

Analiza prijelaza mreže s 10kV na 20kV naponsku razinu

Topolčić, Zlatko

Master's thesis / Diplomski rad

2014

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:050506>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-19**

Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**

Sveučilišni studij

**ANALIZA PRIJELAZA MREŽE S 10kV NA 20kV
NAPONSKU RAZINU
ELEKTRE KOPRIVNICA
(POGON LUBREG)**

Diplomski rad

Zlatko Topolčić

Osijek, 2014.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. TOKOVI SNAGA U ELEKTROENERGETSKOJ MREŽI	2
2.1. NAJVAŽNIJI ASPEKTI ANALIZE TOKOVA SNAGA.....	3
2.2. STACIONARNO STANJE.....	3
2.3. NAPONSKE I STRUJNE NESIMETRIJE.....	4
2.4. METEMATIČKI MODEL MREŽE.....	5
2.5. JEDNADŽBE TOKOVA SNAGA I ČVOROVA.....	6
2.6. KLASIFIKACIJA ČVOROVA.....	8
2.7. PRORAČUN KRATKOG SPOJA U MREŽI.....	11
2.7.1. JEDNROPOLNI KRATKI SPOJ.....	11
2.7.2. DVOPOLNI KRATKI SPOJ, DVOPOLNI KRATKI SPOJ SA ZEMLJOM.....	15
2.7.3. TROPOLNI KRATKI SPOJ.....	19
3. OPIS POSTOJEĆE ELEKTROENERGETSKE MREŽE ELEKTRNE KOPRIVNICA	23
3.1. TEHNIČKI PODACI O ELEKTROENERGETSKOJ MREŽI ELEKTRNE KOPRIVNICA.....	27
3.1.1. 110 kV NAPONSKA RAZINA.....	27
3.1.2. 35 kV NAPONSKA RAZINA.....	27
3.1.3. 10(20) kV NAPONSKA RAZINA.....	30
3.1.4. DALJINSKO UPRAVLJANJE MREŽOM.....	32
4. PRELAZAK NA 20 kV NAPONSKU RAZINU POGONA LUDBREG	35
4.1. POSTUPAK PRELASKA POGONA LUDBREG NA 20 kV NAPONSKU RAZINU.....	40
4.2. PRORAČUN SADAŠNJEG I BUDUĆEG STANJA MREŽE U NEPLAN PROGRAMU.....	47
4.3. USPOREDBA REZULTATA PRIJE I POSLIJE PRELASKA NA 20 kV.....	64
5. ZAKLJUČAK	69
6. LITERATURA	70
7. POPIS I ZNAČENJE KRATICA	71
8. ŽIVOTOPIS	72

1. UVOD

Ovaj diplomski rad se bavi planiranjem razvoja elektroenergetske mreže na području Elektre Koprivnica sa ciljem prelaska na viši naponski nivo kako bi umanjili postojeće gubitke. Sama analiza elektroenergetske mreže temelji se na najnovijim podacima preuzetim iz DeGIS-a u Neplan programu. Kako bismo riješili probleme u mreži koji su tehničke naravi tj. povećali relativno niske napone i smanjili gubitke nužan bi bio prelazak s 10 kV na 20 kV naponsku razinu. Zbog sve većeg broja zahtjeva kupaca za priključenjem na distribucijsku mrežu kao i konstantnost napajanja električnom energijom postoje razne metode regulacije napona na sekundarnoj strani, ugradnjom kondenzatorskih baterija te promjenom naponskog nivoa.

Kao jedan od glavnih prioriteta prelaska na 20 kV mrežu je pripremljenost same elektroenergetske mreže, a uvidom u studijske analize prema AHP metodi najveći postotak posjeduje mreža pogona Ludbreg tj. TS 35/10 kV Ludbreg, TS 35/10 kV Selnik i dio izvoda TS 35/10 kV Rasinja.

U sklopu ovog diplomskog rada koristit ćemo Neplan programski paket kako bismo simulacijom usporedili dobivene vrijednosti prije i nakon samog prelaska na viši naponski nivo.

2. TOKOVI SNAGA U ELEKTROENERGETSKOJ MREŽI

Kao jedan od najosnovnijih proračuna koje koristimo za planiranje i analizu pogona rada elektroenergetskog sustava je proračun tokova snaga. Električna mreža kao predstavnik elektroenergetskog sustava sastoji se od čvorova kojima pripadaju sabirnice u rasklopnim postrojenjima i grana, u koje ubrajamo transformatore i vodove. Osnovna pretpostavka kao polazište u proračunima tokova snaga je simetričnost svih elemenata EES-a, te zbog toga koristimo jednofazne modele, dok trofazne modele koristimo za što točniji trofazni proračun tokova snaga gdje se u obzir uzimaju nesimetrična opterećenja i nesimetričnost izvedbe elemenata elektroenergetskog sustava. Do tokova snaga između nekih čvorova dolazi dodavanjem snage posredstvom izvora dok se kod drugih čvorova putem opterećenja snaga oduzima. Uzrok pojave nesimetričnih napona i struja je sama nesimetričnost nadzemnih vodova i raspored jednofaznih kabela koje rješavamo simetriranjem (preplitanjem) istih, ali se to obično provodi samo kod dužih vodova višeg napona (400 kV i 220 kV), dok su 110 kV vodovi u pravilu neprepleteni. Najveći izvor nesimetrija u prijenosnoj mreži predstavljaju elektrovučna postrojenja (željeznice), koja za trofazni elektroenergetski sustav predstavljaju dvofazno opterećenje te jednofazne i/ili trofazne elektrolučne peći radi neravnomjernog gorenja luka u svakoj fazi. Na mrežama srednjeg i niskog napona do nesimetrija može doći zbog neravnomjernog opterećenja u svakoj fazi. Sama pojava nesimetričnih prilika u mreži uzrokuje povećanje gubitaka djelatne snage u mreži. Glavni uzrok naponskih i strujnih nesimetrija je pojava nulte i inverzne komponente struje. Nulta komponenta struje u stacionarnom pogonu potiče na pojavu iduciranog napona koji izaziva smetnju u telekomunikacijskim vodovima, dok inverzna komponenta struje djeluje različito kod strojeva. Kod sinkronih generatora inverzna komponenta struje ima za posljedicu inverzno okretno magnetsko polje zbog kojeg dolazi do dodatnog zagrijavanja rotora generatora, a u asinkronim motorima inverzno okretno magnetsko polje dovodi do povećanja gubitaka te smanjenja zakretnog momenta. Za proračun trofaznih i jednofaznih tokova snaga koriste se iterativne metode, od kojih su dvije najpoznatije Newton-Raphson i Gauss-Seidel metoda.

2.1. NAJVAŽNIJI ASPEKTI ANALIZE TOKOVA SNAGA

U elektroenergetskom sustavu proizvodnja električne energije u svakom trenutku mora biti jednaka potražnji, izlazna snaga mora biti blizu prethodno određenih vrijednosti tj. aktivna snaga opterećenja treba biti raspoređena između generatora radi minimalnih troškova tj. derivata potrebnih za rad samog generatora. Kako potražnja električne energije u sustavu podliježe promjenama tokom dana tako se i radne točke generatora moraju kontinuirano mijenjati iz sata u sat, što će rezultirati promjenom tokova snaga u mreži.

Ispravnom strategijom upravljanja tokovima snaga prije kvara sprečavamo teže posljedice poremećaja i svodimo ih na minimum.

Sam pogon mora raditi u određenim uvjetima kako ne bi došlo do ugrožavanja termičke granice i stabilnosti prijenosa vodova.

Ako je promatrani elektroenergetski sustav dio međunarodnog udruženja sustava, mora zadovoljavati ugovorima o razmjeni energije i snage.

Naponi pojedinih sabirnica moraju biti unutar relativno uskih granica a reguliramo ih ispravnim režimom reaktivnih snaga.

Eventualni problemi koji se pojavljuju prilikom analize tokova snaga u mreži rješavamo formuliranjem pogodnog matematičkog modela mreže koji će adekvatno opisati ovisnost između snage i napona, te važeća ograničenja na pojedinim sabirnicama. Numeričkim rješavanjem jednadžbi za snage čvorova dobijemo napone na pojedinim čvorovima koji nam služe za određivanje stvarnih tokova snaga u vodovima.

2.2. STACIONARNO STANJE

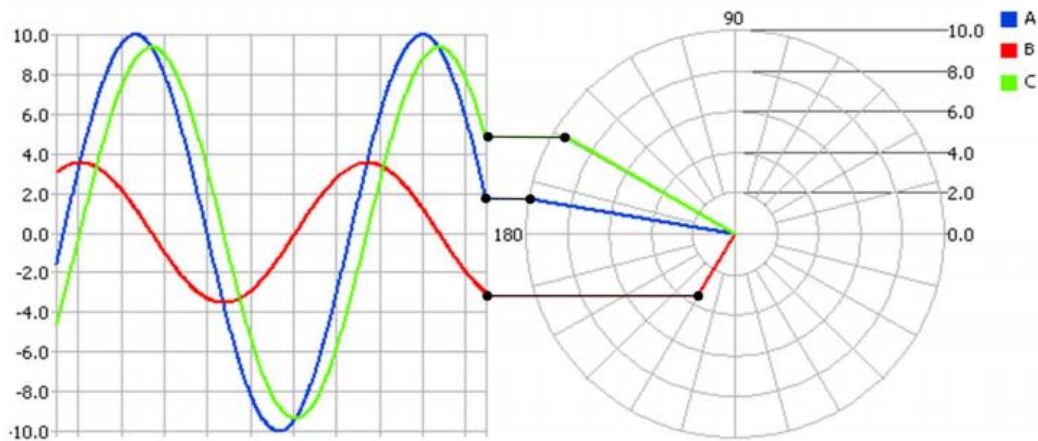
U stacionarnom stanju matematički model i proračun tokova snaga elektroenergetske mreže važan su preduvjet rješavanja problema pri planiranju izgradnje i vođenju pogona mreže. Učestale promjene opterećenja drže sustav u dinamičkom stanju pa pretpostavka za koju mislimo da je sustav stacionaran nikada nije do kraja ispunjena. Zanimljivo li prijelazne kratke pojave, dovoljno je napraviti trenutnu snimku pogonskog stanja za većinu slučajeva jer su amplitude promjena opterećenja u normalnom pogonu razmjerno male. Pretpostavka o konstantnosti opterećenja omogućuje nam dovoljno točno opisivanje trenutačnog pogonskog stanja mreže u normalnom pogonu uz pomoć nelinearnih algebarskih jednadžbi. Proračunato stacionarno pogonsko stanje odgovara stvarnom stanju sve dok ne dođe do brzih promjena opterećenja kada se stacionarno stanje mora ponovo odrediti (npr. za vrijeme trajanja dnevnog vrha), dok se noću

opterećenje slabo mijenja te ga nije potrebno iznova određivati. Za matematički model proračuna stacionarnog stanja s faznim naponima, linijskim strujama i snagama jedne faze dovoljno je trofaznu simetričnu mrežu opisati jednofazno.

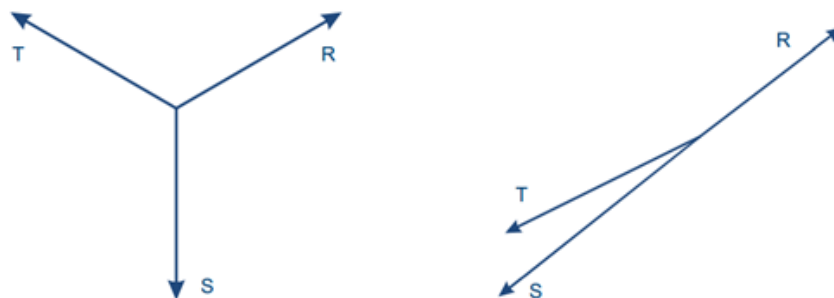
2.3. NAPONSKE I STRUJNE NESIMETRIJE

Za simetrične prilike kažemo da nastaju kada fazni naponi imaju istu amplitudu (iznos), i međusobno su pomaknuti za 120° , te u slučaju bilo kakvog odstupanja, po iznosu i/ili faznom kutu, smatramo naponskom nesimetrijom koja je definirana omjerom inverzne i direktne odnosno nulte i direktne komponente napona. Također se na sličan način definira i strujna nesimetrija.

Primjer nesimetričnog sustava prikazan je na slici 2.1.



Sl.2.1. Nesimetričan sustav



Sl.2.2. Simetričan i nesimetričan sustav

2.4. METEMATIČKI MODEL MREŽE

U matematičkom opisu elektroenergetske mreže za sam proračun posebno je pogodna matrica admitancije čvorova \underline{Y}_k , s time da je ovisnost kompleksnih čvorišnih struja \bar{I}_i i faznih napona čvorova \bar{V}_i u svim čvorovima zadana linearnom matričnom jednačbom. Matrica admitancije čvorova \underline{Y}_k vrijedi za stacionarnu mrežu u normalnom pogonu sa n čvorova.

Iz metode potencijala čvorova linearna matrična jednačba glasi:

$$\underline{I}_k = \underline{Y}_k \cdot \underline{V}_k \quad (2-1)$$

gdje je vektor čvorišnih struja \underline{I}_k i faznih napona čvorišta \underline{V}_k zadan s n kompleksnih čvorišnih struja \bar{I}_i i kompleksnih faznih napona \bar{V}_i :

vektor čvorišnih struja

$$\underline{I}_k = [\bar{I}_1, \bar{I}_2, \dots, \bar{I}_i, \dots, \bar{I}_n]^T \quad (2-2)$$

vektor faznih napona čvorišta

$$\underline{V}_k = [\bar{V}_1, \bar{V}_2, \dots, \bar{V}_i, \dots, \bar{V}_n]^T \quad (2-3)$$

Za određivanje kompleksnih elemenata matrice admitancije čvorova koristimo slijedeća pravila:

- dijagonalni elementi \bar{y}_{ii} matrice admitancije određuju se zbrajanjem svih, s čvorom i povezanih admitancija \bar{Y}_{ik} :

$$\bar{y}_{ii} = \sum \bar{Y}_{ik} \quad (2-4)$$

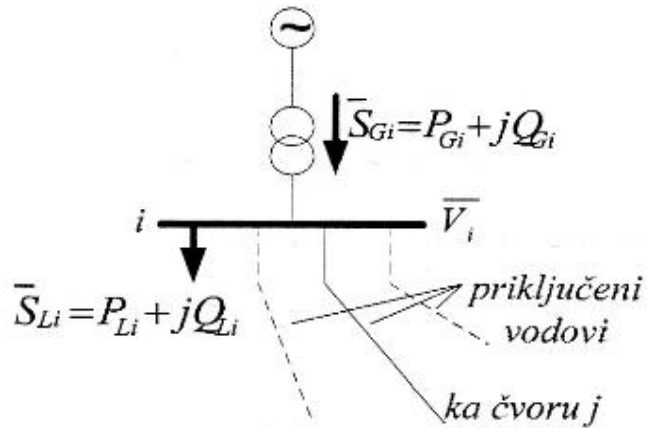
- izvandijagonalni elementi \bar{y}_{ik} određeni su negativnim vrijednostima admitancija \bar{Y}_{ik} koje povezuju čvorove i i k :

$$\bar{y}_{ik} = -\bar{Y}_{ik} \quad (2-5)$$

gdje su \bar{Y}_{ik} vrijednosti elemenata mreže, a \bar{y}_{ii} i \bar{y}_{ik} kompleksni elementi matrice admitancije čvorova.

2.5. JEDNADŽBE TOKOVA SNAGA I ČVOROVA

Na slici 2.3. je prikazan čvor i sa snagom elektrane \bar{S}_{Gi} i snagom opterećenja \bar{S}_{Li} iz koje definiramo neto snagu čvora i kao razliku kompleksnih prividnih snaga generatora i potrošača.

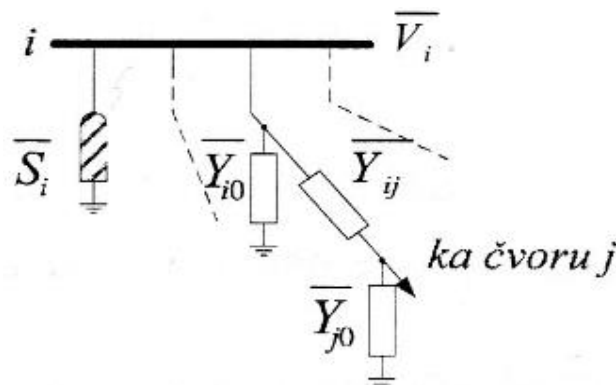


Sl.2.3. Pojednostavljeni prikaz čvora "i" s generatorima, potrošačima i prijenosnim vodovima

neto snaga čvora i :

$$\bar{S}_i = P_i + jQ_i = \bar{S}_{Gi} - \bar{S}_{Li} = \bar{P}_{Gi} - \bar{P}_{Li} + j(Q_{Gi} - Q_{Li}) \quad (2-6)$$

Iz slike 2.4. neto čvorišna snaga \bar{S}_i koju možemo shvatiti kao neto snagu injektiranu u čvor i posredstvom nadomjesnog "sabirničkog izvora".



Sl.2.4. Pojednostavljeni prikaz čvora "i" sa simbolom za neto čvorišnu snagu i prijenosnim vodovima

Iz izraza za snagu $\bar{S}_i = \bar{V}_i \cdot \bar{I}_i^*$ vidimo da su neto prividna snaga \bar{S}_i i čvorišna struja \bar{I}_i međusobno povezani dok se struja čvora i dobije iz proširenog oblika matrične jednačbe :

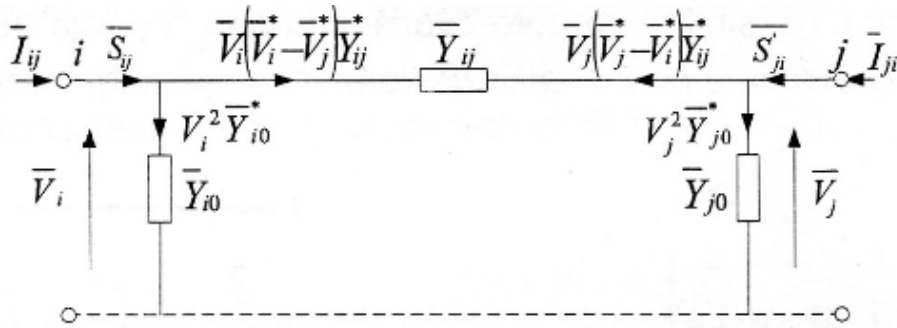
$$\bar{I}_i = \bar{y}_{i1} \cdot \bar{V}_1 + \bar{y}_{i2} \cdot \bar{V}_2 + \dots + \bar{y}_{ii} \cdot \bar{V}_i + \bar{y}_{in} \cdot \bar{V}_n = \sum_{j=1}^n \bar{y}_{ij} \cdot \bar{V}_j \quad (2-7)$$

Pa tako iz prethodne dvije jednačbe dobijemo neto snagu čvora i :

$$\bar{S}_i = \bar{V}_i \sum_{j=1}^n \bar{y}_{ij}^* \cdot \bar{V}_j^* \quad (2-8)$$

Prema slici 2.5. za tokove snage kroz grane što povezuje čvorove i i j na osnovu π sheme vrijedi izraz:

$$\begin{aligned} \bar{S}_{ij} = P_{ij} + jQ_{ij} &= \bar{V}_i \bar{I}_{ij}^* = \bar{V}_i [(\bar{V}_i - \bar{V}_j) \bar{Y}_{ij} + \bar{V}_i \bar{Y}_{i0}]^* \\ &= \bar{V}_i (\bar{V}_i^* - \bar{V}_j^*) \bar{Y}_{ij}^* + V_i^2 \bar{Y}_{i0}^* \end{aligned} \quad (2-9)$$



Sl.2.5. Opća π shema elementa mreže između čvorova i i j

dok za obrnuti smjer tokova snage vrijedi:

$$\begin{aligned} \bar{S}_{ji} = P_{ji} + jQ_{ji} &= \bar{V}_j \bar{I}_{ji}^* = \bar{V}_j [(\bar{V}_j - \bar{V}_i) \bar{Y}_{ij} + \bar{V}_j \bar{Y}_{j0}]^* \\ &= \bar{V}_j (\bar{V}_j^* - \bar{V}_i^*) \bar{Y}_{ij}^* + V_j^2 \bar{Y}_{j0}^* \end{aligned} \quad (2-10)$$

Sumiranjem obaju tokova snaga dobijemo gubitke prijenosa \bar{S}_g :

$$\bar{S}_g = \bar{S}_{ij} + \bar{S}_{ji} \quad (2-11)$$

Gubitke prijenosa možemo izračunati tak kada su nam poznati kompleksni naponi svih čvorova.

Pri tome se svi kompleksni naponi svode na istu referentnu os, koja po dogovoru pada u smjer fazora napona 1. referentnog čvora.

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_1 \angle 0^\circ$$

$$\bar{V}_i = \bar{V}_i \angle \delta_i^\circ \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, n$$

2.6. KLASIFIKACIJA ČVOROVA

Jednadžbu za prividnu snagu neto čvora i možemo rastaviti na realni i imaginarni dio.

Realni dio se odnosi na aktivnu neto snagu promatranog čvora i kao razlika aktivnih snaga generatora i potrošača:

$$P_i = P_{Gi} - P_{Li} = \sum_{j=1}^n V_i V_j y_{ji} \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2-12)$$

Imaginarni dio se odnosi na reaktivnu neto snagu promatranog čvora i kao razlika reaktivnih snaga generatora i potrošača:

$$Q_i = Q_{Gi} - Q_{Li} = \sum_{j=1}^n V_i V_j y_{ji} \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2-13)$$

Jednadžbe za snagu čvora (2 – 12) i (2 – 13) daju sustav nelinearnih algebarskih jednadžbi u kojima svakom čvoru i pripada slijedećih šest varijabli:

Snaga generatora	Snaga opterećenja	Napon
P_{Gi}	P_{Li}	V_i
Q_{Gi}	Q_{Li}	δ_i

Neto aktivna snaga P_i i neto reaktivna snaga Q_i nekog čvora i računaju se na osnovi jednadžbe (2 – 6) kao razlika odgovarajućih snaga generatora i opterećenja ali kad u čvoru ne postoji elektrana neke snage mogu imati vrijednost nula. Ako su opterećenja P_{Li} i Q_{Li} unaprijed zadana,

nelinearne jednadžbe se mogu jednoznačno riješiti uz uvjet da su prethodno zadane i dvije daljnje veličine u svakom čvoru koje ovise o elementima mreže priključenim u čvoru i .

Čvorovi u mreži mogu se svrstati u tri grupe a ovisno o unaprijed poznatim i nepoznatim veličinama.

- referentni čvor (NN čvor) – uvijek označen jedinicom, odgovara sabirnicama snažne elektrane ili sabirnicama gdje se nadovezuje kruta mreža, a u njemu ni aktivna P_{Gi} ni reaktivna snaga Q_{Gi} ne podliježu nikakvim ograničenjima. Vrijednost kuta napona $\delta_1 = 0^\circ$ kako bi se svi ostali kompleksni naponi mogli izraziti relativno u odnosu na referentni čvor. Unaprijed zadani nazivni napon u jediničnoj metodi proračuna se uzima kao $V_1 = 1,0$ per unit. Kako su P_{L1} i Q_{L1} poznati, ostaje za odrediti injektirane aktivne P_{G1} i reaktivne Q_{G1} snage.
- čvor s opterećenjem (PQ čvor) – ne postoji izvor pa su vrijednosti P_{Gi} i Q_{Gi} jednake nuli. Kako su vrijednosti snaga opterećenja P_{Li} i Q_{Li} poznate takvim čvorovima moramo odrediti kompleksni napon \bar{V}_i po iznosu V_i i kutu δ_i .
- generatorski čvor (čvor s proizvodnjom snage i regulacijom napona ili PV čvor) – injektirana generatorska snaga P_{Gi} i iznos napona V_i mogu se postaviti posredstvom turbinskog, odnosno naponskog regulatora pa su jedine nepoznanice u takvom čvoru reaktivna snaga generatora Q_{Gi} i kut napona δ_i dok proizvedena snaga generatora mora biti u granicama pogona.

$$P_{Gi,min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi,max} \quad (2-14)$$

Također u pogonskim granicama mora ostati i proizvedena reaktivna snaga generatora Q_{Gi} koju provjeravamo preko izraza:

$$Q_{Gi,min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi,max} \quad (2-15)$$

Ako nejednadžba ne zadovoljava uvjet, Q_{Gi} moramo postaviti na vrijednost $Q_{Gi,min}$ ili $Q_{Gi,max}$, dok V_i dobijemo rješavanjem jednadžbi za snagu čvora a to znači da se generatorski čvor pretvorio u čvor s opterećenjem.

Tablica 2.1. prikazuje klasifikaciju čvorova po unaprijed zadanim veličinama koje se određuju rješavanjem jednadžbi za snagu čvora.

VRSTA ČVORA	TIP	UNAPRIJED ZADANE VELIČINE	NEPOZNATE VELIČINE	BROJNOST
Referentni čvor	REF	$V_1, \delta_1, P_{L1}, Q_{L1}$	P_{G1}, Q_{G1}	1
Čvor s opterećenjem	P-Q	P_{Gi}	V_i, δ_i	85%
Generatorski čvor	P-V	$P_{Gi}, V_i, P_{Li}, Q_{Li}$	Q_{Gi}, δ_i	15%

Tab.2.1. Vrste čvorova

Proračun tokova snaga sastoji se u tome da se sustav 2 nelinearne algebarske jednadžbe (2-12) i (2-13) (njihovi realni i imaginarni dijelovi) postavi i riješi za svih n čvorova, uzimajući u obzir specifikaciju podataka iz tablice 2.1.

Što se tiče stvarnih EES-a u kojima postoji stotine grana i tisuće čvorova, pa je rješavanje nekoliko puta većeg broja jednadžbi za proračun tokova snaga od broja čvorova izrazito složen zadatak kojeg u današnjem svijetu rješavamo iterativnim metodama pomoću računala.

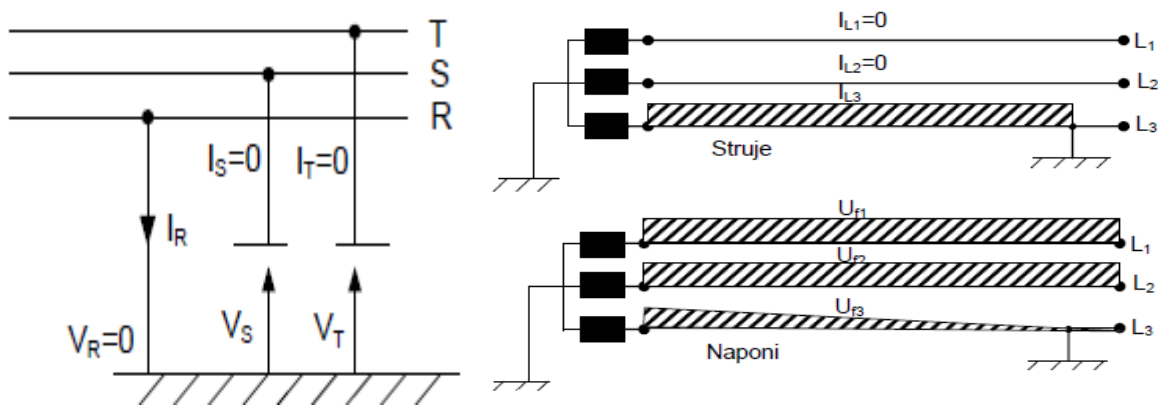
2.7. PRORAČUN KRATKOG SPOJA U MREŽI

Za analizu rada sustava u uvjetima kvara koristimo proračun kratkog spoja, a rezultate dobivene tim proračunom koristimo za razna dimenzioniranja i podešenja električne opreme. Kvarovi mogu biti različitih karaktera te ih dijelimo na složene i jednostavne ili poprečne i uzdužne. Ako je mreža uzemljena kruto ili preko različitih vrsta impedancije takve kvarove nazivamo kratkim spojem, a u slučaju neuzemljene mreže kažemo da je nastupio zemljospoj. Poprečni kvarovi dijele se na trofazne, jednofazne, dvofazne i dvofazne sa zemljom, dok kod uzdužnih kvarova najviše prevladavaju prekidi jedne ili dvije faze. Za proračun struja kratkog spoja koristimo matričnu metodu proračuna zasnovana na simetričnim komponentama.

2.7.1. JEDNOPOLNI KRATKI SPOJ

Jednopolni kratki spoj može se dogoditi jedino u uzemljenom sustavu. Struja teče samo u kvarnoj fazi dok su fazni naponi ispravnih faza konstantni a napon kvarne faze opada od nazivnog napona izvora do nule u točki kratkog spoja.

Slika 2.6. prikazuje naponske i strujne prilike na mjestu kvara jednopolnog kratkog spoja.



Sl.2.6.Nadomjesna shema za jednopolni kratki spoj i raspodjela struja i napona po fazama

Jednopolni kratki spoj faze R izražavamo sljedećim relacijama:

$$V_R = 0 \quad (2-15)$$

$$I_S = I_T = 0 \quad (2-16)$$

Dok se direktne, inverzne i nulte komponente vrijednosti struja dane slijedećim izrazima:

$$I_d = \frac{1}{3} \cdot (I_R + a \cdot I_S + a^2 \cdot I_T) = \frac{1}{3} I_R \quad (2-17)$$

$$I_i = \frac{1}{3} \cdot (I_R + a^2 \cdot I_S + a \cdot I_T) = \frac{1}{3} I_R \quad (2-18)$$

$$I_0 = \frac{1}{3} \cdot (I_R + I_S + I_T) = \frac{1}{3} I_R \quad (2-19)$$

$$I_d = I_i = I_0 = \frac{1}{3} I_R \quad (2-20)$$

Kako je napon faze R jednak nuli, vrijedi da je suma direktne, inverzne i nulte komponente napona jednaka nuli.

$$V_R = 0 \rightarrow V_d + V_i + V_0 = 0 \quad (2-21)$$

$$\begin{aligned} E_d = V_d + I_d Z_d &= -V_i - V_0 + I_d Z_d = I_i Z_i + I_0 Z_0 + I_d Z_d \\ &= I_d (Z_d + Z_i + Z_0) \end{aligned} \quad (2-22)$$

$$I_d = \frac{E_d}{Z_d + Z_i + Z_0} = I_i = I_0 \quad (2-23)$$

Strujno naponske prilike na mjestu kvara određujemo pomoću slijedećih jednadžbi:

$$\begin{bmatrix} I_R \\ I_S \\ I_T \end{bmatrix} = \frac{3E_d}{Z_d + Z_i + Z_0} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2-24)$$

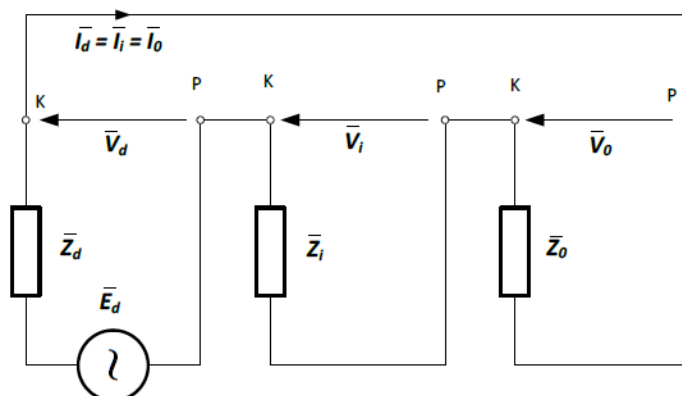
$$I_{K1} = I_R = \frac{3E_d}{Z_d + Z_i + Z_0} \quad (2-25)$$

$$\begin{bmatrix} V_R \\ V_S \\ V_T \end{bmatrix} = \frac{E_d}{Z_d + Z_i + Z_0} \begin{bmatrix} 0 \\ (a^2 - a)Z_i + (a^2 - 1)Z_0 \\ (a - a^2)Z_i + (a - 1)Z_0 \end{bmatrix} \quad (2-26)$$

$$S_{K1} = 3|I_R E_d| = 3 \left| E_d \frac{3E_d}{Z_d + Z_i + Z_0} \right| = 3 \frac{3|E_d|^2}{|Z_d + Z_i + Z_0|} \quad (2-27)$$

Kod proračuna jednopolnog kratkog spoja važna su sva tri komponentna sustava.

- ako mreža nije uzemljena ($Z_0 = \infty$) → *zemljospoj*



Sl.2.7. Shema za proračun jednopolnog kratkog spoja sa zemljom

$$\begin{bmatrix} I_R \\ I_S \\ I_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2-28)$$

$$\begin{bmatrix} V_R \\ V_S \\ V_T \end{bmatrix} = E_d \begin{bmatrix} 0 \\ (a^2 - 1) \\ (a - 1) \end{bmatrix} \quad (2-29)$$

$$(a^2 - 1) \rightarrow |V_S| = |V_T| = \sqrt{3}|E_d| \quad (2-30)$$

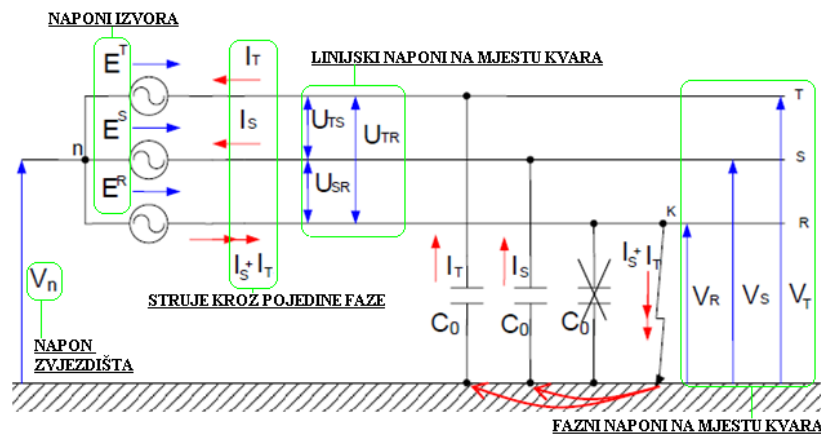
$$(a - 1) \rightarrow |V_S| = |V_T| = \sqrt{3}|E_d| \quad (2-31)$$

Dok su fazni naponi u ispravnim fazama po iznosu jednaki linijskim naponima tj. za $\sqrt{3}$ puta veći nego u normalnim uvjetima rada, pri tom je trokut linijskih napona nepromijenjen.

Pod pojmom zemljospoja podrazumijevamo spoj faznog vodiča sa zemljom u mreži s izoliranim zvjezdištem energetskih transformatora gdje su struje zemljospoja kapacitivnog karaktera. U tom slučaju struja kvara se zatvara samo kroz nulte kapacitete vodova (kapaciteti faznih vodiča prema zemlji) koji su ujedno i dominantne veličine koje određuju iznos struje kvara. Kapacitivne struje

su jednake po veličini i faznim naponima prethode za 90° . Suma kapacitivnih struja jednaka je nuli tako da kroz zemlju ne teče nikakva kapacitivna struja. Kroz dozemni kapacitet kvarne faze ne teče struja jer je fazni napon jednak nuli.

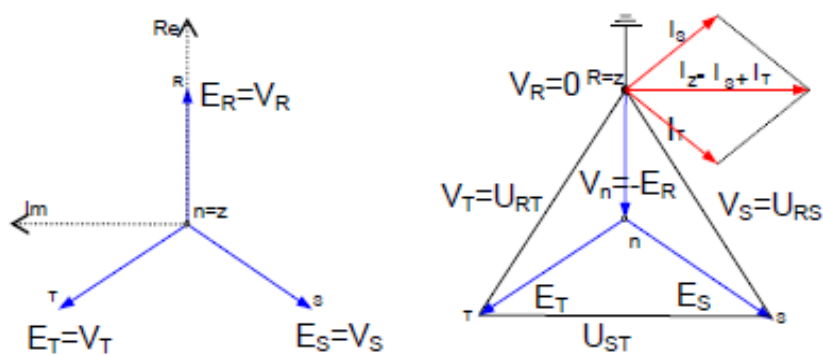
Ako pretpostavimo da su nulti kapaciteti približno jednaki tj. da je $C_{0R} = C_{0S} = C_{0T} = C_0$ radi se o metalnom zemljospoju bez prijelaznog otpora.



Sl.2.8. Struje i naponi pri zemljospoju R faze

Kako je K točka na potencijalu zemlje, potencijal zvjezdišta dobije izraz:

$$V_n = -E_R \quad (2-32)$$



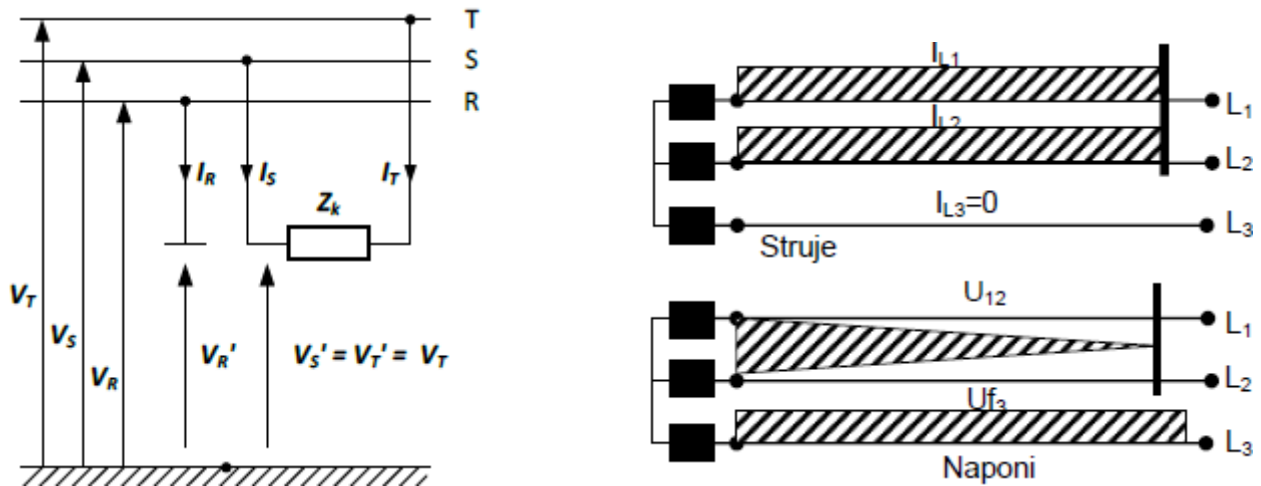
Sl.2.9. Fazorski dijagram prije i poslije kvara

2.7.2. DVOPOLNI KRATKI SPOJ, DVOPOLNI KRATKI SPOJ SA ZEMLJOM

Dvopolni kratki spoj nastaje kratkim spajanjem bilo koje dvije faze, dok dvopolni kratki spoj sa zemljom nastaje ako je jedna faza i dodatno spojena sa zemljom. To je nesimetrični kratki spoj čiju vrijednost određuje direktna i inverzna impedancija mreže.

Dvopolni kratki spoj

- kod dvopolnog kratkog spoja jedna te ista struja teče kroz kvarne faze dok je struja zdrave faze jednaka nuli. Fazni napon ispravnog voda je konstantan dok linijski napon između kvarnih vodiča opada od pune vrijednosti u izvoru pa do nule u mjestu kratkog spoja.



Sl.2.10. Dvopolni kratki spoj i raspodjela struja i napona po fazama

- na mjestu kratkog spoja vrijedi:

$$I_R = 0 \quad , \quad V_S = V_T \quad , \quad I_S + I_T = 0$$

-simetrične komponente:

$$I_d = \frac{1}{3} \cdot (I_R + a \cdot I_S + a^2 \cdot I_T) = \frac{1}{3} I_R (a - a^2) \quad (2-33)$$

$$I_i = \frac{1}{3} \cdot (I_R + a^2 \cdot I_S + a \cdot I_T) = \frac{1}{3} I_R (a^2 - a) = -I_d \quad (2-34)$$

$$I_0 = \frac{1}{3} \cdot (I_R + I_S + I_T) = 0 \quad (2-35)$$

$$I_0 = 0 \rightarrow V_0 = -I_0 Z_0 = 0 \quad (2-36)$$

$$V_d = \frac{1}{3} \cdot (V_R + a \cdot V_S + a^2 \cdot V_T) = \frac{1}{3} (V_R + V_S(a + a^2)) \quad (2-37)$$

$$V_i = \frac{1}{3} \cdot (V_R + a^2 \cdot V_S + a \cdot V_T) = \frac{1}{3} (V_R + V_S(a^2 + a)) \rightarrow V_d = V_i \quad (2-38)$$

-simetrične komponente:

$$E_d = V_d + I_d Z_d \quad (2-39)$$

$$0 = V_i + I_i Z_i \quad (2-40)$$

$$E_d = I_d(Z_d + Z_i) \rightarrow I_d = \frac{E_d}{Z_d + Z_i} = -I_i \quad (2-41)$$

-na mjestu kvara postoje slijedeće strujno naponske prilike:

$$\begin{bmatrix} I_R \\ I_S \\ I_T \end{bmatrix} = \frac{E_d}{Z_d + Z_i} \begin{bmatrix} 0 \\ a^2 - a \\ a - a^2 \end{bmatrix} \quad (2-42)$$

Pomoću sustava simetričnih komponenti i relacija koje vrijede za dvopolni kratki spoj dobivamo izraz za struju dvopolnog kratkog spoja:

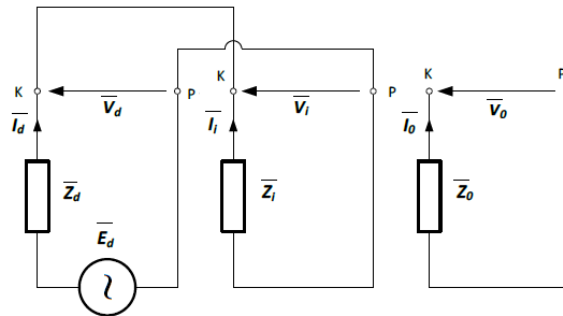
$$I_{K2} = I_S = -I_T = \frac{E_d}{Z_d + Z_i} (a^2 - a) \quad (2-43)$$

$$|I_{K2}| = \sqrt{3} \left| \frac{E_d}{Z_d + Z_i} \right| \quad (2-44)$$

-na mjestu kvara vrijede strujno naponske slijedeće prilike:

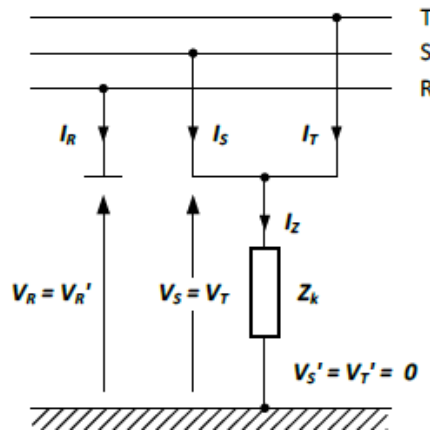
$$\begin{bmatrix} V_R \\ V_S \\ V_T \end{bmatrix} = \frac{E_d}{Z_d + Z_i} \begin{bmatrix} 2Z_i \\ (a^2 + a)Z_i \\ (a - a^2)Z_i \end{bmatrix} \quad (2-45)$$

Kod proračuna za dvopolni kratki spoj vrijedi direktni i inverzni sustav.



Sl.2.11. Shema za proračun dvopolnog kratkog spoja

Dvopolni kratki spoj sa zemljom



Sl.2.12. Dvopolni kratki spoj sa zemljom

- na mjestu kratkog spoja vrijedi:

$$I_R = 0 \quad , \quad V_S = V_T = 0 \quad , \quad I_S + I_T = I_Z$$

-simetrične komponente:

$$I_R = I_D + I_i + I_0 = 0 \tag{2-46}$$

$$V_D = \frac{1}{3} \cdot (V_R + a \cdot V_S + a^2 \cdot V_T) = \frac{1}{3} V_R \tag{2-47}$$

$$V_i = \frac{1}{3} \cdot (V_R + a^2 V_S + a V_T) = \frac{1}{3} V_R \tag{2-48}$$

$$V_0 = \frac{1}{3} \cdot (V_R + V_S + V_T) = \frac{1}{3} V_R \rightarrow V_d = V_i = V_0 \quad (2-49)$$

$$V_d = E_d - I_d Z_d = V_i = -I_i Z_i = V_0 = -I_0 Z_0 \quad (2-50)$$

-simetrične komponente:

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_i \\ I_0 \end{bmatrix} = \frac{E_d}{Z_d Z_i + Z_d Z_0 + Z_i Z_0} \begin{bmatrix} Z_i + Z_0 \\ -Z_0 \\ -Z_i \end{bmatrix} \quad (2-51)$$

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_i \\ V_0 \end{bmatrix} = \frac{E_d Z_i Z_0}{Z_d Z_i + Z_d Z_0 + Z_i Z_0} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2-52)$$

-na mjestu kvara vrijede strujno naponske sljedeće prilike:

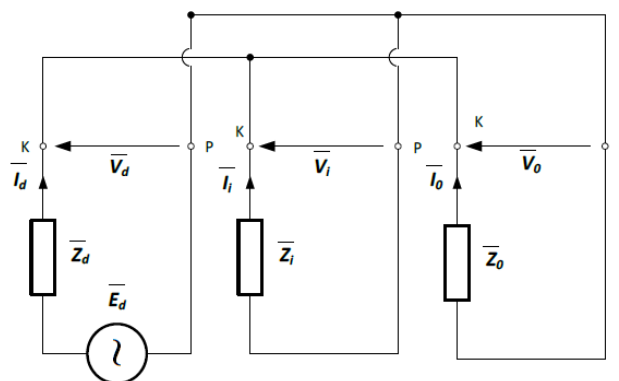
$$\begin{bmatrix} I_R \\ I_S \\ I_T \end{bmatrix} = \frac{E_d}{Z_d Z_i + Z_d Z_0 + Z_i Z_0} \begin{bmatrix} 0 \\ (a^2 - 1)Z_i + (a^2 - a)Z_0 \\ (a - 1)Z_i + (a - a^2)Z_0 \end{bmatrix} \quad (2-53)$$

$$I_z = \frac{-3Z_i E_d}{Z_d Z_i + Z_d Z_0 + Z_i Z_0} \quad (2-54)$$

$$\begin{bmatrix} V_R \\ V_S \\ V_T \end{bmatrix} = \frac{3E_d Z_i Z_0}{Z_d Z_i + Z_d Z_0 + Z_i Z_0} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2-55)$$

Kod proračuna dvopolnog kratkog spoja sa zemljom vrijede sva tri komponentna sustava.

-ako mreža nije uzemljena ($Z_0 = \infty$) \rightarrow zemljospoj



Sl.2.13. Shema za proračun dvopolnog kratkog spoja sa zemljom

$$\begin{bmatrix} I_R \\ I_S \\ I_T \end{bmatrix} = \frac{E_d}{Z_d + Z_i} \begin{bmatrix} 0 \\ a^2 - a \\ a - a^2 \end{bmatrix} \quad (2-56)$$

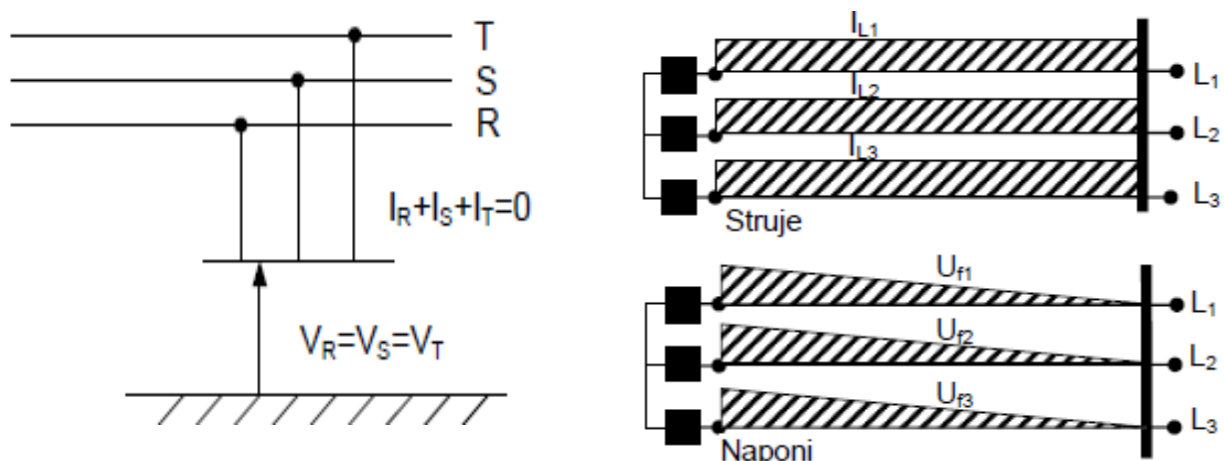
$$\begin{bmatrix} V_R \\ V_S \\ V_T \end{bmatrix} = \frac{E_d Z_i}{Z_d + Z_i} \begin{bmatrix} 3 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2-57)$$

Ako bismo dvopolni kratki spoj izveli pomoću trolepnog kratkog spoja dobili bismo da je struja dvopolnog kratkog spoja za 86% manja od struje trolepnog kratkog spoja.

$$Z_d \approx Z_i \rightarrow I_{K2} = \frac{E_d}{2Z_d} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{E_d}{\sqrt{3}Z_d} = 0,86 \cdot I_{K3} \quad (2-58)$$

2.7.3. TROPOLNI KRATKI SPOJ

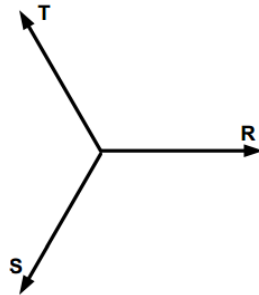
Tropolni kratki spoj je najteži oblik kvara nekog sustava, a nastaje u slučaju međufaznog spoja sve tri faze u zajedničkoj točki. Kod trolepnog kratkog spoja struje su jednake u svim kvarnim fazama dok fazni i linijski naponi opadaju od nazivne vrijednosti izvora do nule u točki kratkog spoja. Primjer trolepnog kratkog spoja sa strujnim i naponskim prilikama na mjestu kvara prikazan je na slici 2.14.



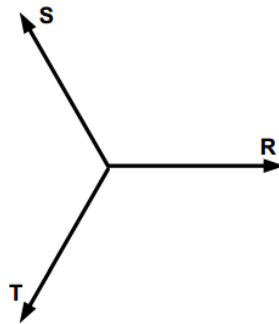
Sl.2.14. Tropolni kratki spoj i raspodjela struja i napona po fazama

Kako su električne veličine jednake u sve tri faze, troljni kratki spoj nazivamo simetričan kratki spoj. Vrijednost simetričnih komponenti određujemo na osnovu faznih vrijednosti struja i napona na mjestu kvara.

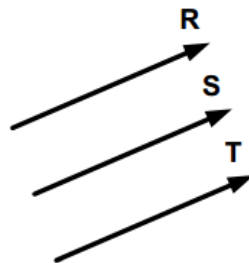
Naponi direktnog, inverznog i nultog sustava određeni su izrazima:



$$V_d = \frac{1}{3} \cdot (V_R + a \cdot V_S + a^2 \cdot V_T) = 0 \rightarrow E_d = V_d + I_d Z_d \rightarrow I_d = \frac{E_d}{Z_d} \quad (2-59)$$



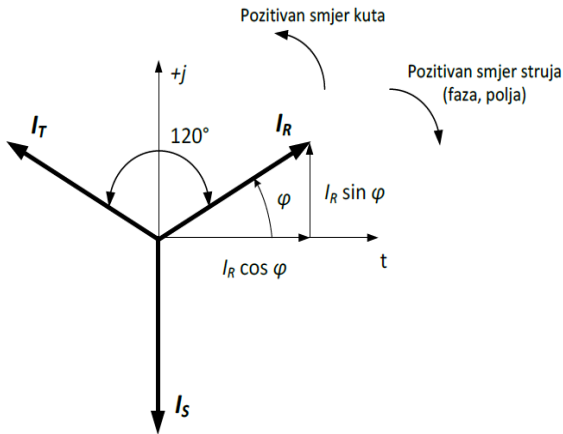
$$V_i = \frac{1}{3} \cdot (V_R + a^2 \cdot V_S + a \cdot V_T) = 0 \rightarrow 0 = V_i + I_i Z_i \rightarrow I_i = 0 \quad (2-60)$$



$$V_0 = \frac{1}{3} \cdot (V_R + V_S + V_T) = 0 \rightarrow 0 = V_0 + I_0 Z_0 \rightarrow I_0 = 0 \quad (2-61)$$

gdje operator zakreta kuta a ima vrijednost:

$$a = 1 \angle 120^\circ = 1 \angle \frac{2\pi}{3} = e^{j\frac{2\pi}{3}} = \cos \frac{2\pi}{3} + j \sin \frac{2\pi}{3} = -0,5 + j0,866 \quad (2-62)$$



$$I_R = I_R \quad (2-63)$$

$$I_S = a^2 \cdot I_R \quad (2-64)$$

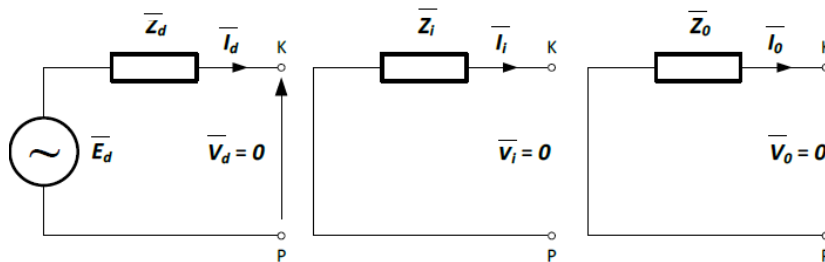
$$I_T = a \cdot I_R \quad (2-65)$$

dok a^2 ima vrijednost:

$$a^2 = -0,5 - j0,866 \quad (2-66)$$

Za proračun trofaznog kratkog spoja važan je samo direktni sustav, jer struja koju tjera elektromotorna sila E_1 teče samo kroz direktne reaktancije dok su stezaljke k i p kratko spojene. Kako u nultom i inverzom sustavu nema elektromotornih sila tako nema ni protjecanja struje kroz inverzne i nulte reaktancije.

Slika 2.15. prikazuje ekvivalentne reaktancije trofaznog kratkog spoja.



Slika 2.15. Nadomjesna shema trofaznog kratkog spoja

Jednadžbe za fazne vrijednosti struja na mjestu kvara trofaznog kratkog spoja:

$$\begin{bmatrix} I_R \\ I_S \\ I_T \end{bmatrix} = \frac{E_d}{Z_d} \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix} \quad (2-67)$$

$$I_{K3} = I_R = I_d = \frac{E_d}{Z_d} \quad (2-68)$$

Jednadžba za fazne vrijednosti napona na mjestu kvara trofaznog kratkog spoja:

$$\begin{bmatrix} V_R \\ V_S \\ V_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2-69)$$

izraz za trofaznu snagu kratkog spoja:

$$S_{K3} = 3 \cdot |E_d \cdot I_d| = 3 \cdot \frac{|E_d|^2}{|Z_d|} \quad (2-70)$$

3. OPIS POSTOJEĆE ELEKTROENERGETSKE MREŽE ELEKTRE KOPRIVNICA

Rasprostranjenost elektroenergetske mreže Elektre Koprivnica proteže se kroz četiri županije: Koprivničko-križevačku, Bjelovarsko-bilogorsku, Virovitičko-podravsku i Varaždinsku, što površinom od 1.645 km² čini oko 3% ukupne površine Republike Hrvatske. Sama distribucija električne energije potrošačima Elektre Koprivnica zasniva se na tri glavne transformatorske stanice:

TS 110/35 kV Koprivnica - povezana sa HE Dubrava, TS 110/35 kV Križevci,

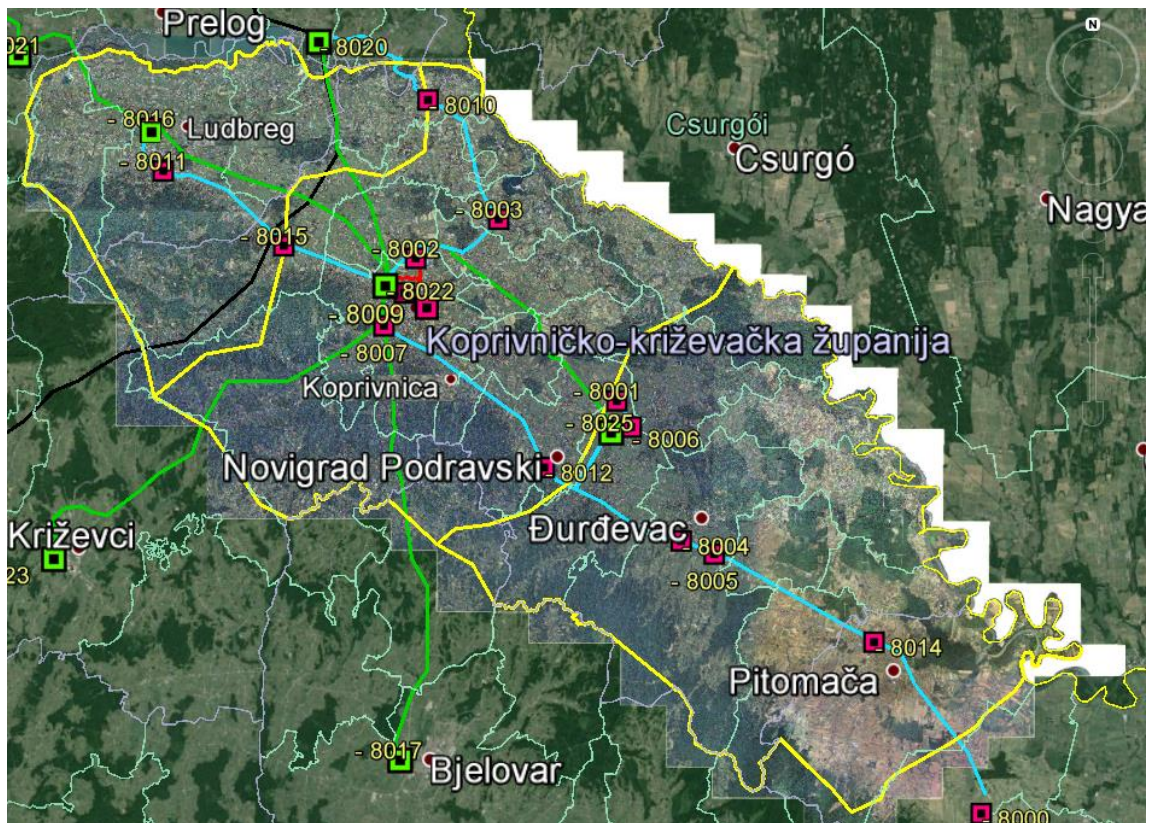
TS 110/35 kV Bjelovar i sa radijalnom TS 110/35 kV Virje

TS 110/35 kV Selnik - povezanu 110 kV vodom HE Čakovec i TS 110/35 kV Koprivnica

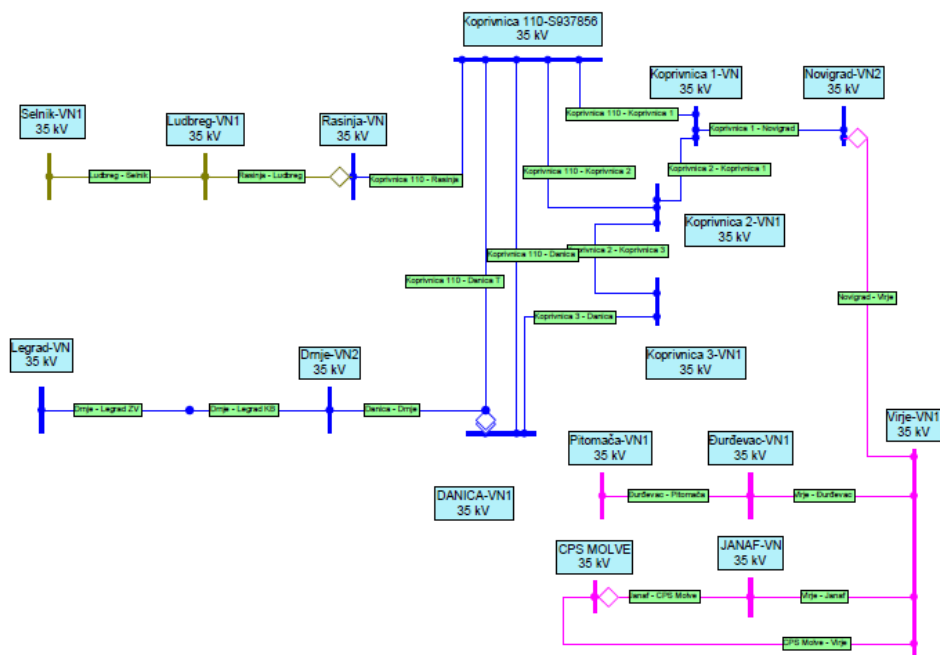
TS 110/35 kV Virje – povezana preko TS 110/35 kV Koprivnica

Pojna TS 110/35 kV Selnik posredstvom TS 35/10 kV Ludbreg i TS 35/10 kV Selnik opskrbljuje šire područje grada Ludbrega sa susjednim općinama. Pojna TS 110/35 kV Koprivnica posredstvom TS 35/10 kV Koprivnica 1, Koprivnica 2, Koprivnica 3, Rasinja, Drnje, Legrad, Novigrad, i Danica (vlasništvo prehrambene tvornice Podravka) opskrbljuje grad Koprivnicu sa okolicom dok treća pojna TS 110/35 kV Virje posredstvom TS 35/10 kV Đurđevac, Pitomača te Janaf i CPS Molve (nisu u vlasništvu HEP-a) opskrbljuju grad Đurđevac sa susjednim općinama. Godišnja potrošnja isporučene energije iznosi oko 323 GWh za 52710 OMM-a, od čega je 55 OMM-a na srednjem naponu, a 52655 OMM-a na niskom naponu. Na srednjem naponu je 4 OMM-a priključeno na 35 kV, dok je 51 OMM-a priključeno na 10 (20)kV naponsku razinu. Na niskom naponu je priključeno 47636 OMM-a kategorije kućanstvo raspoređena u tri tarifna modela (plavi, bijeli i narančasti) te potrošači kategorije poduzetništvo također raspoređeni u tri ista tarifna modela, njih 5019 OMM-a. Pregledom HEP Billing aplikacije na prostoru distribucijske mreže Elektre Koprivnica kao obnovljivi izvor koristi se sunčeva energija za elektrane koje su prikazane u tablici 2.1. Strateški cilj razvoja SN mreže u Republici Hrvatskoj je prijelaz s 10 kV na 20 kV naponsku razinu kako bi smanjili gubitke električne energije i snage. Sređivanjem, odnosno prijelazom na novi naponski sustav (110/35/20/0,4 kV) umjesto dosadašnjeg (110/35/10/0,4 kV) tj. diskutabilnim uklanjanjem 35 kV naponske razine značajno bi umanjili troškove održavanja postrojenja i vodova te njihovu zauzetost prostora. Kao jedan od strateškog plana razvoja SN distribucijske mreže u Republici Hrvatskoj je optimalni postupni prijelaz na novu strategiju uz iskorištenje postojeće elektroenergetske mreže.

Slika 3.1. prikazuje 110/35 kV i 35/10 kV transformatorske stanice i vodove DP-a Koprivnica.



Sl.3.1. Prostorni prikaz 110 i 35 kV mreže Elektra Koprivnica (zelenom bojom prikazani su 110 kV vodovi, svijetloplavom 35 kV vodovi, a crvenom 35 kV kabeli, žutom bojom označeno je područje Elektre Koprivnica)



Sl.3.2. 35 kV mreža modelirana u NEPLAN programu

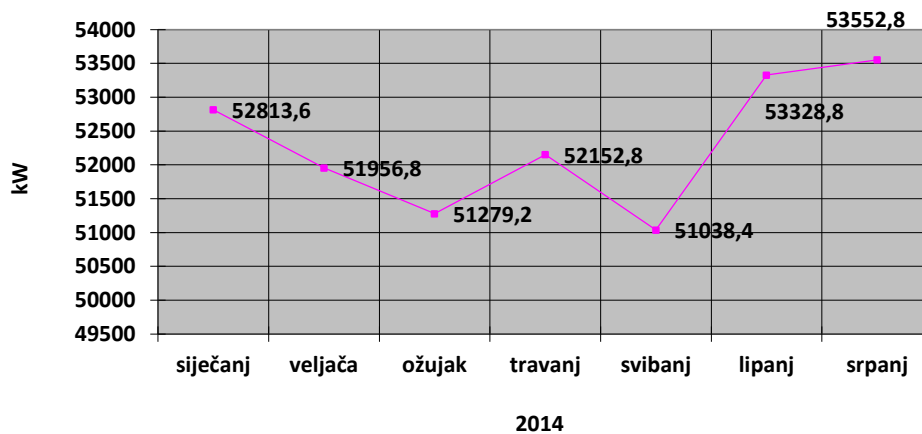
SOLARNA ELEKTRANA	INSTALIRANA SNAGA (kW)	MAKSIMALNO OSTVARENA SNAGA (kW)	PROIZVEDENA ENERGIJA (kWh)
VASOL J.D.O.O.	29	28	23966
VASOL J.D.O.O.	20	21	15875
BOHNEC 1	30	29	47615
VINKOVIĆ	10	10	30090
BOHNEC 3	10	10	19832
BOHNEC 2	10	10	19667
FENIKS INŽENJERING D.O.O.	10	10	8925
KRIVAK D.O.O.	29,96	26	19791
MAKAR	30	27	24596
SVEN	29,52	27	51535
SLATINA BRANKO	8	7	11343
MALTARIĆ	29,82	26	27874
INOSOLAR 6	9,4	9	18182
“O.P.M. KONCEPT“ D.O.O.	7,68	7	3340
O.P.M. KONCEPT D.O.O.	10	4	680
SALVIJA 1	9,99	10	19013
“INOSOLAR“ D.O.O.	29,97	29	25740
DVD VIRJE	10	10	12106
SPORTSKA DVORANA	30	22	27668
SUPERPRINT	29,92	25	18931
SUNCE PLUS 1	9,9	10	8792
SUNCE PLUS 2	9,9	9	9000
AUTOMEHANIKA 7	15	13	16583
SUPER SAMITA D.O.O.	154	152,35	2140,989
O.P.M. KONCEPT D.O.O.	6,84	5	2183
“O.P.M. KONCEPT“ D.O.O.	10	9	4975
MBS GRADNJA D.O.O.	30	25	15544
MBS GRADNJA D.O.O.	10	9,4	1572,1
“SOLEOL“ J.D.O.O.	10	10	9283

Tab.3.1.Obnovljivi izvori na području Elektre Koprivnica

Prema površinskoj i strukturalnoj podjeli pogon Elektre Koprivnica je najveći te su stoga i vršna opterećenja najveća unazad nekoliko godina, nakon njega slijedi pogon Đurđevac te pogon Ludbreg kao najmanji pogon sa najmanjom površinom, brojem kupaca i vršnim opterećenjem što je ilustrirano tablicom 3.2.

Pogon	Broj OMM-a	Površina (km ²)
KOPRIVNICA	24.979	700
ĐURĐEVAC	17.248	605
LUDBREG	10.483	340

Tab.3.2. Podaci o površini i broju kupaca pogona Elektre Koprivnica



Dij. 3.1. Maksimalno ostvarena snaga Elektre Koprivnica

3.1. TEHNIČKI PODACI O ELEKTROENERGETSKOJ MREŽI ELEKTRE KOPRIVNICA

3.1.1. 110 kV NAPONSKA RAZINA

Tehnički podaci o 110 kV transformatorskim stanicama te parametri transformatora dani su u tablicama 3.3. i 3.4. Nalaze se na prostoru Elektre Koprivnica i pripadaju Prijenosu električne energije koji ih uostalom i održava.

Naziv TS/transformacija	God. proiz.	Tip trafostanice	Način uzemljenja neutralne točke	Snaga (MW)
KOPRIVNICA 110/35 kV	1969	zidana	radni otpor (300 A)	2 x 40
SELNIK 110/35 kV	1999	zidana	radni otpor (300 A)	2 x 20
VIRJE 110/35 kV	1988	zidana	radni otpor (300 A)	2 x 20

Tab.3.3. Osnovni tehnički parametri TS 110 kV

Naziv TS	Proizvođač	Tip	Prijenosni omjer	Snaga	God. proiz.
KOPRIVNICA	GANZ	DHSCM 40000/120	110/36,75/10,5	40/40/13,3	1968
	GANZ	DHSCM 40000/120	110/36,75/10,5	40/40/13,3	1968
SELNIK	ELTA	TRDTa 20000-110	110/36,75/10,5	20/20/6,67	1968
	KONČAR	TRZ 22000-123	110/36,75/10,5	22/22/7,33	1970
VIRJE	KONČAR	TRP 200000-123/Q	110/36,75/10,5	20/20/6,67	1989
	KONČAR	TRP 200000-123/Q	110/36,75/10,5	20/20/6,67	1985

Tab.3.4. Osnovni tehnički parametri transformatora 110/35/10 kV

3.1.2. 35 kV NAPONSKA RAZINA

Na području Elektre Koprivnica postoji oko 120 km 35 kV mreže od čega je 83% nadzemne, a 17% podzemne mreže. Mreža je povezana preko 12 transformatorskih stanica u kojima je instalirano 24 transformatora prijenosnog omjera 35/10 kV.

Podaci o transformatorskim stanicama i njihovim transformatorima dani su u tablicama 3.5. i 3.6.

Naziv TS/transformacija	Instalirana snaga	God. izgradnje	Tip	Način uzemljenja neutralne Točke	Vrsta SN Bloka	SDV
Drnje 35/10 kV	2 x 4	1979	Zidana	izolirano		Da
Đurđevac 35/10(20) kV	2 x 8	1959	zidana	izolirano		Da
Janaf 35/10 kV	2 x 4	1959	zidana	izolirano		Da
Koprivnica 1, 35/10 kV	2 x 8	1959	zidana	izolirano		Da
Koprivnica 2, 35/10(20) kV	2 x 8	1966	zidana	izolirano		Da
Koprivnica 3, 35/10 kV	2 x 8	1982	zidana	izolirano		Da
Legrad 35/10 kV	2 x 4	1985	zidana	izolirano		Da
Ludbreg 35/10 kV	2 x 8	1959	zidana	izolirano	KSMA na 10(20)kV	Da
Pitomača 35/10 kV	2 x 8	1962	zidana	izolirano		Da
Rasinja 35/10(20) kV	2 x 4	2000	montažna	izolirano	BVK	Da
Selnik 35/10(20) kV	2 x 8	1999	zidana	izolirano	BVK	Da
Novigrad 35/10 kV	2 x 4	1966	zidana	izolirano		Da

Tab.3.5.Podaci o TS 35/10 kV

Naziv TS	Proizvođač	Tip	Prijenosni omjer	Snaga (MVA)	God. proiz.	Grupa spoja
Drnje	Končar	2TBN4000-38/A	35/10,5	4	1979	YNd5
	Končar	7TBN4000-38/A	35/10,5	4	1975	YNd5
Đurđevac	Končar	9NTBN8000-38/x	35/10,5(21)	8	1999	Dyn5
	Končar	9NTBN8000-38/x	35/10,5(21)	8	1999	Dyn5
Koprivnica 1	Končar	7TBN8000-38/B	35/10,5	8	1977	YNd5
	Končar	2TBN8000-38/A	35/10,5	8	1978	YNd5
Koprivnica 2	Končar	9TBN8000-38/x	35/10,5(21)	8	2000	YNd5
	Končar	9TBN8000-38/x	35/10,5(21)	8	2000	YNd5
Koprivnica 3	Končar	2TBN8000-38/A	35/10,5	8	1980	YNd5
	Končar	2TBN8000-38	35/10,5	8	1979	Dyn5
Legrad	Končar	3TNp 40-35	35/10,5	4	1967	yd5
	Končar	4T 4000-38	35/10,5	4	1970	yd5
Ludbreg	Končar	2TBN8000-38/A	35/10,5	8	1980	YNd5
	Končar	2TBN8000-38/A	35/10,5	8	1979	YNd5
Pitomača	Končar	3T 4000-38/E	35/10,5	8	1974	yd5
	Končar	T 4000-38	35/10,5	8	1968	yd5
Rasinja	Končar	2TBN4000-38/A	35/10,5	4	1979	YNd5
	Končar	2TBN4000-38/A	35/10,5	4	1977	YNd5
Selnik	Končar	9NTBN8000-38/x	35/10,5(21)	8	1998	Dyn5
	Končar	9NTBN8000-38/x	35/10,5(21)	8	1999	Dyn5
Novigrad	Končar	4000-38	35/10,5	4	1967	yd5
	Končar	3T 4000-38	35/10,5	4	1971	yd5
Janaf	Končar	7TBN4000-38/E	35/10,5	4	1977	yd5
	Končar	7TBN4000-38/E	35/10,5	4	1977	yd5

Tab.3.6.Podaci o transformatorima 35/10(20) kV

Naziv voda	Dužina voda	Materijal	Presjek	Vrsta Mreže	≤35kV
KOPRIVNICA110-KOPRIVNICA 1	3224	XHP 48	3x(1x240)	KB	35
KOPRIVNICA110-KOPRIVNICA 2	1360	XHE 49-A	3x(1x240)	KB	35
KOPRIVNICA110-RASINJA	6961	Al/Če	3x120	DV	35
KOPRIVNICA110-DANICA	2995	Al/Če	3x120	DV	35
KOPRIVNICA110-DANICA	4287	XHE 49-A	6x(1x240)	KB	35
KOPRIVNICA 2 - KOPRIVNICA 1	2658	XHE 49-A	3x(1x240)	KB	35
KOPRIVNICA 2 - KOPRIVNICA 3	2213	XHP 48	3x(1x240)	KB	35
KOPRIVNICA 3 - DANICA	4101	XHP 48	3x(1x240)	KB	35
KOPRIVNICA 1 - NOVIGRAD	14339	Al/Če	3x120	DV	35
LUDBREG - SELNIK	3666	Al/Če	3x120	DV	35
RASINJA - LUDBREG	9584	Al/Če	3x120	DV	35
KOPRIVNICA110 - DRNJE	10391	Al/Če	3x120	DV	35
DRNJE - LEGRAD	280	XHE 49-A	185	KB	35
DRNJE - LEGRAD	9360	Al/Če	3x120	DV	35
NOVIGRAD - VIRJE	7030	Al/Če	3x120	DV	35
VIRJE - ĐURĐEVAC	12363	Al/Če	3x120	DV	35
VIRJE - JANAF	1403	Al/Če	3x120	DV	35
JANAF - CPS MOLVE	1957	Al/Če	3x120	DV	35
CPS MOLVE - VIRJE	3222	Al/Če	3x120	DV	35
ĐURĐEVAC - PITOMAČA	14309	Al/Če	3x120	DV	35
PITOMAČA-ŠPIŠIĆ BUKOVICA	12751	Al/Če	3x120	DV	35

Tab.3.7.Podaci o 35 kV dionicama

Pogon	Vrsta	Duljina voda (km)
KOPRIVNICA	NADZEMNI	43.000
	PODZEMNI	17.843
ĐURĐEVAC	NADZEMNI	46.935
	PODZEMNI	0
LUDBREG	NADZEMNI	13.250
	PODZEMNI	0

Tab.3.8.Duljina 35 kV mreže po pogonima

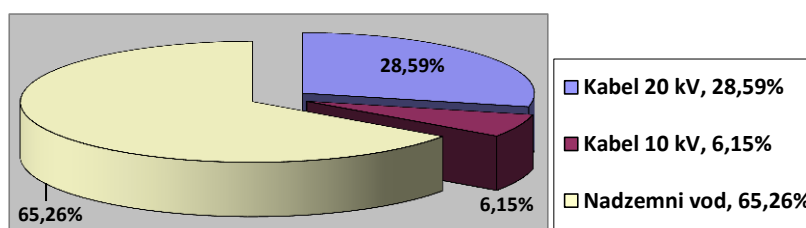
3.1.3. 10(20) kV NAPONSKA RAZINA

Prema statističkim podacima na području Elektre Koprivnica postavljeno je 325 podzemnih vodova od kojih 85% zadovoljava prelazak na višu naponsku razinu, te 650 nadzemnih vodova.

Ukupan broj 10(20) kV vodova po pogonima i njihov udio u postocima preuzet iz DeGis-a prikazan je u tablici 3.9.

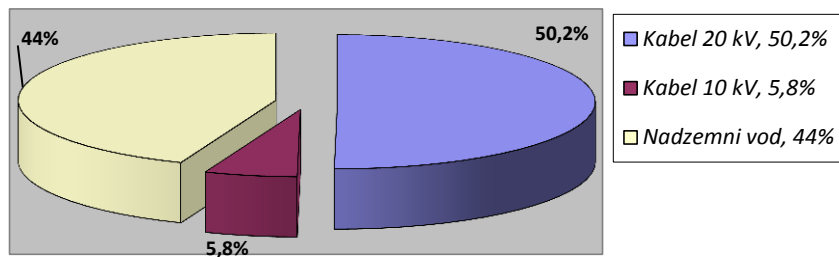
Pogon	Vrsta	Duljina voda	Udio (%)	
KOPRIVNICA	NADZEMNI	308.421	47,51%	
	PODZEMNI	10 kV	42.212	52,49%
		20 kV	119.708	
ĐURĐEVAC	NADZEMNI	265.702	73,12%	
	PODZEMNI	10 kV	9.558	26,88%
		20 kV	88.157	
LUDBREG	NADZEMNI	62.863	44,12%	
	PODZEMNI	10 kV	8.291	55,88%
		20 kV	71.209	

Tab.3.9.Pregled 10(20) kV mreže po pogonima



Dij.3. 2.Tip vodiča 10(20) kV mreže

Pogon Ludbreg iako je najmanji, prema dužini 10(20) kV mreže ima najveći udio kabela spremnih za napon od 20 kV što je oko 50% mreže pogona.

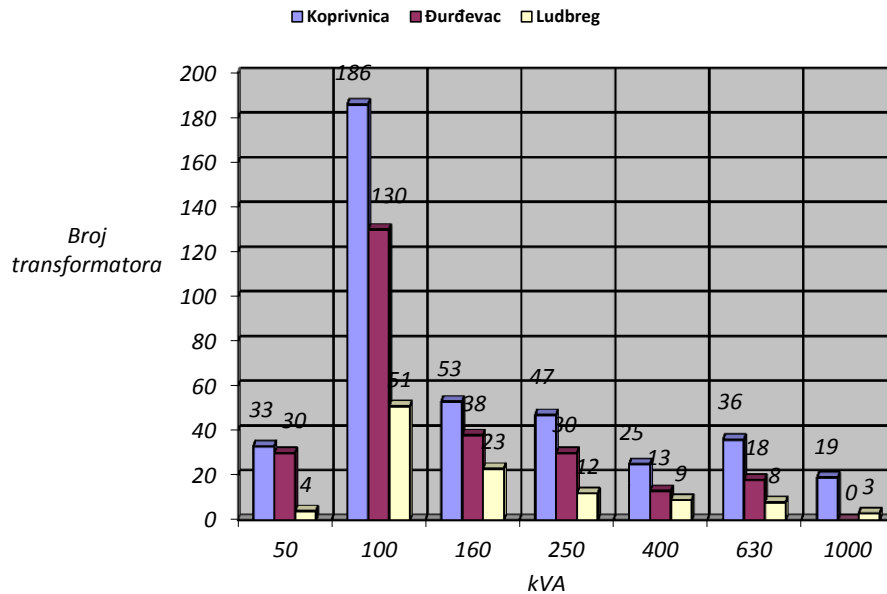


Dij.3.3.Tip vodiča 10(20) kV mreže,pogon Ludbreg

Broj transformatora 10(20)/0,4 kV cijelog DP-a prikazuje tablica 3.10. sa prosječnom instaliranom snagom od 209 kVA.

Pogon	Snaga Transformatora (kVA)	Broj energetskih transformatora	Instalirana snaga (kVA)
KOPRIVNICA	50	33	92.160
	100	186	
	160	53	
	250	47	
	400	25	
	630	36	
	1000	19	
ĐURĐEVAC	50	30	44.620
	100	130	
	160	38	
	250	30	
	400	13	
	630	18	
	1000	0	
LUDBREG	50	4	23.620
	100	51	
	160	23	
	250	12	
	400	9	
	630	8	
	1000	3	

Tab.3.10.Pregled broja 10(20)/0,4 kV transformatora po pogonima



Dij.3.4.Pregled instalirane snage i transformatora po pogonima

3.1.4. DALJINSKO UPRAVLJANJE MREŽOM

Na elektroenergetskoj mreži Elektre Koprivnica ugrađena je oprema za daljinski nadzor i upravljanje tzv. SDV ili sustav daljinskog vođenja koji operateru dispečerskog centra omogućuje upravljanje i nadzor mreže tj. nadzor samih sklopnih aparata. Sustav daljinskog vođenja uvelike utječe i na kvalitetu napona, tako da prilikom kvara na nekom dijelu mreže operater dispečerskog centra daljinskim manevrom preusmjeri dotok energije iz druge TS-e izolirajući nastali kvar. Način povezivanja objekata s dispečerskim centrom je preko optičke veze kao jedna od najbržih veza, te Wi-fi komunikacijom i radio vezom.

U sustavu daljinskog vođenja nalaze se:

- sve TS 110/35 kV
- sve TS 35/10(20) kV
- rasklopišta 10(20)/0,4 kV;
 - ❖ Sokolovac
 - ❖ Ferdinandovac

- 5 DURN-ova:

- ◆ Bregi
- ◆ Ivanec
- ◆ Bilogora
- ◆ Severovci
- ◆ Rasinja

- 42 daljinski upravljive TS 10(20)/0,4 kV

pogon Koprivnica: Delovi 2, Draganovec 2, Dubovec, Elektra, Gola 2, Grafičar -

Borovljani 3, Hudovljani 2, Legrad 2, Lj.Posavskog, Magdalenska, M.P.Miškinje 2, Miklinovec 1, Novačka 1, Novigrad 1, Park, Podravkino naselje, Taraščice 1, V.Botinovac 1, Vinica 3, Zagorska

pogon Đurđevac: Basaričekova 1, Budančevica 2, B.Jelačića 1, Centar Virje, Dinjevac 1, Dravska 2, Duhanprodukt ekonomija, Hampovica 3 Vipnet, Miholjanci 1, Mekiš 2, Peščenica, Robna kuća, Star.marof 1

pogon Ludbreg: Bomarkpak, Hrženica 1, Limont, Lukaps, Martijanec 3, M.Bukovec 2, Požgaj 1/A, Veliki otok 1, V.Lisinskog 1.

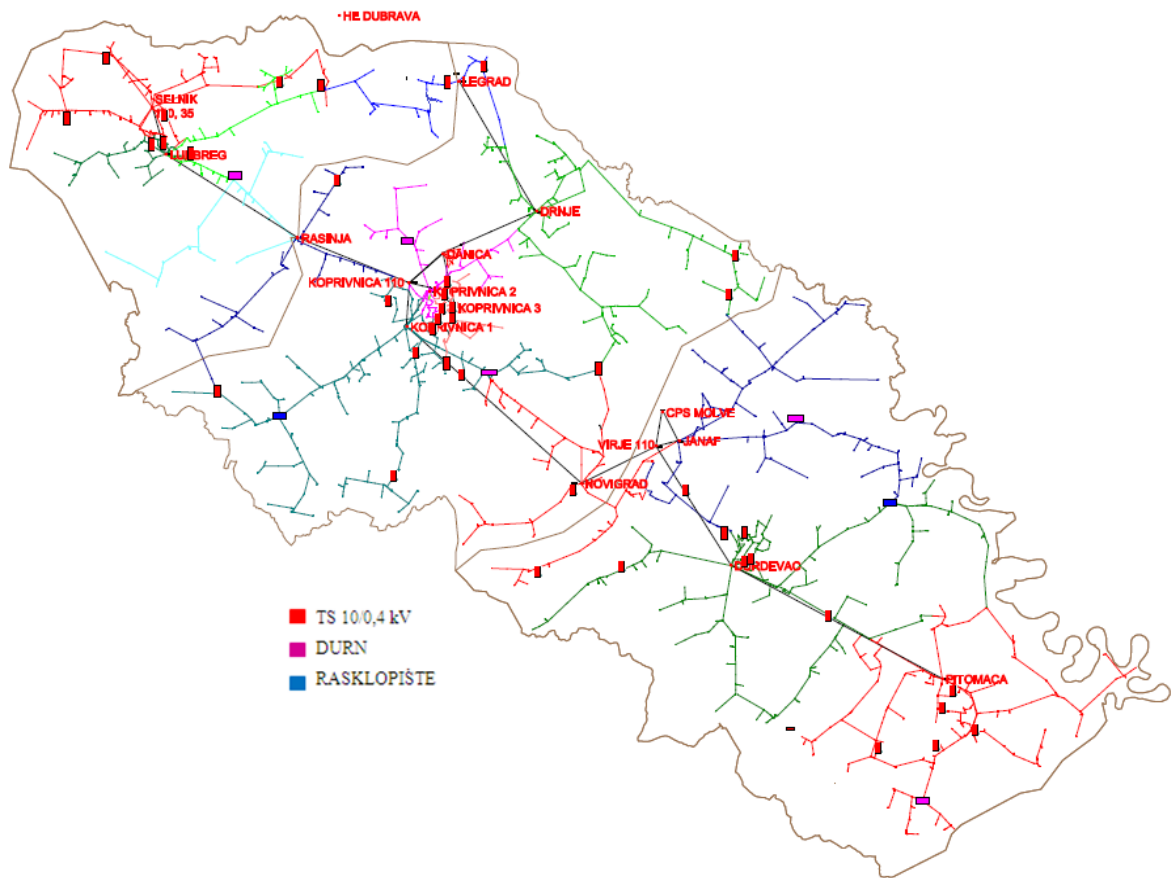


Sl.3.3.Razvodni ormar za daljinsko upravljanje TS-om



Sl.3.4.Daljinski upravljivi VDA blok

Grafički prikaz SDV-a Elektre Koprivnice prikazan je na slici 3.5. gdje je svako pojno polje označeno drugom bojom.



Sl.3.5. Objekti u sustavu daljinskog vođenja

4. PRIJELAZAK NA 20 kV NAPONSKU RAZINU POGONA LUDBREG

Prije nekoliko godina institut "Hrvoje Požar" izradio je studiju isplativosti prelaska na viši naponski nivo za nekoliko distribucijskih područja među kojima je bila i Elektra Koprivnica gdje se je AHP analizom prema postojećoj elektroenergetskoj mreži triju pogona Elektre Koprivnice došlo do perspektive prelaska na 20 kV naponsku razinu pogona Ludbreg. Prilikom analize postojeće elektroenergetske mreže u obzir su uzeti različiti kriteriji kao troškovi samog prelaska, pokazatelji stanja mreže i postrojenja te ostali sekundarni pokazatelji.

Troškovi prelaska na 20 kV razinu

- izgradnja ili rekonstrukcija SN mreže
- izgradnja ili rekonstrukcija TS 110/35(20) kV i TS 35/10 kV
- rekonstrukcija TS 10/0,4 kV
- zamjena transformatora 10/0,4 kV

Stanje mreže i postrojenja

- porast potrošnje
- iskorištenost mreže, opterećenje vodova i transformatora
- pripremljenost mreže
- kvaliteta električne energije brojem prekida i zadovoljstvom kupaca

Sekundarni pokazatelji

- najbliža 20 kV mreža
- veličina područja
- sufinanciranje
- postepeni prijelaz

Prilikom samog izračuna AHP metodom Elektra Koprivnica je podijeljena u četiri zone prema kojoj su prva i druga zona najperspektivnije, što je ilustrirano tablicom i grafom.

Elektra Koprivnica je podijeljena na slijedeće zone:

Zona 1: TS 35/10 kV Selnik

TS 35/10 kV Ludbreg – VP J07 Belupo, VP J13 F. Galovića, VP J14 Bednja,
VP J15 Slanje, VP J17 Istok, VP J18 Vinogradska,
VP J19 Črn-Bel

Zona 2: TS 35/10 kV Ludbreg – VP J04 Sigetec, VP J06 Rasinja

TS 35/10 kV Rasinja – VP J03 Ludbreg, VP J05 Lukovec

Zona 3: TS 35/10 kV Drnje

TS 35/10 kV Legrad

TS 35/10 kV Rasinja – VP J04 Rasinja, VP J09 Subotica, VP J10 Kuzminec

TS 35/10 kV Koprivnica 1

TS 35/10 kV Koprivnica 2

TS 35/10 kV Koprivnica 3

TS 35/10 kV Novigrad

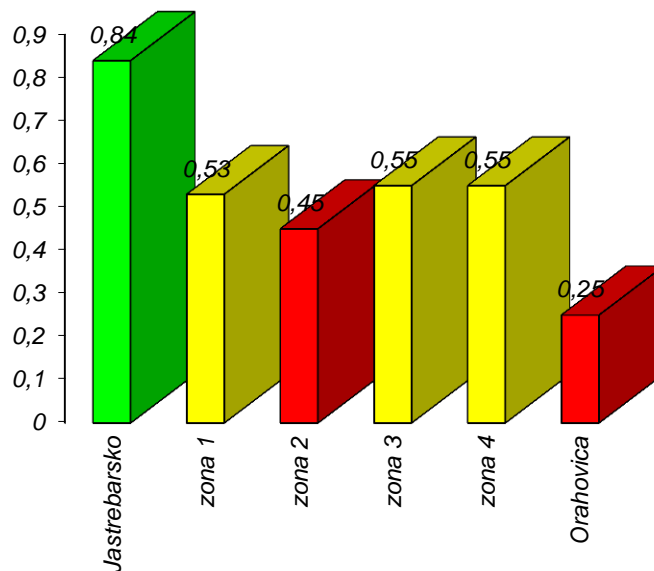
Zona 4: TS 35/10 kV Pitomača

TS 35/10 kV Đuđevac

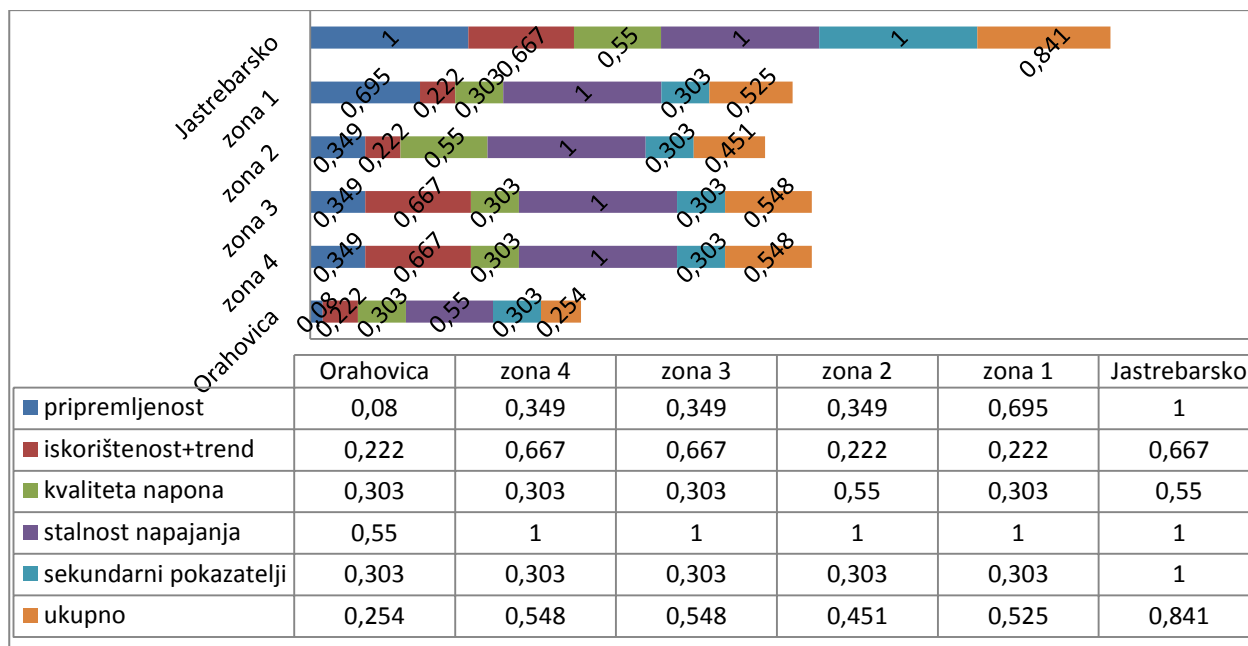
TS 35/10 kV Virje

TS 35/10 kV Janaf

Rezultati isplativosti prelaska na 20 kV naponsku razinu prikazani su u slijedećim dijagramima i tablicama.

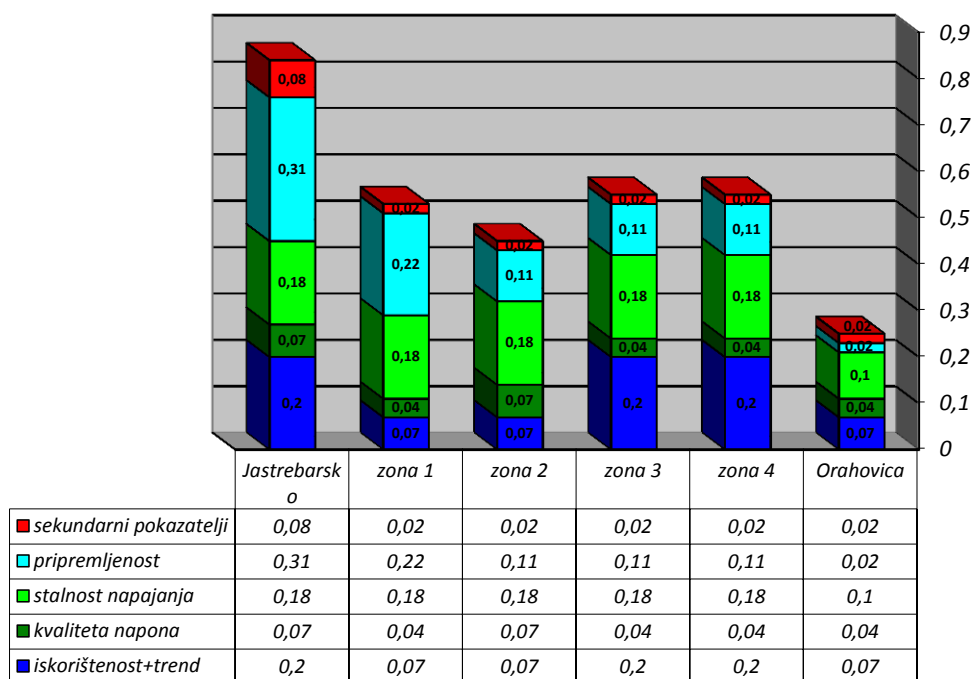


Dij.4.1. Rezultati AHP metode po kriterijima



Dij.4.2.Rezultati AHP metode po kriterijima

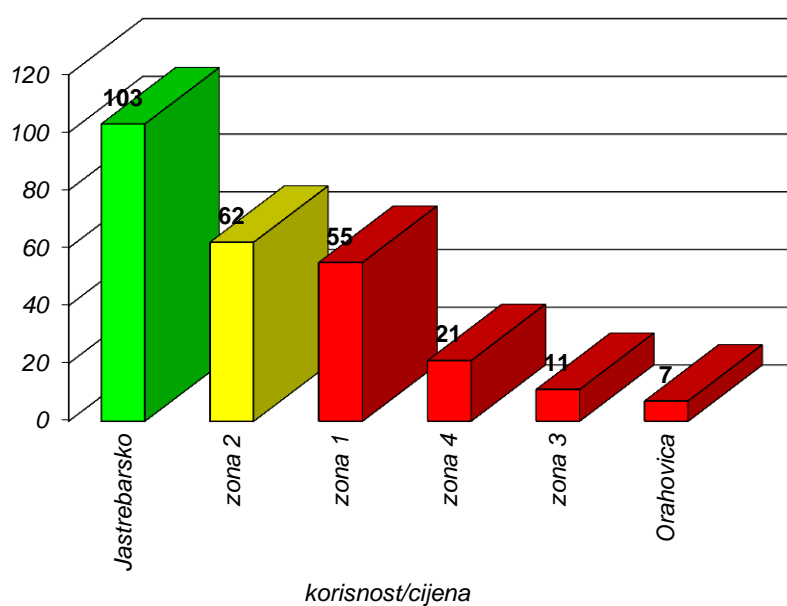
Iz dijagrama 4.1. vidljivo je da područja Elektre Koprivnica nisu toliko perspektivna za prelazak na viši naponski nivo. Prema podacima iz dijagrama 4.2. zona 1 ima dobru pripremljenost, lošu iskorištenost, kvalitetu napona i sekundarne pokazatelje jedino ima odličnu stalnost napajanja. Iz dijagrama 4.2. je vidljivo da je zona 2 najlošija, dok ostale zone imaju kvalitetnije parametre. Razlog tome su sekundarni pokazatelji tj. iskustvo prelaska na 20 kV razinu a odličnu stalnost napajanja imaju sve četiri zone za čije su vrijednosti zaslužni SAIFI i SAIDI pokazatelji.



Dij.4.3.Rezultati AHP metode sa strukturom

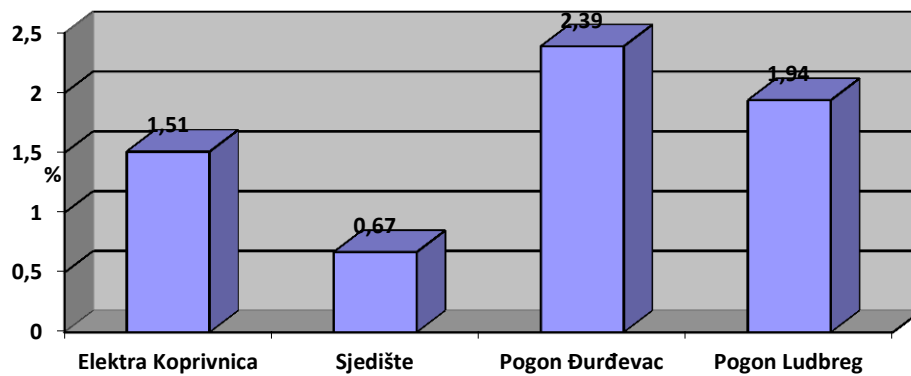
	Korisnost	Cijena (1.000.000)	Korisnost/cijena
Jastrebarsko	841	8	103
Zona 1	525	9	55
Zona 2	451	7	62
Zona 3	548	52	11
Zona 4	548	26	21
Orahovica	254	35	7

Tab.4.1. Rezultati izračuna omjera koristi i troškova pomoću AHP metode

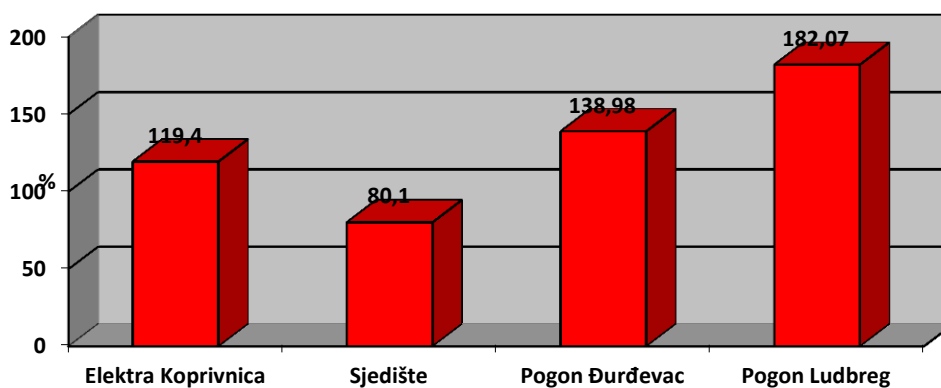


Dij.4.4. Rezultati izračuna omjera koristi i troškova pomoću AHP metode

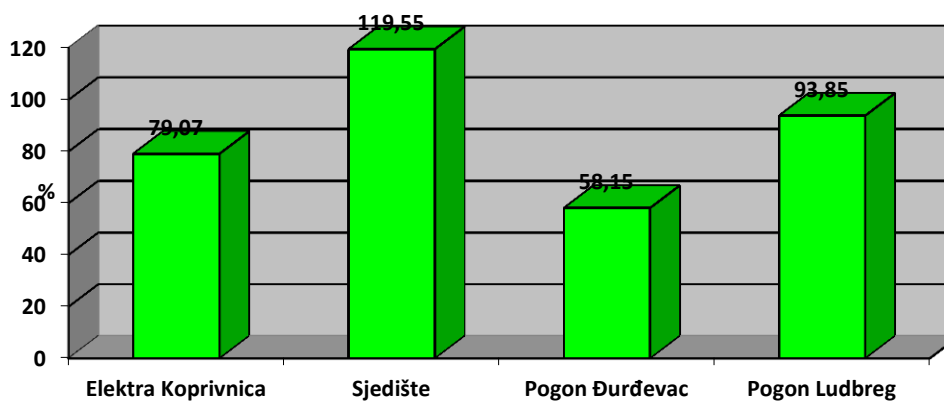
Promatrajući dobivene rezultate AHP metodom uzevši u obzir omjer ulaganja i dobiti, došlo se do značajnije promjene što se tiče redoslijeda isplativosti prelaska na 20 kV naponsku razinu Elektre Koprivnica. Iz dijagrama 4.4. vidljivo je da se zona 2 zbog malih ulaganja te s omjerom troškova i koristi pomaknula na 2. mjesto što je zajedno sa zonom 1 svrstava u prioritne prelaske na 20 kV naponsku razinu.



Dij.4.5.SAIFI - dijagram zastoja po potrošaču



Dij.4.6.SAIDI - dijagram minuta zastoja po potrošaču



Dij.4.7.CAIDI - dijagram minuta po zastoju

4.1. POSTUPAK PRELASKA POGONA LUDBREG NA 20 kV NAPONSKU RAZINU

Kako bi bilo moguće provesti uvođenje 20 kV nazivnog napona u mrežu nužno je da se prethodno ispune tehnički uvjeti prelaska na viši naponski nivo, a to znači kako je bitno da su svi dijelovi energetske mreže i sva oprema u njoj građeni za rad pri 20 kV nazivnom naponu. Kako je Elektra Koprivnica podijeljena u 4 zone prema proračunskoj analizi najisplativiji je prijelaz zone 1 i 2 kojima pripadaju navedene trafostanice sa izvodima.

U trafostanicama TS35/10kV Rasinja i Ludbreg je potrebno zamijeniti postojeće nepreklopive transformatore preklopivim transformatorima 35/10(20) kV. Isto tako potrebno je zamijeniti oko 17 km nadzemnih 10(20) kV, 10 km podzemnih 10(20) kV vodova te rekonstrukciju ili zamjenu 57 ŽSTS 10(20)/0,4 kV i 5 KTS 10(20)/0,4 kV. Kada bismo pristupili preinaki postojećih ŽSTS i KTS-a važno je napomenuti da ŽSTS-e kao jedne od najjednostavnijih stupnih trafostanica postoji nekoliko podtipova TS-a koje nisu jednake po najvećim vrijednostima instalirane snage što je zavisno o konstrukciji nosivog stupa TS, a najveća nosivost stupa za energetske transformatore je do 250 kVA.

Kod ŽSTS-a je potrebno zamijeniti slijedeće:

- Energetski transformator 20/0,4 kV
- Podupora ravna za izolator (M16)
- Izolator (24 kV)
- Kućište osigurača jednopolno (24 kV)
- Uložak osigurača (24 kV, 6-16A)
- Odvodnik prenapona (20 kV)

Kod KTS-a je potrebno je napraviti malo veće preinake radi same složenosti te zamijeniti slijedeće dijelove:

- Energetski transformator (20/0,4 kV 400-630 kVA)
- Sklopni 20 kV blok koji sadrži nekoliko vodnih i jedno transformatorsko polje s vakumskim prekidačem izoliran plinom SF6, relejnom zaštitom i daljinski upravljiv
- Kabel sa završetcima prilagođenim sklopnom bloku (24 kV)
- Odvodnik prenapona (20 kV)

Na 10 kV izvodima potrebno je provjeriti ili po potrebi zamijeniti:

- Rastavljač (24 kV)
- Potporni izolator (24 kV)
- Zatezni izolator (24 kV)
- Stup odgovarajuće zatezne sile
- Odvodnik prenapona (20 kV)
- Kabel sa završecima (24 kV)

Slijedeće fotografije prikazuju zadovoljavajuću opremu za prelazak na 20 kV napon.



Sl.4.1.Linijski rastavljač



Sl.4.2.Željezna trafostanica sa visokonaponskim osiguračima i transformatorom



Sl.4.3. Daljinski upravljiva KTS-a



Sl.4.4. Podzemni kabel XHE 49-A

Na području zone 1 i 2 postoji veći broj podzemnih kabela zbog kojih bi pri jednopolnom kratkom spoju došlo do pojave visokih iznosa kapacitivnih struja, što će se djelomično riješiti uzemljenjem zvjezdišta transformatora. Kabelsku mrežu potrebno je uzemljiti preko otpornika male vrijednosti koji ograničuje struju zemljospoja na 300 A. Moramo uzeti u obzir činjenicu da ne bude problema kod uzemljivača usred napona dodira u kabelskim 10(20) kV mrežama koje su priključene na TS 10(20)/0,4 kV. Isto tako pošto je 10(20) kV mreža neuzemljena također se pojavljuju i struje pri dvopolnom i tropolnom kratkom spoju dok jednopolni kratki spoj predstavlja zemljospoj. Zbog mješovite mreže (nadzemne i podzemne) tj. uzemljenog zvjezdišta TS 10(20)/0,4 kV priključenog na nadzemne vodove struju jednopolnog kratkog spoja ograničavamo na visoki iznos, dok vrijednost kapacitivne struje ograničavamo izborom minimalne struje otpornika za uzemljenje pa ćemo iz navedenih razloga koristiti otpornik koji ograničava struju zemljospoja na 150 A. Tablica 4.2. prikazuje duljinu 10 kV vodova nadzemne i podzemne mreže te duljinu vodova spremnih za prelazak na 20 kV preuzetih iz DeGIS-a.

TS/zona	VP	Duljina 10 kV podzemne mreže (m)	Duljina 10 kV nadzemne mreže (m)	Duljina 10(20) kV podzemne mreže (m)	Duljina 10(20) kV nadzemne mreže (m)	Ukupna duljina 10-20 kV mreže (m)
TS 35/10 kV LUDBREG Zona 1	Belupo	1776	0	2300	0	4076
	Bednja	107	0	464	929	1500
	Črn-Bel	0	0	4996	0	4996
	F.Galovića	0	0	512	0	512
	Istok	0	0	1328	0	1328
	Slanje	0	1500	3401	9384	14285
	Vinogradska	844	0	1648	0	2492
TS 35/10 kV SELNIK Zona 1	Grafičar	905	0	4003	0	4908
	Hrženica	171	0	4222	4692	9085
	Martijanec	750	1400	5016	9164	16330
	Požgaj	0	0	18070	0	18070
	Selnik	89	3500	1896	582	6067
	Struga	184	0	1707	7922	9813
	Šljunčare Hrastovljan	165	0	12333	2394	14892
	V.Lisinskog 1	1225	0	2414	0	3639
TS 35/10 kV LUDBREG Zona 2	Rasinja	0	2900	1853	1835	6588
	Sigetec	1467	0	3593	16660	21720
TS 35/10 kV RASINJA Zona 2	Ludbreg	2438	7900	764	17277	28379
	Lukovec	0	0	4375	881	5256

Tab.4.2.Pripremljenost 10(20) kV vodova za prelazak na 20 kV naponsku razinu po zonama

TS	VP	50		100		160		250		400		630		1000	
		uk	prek	uk	prek	uk	prek	uk	prek	uk	prek	uk	prek	uk	prek
TS 35/10 kV LUDBREG Zona 1	Belupo									2	0	1	1		
	Bednja							1	1						
	Črn-Bel			5	4	1	1								
	F.Galovića					1	0								
	Istok							1	0	1	0	1	1		
	Slanje	2	1	7	0	1	0	1	1						
	Vinogradska					1	1	3	1	1	1	2	2		
TS 35/10 kV SELNIK Zona 1	Grafičar											1	1	1	1
	Hrženica			5	0	2	2	1	1					1	0
	Martijanec	1	0	6	3	6	3								
	Požgaj			1	0	2	2			1	1	2	2	1	0
	Selnik	1	0	4	1										
	Struga			4	2	2	2	1	1						
	Šljunčare Hrastovljan			3	0	1	1								
V.Lisinskog 1			1	1	1	1	2	2							
TS 35/10 kV LUDBREG Zona 2	Rasinja			5	1	1	1								
	Sigetec			9	3	4	3	2	2						
TS 35/10 kV RASINJA Zona 2	Ludbreg	7	5	8	1	1	1								
	Lukovec	1	1	1	0										

Tab.4.3. Pripremljenost 10(20)/0,4 kV transformatora za prelazak na 20 kV naponsku razinu po zonama

TS	Zona 1 (kom)	Zona 2 (kom)
TS 35/20 kV	0	0
TS 35/10(20) kV	1	1
TS 35/10 kV	1	1
TS 20/0,4 kV	0	0
TS 10(20)/0,4 kV	42	18
TS 10/0,4 kV	41	21
VOD	Zona 1 (km)	Zona 2 (km)
KV 20 kV	0	0
KV 20(10) kV	0	0
KV 10 kV	6,2	3,9
KV 10(20) kV	64,3	10,6
NV 20 kV	0	0
NV 20(10) kV	0	0
NV 10 kV	6,4	10,8
NV 10(20) kV	35,1	36,7

Tab.4.4. Pokazatelji pripremljenosti mreže za prelazak na 20 kV naponsku razinu

Dozvoljene granice kapacitivne struje zemljospoja u mreži sa izoliranim zvjezdištem propisane su tehničkom regulativom, a njihove vrijednosti se nalaze u tablici 4.5.

Naponska razina mreže	I_C	I_R	
		1000 A	Kabelske
10 kV	20 A	300 A	Zračne
		300 A	Kabelske
20 kV	15 A	150 A	Zračne
		300 A	Kabelske
35 kV	10 A	150 A	Zračne

Tab.4.5. Vrijednosti kapacitivnih struja zamljospoja u mreži sa izoliranim zvjezdištem i nazivne struje otpornika

U praksi se često koristi temeljni kriterij za izračun koji osigurava radni karakter struje jednopolnog kvara:

$$I_R > 3 \cdot I_C \quad (4-1)$$

gdje vrijednost I_R označava nazivnu struju otpornika dok vrijednost I_C označava kapacitivnu struju zemljispoja. Kod visokoomskog uzemljenja zvjezdišta struju jednopolnog kvara računamo preko izraza:

$$I_{1P} = \sqrt{I_{1R}^2 + I_C^2} \quad (4-2)$$

gdje su I_{1R} radna komponenta struje jednopolnog kratkog spoja dok je I_C vrijednost kapacitivne struje zemljispoja.

Tablica 4.6. prikazuje vrijednosti struja jednopolnog kratkog spoja prema kojim se određuju maksimalni dozvoljeni otpori uzemljivača TS 10(20)/0,4 kV.

	Zaštita NN mreže	
	TT	TN
$I_C=20 A$ $T=1s$	6,50 Ω	3,25 Ω
$I_R=150 A$ $t=0,5s$	1,05 Ω	0,53 Ω
$I_R=150 A$ $T=1s$	0,86 Ω	0,43 Ω
$I_R=300 A$ $t=0,5s$	0,54 Ω	0,27 Ω
$I_R=300 A$ $T=1s$	0,44 Ω	0,22 Ω

Tab.4.6. Granični otpori združenog uzemljenja R_{zdr}

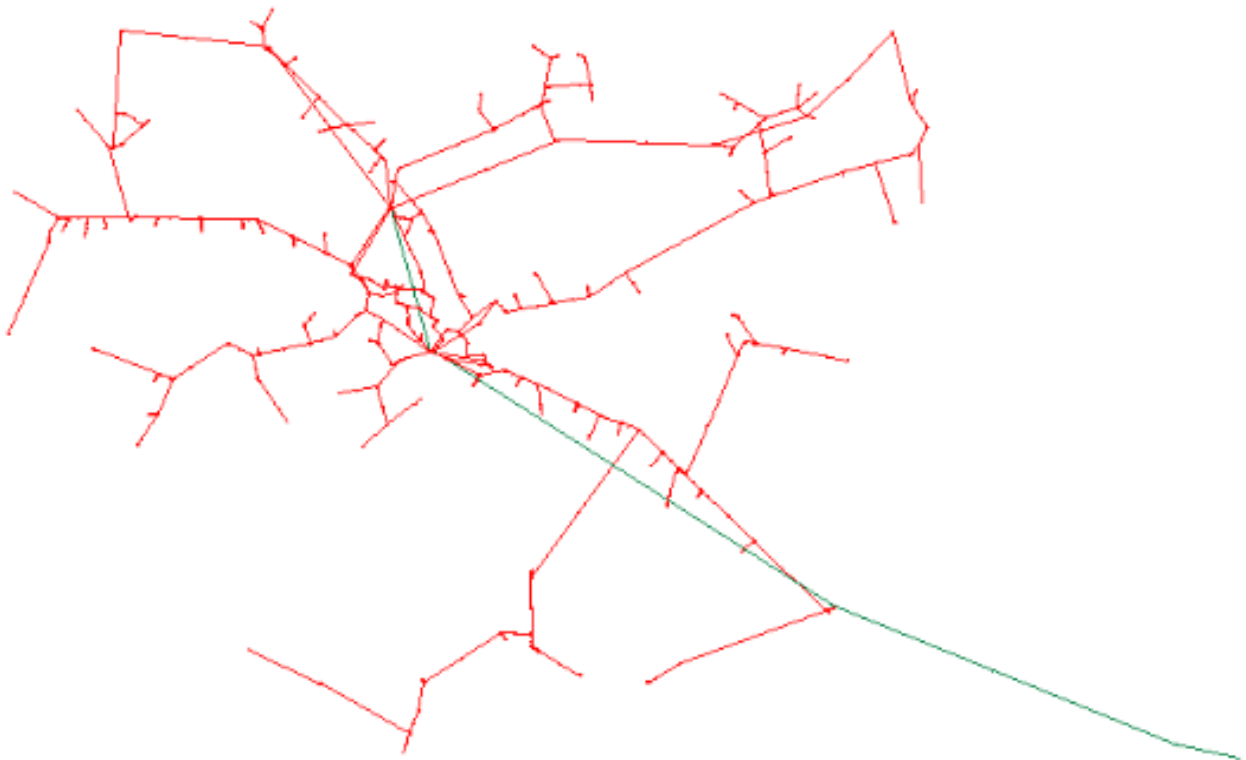
	10 kV	20 kV
$I_R=300 A$	5,25 Ω	4,64 Ω
$I_R=150 A$	10,5 Ω	9,28 Ω
$I_C=20 A$	60 Ω	60 Ω

Tab.4.7. Granični otpori zaštitnog uzemljenja $R_{zaš}$

4.2. PRORAČUN SADAŠNJEG I BUDUĆEG STANJA MREŽE U NEPLAN PROGRAMU

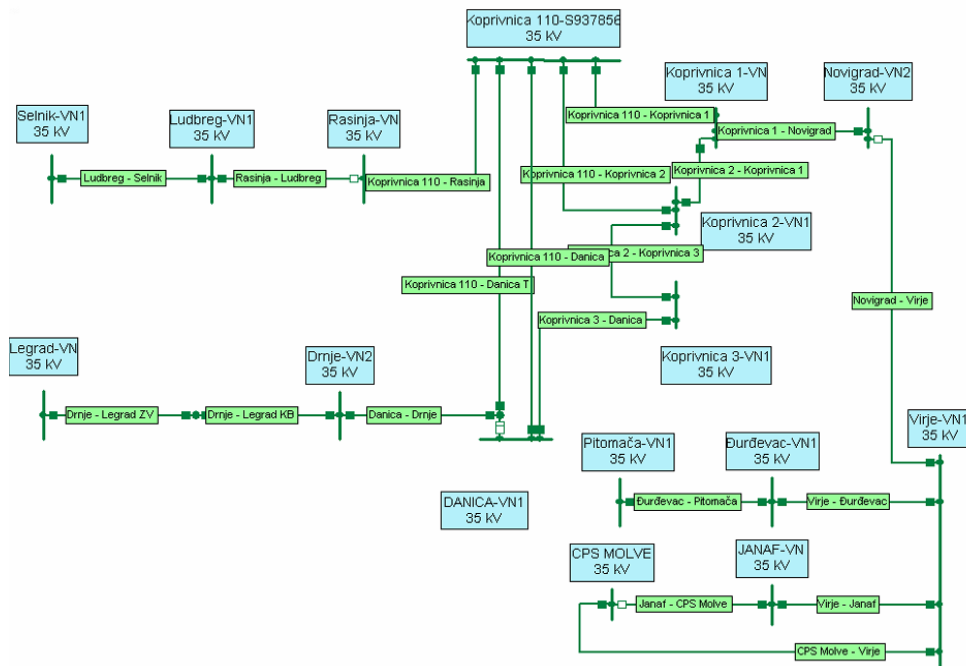
Neplan je programski paket namijenjen proračunu električnih mreža. Elektra Koprivnica posjeduje geoinformacijski sustav (GIS) koji sadrži stvarna stanja u mreži tj. sadrži sve podatke potrebne za kreiranje mreže. Tehnički podaci o elementima u mreži, njihova uklopna/isklopna stanja, geografski izgled mreže i topologiju. Kako programski paket Neplan ima mogućnost prijenosa podataka iz drugih programskih paketa, prenijeli smo trenutno stanje mreže iz DeGIS-a u Neplan. U modeliranoj mreži su korištene stvarne vrijednosti po vodnim poljima dok je snaga po mreži raspoređena na temelju nazivne snage instaliranog transformatora.

Slika 4.5. prikazuje pojednostavljeni geografski prikaz mreže tzv. zone 1 i 2 Elektre Koprivnica u kojoj je crvenom bojom prikazana 10 kV, a zelenom 35 kV mreža.

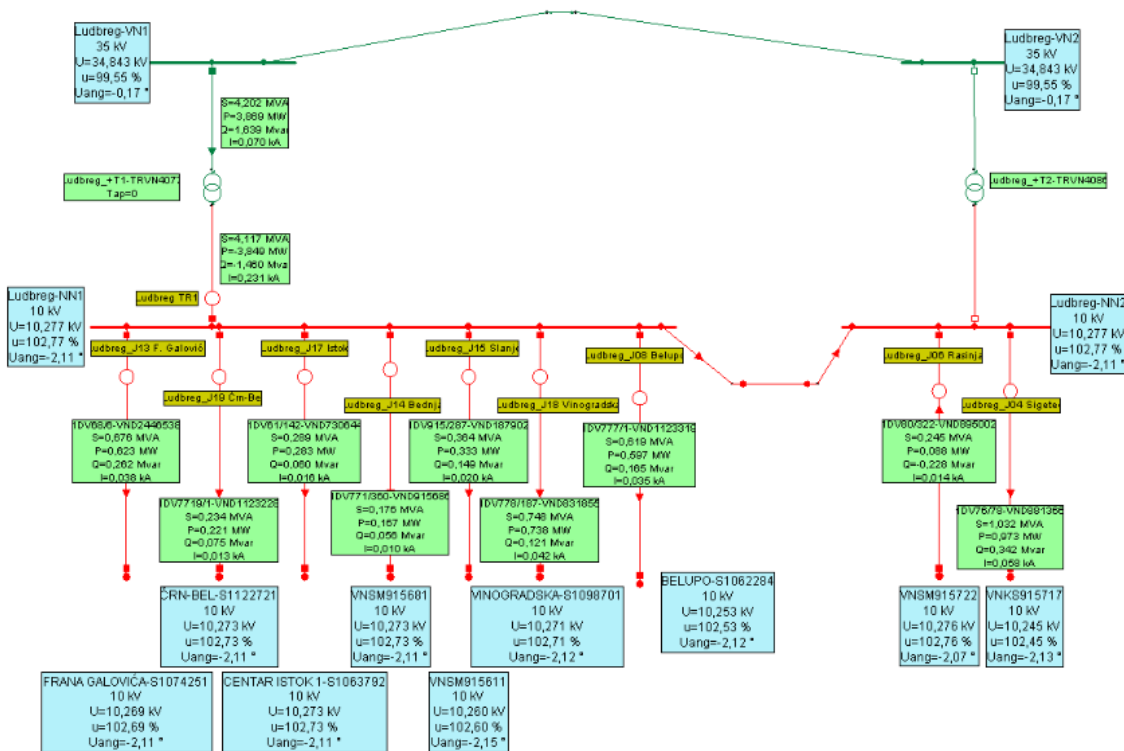


Sl.4.5.Pojednostavljena geometrija mreže zone 1 i 2 Elektre Koprivnica

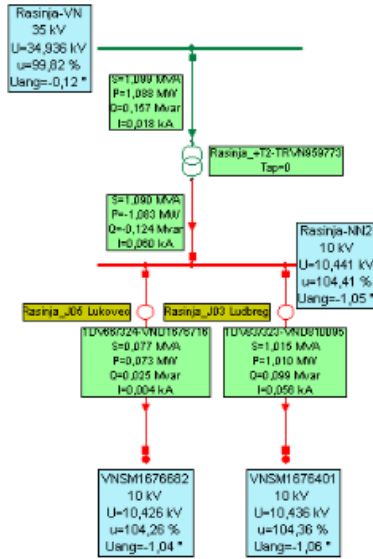
Na slici 4.6. je prikazana 35 kV mreža Elektre Koprivnica sa uklopnim stanjima modelirana u Neplnu iz koje ćemo analizirati zonu 1 i 2 pogona Ludbreg.



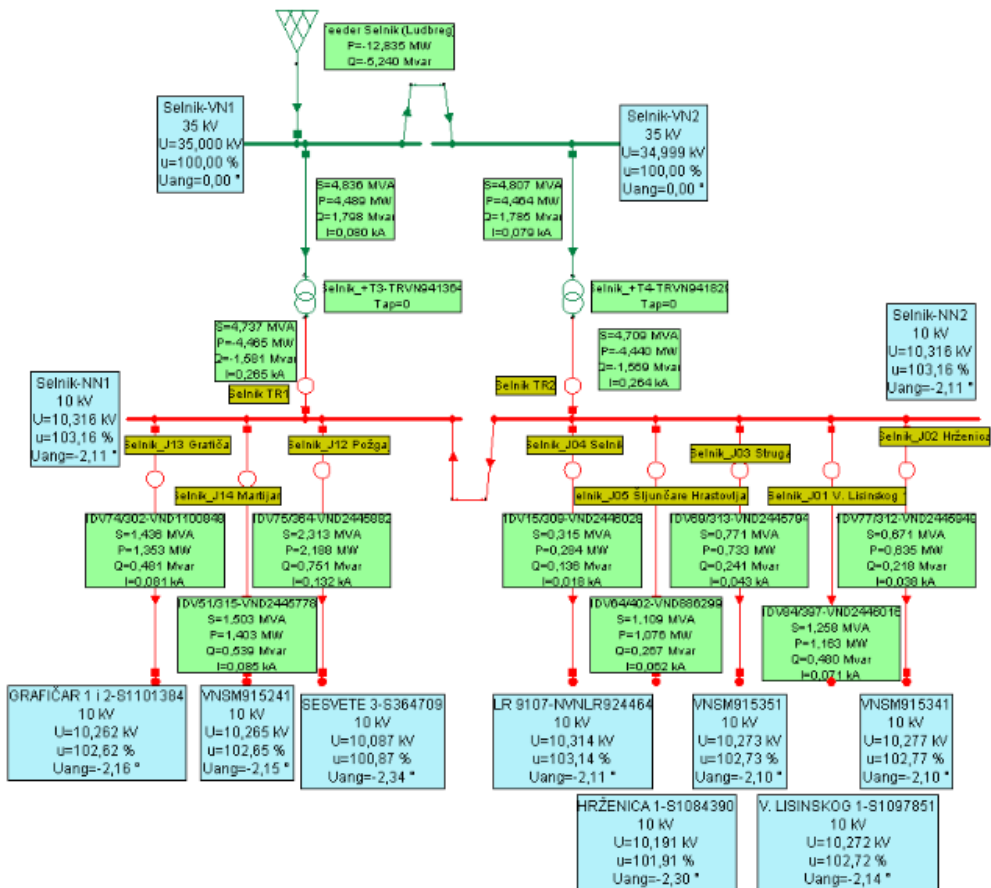
Sl.4.6. Jednopolna shema 35 kV mreže Elektre Koprivnica



Sl.4.7. Tokovi snaga u TS 35/10 kV Ludbreg



Sl.4.8. Tokovi snaga u TS 35/10 kV Rasinja



Sl.4.9. Tokovi snaga u TS 35/10 kV Selnik

Nakon unosa potrebnih parametara u Neplan programski paket dobiveni su rezultati koji su prikazani u narednim tablicama. Iz tablice 4.8. vidimo da dio mreže (izvodi Ludbreg i Lukovec) koji se napaja iz TS 35/10 kV Rasinja koju opskrbljuje TS 110/35 kV Koprivnica ima male jalove gubitke kapacitivnog karaktera zbog malog opterećenja.

TS 110/35kV	P_g (MW)	Q_g (MVar)	P generatora (MW)	Q generatora (MVar)	P potrošača (MW)	Q potrošača (MVar)
KOPRIVNICA	0,022	-0,676	0,771	-0,43	0,749	0,246
SELNIK	0,417	0,935	13,189	5,133	12,772	4,198
Ukupno	0,439	0,26	13,96	4,704	13,521	4,444

Tab.4.8.Snaga mreže i potrošača te gubici 110/35 kV mreže

Naponska razina	P_g vodova (MW)	Q_g vodova (MVar)	P_g transformatora (MW)	Q_g transformatora (MVar)
10 kV	0,301	0,161	0,048	0,14
35 kV	0,016	-0,702	0,074	0,66

Tab.4.9.Ukupni gubici vodova i transformatora 10kV i 35 kV mreže

35 kV vod	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	I (kA)	P_g voda (MW)	Q_g voda (MVar)	Opterećenje voda (%)
Koprivnica-Rasinja	0,826	0,771	0,296	0,014	0,001	0,001	3,32
Ludbreg-Selnik	4,569	4,252	1,673	0,076	0,015	0,022	18,47

Tab.4.10.Gubici na 35 kV vodovima-početno stanje

Transformator 35/10 kV	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	Instalirana snaga S (MVA)	Opterećenje transformatora (%)	P_{gtr} (MW)	Q_{gtr} (MVar)
LUDBREG	4,252	1,673	4,569	2x8	57,39	0,022	0,208
SELNIK (Tr. 1)	4,474	1,727	4,795	8	59,94	0,024	0,214
SELNIK (Tr. 2)	4,448	1,712	4,766	8	59,58	0,024	0,213
RASINJA	0,770	0,295	0,824	2x4	20,64	0,005	0,026

Tab.4.11.Opterećenje 35/10 kV transformatora na području zone 1 i 2 Elektre Koprivnica

10 kV sabirnica	Vodno polje	P_g (MW)	Q_g (MVar)	P potrošača (MW)	Q potrošača (MVar)	P dobava (MW)	Q dobava (MVar)
SELNIK NN1	J12 Požgaj	0,196	0,119	2,782	0,914	2,977	1,033

Tab.4.12.Najveći gubici na 10 kV vodnom polju J12 Požgaj

10kV i 0,4kV sabirnica	U (kV)	u (%)	P potrošača (MW)	Q potrošača (MVar)
MALI BUKOVEC 1	0,379	94,67	0,171	0,056
SELNIK 3	0,429	107,4	0,03	0,01
Šljunčara Jole	9,521	95,21	0,182	0,06
Rasinja-NN2	10,43	104,3	0	0

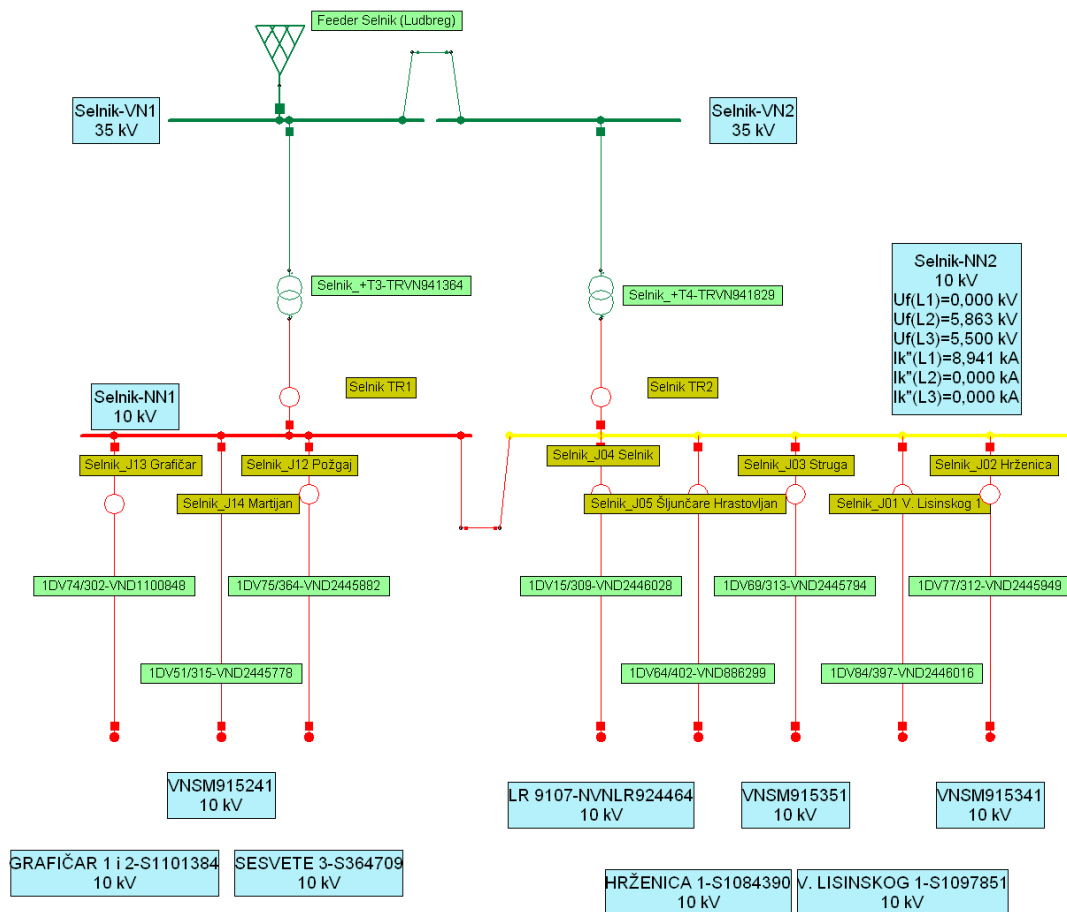
Tab.4.13.Najviši i najniži napon na 10kV i 0,4 kV sabirnicama

10 kV vod	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	I (kA)	Opterećenje (%)	P_g voda (MW)	Q_g voda (MVar)
Selnik NN1-Sesvete 3	2,895	0,987	3,058	0,176	51,10	0,083	0,046

Tab.4.14.Najveće opterećenje 10 kV voda

Transformator 10/0,4 kV	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	I (kA)	Opterećenje (%)	P_g transformatora (MW)	Q_g transformatora (MVar)
V.Bukovec 3	0,034	0,014	0,037	0,002	36,59	0	0,003

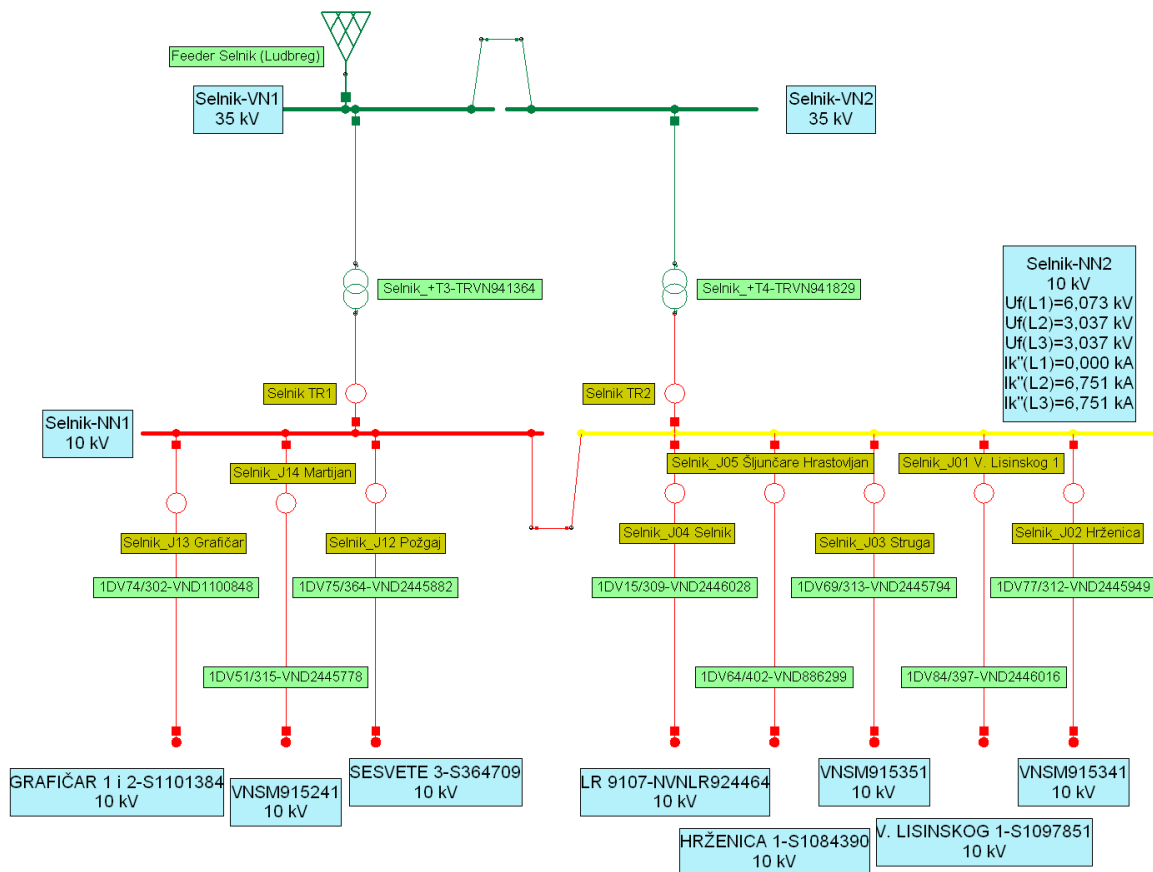
Tab.4.15.Najveće opterećenje transformatora 10/0,4 kV



Sl.4.10. Jednopolni kratki spoj sa zemljom na 10 kV sabirnici u TS 35/10 kV Selnik

MJESTO KVARA sabirnica 10 kV	U_f (kV)	U_l (kV)	I''_{k1} (kA)
SELNİK NN2, L1	0	6,148	8,941
SELNİK NN2, L2	5,863	10,462	0
SELNİK NN2, L3	5,500	5,462	0

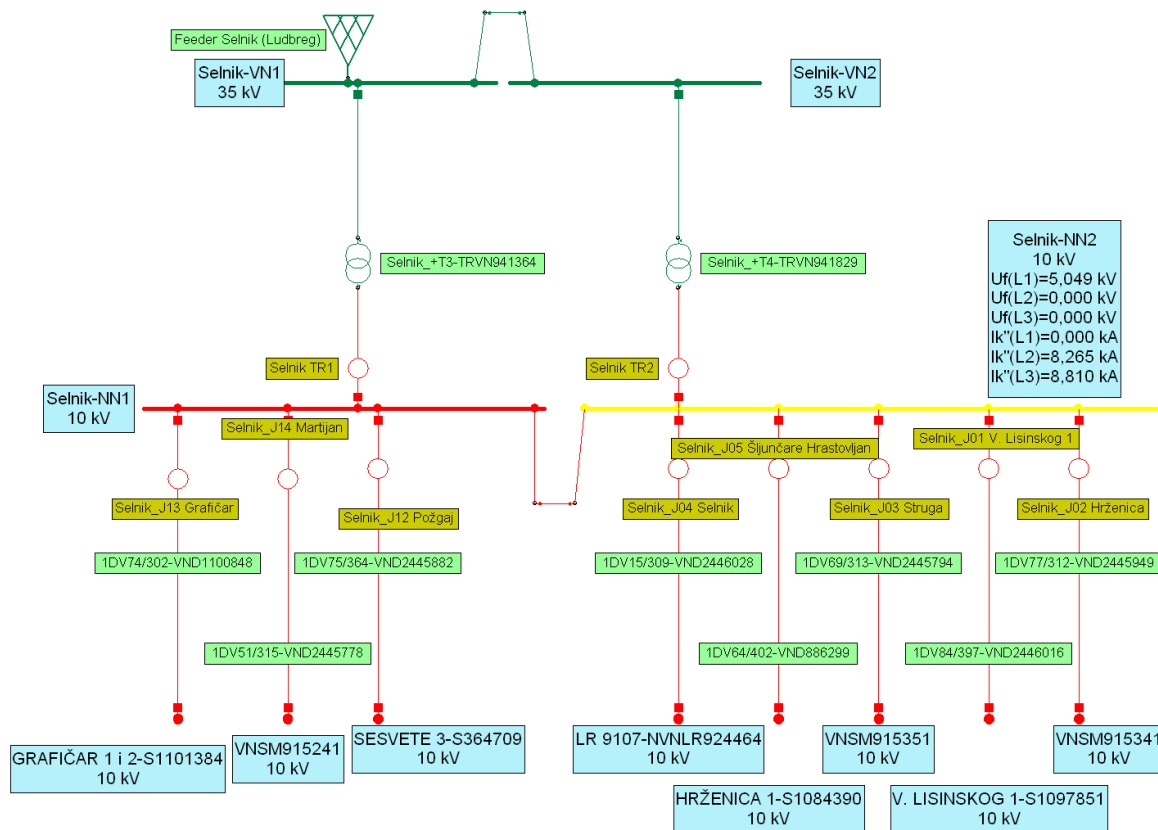
Tab.4.16. Vrijednosti napona i struja kod jednopolnog kratkog spoja sa zemljom na 10 kV sabirnici Selnik NN2



Sl.4.11. Dvopolni kratki spoj na 10 kV sabirnici u TS 35/10 kV Selnik

MJESTO KVARA sabirnica 10 kV	U_f (kV)	U_l (kV)	I''_{k2} (kA)
SELNİK NN2, L1	6,073	9,06	0
SELNİK NN2, L2	3,037	0	6,751
SELNİK NN2, L3	3,037	9,06	6,751

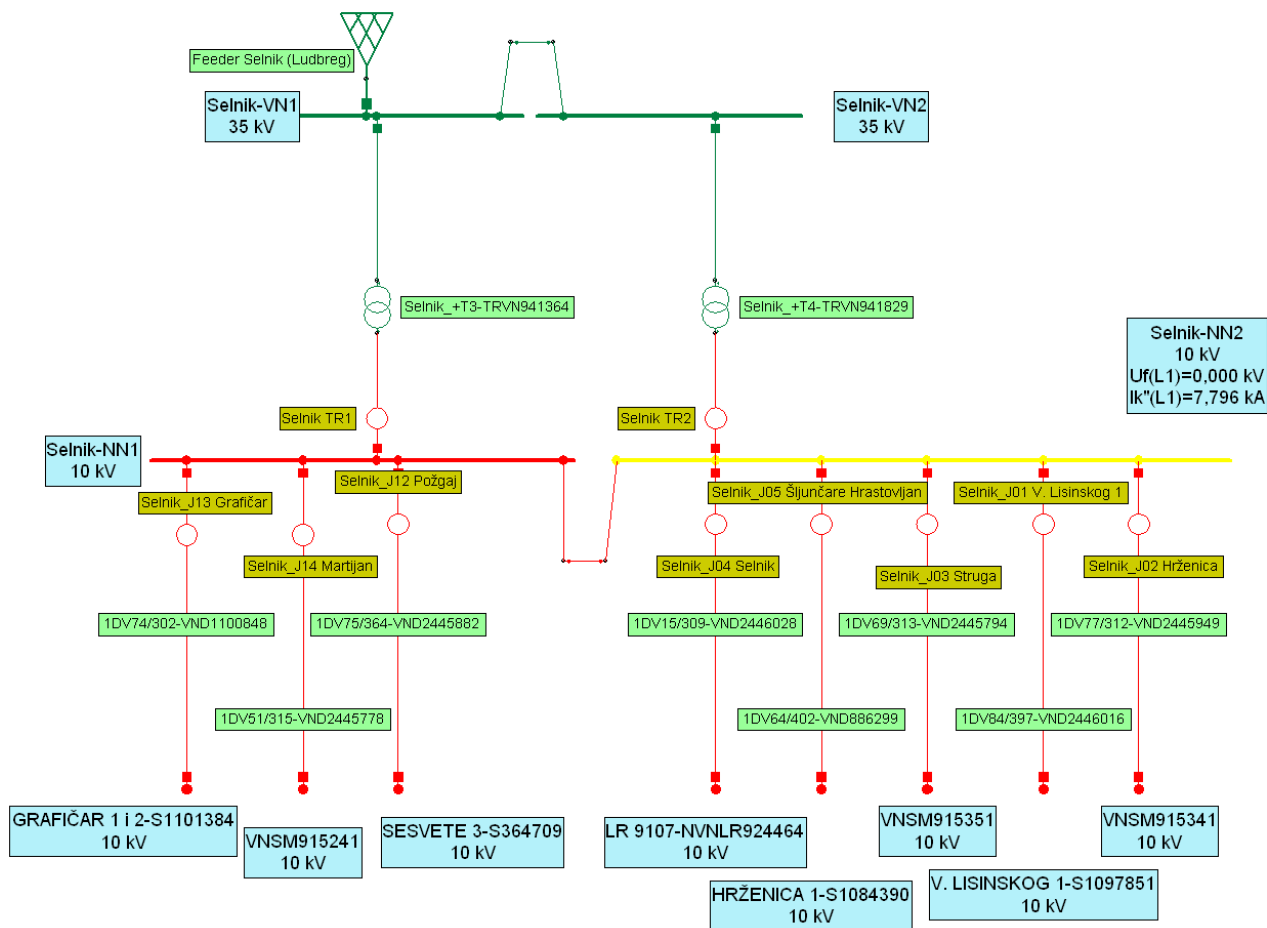
Tab.4.17. Vrijednosti napona i struja kod dvopolnog kratkog spoja na 10 kV sabirnici Selnik NN2



Sl.4.12. Dvopolni kratki spoj sa zemljom na 10 kV sabirnici u TS 35/10 kV Selnik

MJESTO KVARA sabirnica 10 kV	U_f (kV)	U_l (kV)	I''_{k2E} (kA)
SELNIK NN2, L1	5,049	5,535	0
SELNIK NN2, L2	0	0	8,265
SELNIK NN2, L3	0	5,535	8,810

Tab.4.18. Vrijednosti napona i struja kod dvopolnog kratkog spoja sa zemljom na 10 kV sabirnici Selnik NN2

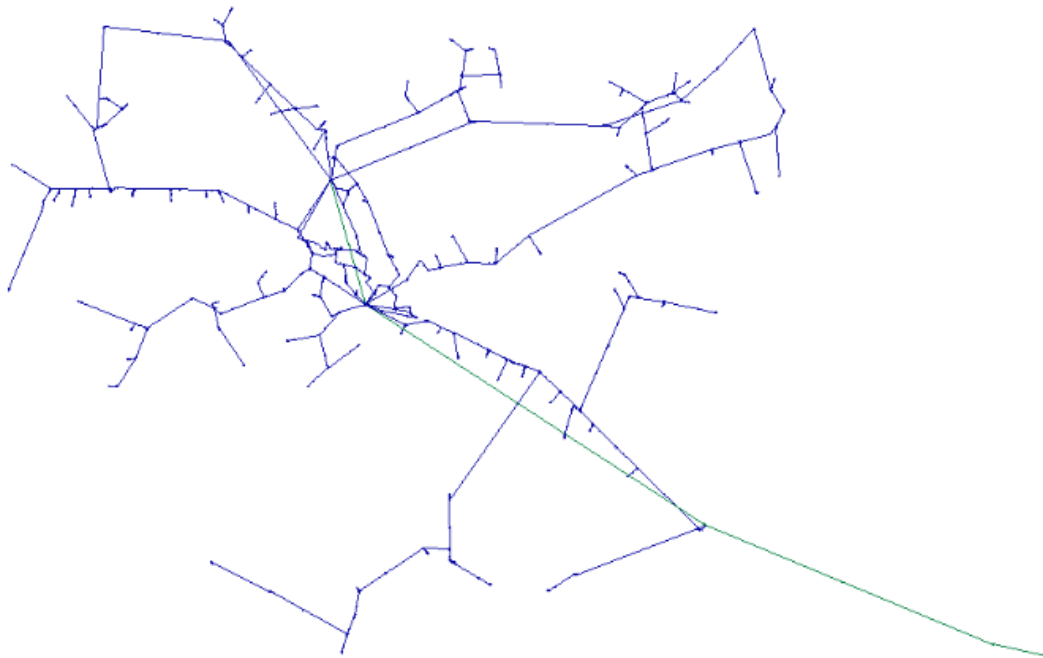


Sl.4.13.Tropolni kratki spoj na 10 kV sabirnici u TS 35/10 kV Selnik

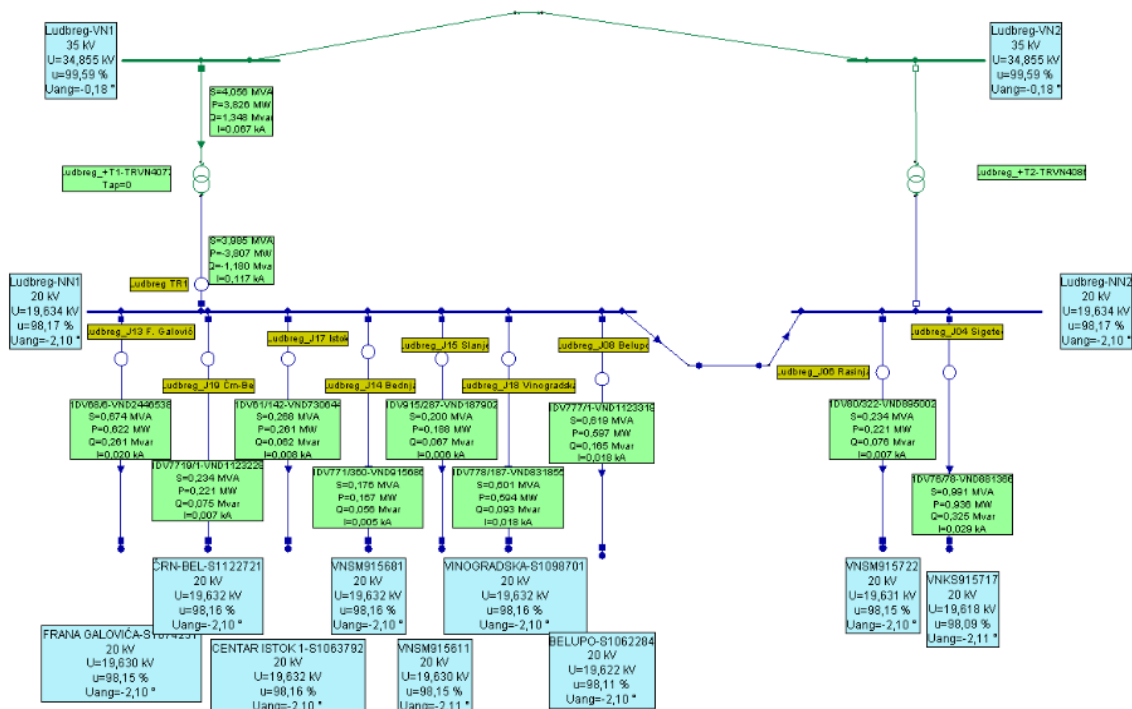
MJESTO KVARA sabirnica 10 kV	U_f (kV)	U_l (kV)	I''_{k3} (kA)	S''_{k3} (MVA)
SELNIK NN2	0	0	7,796	129,883

Tab.4.19.Vrijednosti napona i struja kod tropolnog kratkog spoja na 10 kV sabirnici Selnik NN2

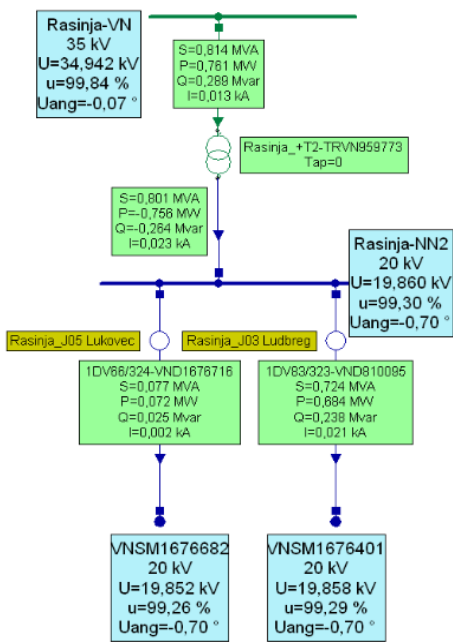
Slika 4.14. prikazuje pojednostavljeni geografski prikaz mreže tzv. zone 1 i 2 Elektre Koprivnica u kojoj je plavom bojom prikazana 20 kV, a zelenom 35 kV mreža.



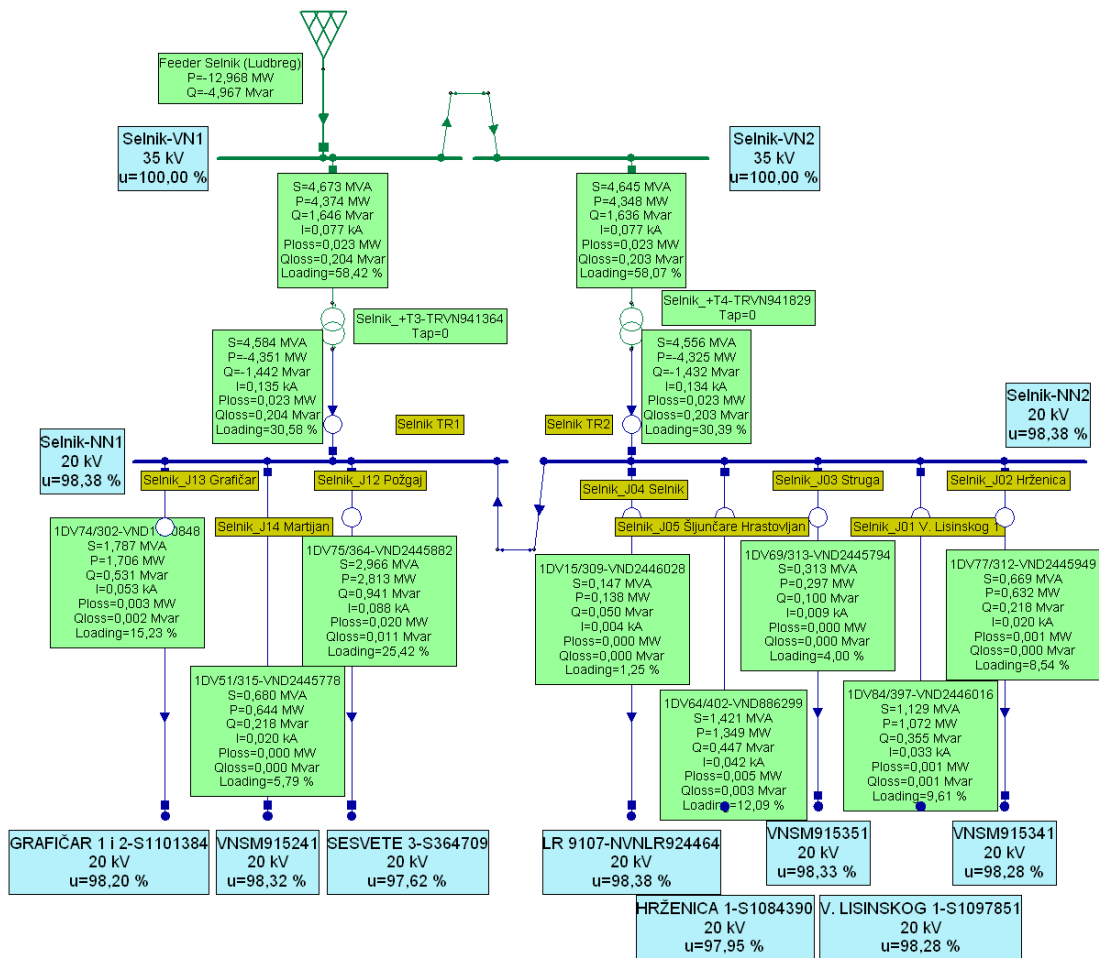
Sl.4.14. Pojednostavljena geometrija mreže zone 1 i 2 Elektre Koprivnica



Sl.4.15. Tokovi snaga u TS 35/20 kV Ludbreg



Sl.4.16. Tokovi snaga u TS 35/20 kV Rasinja



Sl.4.17. Tokovi snaga u TS 35/20 kV Selnik

TS 110/35kV	P_g (MW)	Q_g (MVar)	P generatora (MW)	Q generatora (MVar)	P potrošača (MW)	Q potrošača (MVar)
KOPRIVNICA	0,013	-0,681	0,762	-0,435	0,749	0,246
SELNIK	0,196	0,769	12,968	4,967	12,772	4,198
UKUPNO	0,21	0,087	13,73	4,531	13,521	4,444

Tab.4.20.Snaga mreže i potrošača te gubici u njoj prelaskom na 20 kV

Naponska razina	P_g vodova (MW)	Q_g vodova (MVar)	P_{gtr} (MW)	Q_{gtr} (MVar)
20 kV	0,077	0,005	0,045	0,146
35 kV	0,016	-0,702	0,072	0,639

Tab.4.21.Ukupni gubici vodova i transformatora na 20 kV i 35 kV mreži

35 kV vod	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	I (kA)	P_g voda (MW)	Q_g voda (MVar)	Opterećenje voda (%)
Koprivnica- Rasinja	0,815	0,762	0,29	0,013	0,001	0,001	3,28
Ludbreg- Selnik	4,547	4,232	1,663	0,075	0,015	0,022	18,38

Tab.4.22.Gubici na 35 kV vodovima-nakon prelaska na 20 kV

Transformator 35/20 kV	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	Instalirana snaga S (MVA)	Opterećenje transformatora (%)	P_{gtr} (MW)	Q_{gtr} (MVar)
LUDBREG	4,232	1,663	4,547	2x8	57,11	0,022	0,206
SELNIK (Tr.1)	4,374	1,646	4,673	8	58,42	0,023	0,204
SELNIK (Tr.2)	4,348	1,636	4,645	8	58,07	0,023	0,203
RASINJA	0,761	0,289	0,814	2x4	20,38	0,005	0,025

Tab.4.23.Opterećenje 35/20 kV transformatora na području Elektre Koprivnica

20 kV sabirnica	Vodno polje	P_g (MW)	Q_g (MVar)	P potrošača (MW)	Q potrošača (MVar)	P dobava (MW)	Q dobava (MVar)
SELNIK NN1	J12 Požgaj	0,051	0,038	2,782	0,914	2,833	0,953

Tab.4.24.Najveći gubici na 20 kV vodnom polju J12 Požgaj

20 kV i 0,4 kV sabirnica	U (kV)	u (%)	P potrošača (MW)	Q potrošača (MVar)
MALI BUKOVEC 1	0,383	95,82	0,171	0,056
SELNIK 3	0,409	102,27	0,03	0,01
Šljunčara Jole	19,278	96,39	0,182	0,06
Rasinja-NN2	19,86	99,3	0	0

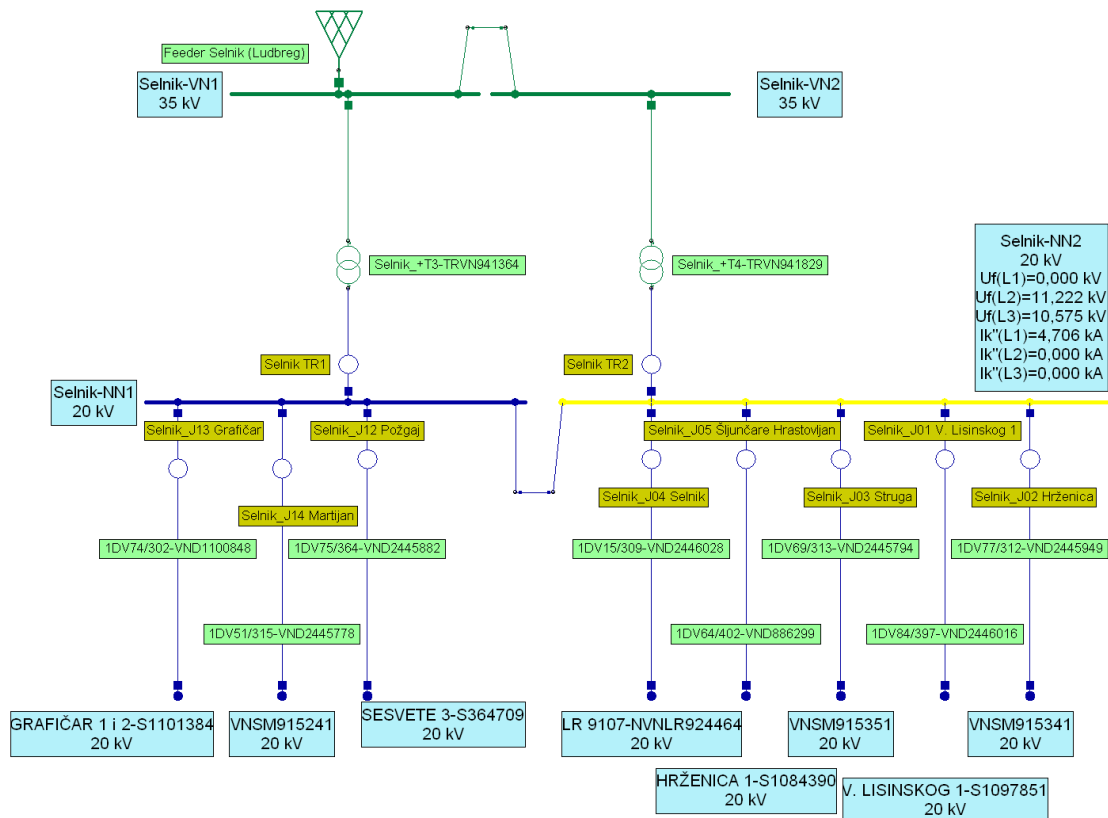
Tab.4.25.Najviši/najniži napon i pad napona na 20 kV i 0,4 kV

20 kV vod	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	I (kA)	Opterećenje (%)	P_g voda (MW)	Q_g voda (MVar)
Selnik NN1-Sesvete 3	2,813	0,941	2,966	0,088	25,42	0,020	0,011

Tab.4.26.Najveće opterećenje 20 kV voda

Transformator 20/0,4 kV	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	I (kA)	Opterećenje (%)	P_{gtr} (MW)	Q_{gtr} (MVar)
V.Bukovec 3	0,033	0,011	0,035	0,050	36,49	0	0,003

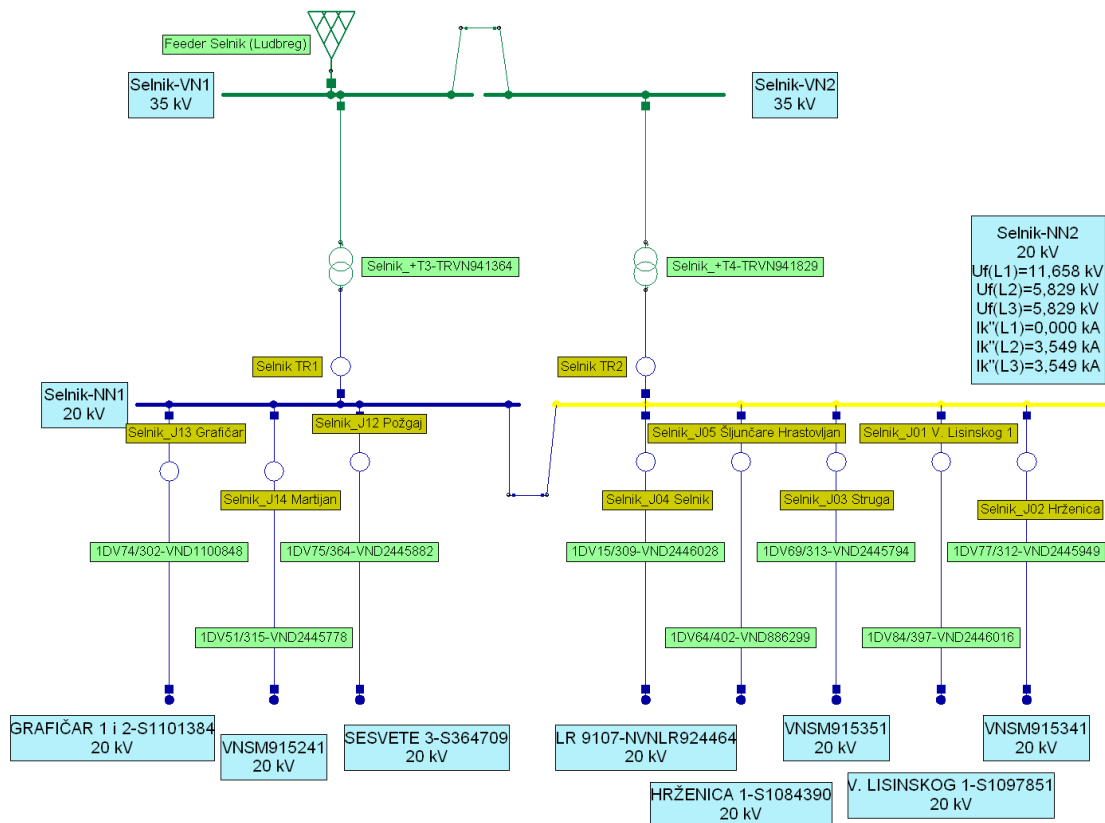
Tab.4.27.Najveće opterećenje transformatora 20/0,4 kV



Sl.4.18. Jednopolni kratki spoj sa zemljom na 20 kV sabirnici u TS 35/20 kV Selnik

MJESTO KVARA sabitnica 20 kV	U_f (kV)	U_l (kV)	I_{k1}'' (kA)
SELNIK NN2, L1	0	11,542	4,706
SELNIK NN2, L2	11,222	20,093	0
SELNIK NN2, L3	10,575	10,614	0

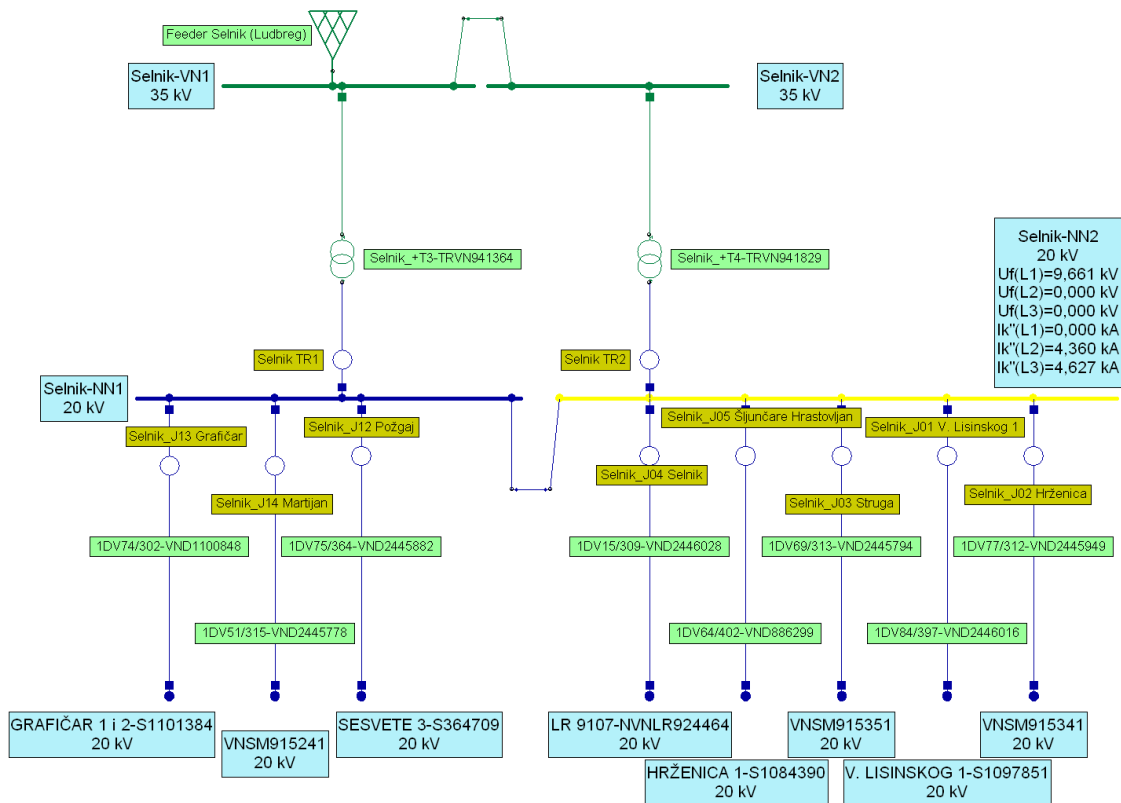
Tab.4.28. Vrijednosti napona i struja kod jednopolnog kratkog spoja sa zemljom na 20 kV sabirnici Selnik NN2



Sl.4.19. Dvopolni kratki spoj na 20 kV sabirnici u TS 35/20 kV Selnik

MJESTO KVARA sabirnica 20 kV	U_f (kV)	U_l (kV)	I''_{k2} (kA)
SELNIK NN2, L1	11,658	17,401	0
SELNIK NN2, L2	5,829	0	3,549
SELNIK NN2, L3	5,829	17,401	3,549

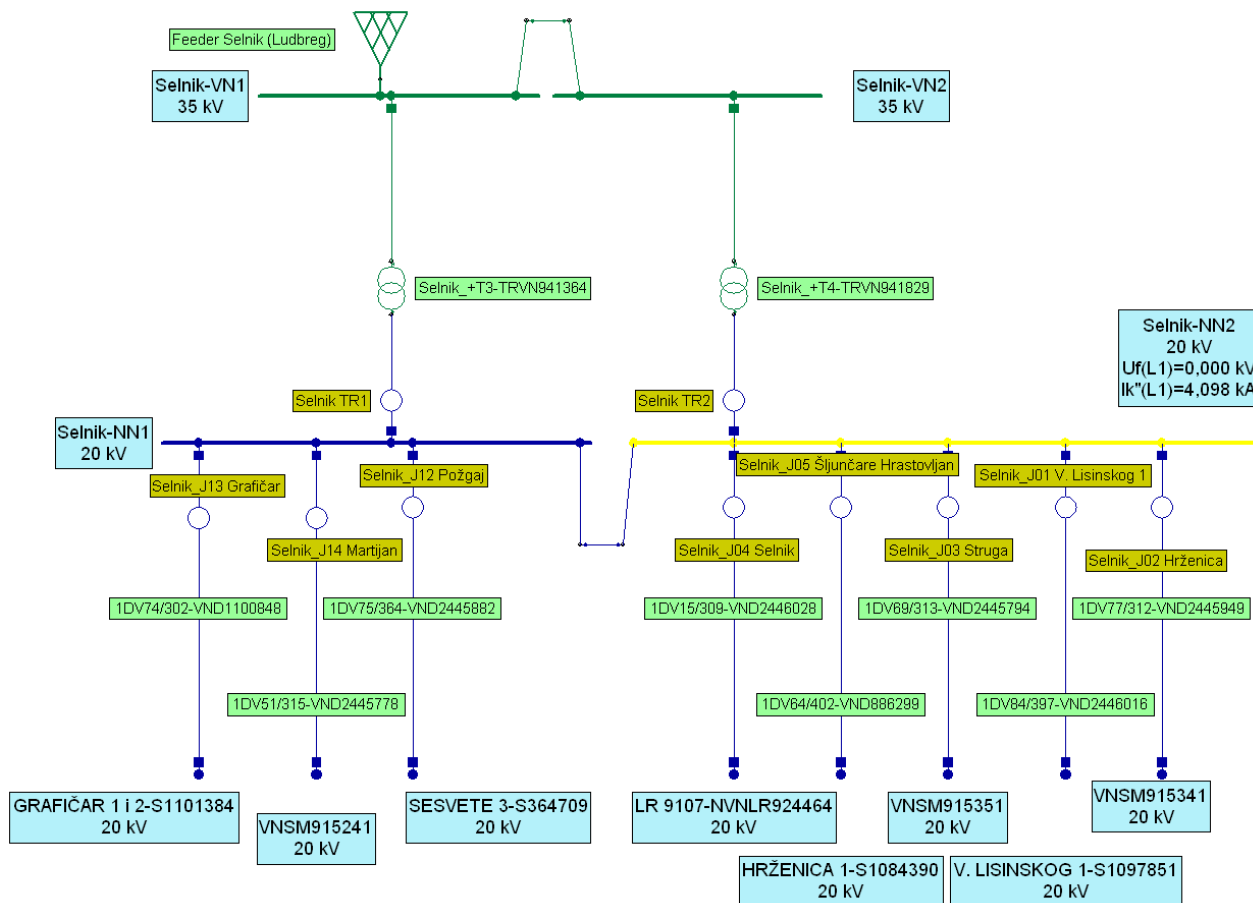
Tab.4.29. Vrijednosti napona i struja kod dvopolnog kratkog spoja na 20 kV sabirnici Selnik NN2



Sl.4.20.Dvopolni kratki spoj sa zemljom na 20 kV sabirnici u TS 35/20 kV Selnik

MJESTO KVARA sabirnica 20 kV	U_f (kV)	U_l (kV)	I''_{k2E} (kA)
SELNIK NN2, L1	9,661	10,39	0
SELNIK NN2, L2	0	0	4,360
SELNIK NN2, L3	0	10,39	4,627

Tab.4.30.Vrijednosti napona i struja kod dvopolnog kratkog spoja sa zemljom na 20 kV sabirnici Selnik NN2



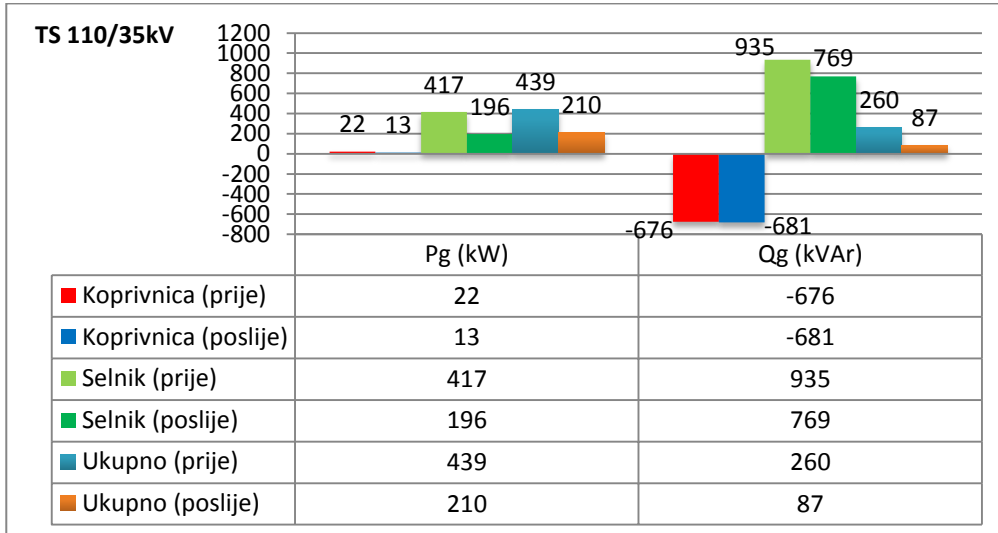
Sl.4.21. Tropolni kratki spoj na 20 kV sabirnici u TS 35/20 kV Selnik

MJESTO KVARA sabitnica 20 kV	U_f (kV)	U_l (kV)	I''_{k3} (kA)	S''_{k3} (MVA)
SELNIK NN2	0	0	4,098	143,197

Tab.4.31. Vrijednosti napona i struja kod tropalnog kratkog spoja na 20 kV sabirnici Selnik NN2

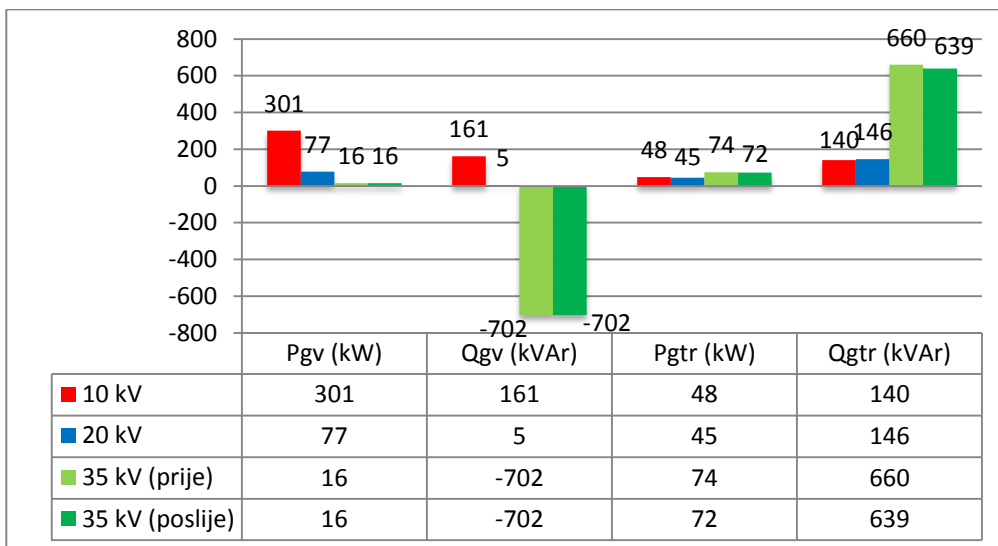
4.3. USPOREDBA REZULTATA PRIJE I POSLIJE PRELASKA NA 20 kV

Ukupni rezultati za usporedbu prije i poslije prelaska na viši naponski nivo prikazani su u slijedećim dijagramima.

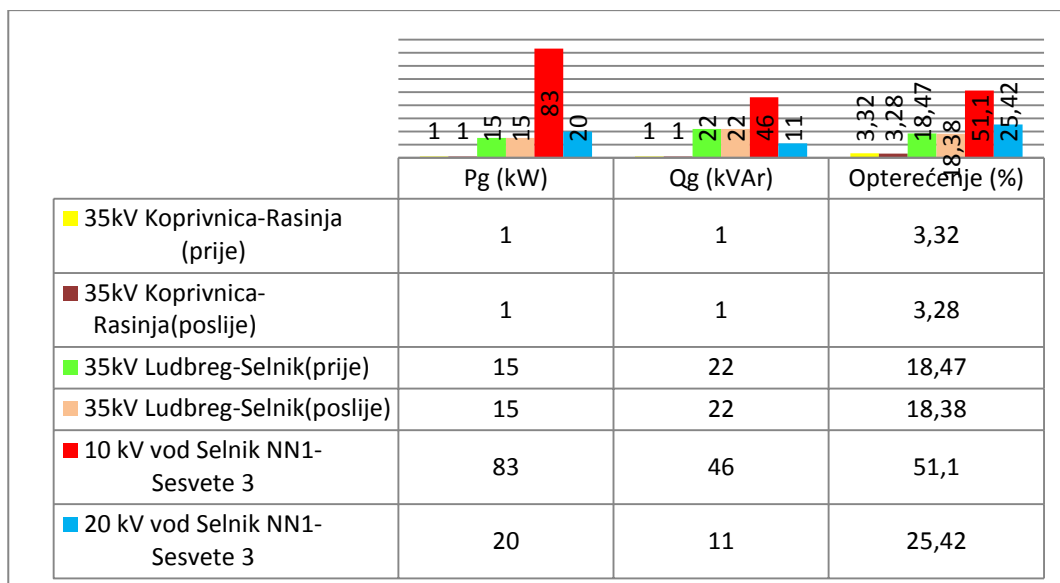


Dij.4.8. Gubici u TS110/35kV Koprivnica, Selnik te njihov ukupan zbroj prije i poslije prelaska na 20kV

Dijagram 4.9. prikazuje ukupne radne i jalove gubitke vodova i transformatora na 10kV, 20kV, 35kV(prije) i 35kV(poslije) mreži iz kojeg se vidi da su gubici pali sa prelaskom na višu naponsku razinu.

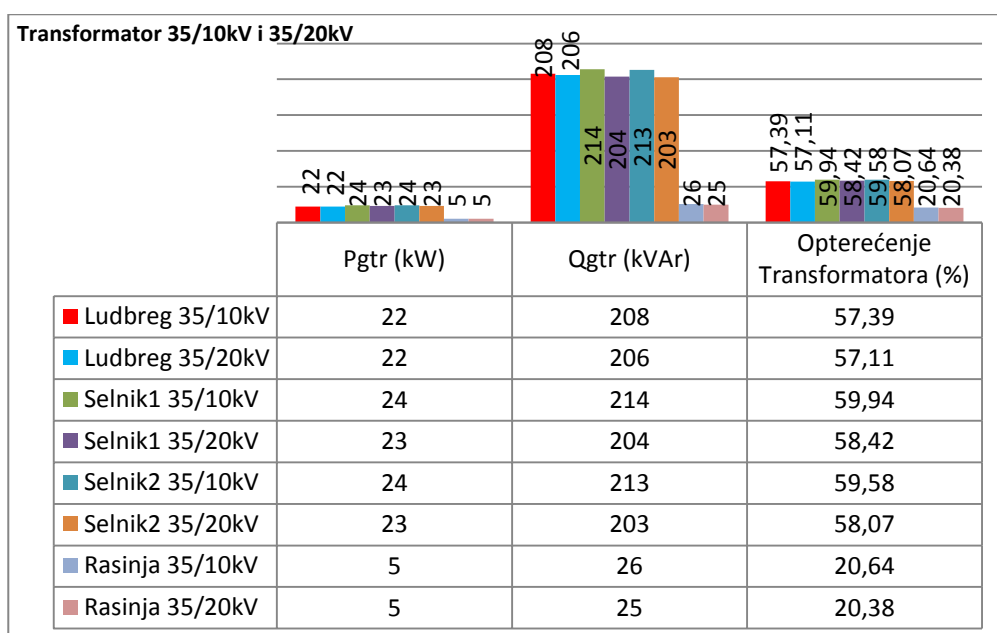


Dij.4.9. Ukupni gubici vodova i transformatora na 10kV, 20kV, 35kV(prije) i 35kV(poslije)



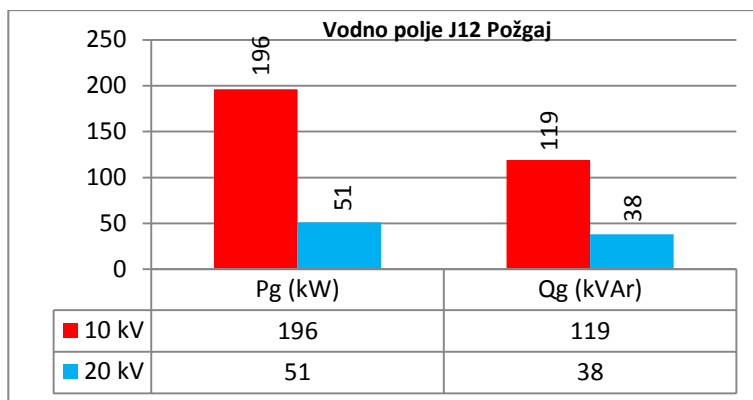
Dij.4.10. Gubici i opterećenja 35kV vodova prije i poslije prelaska na 20kV i najveće opterećenje 10kV odnosno 20kV voda

Iz dijagrama 4.10. vidimo da kod najopterećenije 10 kV dionice samim prelaskom na 20 kV ukupni gubici se 4 puta smanje dok se opterećenje voda smanji za 50%.



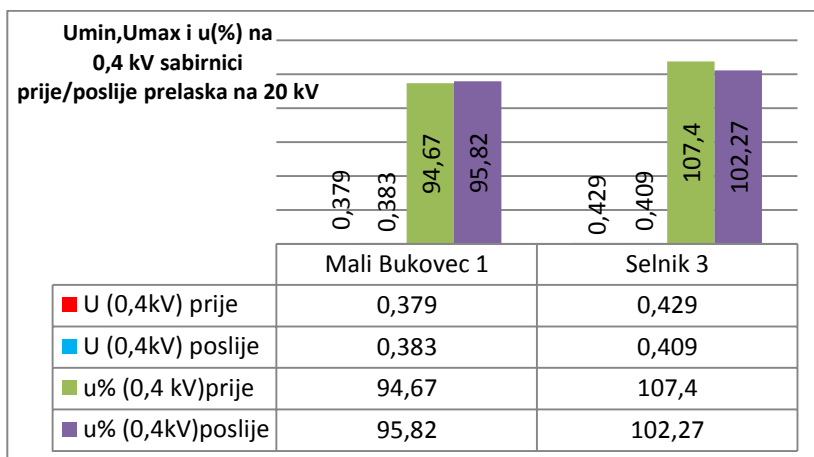
Dij.4.11. Gubici i opterećenja 35/10kV i 35/20kV transformatora

Iz dijagrama 4.11. vidimo zanemarivi pad gubitaka i opterećenja 35/10kV odnosno 35/20kV transformatora.

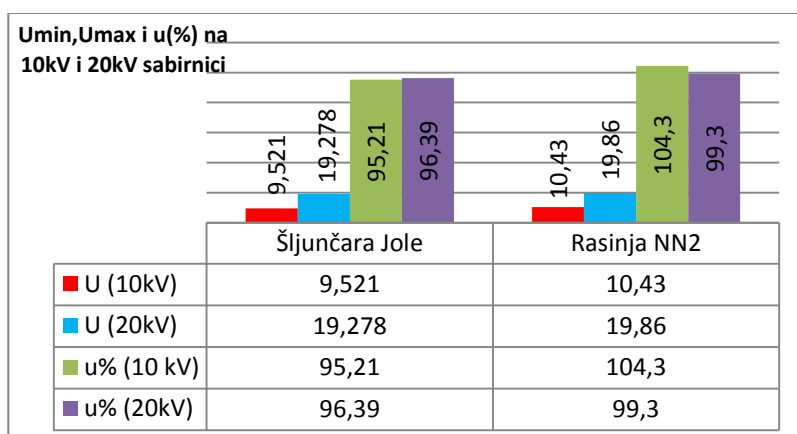


Dij.4.12. Najveći gubici na vodnom polju J12 Požgaj prije i poslije prelaska na 20kV

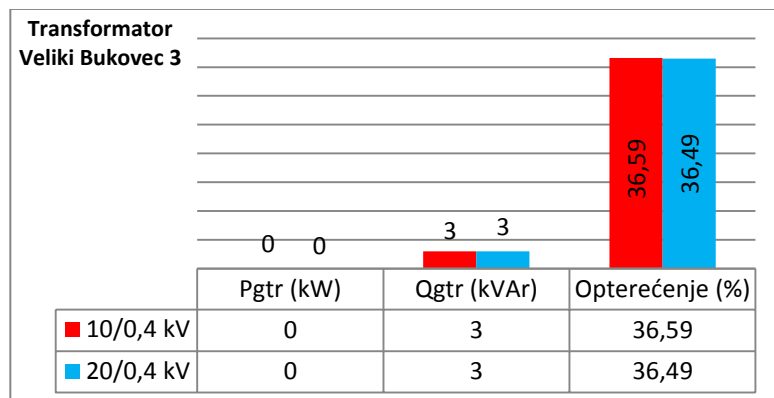
Prelaskom na višu naponsku razinu vidimo da nam se također ukupni gubici smanje do 4 puta što nam prikazuje dijagram 4.12.



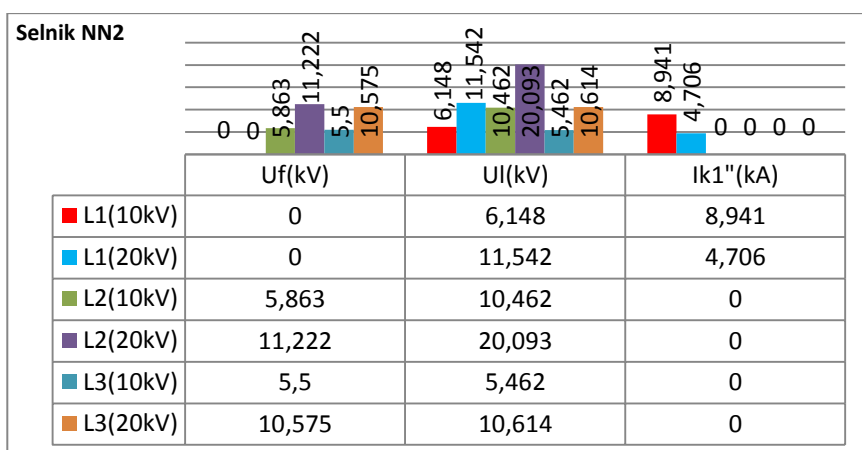
Dij.4.13. Najveći/najmanji napon i pad napona na 0,4 kV sabirnici prije/poslije prelaska na 20 kV



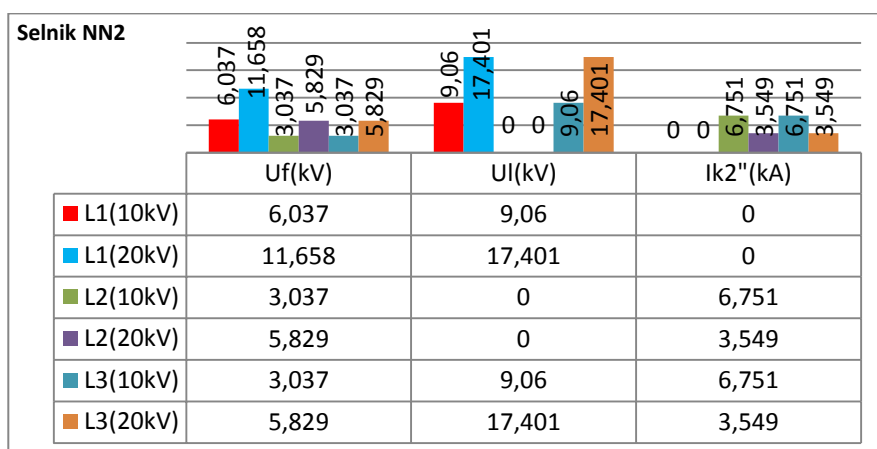
Dij.4.14. Najveći/najmanji napon i pad napona na 10kV i 20 kV sabirnici



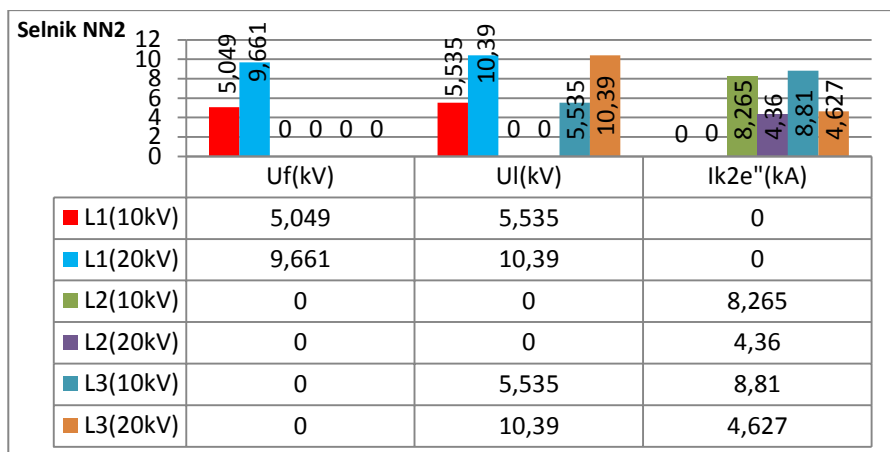
Dij.4.15. Najveće opterećenje transformatora 10/0,4kV i 20/0,4 kV u TS Veliki Bukovec 3



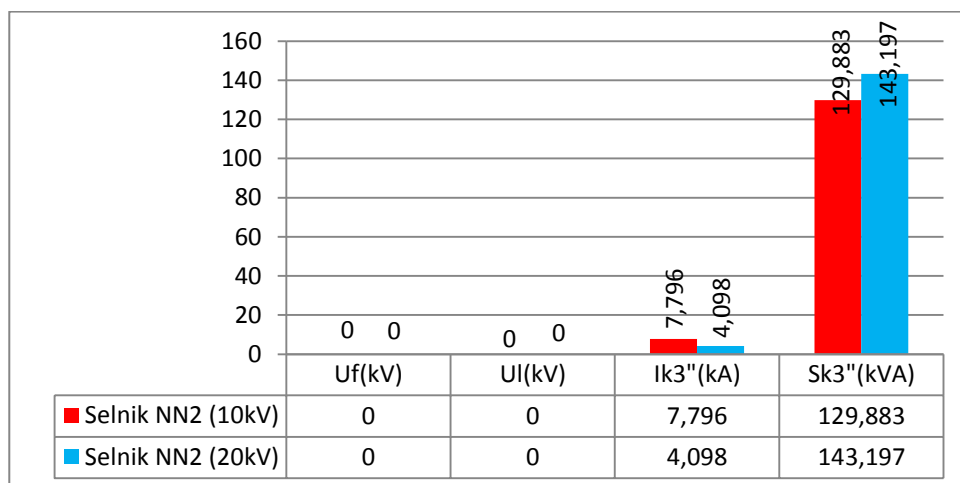
Dij.4.16. Fazni i linijski naponi i struja kratkog spoja na 10kV i 20 kV sabirnici Selnik NN2 kod jednopolnog kratkog spoja sa zemljom



Dij.4.17. Fazni i linijski naponi i struja kratkog spoja na 10 i 20 kV sabirnici Selnik NN2 kod dvopolnog kratkog spoja



Dij.4.18.Fazni/linijski naponi i struja kratkog spoja na 10kV i 20 kV sabirnici Selnik NN2 kod dvopolnog kratkog spoja sa zemljom



Dij.4.19.Fazni i linijski naponi, struja i snaga kratkog spoja na 10 i 20 kV sabirnici Selnik NN2 kod trolnog kratkog spoja

Dijagrami 4.16.-4.19. prikazuju oko 50% manju struju kratkog spoja što je i željeno prije samog prelaska jer se napon povećao za 50% dok nam se snaga kratkog spoja povećala za 10%.

5. ZAKLJUČAK

Modeliranu mrežu sa njenim parametrima odnosno uklopnim/isklopnim stanjima temeljimo na analizi mreže koju smo transferirali iz DeGIS-a u Neplan sa opterećenjima na TS 35/10 kV tj. po vodnim poljima, dok je snaga po mreži raspoređena na temelju nazivne snage instaliranog transformatora.

Kako bi izbjegli probleme u mreži koji su tehničke naravi (relativno niski naponi, gubici snage) simulacijom u Neplan programu došlo se do poboljšanja naponskih prilika prelaskom na 20 kV napajanje. Najveći gubici javljaju se na dugim vodovima zbog same dužine vodova, ali nije lako predvidjeti probleme s preniskim naponima koji se javljaju nekoliko sati godišnje tokom vršnih opterećenja. U ovom diplomskom radu došlo se do najkritičnijih mjesta u kojima se javljaju najveći gubici dok bi stvarni problem trebalo odrediti u praksi. Ukupni gubici u mreži smanjili su se 3-4 puta dok smo samim prelaskom na 20 kV napon smanjili pad napona i struje kratkih spojeva. Iz tablice 4.8. odnosno 4.20. vidimo da je dio mreže (iz TS 110/35 kV Koprivnice se napaja iz TS 35/10(20) kV Rasinja, koja opskrbljuje izvode Ludbreg i Lukovec) poduzbuđen tj. da su jalove snage kapacitivnog karaktera zbog jako malog ukupnog opterećenja pa podaci nisu relevantni za neki projekt već bi trebalo napraviti analizu pod punim opterećenjem spomenutih trafostanica. Sam prelazak na viši naponski nivo je relativno financijski skup, ali po vidljivom smanjenju gubitaka svakako isplativ kroz godine.

6. LITERATURA

- [1] Prof.dr.sc. Lajos Jozsa, ***Tokovi snaga u mreži***, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Elektrotehnički fakultet Osijek, 2009. Godine
- [2] Prof.dr.sc. Srete Nikolovski,dipl.ing. i prof. dr.sc. Branko Štefić, ***Prijenos i distribucija električne energije***, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Elektrotehnički fakultet Osijek, 2001. godine
- [3] Prof.dr.sc. Srete Nikolovski, dipl.ing. i prof. dr.sc. Damir Šljivac,dipl.ing. ***Elektroenergetske mreže – zbirka riješenih zadataka***, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Elektrotehnički fakultet Osijek, 2000. godine
- [4] Prof.dr.sc. Lajos Jozsa, ***Analiza elektroenergetskog sustava***, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Elektrotehnički fakultet Osijek
- [5] Prof.dr.sc. Slavko Krajcar i dr.sc. Marko Delimar, ***Električna postrojenja***, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb 2007. Godine
- [6] Prof.dr.sc. Igor Kuzle i Prof.dr.sc. Davor Škrlec, ***Razvoj distribucijske mreže Elektre Koprivnica***, Zagreb, 2012. godine
- [7] Prof.dr.sc. Srete Nikolovski, dipl.ing. i Prof.dr.sc. Damir Šljivac, dipl.ing., Studija ***Prijelaz na 20kV distribucijski napon za istočni dio pogona Slavonski brod (Donji Andrijevc)***
- [8] Branko Dolenc, ***Distribucijska mreža Elektre Koprivnica***, Koprivnica, 2005. godine
- [9] ***Neplan*** V5.5.3. programski paket
- [10] ***Internet***

7. POPIS I ZNAČENJE KRATICA

AHP engl. Analytical Hierarchy Process

CAIDI engl. Customer Average Interruption Duration Index

SAIFI engl. System Average Interruption Frequency Index

SAIDI engl. System Average Interruption Duration Index

TS transformatorska stanica

DURN daljinski upravljiva rastavna naprava

SDV sustav daljinskog vođenja

NN niskonaponski(a)

SN sredjonaponski(a)

VN visokonaponski(a)

VP vodno polje

GIS geoinformacijski sustav

EES elektroenergetski sustav

HE hidroelektrana

HEP Hrvatska elektroprivreda

OMM obračunsko mjerno mjesto

DP distribucijsko područje

ŽSTS željezna stupna trafostanica

KTS kontejnerska trafostanica

VDA Vakumska distribucijska aparatura

7. ŽIVOTOPIS

Rođen sam 20. lipnja 1984. godine u Koprivnici, Republici Hrvatskoj. Po nacionalnosti sam Hrvat. Oženjen sam i imam jedno dijete. Trenutno živim u Đurđevcu sa roditeljima odvojen od obitelji radi posla.

Osnovnu školu sam završio u Đurđevcu. Nakon završetka osnovne škole upisao sam srednju Obrtničku školu u Koprivnici, smjer – elektroinstalater.

2001. godine upisao sa Elektrotehnički fakultet u Osijeku, VI. stupanj, smjer – elektrotehnika, u statusu redovnog studenta. Tijekom studiranja 2005. godine odradio sam civilni vojni rok u Muzeju Slavonije u Osijeku.

Nakon završetka stručnog studija 2007. godine zapošljava se u Elektri Koprivnica - odjel za obračun i mjerenje te na prijedlog fakulteta nastavljam daljnje školovanje na sveučilišnom studiju Elektrotehničkog fakulteta u Osijeku, smjer – elektroenergetika u statusu izvanrednog studenta.

U međuvremenu sam se oženio suprugom Silvijom i dobio kćer Viktoriju.

Ovaj diplomski rad je jedan dio u mojoj fakultetskoj izobrazbi koja će mi uvelike koristiti u mom daljnjem radu.

Ovom prilikom želio bi se zahvaliti mojem mentoru Prof.dr.sc. Sreti Nikolovskom, dipl.ing.el. na svim korisnim savjetima koji su mi pomogli da što kvalitetnije napravim ovaj diplomski rad. Također se zahvaljujem članovima obitelji, profesorima, asistentima Elektrotehničkog fakulteta u Osijeku te svima ostalima koji su bili uz mene tijekom studija.