke faznih žila i nul vodiča SKS [8]*

Samonosivi kabelski snop se pomoću određenih alata i pribora postavlja na fasade zgrada, drvene, čelične i slične konstrukcije, konzole učvršćene na fasade zgrada, betonske, drvene i slične stupove. Vodič je metalni dio namijenjen za provođenje električne struje. Nosivi neutralni vodič služi kao nosivi i zaštitni element snopa. Žila se sastoji od vodiča i izolacije, a osnovni je dio kabelskog snopa. Nazivne veličine kojima je snop karakteriziran su nazivni napon, nazivni presjek i maksimalan napon. Najviši radni napon mreže ne smije biti za 20 posto veći od nazivnog napona snopa u normalnim uvjetima rada. Trajno dopuštena temperatura vodiča iznosi 90 stupnjeva Celzijevih. Za vrijeme kratkog spoja u trajanju ne dužem od pet sekundi, ta temperatura iznosi 130 °C za neutralni nosivi vodič, a za ostale vodiče 250 °C. Prema [11], samonosivi kabelski snopovi se označavaju slovnim i brojčanim simbolima: X (simbol za izolaciju na bazi umreženog polietilena), 00 (simbol za konstrukcije bez mehaničke zaštite), A (simbol za vodič na bazi aluminija ili aluminijske legure), 0 (simbol za neutralni vodič), brojčanom oznakom broja i presjeka faznih vodiča, neutralnog vodiča i vodiča za rasvjetu te

oznakom nazivnog napona. Samonosivi kabelski snop s nosivim neutralnim vodičem, iz aluminijske legure, s tri fazna aluminijska vodiča presjeka 70 $mm^2$ te dva aluminijska vodiča presjeka 16 $mm^2$ za potrebe javne rasvjete, s izolacijom od umreženog polietilena, označava se X00/0 – A, 3 x 70 + 70 + 2 x 16 $mm^2$ , 0,6/1 kV. Prema njemačkoj normi DIN VDE 0276-626, ako se kabel polaže u zraku dobiva oznaku F, za XLPE izolaciju ima oznaku 2X umjesto gore navedene X te višežični vodič dobiva oznaku M, uz sve ostalo kao u tablici 2.2. oznakama prema [11].

| Svojstvo konstrukcije | Oznaka prema [10] | Oznaka prema [11] |
|---|---|---|
| Standardizirani tip | - | N |
| Polaganje u zraku | - | - |
| Bez mehaničke zaštite | 00 | - |
| Nenosivi neutralni vodič | - | D4 |
| Nosivi neutralni vodič | /0 | D9 |
| Materijal vodiča aluminij | A | A |
| Izolacija od XLPE | X | X |
| Broj faznih vodiča | n | n |
| Broj vodiča javne rasvjete | k | k |
| Presjek faznog vodiča | S | S |
| Presjek neutralnog vodiča | S2 | S2 |
| Presjek vodiča javne rasvjete | S1 | S1 |
| Okrugli oblik vodiča | - | R |
| Višežični vodič | - | - |

***Tablica 2.2.*** *Način označavanja samonosivog kabelskog snopa [11,12]*

Žile samonosivog kabelskog snopa, osim neutralne žile, označavaju se natpisom otisnutim jasnom bojom. Na natpisu se nalaze znak proizvođača i oznaka žile. Fazni vodiči označeni su brojevima 1, 2 i 3, a vodiči javne rasvjete oznakama R1 i R2. Neutralna žila mora imati primjetno i opipljivo uzdužno izbočenje u obliku trokuta.

Samonosivi kabelski snop bez nosivog vodiča se izrađuje kao dvožilni i četverožilni. Primjenjuje se uglavnom za kućne priključke. Za nadzemne kućne priključke se preporučuje X00 - A, 2 x 16 mm² 0,6/1 kV za jednofazni i X00 - A 4 x 16 mm² 0,6/1 kV za trofazni priključak. Glavni vod izolirane nadzemne mreže za razvod po stupovima izvodi se samonosivim kabelskim snopom s nosivim neutralnim vodičem oznake: X00/0 – A. Taj snop se sastoji od tri izolirana fazna vodiča (aluminijska), nosivog neutralnog vodiča i po potrebi dodana dva izolirana vodiča javne rasvjete. Glavni vod izolirane nadzemne mreže za razvod po fasadama izvodi se snopom tipa X00 – A, bez nosivog neutralnog vodiča, a može i ne mora sadržavati vodiče javne rasvjete. U tablici 2.3. vidimo nazivne iznose struja pri 30 ºC, gdje kratki spoj (*) predstavlja struju u trajanju od 1 sekunde. Za vrijeme različito od 1 sekunde, spomenute vrijednosti treba pomnožiti korekcijskim faktorom $1/\sqrt{t}$ ; gdje je t vrijeme isključenja kratkog spoja u sekundama. Kod vodiča presjeka 70 $mm^2$, stvarna struja kratkog spoja iznosi 6,84 kA, ograničenje od 4,35 kA (**) je postavljeno zbog nosivog neutralnog vodiča.

| Namjena vodiča | Nazivni presjek mm2 | Najviše dopušteno opterećenje strujom | |
|---|---|---|---|
| | | Pri trajnom radu ( A) | Pri kratkom spoju* (kA) |
| Fazni vodič | 16<br>25<br>35<br>50<br>70 | 81<br>108<br>131<br>168<br>198 | 1,45<br>2,35<br>3,25<br>4,35<br>4,35* * |
| Nosivi neutralni vodič | 54,6<br>70 | -<br>- | 3,25<br>4,35 |

***Tablica 2.3.*** *Dozvoljena strujna opterećenja samonosivog kabelskog snopa [8]*

Ako je temperatura različita od 30 ºC, koristi se tablica 2.4., tako da se vrijednosti iz tablice 2.3. pomnože korekcijskim faktorom ovisno o temperaturi.

| Temperatura okoline, ºC | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| k | 1,25 | 1,20 | 1,16 | 1,10 | 1,05 | 1,00 | 0,94 | 0,88 | 0,82 | 0,75 |

***Tablica 2.4.*** *Korekcijski faktor za različite temperature okoline [8]*

Uz pomoć tablica 2.1. i 2.5. dobivamo malo bolji uvid u najbitnije karakteristike samonosivog kabelskog snopa sa XLPE izolacijom, komercijalne oznake „*ELKALEX-1*“.

| Presjek (nxmm$^2$) | Promjer snopa (mm) | Težina (approx.) (kg/km) | Dužina (m) | Bubanj (tip) |
|---|---|---|---|---|
| **FR-N1XD4-AR** | | | | |
| 2x16 | 15,0 | 155 | 1000 | BD-10 |
| 4x16 | 18,0 | 305 | 1000 | BD-12 |
| 2x25 | 18,4 | 240 | 1000 | BD-12 |
| 4x25 | 22,2 | 490 | 1000 | BD-14 |
| **FR-NFA2X** | | | | |
| 4x35 RM | 27,6 | 570 | 1000 | BD-16 |
| 4x50 RM | 28,3 | 760 | 1000 | BD-16 |
| 4x70 RM | 32,9 | 1050 | 500 | BD-14 |
| **FR-N1XD9-AR** | | | | |
| 3x25+70 (71,5 ili 54,6) | 26,6 | 670 | 1000 | BD-16 |
| 3x25+70 (71,5) +16 | 26,6 | 750 | 1000 | BD-16 |
| 3x25+70 (71,5) +2x16 | 26,6 | 825 | 1000 | BD-16 |
| 3x35+70 (71,5 ili 54,6) | 29,8 | 780 | 1000 | BD-16 |
| 3x35+70 (71,5) +16 | 29,8 | 860 | 1000 | BD-16 |
| 3x35+70 (71,5) +2x16 | 29,8 | 935 | 1000 | BD-16 |
| 3x50+70 (71,5 ili 54,6) | 33,1 | 930 | 1000 | BD-18 |
| 3x50+70 (71,5) +16 | 33,1 | 1010 | 1000 | BD-18 |

***Tablica 2.5.*** *Osnovne značajke faznih žila i nul vodiča SKS [8]*

## 2.4. Armiranobetonski centrifugirani stupovi

Betonski stupovi niskonaponske mreže su tipizirani kako bi se im povećala kvaliteta na temelju dobrih iskustvenih rješenja u izgradnji niskonaponskih mreža. Proizvođači stupova i dalje mogu poboljšavati konstrukciju uz poštivanje osnovnih mjera i zahtjeva tipizacije. Osnovni parametri niskonaponske mreže sa samonosivim kabelskim snopom su nazivni napon 0,6/1 kV, maksimalno radno naprezanje mreže 8 daN/mm$^2$, maksimalno radno naprezanje priključaka 1 ili 1,6 daN/mm$^2$, pritisak vjetra 50 daN/mm$^2$, visina stupova 9 ili 10 m. Preporučene vrijednosti

nazivnih sila stupova su 200, 315, 500, 650, 1000, 1250 daN. Svaki betonski stup mora imati trajne oznake proizvođača. To su naziv proizvođača, tvornički broj, godina proizvodnje, nazivna sila u dekanjutnima i visina stupa. Te oznake nalaze se na udaljenosti od 3,5 metara od donjeg kraja stupa. Na stupovima se nalaze i oznake položaja i funkcije stupa u niskonaponskoj mreži, a njih dodaje korisnik bojom na visini od 4 metra od donjeg kraja stupa. Redom oznake proizvođača su slovna oznaka, koja označava vrstu elementa (S – stup), a nakon nje slijedi slovna oznaka vrste materijala (B – beton). Treća oznaka je brojčana oznaka koja označava nazivnu silu. Četvrta oznaka daje podatak o visini stupa a peta označava namjenu. Oznake namjene stupova su A (glava stupa izvedbe „A“), B (glava stupa izvedbe „B“), n (primjena za napon do 1000 volta), J (stup za javnu rasvjetu za višu razinu rasvjete). Stupovima se u sklopu mreže dodaju oznake N (nosivi), K (kutni), Z (zatezni) i O (otcjepni). Betonski stup nazivne sile pri vrhu od 650 daN, visine 9 metara s glavom stupa tipa B namijenjen za niskonaponsku mrežu nakon proizvodnje ima oznaku SB 650/9 Bn. Nakon što se stup iskoristi kao zatezni, u projektnoj i tehničkoj dokumentaciji ima oznaku SB 650/9 BnZ. Na slici 2.11. prikazan je nacrt i izgled stupa za niskonaponsku mrežu. Označeni su dijelovi stupa i prikazana je tablica potrebnih vrijednosti.

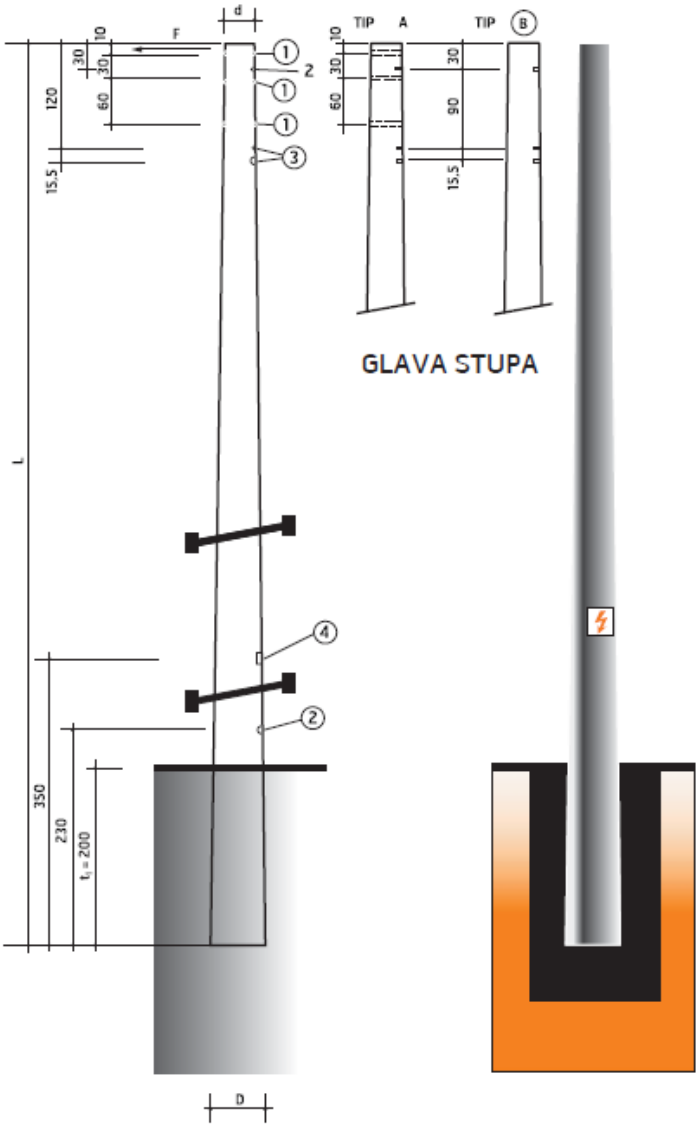
## STANDARDNI STUP

d - promjer stupa
1 - rupa za pričvršćivanje ø 18 mm
2 - čahura za uzemljenje M 12
3 - čahura za pričvršćenje svjetiljke 2 x M10
4 - oznaka s podacima stupa - označava proizvođač

**TIPOVI, NAZIVNE SILE, ELEMENTI GEOMETRIJE I DIMENZIJE ZA POJEDINE STUPOVE PRIKAZANI SU U PRILOŽENOJ TABLICI**

detaljni podaci na zahtjev

| Naziv stupa | Nazivna vodoravna sila F (daN) | Duljina L (cm) | Ukop stupa t1 (cm) | D (cm) | | d (cm) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | L=900 | L=1000 | |
| SB... ...n | 200 | 900 and 1000 | 200 | 28,5 | 30,0 | 15,0 |
| | 315 | | | | | |
| | 500 | | | 33,0 | 34,5 | 19,5 |
| | 650 | | | | | |
| | 1000 | | | 37,5 | 39,0 | 24,0 |
| | 1250 | | | | | |
| | 1600 | | | 41,5 | 43 | 28,0 |




***Slika 2.11.*** *Standardni armiranobetonski centrifugirani elektro stup okrugle izvedbe za niskonaponsku mrežu [12]*

Stup s oblikom glave A koristi se za niskonaponske mreže sa samonosivim kabelskim snopom kada se nosači pričvršćuju na stup zateznim vijcima, a stup s oblikom glave B kada se nosači učvršćuju na obujmice. Stupovi s oznakom J su predviđeni za montažu svjetiljke za osvjetljavanje prometnica ili objekata s većim zahtjevima rasvijetljenosti, kod kojih svjetiljka ide na vrh stupa. Betonski stupovi oblika su krnjeg stošca s konstantnim smanjivanjem promjera 15 milimetara na metar visine stupa od dna prema vrhu. Uzduž stupa postavlja se žica za prednaprezanje ili čelična armatura. Prilikom ispitivanja, stupovi se opterećuju nazivnim silama uvećanim za faktor sigurnosti $k_s$ = 1,8 ili se opterećuju do loma. Opterećivanje je postupno, uz detaljno praćenje deformacija, širine i položaja pukotina i ostalih deformacija. Odabir stupova ovisi o izboru vodiča, radnog naprezanja i položaju stupa u trasi mreže. Visinu stupa određuje

projektant ovisno o profilu trase, specifičnim križanjima i slično. Moguće je primijeniti betonske stupove i za pritisak vjetra, druga naprezanja vodiča i dodatna opterećenja, za što je potrebno imati prethodne proračune. Ako osnovni tip stupa ne zadovoljava potrebne uvjete na dijelu trase zbog premale visine ili nazivne sile, odabire se stup iz niza tipiziranih stupova za vodove od 20 (10) kV.

# 3. PRORAČUN OPTEREĆENJA I ODABIR VODIČA I STUPOVA U NISKONAPONSKOJ MREŽI

U ovom poglavlju obrađeni su najbitniji kriteriji za odabir vodiča i betonskih stupova sa samonosivim kabelskim snopom u niskonaponskoj mreži. Kod odabira vodiča ti kriteriji su maksimalna struja i snaga te maksimalan postotni pad napona duž trase. Osim kriterija obrađenih u ovom poglavlju, postoje još i razni ekonomski kriteriji, struja kratkog spoja i slično. Kod odabira betonskih stupova najvažniji je iznos sile na njegovom vrhu, jer su kabeli i javna rasvjeta priključeni upravo na vrhu, i vjetar ima najveći utjecaj na stup upravo na vrhu.

## 3.1. Odabir presjeka vodiča

Najbitniji parametri kod potrošača električne energije su radna i jalova snaga, odnosno radna snaga i faktor snage koju uzimaju iz mreže. Sva kućanstva, pa i ostali potrošači, imaju neku instaliranu snagu koju ne mogu prekoračiti. No, rijetko se dogodi da se sva raspoloživa snaga koristi u određenom trenutku. Neki potrošači čak imaju i ugrađene limitatore na manjoj snazi od instalirane, koji pri prekoračenju postavljenog iznosa prekidaju dotok električne struje, samim time i energije.

### 3.1.1. Vršno strujno opterećenje i maksimalna snaga

Vršno opterećenje ne definira samo instalirana snaga, već i faktor potražnje. Vršno opterećenje $P_v$ tada iznosi:

$$P_v = P_{\text{inst}} \cdot f_p \tag{3-1}$$

gdje je $P_{inst}$ - instalirana snaga, a $f_p$ - faktor potražnje.

Naravno, neće kod svih potrošača u isto vrijeme doći do vršnog opterećenja. Samim time, vršno opterećenje grupe potrošača nije jednako sumi vršnih opterećenja svakog pojedinog potrošača. Što je više potrošača u grupi, to će razlika između sume svih vršnih opterećenja i stvarnog

vršnog opterećenja biti veća. Pretpostavivši kućanstva otprilike jednakih vršnih opterećenja, pomoću Ruscove formule računamo njihovo grupno vršno opterećenje $P_{vn}$:

$$P_{vn} = P_v \cdot (f_\infty \cdot n + (1 - f_\infty) \cdot \sqrt{n}) \tag{3-2}$$

gdje su:

- $P_v$ – vršno opterećenje jednog kućanstva,

- $f_\infty$ – faktor istodobnosti za teoretski beskonačan broj kućanstava,

- $n$ – broj kućanstava promatrane grupe potrošača.

Da bi dobili udio jednog kućanstva, podijelimo ukupno vršno opterećenje grupe s brojem kućanstava. Javna rasvjeta je generalno izvedena preko jedne faze, a snaga pojedine svjetiljke jednaka je nazivnoj, dakle vršno opterećenje grupe u tom slučaju jednako je sumi pojedinačnih snaga. Opterećenje jalovom snagom dobije se iz odnosa radne snage i faktora snage.
Kod odabira vodiča u distributivnoj niskonaponskoj mreži, najbitniji električni kriteriji su nazivni napon, dozvoljena trajna pogonska struja i pad napona u dijelu mreže. Protjecanje struje kroz vodič direktno utječe na njegovu temperaturu, zbog otpora koji vodič pruža prolasku struje. Dozvoljena trajna pogonska struja je struja maksimalnog iznosa koju vodič može podnijeti, a da mu temperatura ne prekorači maksimalnu dopuštenu. Kod SKS-a je to ranije spomenutih 90 °C. Dozvoljena trajna struja $I_v$, poznavajući vršno opterećenje grupe potrošača, određuje se na sljedeći način:

$$I_v = \frac{P_v}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot cos\varphi} \tag{3-3}$$

gdje su:

- $U_n$ – nazivni linijski napon mreže,

- $cos\varphi$ – faktor snage tereta.

Kod nadzemnog voda mora biti zadovoljen uvjet

$$I_n \cdot C_t \geq I_v \tag{3-4}$$

gdje je $I_n$ nazivna struja vodiča, a $C_t$ korelacijski faktor utjecaja temperature okoline.

### 3.1.2. Pad napona u mreži

U mreži tijekom rada dolazi do pada napona zbog gubitaka u vodičima i potrošača. Postoji maksimalno dozvoljeni postotni pad napona $\Delta u_{\%}$ koji se aproksimativno računa pomoću formule:

$$\Delta u_{\%} = \frac{100}{U_n^2} \cdot \left( \sum_i P_i^{'} \cdot R_i + \sum_i Q_i^{'} \cdot X_i \right) \tag{3-5}$$

gdje su:

- $P_i^{'}$ – radna snaga i-te dionice računajući sve dionice od početka izvoda do krajnjeg potrošača,

- $Q_i^{'}$ – jalova snaga i-te dionice računajući sve dionice od početka izvoda do krajnjeg potrošača,

- $R_i$ – radni otpor i-te dionice,

- $X_i$ – induktivni otpor i-te dionice,

- $U_n$ – nazivni linijski napon mreže.

U slučaju istog presjeka vodiča u svim dionicama mreže, jednadžbu (3-5) možemo zamijeniti drugom jednadžbom:

$$\Delta u_{\%} = \frac{100}{U_n^2} \cdot \left( R_1 \cdot \sum_i P_i^{'} \cdot l_i + X_1 \cdot \sum_i Q_i^{'} \cdot l_i \right) \tag{3-6}$$

gdje su:

- $R_1$ – jedinični radni otpor,

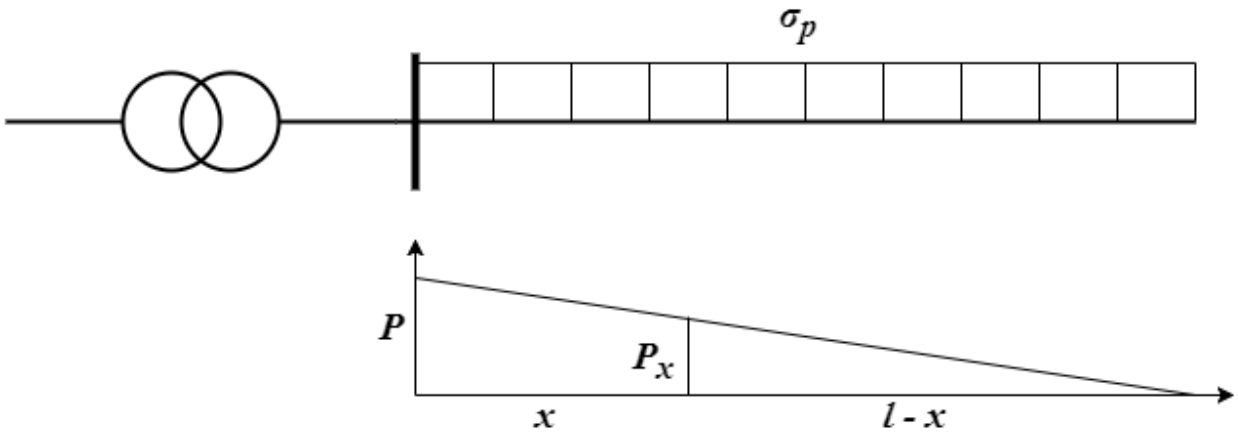
- $X_1$ – jedinični induktivni otpor,

- $l_i$ – duljina i-te dionice.

Pretpostavi li se da svi potrošači imaju jednak faktor snage, vrijedi jednadžba:

$$\Delta u_{\%} = \frac{100}{U_n^2} \cdot ( R_1 + X_1 \cdot tg\varphi ) \cdot \sum_i P_i^{'} \cdot l_i \tag{3-7}$$

gdje je $\varphi$ fazni kut između napona i struje poznat iz faktora snage.
Uz pretpostavku da vod ima kontinuirano opterećenje, na slici 3.1. prikazana je razdioba gustoće djelatne snage $\sigma_p$ duž voda.




***Slika 3.1.*** *Vod sa kontinuiranim opterećenjem [13]*

Dakle za gustoću djelatne snage vrijedi izraz $\sigma_p = P / l$ , odnosno $\sigma_p = P_x / (l - x)$. Pad napona na kraju voda s kontinuiranim opterećenjima računa se izrazom:

$$\Delta u_{\%} = \frac{100 \cdot l}{2 \cdot U_n^{\,2}} \cdot ( P \cdot R_1 + Q \cdot X_1 ) \tag{3-8}$$

U normalnim uvjetima mreže preporučuje se da se opskrbni napon na opskrbnim stezaljkama ne treba razlikovati od nazivnog napona više od ±10 % [14]. Pri proračunu se uzima vrijednost od 6 % jer napon na transformatoru nije uvijek idealan.

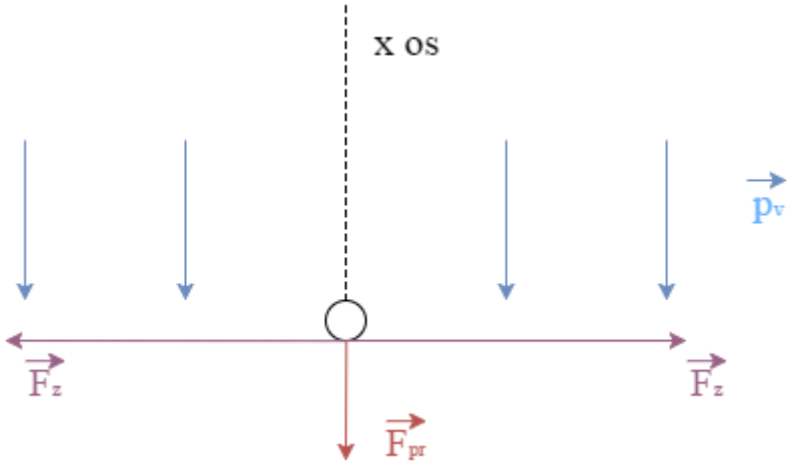
## 3.2. Iznos sile na vrhu stupa pri odabiru betonskih stupova

Osim načina pričvršćivanja nosača samonosivog kabelskog snopa na stup te položaja u trasi pomoću kojeg projektant odabire visinu stupa, najvažniji čimbenik za odabir samog stupa je iznos ukupne sile na njegovom vrhu. Ovisno o tome je li odabrani stup u trasi linijski, zatezni ili kutni, kao što je ranije već spomenuto, na njega utječu različite sile.

### 3.2.1. Linijski nosivi betonski stup




***Slika 3.2.*** *Linijski nosivi betonski stup s kućnim priključkom*




***Slika 3.3.*** *Sile koje djeluju na linijski nosivi stup*

Sa slika 3.2. i 3.3. je vidljivo da se sile zatezanja vodiča poništavaju, jer su jednakog iznosa i suprotnim smjerovima. Zbog toga se za nosivi linijski stup računaju samo utjecaj vjetra i priključaka izvedenih na stupu. Ukupnu silu na vrhu stupa $\vec{F}_{ns}$ tvore:

- $\vec{F}_{pvst}$ – sila pritiska vjetra na stup,

- $\vec{F}_{pvv}$ – sila pritiska vjetra na vodiče,

- $\vec{F}_{pr}$ – sila zatezanja priključaka,

gdje vrijedi:

$$\vec{F}_{ns} = \vec{F}_{pvst} + \vec{F}_{pvv} + \vec{F}_{pr} \tag{3-9}$$

Sve sile računaju se u dekanjutnima.

Na slici 3.2. jasno se vidi kako se vješa samonosivi kabelski snop na linijski nosivi stup te kućni priključak s lijeve strane.

Sila pritiska vjetra na stup $\vec{F}_{pvst}$ reducira se na vrh stupa a računa pomoću formule:

$$\vec{F}_{pvst} = 0{,}7 \cdot p_v \cdot \frac{10^{-3}}{L} \cdot \left[\frac{D}{2} \cdot (L^2 - t^2) - \frac{D-d}{3L} \cdot (L^3 - t^3)\right] \tag{3-10}$$

gdje su:

- $p_v$ – tlak vjetra,

- $L$ – duljina stupa,

- $D$ – promjer baze stupa,

- $t$ – dubina ukopavanja,

- $d$ – promjer na vrhu stupa.

Sila pritiska vjetra $\vec{F}_{pvv}$ na vodiče djeluje direktno na vrh stupa i računa se na sljedeći način:

$$\vec{F}_{pvv} = p_v \cdot a_v \cdot d_v \cdot 10^{-3} \tag{3-11}$$

gdje je $d_v$ – promjer vodiča, a $a_v = 0{,}5\ (a_1 + a_2)$ poluzbroj susjednih raspona.

Formula za silu zatezanja priključaka $\vec{F}_{pr}$ izgleda ovako:

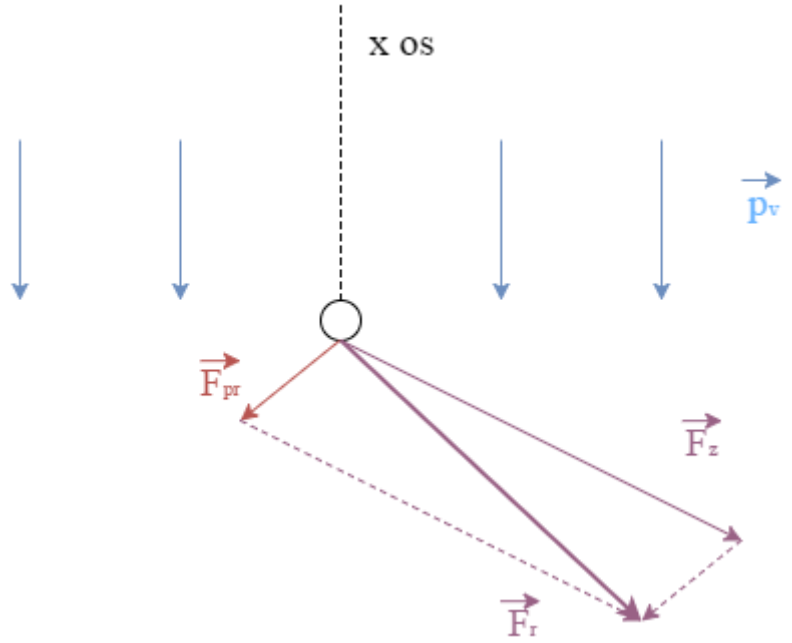
$$\vec{F}_{pr} = \sigma \cdot n \cdot S \cdot sin\alpha \tag{3-12}$$

gdje je $\sigma$ – radno naprezanje vodiča, $n$ – broj vodiča, $S$ – površina presjeka vodiča i $\alpha$ – kut između priključka i voda.

### 3.2.2. Zatezni stup




***Slika 3.4.*** *Zatezni betonski stup s kućnim priključkom i javnom rasvjetom*




***Slika 3.5.*** *Sile koje djeluju na zatezni stup*

Na slikama 3.4. i 3.5. vidimo izgled zateznog stupa i kako točno djeluju sile na njega. Sila zatezanja priključaka puno je manja od sile zatezanja vodiča. Ukupnu silu na vrhu stupa $\vec{F}_{zs}$ tvore:

- $\vec{F}_{pvst}$ – sila pritiska vjetra na stup,

- $\vec{F}_{pvv}$ – sila pritiska vjetra na vodiče,

- $\vec{F}_{pr}$ – sila zatezanja priključaka,

- $\vec{F}_{z}$ – sila zatezanja vodiča,

a vrijedi:

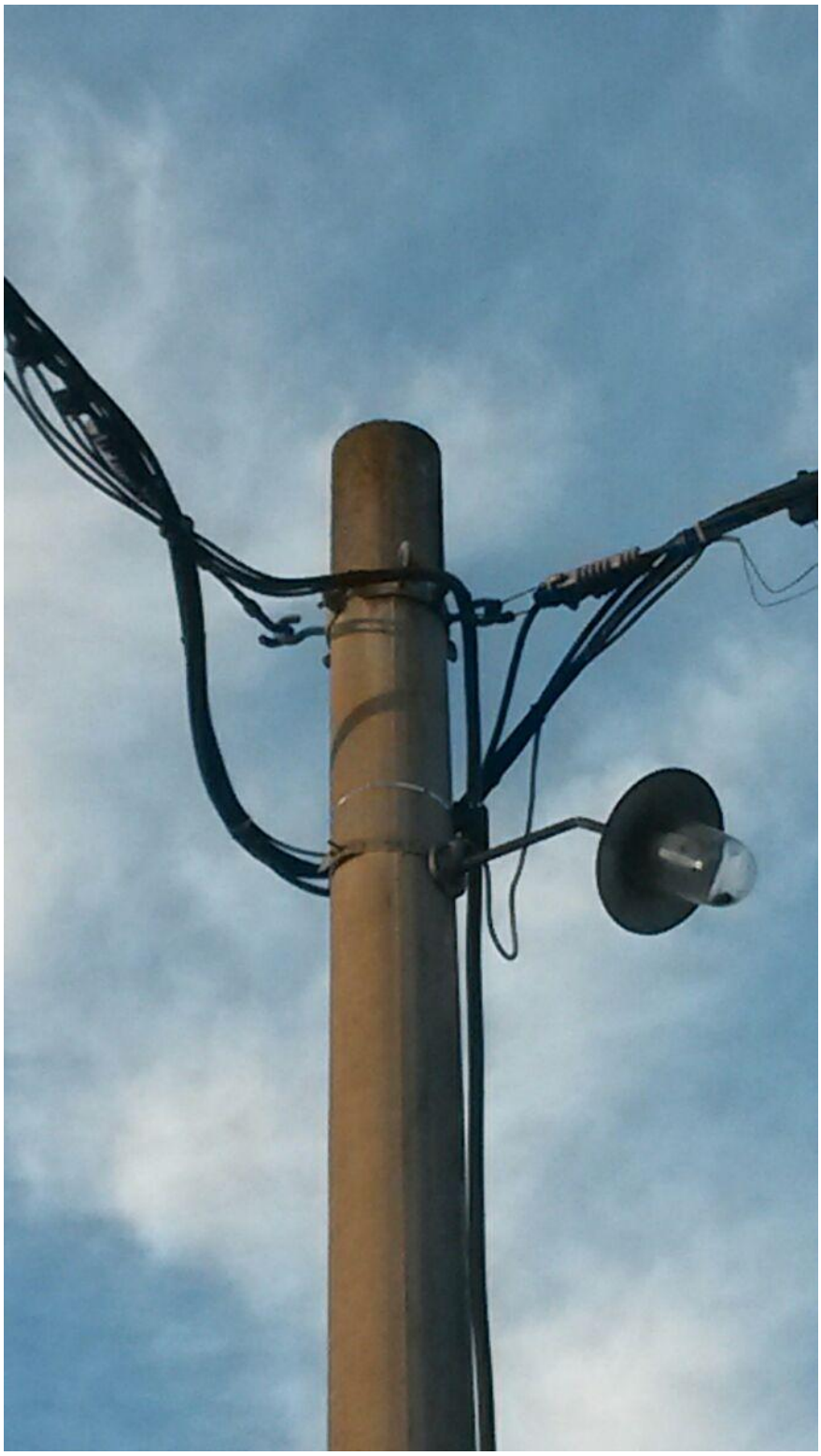
$$\vec{F}_{zs} = \vec{F}_{pvst} + \vec{F}_{pvv} + \vec{F}_{pr} + \frac{2}{3}\vec{F}_{z} \tag{3-13}$$

Sile pritiska vjetra na stup, pritiska vjetra na vodiče i sila zatezanja priključaka računaju se po formulama (3-9), (3-10) i (3-11), kao i za nosivi stup. Sila zatezanja vodiča ima formulu:

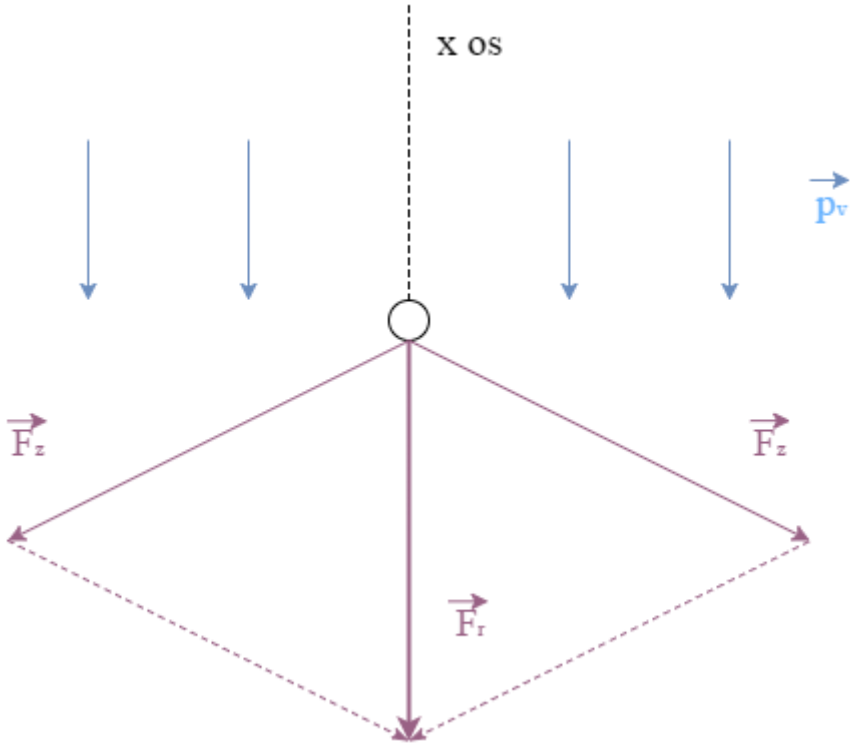
$$\vec{F}_{z} = \sigma_{dop} \cdot n \cdot S \tag{3-14}$$

gdje $\boldsymbol{\sigma_{dop}}$ predstavlja dopušteno normalno zatezanje vodiča, koje za samonosivi kabelski snop iznosi 8 daN/mm².

### 3.2.3. Kutni stup



***Slika 3.6.*** *Kutni betonski stup s javnom rasvjetom*




***Slika 3.7.*** *Sile koje djeluju na kutni stup*

Primjer kutnog stupa prikazan je na slici 3.6., gdje je jasno vidljiv kut između zategnutih vodiča. Ukupnu silu $\vec{F}$ u smjeru osi x čine sila pritiska vjetra na stup $\vec{F}_{pvst}$, sila pritiska vjetra na vodiče $\vec{F}_{pvv}$ i rezultantna sila zatezanja vodiča $\vec{F}_r$ vidljiva na slici 3.7. Ukupna sila se računa pomoću formule:

$$\vec{F} = \vec{F}_{pvst} + \vec{F}_{pvv} + \frac{2}{3}\vec{F}_r \tag{3-15}$$

Sila pritiska vjetra na stup računa se po formuli (3-9), isto kao za linijski nosivi stup. Sila pritiska vjetra na vodiče $\vec{F}_{pvv}$ računa se na sljedeći način:

$$\vec{F}_{pvv} = p_v \cdot a_v \cdot d_v \cdot \sin\frac{\alpha}{2} \cdot 10^{-3} \tag{3-16}$$

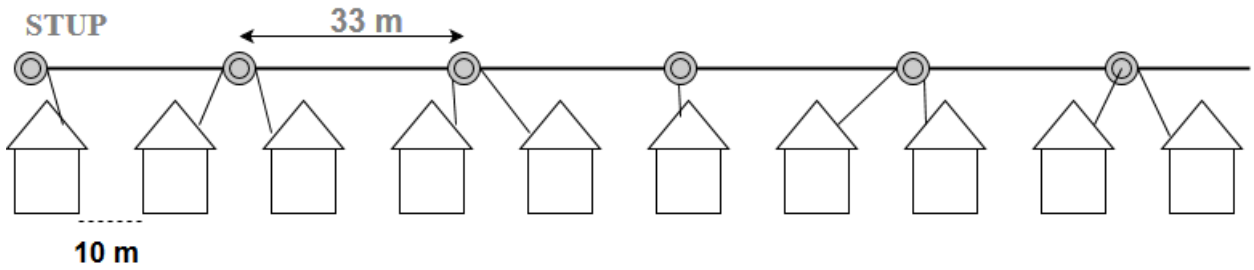
Vidimo da se formula (3-15) za računanje sile pritiska vjetra na vodiče kod kutnih stupova razlikuje od formule (3-10), koja se primjenjuje kod linijskih nosivih i zateznih stupova, za sinus polovice kuta između priključka i voda. Rezultantna sila zatezanja vodiča $F_r$ dobije se pomoću:

$$\vec{F}_r = 2 \cdot \vec{F}_z \cdot cos\frac{\alpha}{2} \tag{3-17}$$

gdje je $\vec{F}_z = \boldsymbol{\sigma} \cdot S$, $\alpha = 180 - \zeta$, a $\zeta$ predstavlja kut loma trase niskonaponske mreže.

# 4. PRIMJER ODABIRA VODIČA I STUPOVA ZA ULICU S OBITELJSKIM KUĆAMA

Neka u ulici (slika 4.1.) postoji 20 kuća, ukupne udaljenosti 200 metara. Pretpostavimo da je sastav potrošača homogen te svaki od ukupno 20 potrošača ima instaliranu snagu od 10 kW, uz faktor potražnje 0,6 i faktor snage 0,95. Presjek vodiča koji će se koristiti mora biti jednak duž cijele trase. Kojeg presjeka mora biti odabrani vodič da bi zadovoljavao uvjete mreže? U istoj ulici će se koristiti distributivni linijski nosivi stup za niski napon koji ima promjer baze 305 mm, promjer na vrhu mu je 170 mm, dužina 9 m, a dubina ukopavanja 2 m. Udaljenost stupova je 33 metra. Kolika horizontalna sila djeluje na vrh stupa ako je okomito na stup postavljen priključak X00 / 0 – A 4x16 mm$^2$ ($\sigma$ = 0,5 daN/mm$^2$) i ako je $p_v$ = 90 daN/m$^2$ ?




***Slika 4.1.*** *Skica dijela ulice iz primjera*

## 4.1. Dozvoljena trajna struja

Preko (3-1), vršno opterećenje jednog kućanstva iznosi 6 kW. Vršno grupno opterećenje takvih potrošača se uz pretpostavku faktora istodobnosti za beskonačan broj kućanstava od 0,16 računa pomoću (3-2), odnosno

$$P_{v30} = P_v \cdot \left(f_\infty \cdot n + (1 - f_\infty) \cdot \sqrt{n}\right) = 6 \cdot \left(0{,}16 \cdot 20 + (1 - 0{,}16) \cdot \sqrt{20}\right) = 41{,}74\ kW.$$

Svako kućanstvo u prosjeku tada iz mreže vuče snagu od 2,09 kW.

Sada kad je poznato vršno opterećenje grupe potrošača, pomoću (3-3) i cos$\varphi$ = 0,95 se lako izračuna dozvoljena trajna jakost struje $I_v$.

$$I_v = \frac{P_v}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot cos\varphi} = \frac{41740}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0{,}95} = 63{,}42\ A$$

Iz (3-4) i iz tablica 2.3. i 2.4. vidljivo je da ovakvu jakost struje može podnijeti vodič X00/0 - A presjeka 16 mm$^2$.

## 4.2. Dozvoljeni postotni pad napona

Pošto kućanstva, odnosno potrošači, imaju jednak faktor snage i isti presjek vodiča u cijeloj trasi, za proračun pada napona se koristi jednadžba (3-8). Prema [15], uzet ćemo da je jedinični radni otpor našeg vodiča presjeka 16 mm$^2$ 2,14 Ω/km, a jedinični induktivni otpor 0,087 Ω/km. Tada je

$$\Delta u_{\%} = \frac{100 \cdot l}{2 \cdot {U_n}^2} \cdot (P \cdot R_1 + Q \cdot X_1) = \frac{100 \cdot 200}{2 \cdot 400^2} \cdot (41{,}74 \cdot 2{,}14 + 13{,}72 \cdot 0{,}087) = 5{,}66\ \%$$

Odabrani vodič presjeka 16 mm$^2$ zadovoljava zadane naponske uvjete mreže prema ranije spomenutoj činjenici da se pri proračunu uzima vrijednost od 6 % jer napon na transformatoru nije uvijek idealan.

## 4.3. Odabir stupa s odgovarajućom nazivnom silom

Ukoliko je korišten vodič X00/0 - A 4x16 mm$^2$ ($d_v$ = 39,5 mm), sila vjetra na stup, prema (3-10) iznosi:

$$\vec{F}_{pvst} = 0{,}7 \cdot p_v \cdot \frac{10^{-3}}{L} \cdot \left[\frac{D}{2} \cdot (L^2 - t^2) - \frac{D-d}{3L} \cdot (L^3 - t^3)\right]$$

$$= 0{,}7 \cdot 90 \cdot \frac{10^{-3}}{9} \cdot \left[\frac{305}{2} \cdot (9^2 - 2^2) - \frac{305-170}{27} \cdot (9^3 - 2^3)\right] = 56{,}96\ daN$$

Sila vjetra na vodiče, prema (3-11), iznosi:

$$\vec{F}_{pvv} = 90 \cdot 33 \cdot 39{,}5 \cdot 10^{-3} = 117{,}31\ daN$$

Sila zatezanja priključaka na stup, prema (3-12), iznosi:

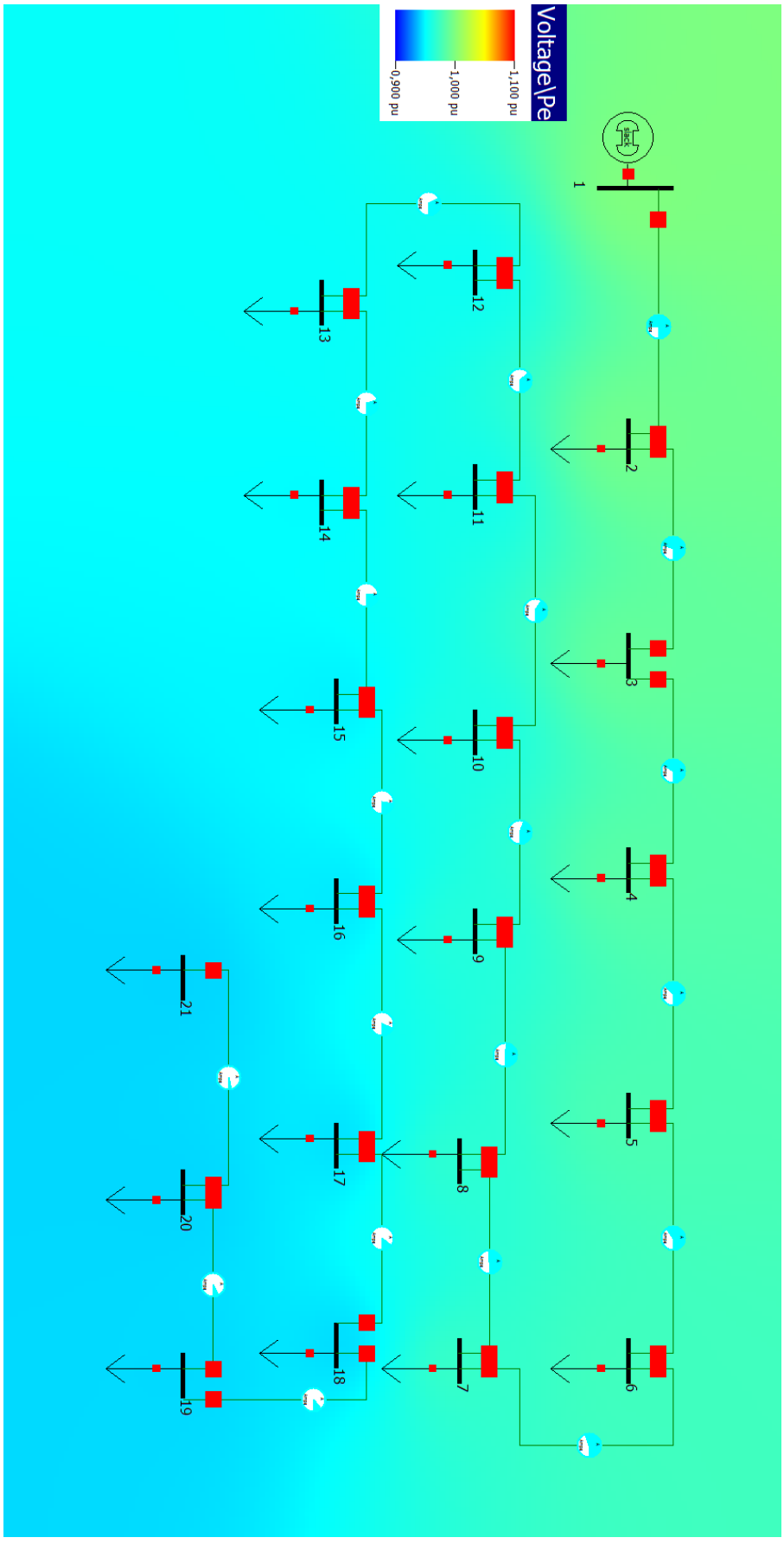
$$\vec{F}_{pr} = \sigma \cdot n \cdot S \cdot sin\alpha = 0{,}5 \cdot 4 \cdot 16 \cdot sin90° = 32\ daN$$

Ukupna sila je, prema (3-8), zbroj svih sila, a iznosi 206,27 daN.

Prema tome se izabire stup čija je  nazivna sila na vrhu 315 daN, dakle stup će imati promjer baze 305 mm, promjer na vrhu 170 mm, a dužina će mu biti 9 metara, kao što postoji na slici 2.11.

## 4.4. Provjera rezultata u računalnom programu

Nakon klasičnog izračuna rezultate ćemo provjeriti u programu PowerWorld. PowerWorld simulator je interaktivni paket energetskih simulacija dizajniran da simulira rad elektroenergetskog sustava u vremenskom rasponu od nekoliko minuta do nekoliko dana. Softver sadrži vrlo učinkovit paket analize toka snage koji učinkovito rješava sustave do 250.000 čvorova [16]. Primjer s početka ovog poglavlja ubačen je u simulator kako bi probali potvrditi odgovara li odabrani vodič zahtjevima naše mreže. Rezultati se dobiju u obliku slike i tablica. Na slici 4.2. vidimo pad napona kroz ulicu: trafostanica je označena brojem 1, a kuće brojevima od 2 do 21. Kao što legenda na slici 4.2. pokazuje, toplije boje označavaju viši napon, a hladnije boje niži. Napon na trafostanici je na 100%, dok je napon na kući označenoj brojem 21 oko 95%.




***Slika 4.2.*** *Crtež preuzet iz računalnog programa PowerWorld*

U tablici 4.1. prikazan je iznos napona redom po čvorovima koji je izračunat u programu PowerWorld. Broj čvora označen je u prvom stupcu, nazivni napon od 400 V je isti za svaki čvor (stupac 3), stvarna vrijednost napona vidljiva je u petom stupcu, dok je napon izražen u odnosu na nazivni prikazan u četvrtom stupcu. Kao što je vidljivo, postotni napon zadnjeg čvora (kuće) iznosi 0,94198, što znači da je postotni pad napona 1 - 0,94198 = 0,05802, odnosno 5,802 %, vrlo blizu izračunu u 4.2.

| Name | Area Name | Nom kV | PU Volt | Volt (kV) | Angle (Deg) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 0,40 | 1,00000 | 0,400 | 0,00 |
| 2 | 1 | 0,40 | 0,99445 | 0,398 | -0,11 |
| 3 | 1 | 0,40 | 0,98919 | 0,396 | -0,23 |
| 4 | 1 | 0,40 | 0,98420 | 0,394 | -0,33 |
| 5 | 1 | 0,40 | 0,97950 | 0,392 | -0,43 |
| 6 | 1 | 0,40 | 0,97507 | 0,390 | -0,53 |
| 7 | 1 | 0,40 | 0,97093 | 0,388 | -0,62 |
| 8 | 1 | 0,40 | 0,96706 | 0,387 | -0,70 |
| 9 | 1 | 0,40 | 0,96347 | 0,385 | -0,78 |
| 10 | 1 | 0,40 | 0,96016 | 0,384 | -0,86 |
| 11 | 1 | 0,40 | 0,95713 | 0,383 | -0,92 |
| 12 | 1 | 0,40 | 0,95437 | 0,382 | -0,99 |
| 13 | 1 | 0,40 | 0,95189 | 0,381 | -1,04 |
| 14 | 1 | 0,40 | 0,94968 | 0,380 | -1,09 |
| 15 | 1 | 0,40 | 0,94776 | 0,379 | -1,14 |
| 16 | 1 | 0,40 | 0,94610 | 0,378 | -1,18 |
| 17 | 1 | 0,40 | 0,94473 | 0,378 | -1,21 |
| 18 | 1 | 0,40 | 0,94363 | 0,377 | -1,23 |
| 19 | 1 | 0,40 | 0,94280 | 0,377 | -1,25 |
| 20 | 1 | 0,40 | 0,94225 | 0,377 | -1,27 |
| 21 | 1 | 0,40 | 0,94198 | 0,377 | -1,27 |

***Tablica 4.1.*** *Iznosi napona po čvorovima iz programa PowerWorld*

Tablica 4.2. prikazuje snagu koja teče dijelom voda u odnosu na maksimalnu dopuštenu prema PowerWorld programu. U petom stupcu prikazan je postotak snage koja teče u određenom dijelu voda u odnosu na maksimalnu dopuštenu. Najveća snaga se, naravno, nalazi između prvog i

drugog čvora, odnosno između trafostanice i prvog potrošača. Vidljivo je da ta snaga iznosi 73,4 % maksimalne dopuštene snage što znači da neće doći do preopterećenja ili kvara.

| From Number | To Number | Status | Branch Device Type | % of MVA Limit (Max) | MW Loss | Mvar Loss |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | Closed | Line | 73,4 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 3 | Closed | Line | 69,3 | 0,00 | 0,00 |
| 3 | 4 | Closed | Line | 65,3 | 0,00 | 0,00 |
| 4 | 5 | Closed | Line | 61,4 | 0,00 | 0,00 |
| 5 | 6 | Closed | Line | 57,5 | 0,00 | 0,00 |
| 6 | 7 | Closed | Line | 53,7 | 0,00 | 0,00 |
| 7 | 8 | Closed | Line | 49,9 | 0,00 | 0,00 |
| 8 | 9 | Closed | Line | 46,1 | 0,00 | 0,00 |
| 9 | 10 | Closed | Line | 42,4 | 0,00 | 0,00 |
| 10 | 11 | Closed | Line | 38,7 | 0,00 | 0,00 |
| 11 | 12 | Closed | Line | 35,1 | 0,00 | 0,00 |
| 12 | 13 | Closed | Line | 31,5 | 0,00 | 0,00 |
| 13 | 14 | Closed | Line | 27,9 | 0,00 | 0,00 |
| 14 | 15 | Closed | Line | 24,4 | 0,00 | 0,00 |
| 15 | 16 | Closed | Line | 20,9 | 0,00 | 0,00 |
| 16 | 17 | Closed | Line | 17,4 | 0,00 | 0,00 |
| 17 | 18 | Closed | Line | 13,9 | 0,00 | 0,00 |
| 18 | 19 | Closed | Line | 10,4 | 0,00 | 0,00 |
| 19 | 20 | Closed | Line | 6,9 | 0,00 | 0,00 |
| 20 | 21 | Closed | Line | 3,5 | 0,00 | 0,00 |

***Tablica 4.2.*** *Tokovi snage u mreži iz programa PowerWorld*

Pomoću klasičnih izračuna smo za mrežu s početka poglavlja odabrali samonosivi kabelski snop s presjekom vodiča od 16 $mm^2$ i pomoću računalnog programa PowerWorld provjerili dobivene rezultate. Vidimo da je proračun za veličinu napona gotovo identičan i da nam mreža nigdje neće biti preopterećena. Time smo potvrdili da odabrani vodič odgovara uvjetima mreže.

# 5. ZAKLJUČAK

Kroz ovaj rad obrađen je elektroenergetski sustav, njegova podjela i dijelovi, funkcije i zahtjevi. Pobliže je opisana niskonaponska mreža te njene izvedbe, a najviše pažnje posvećeno je nadzemnim mrežama. Detaljno je opisan samonosivi kabelski snop te je teorijski (i praktički) pokriven odabir vodiča u nadzemnoj niskonaponskoj mreži. Prikazane su i vrste stupova u niskonaponskoj mreži s posebnim naglaskom na armiranobetonske centrifugirane stupove, za koje je u ovom radu također pokriven odabir. U računalnom programu PowerWorld simuliran je primjer mreže te provjeren i potvrđen odabir vodiča u tom primjeru. Ukoliko odabrani presjek vodiča ne bi odgovarao za mrežu, isti račun bi se proveo s većim presjekom vodiča. Što se stupova tiče vrijedi slično: ukoliko je sila na vrh stupa veća od nazivne sile samog stupa, uzima se stup odgovarajuće nazivne sile.

# POPIS LITERATURE


[1] B. Udovičić, Elektroenergetski sustav, Kigen, Zagreb, 2005.

[2] M. Ožegović i K. Ožegović, Električne energetske mreže I, FESB Split i OPAL COMPUTING, Split, 1996.

[3] Shema Hrvatskog elektroenergetskog sustava preuzeta sa službene internetske stranice Hrvatskog operatora prijenosnog sustava HOPS, dostupno na: https://www.hops.hr/wps/portal/hr/web/hees/podaci/shema, 9.5.2017.

[4] B. Udovičić, Neodrživost održivog razvoja, Kigen, Zagreb, 2004.

[5] Mrežna pravila elektroenergetskog sustava, dostupno na: http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2006_03_36_907.html, 9.5.2017.

[6] Ilustracija distributivne mreže elektroenergetskog sustava preuzeta sa službene internetske stranice Hrvatske elektroprivrede HEP, dostupno na: http://www.hep.hr/stariods/UserdocsImages//ilustracije/mreza_ODS.jpg, 12.5.2017.

[7] V. Srb, Električne instalacije i niskonaponske mreže, Tehnička knjiga Zagreb, Zagreb, 1991.

[8] Elka d.o.o. službene internetske stranice: http://elka.hr/, 1.6.2017.

[9] EL-IZO M.C. d.o.o. službene internetske stranice: http://www.el-izo.hr/, 1.6.2017.

[10] HRN N.C0.006:1983. - Označavanje izoliranih kabela i vodova

[11] HRN HD 626 S1:2001 - Označavanje izoliranih kabela i vodova

[12] Zagorje Tehnobeton d.d. službene internetske stranice: http://gpzagorje.hr/, 4.6.2017.

[13] S. Nikolovski i D. Šljivac, Elektroenergetske mreže - zbirka riješenih zadataka, Grafika, Osijek, 2000.

[14] Članak 3. Pravilnika o normiranim naponima za distribucijske niskonaponske električne mreže i električnu opremu, “Narodne novine”, broj 28/00

[15] Institut za elektroprivredu – Zagreb, Upute za projektiranje distributivnih NNM, interna dokumentacija, Zagreb, prosinac 1989.

[16] PowerWorld Corporation službene internetske stranice: https://www.powerworld.com/, 12.9.2017.

## SAŽETAK

Zadatak rada bio je kroz teoretska saznanja i pomoću računalne simulacije prezentirati mogućnost projektiranja niskonaponske distributivne mreže koristeći tipske materijale s posebnim naglaskom na određivanje presjeka vodiča samonosivog kabelskog snopa i tehničkih karakteristika betonskog stupa. Osnovna zamisao rada je pokazati da će biti zadovoljeni strujni i naponski uvjeti mreže ukoliko se ispravno odabere presjek vodiča. Odabirom stupa odgovarajućih tehničkih karakteristika osigurava se mogućnost izvedbe i dugotrajna funkcionalnost niskonaponske distributivne mreže sa samonosivim kabelskim snopom.



Ključne riječi: armiranobetonski centrifugirani stup, distribucija, elektroenergetski sustav, nazivna sila, samonosivi kabelski snop, vršno opterećenje.



## ABSTRACT

The goal of the paper was to present the possibility of designing low voltage distribution networks using typical materials with special emphasis on determining the cross section of the self-supporting cable bundles and the technical characteristics of the concrete column. The basic idea is to show that the current and voltage conditions of the network will be met if the cross section of the cable is chosen correctly. Using a column of appropriate technical characteristics ensures the possibility of performance and long-term functionality of low voltage distribution network with self-supporting cable bundle.



Key words: distribution, electric power system, nominal force, peak load, reinforced concrete centrifuged column, self-supporting cable bundle.

# ŽIVOTOPIS

Dragan Dejanović rođen je 12. prosinca 1993. godine u Bjelovaru. Godine 2000. upisuje Osnovnu školu Braća Ribar u Sisku, koju predstavlja na brojnim gradskim i županijskim natjecanjima iz matematike, fizike, engleskog jezika i drugih predmeta. U petom razredu osvaja 3. mjesto na županijskom natjecanju iz matematike, u šestom razredu 2. mjesto na županijskom natjecanju iz matematike te sudjeluje na regionalnom natjecanju, a u sedmom razredu 3. mjesto na županijskom natjecanju iz matematike. 2008. godine upisuje Gimnaziju Sisak, prirodoslovno matematički smjer, gdje također nastupa na županijskim natjecanjima iz matematike i fizike. Tijekom osnovne i srednje škole aktivan je član Šahovskog društva Sisak s kojim 2009. godine osvaja treće mjesto na Finalu kadetskih liga Hrvatske. 2012. godine upisuje Fakultet elektrotehnike i računarstva u Zagrebu koji u dva navrata predstavlja na Elektrijadi gdje iz natjecanja u šahu osvaja pojedinačnu brončanu medalju i ekipne zlatnu i brončanu medalju. 2014. godine upisuje preddiplomski studij elektrotehnike na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku (današnji FERIT) gdje odabire smjer elektroenergetike.