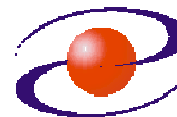




**UNIVERZITET CRNE GORE
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**



STUDIJSKI PROGRAM: *ENERGETIKA I AUTOMATIKA*

PREDMET: *ANALIZA ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA II*

FOND ČASOVA: *2+2+0.5*

LABORATORIJSKA VJEŽBA BROJ 1

NAZIV:

PRORAČUN KRATKIH SPOJEVA

CILJEVI VJEŽBE:

- Formiranje modela mreže za analizu kratkih spojeva,
- Upoređenje rezultata sa rezultatima koji su dobijeni računskim putem (auditorne vježbe iz Analize elektroenergetskih sistema II),
- Analiza simetričnih i nesimetričnih kratkih spojeva,
- Proračun osnovnih parametara kratkih spojeva.

POTREBAN PRIBOR:

- kalkulator.

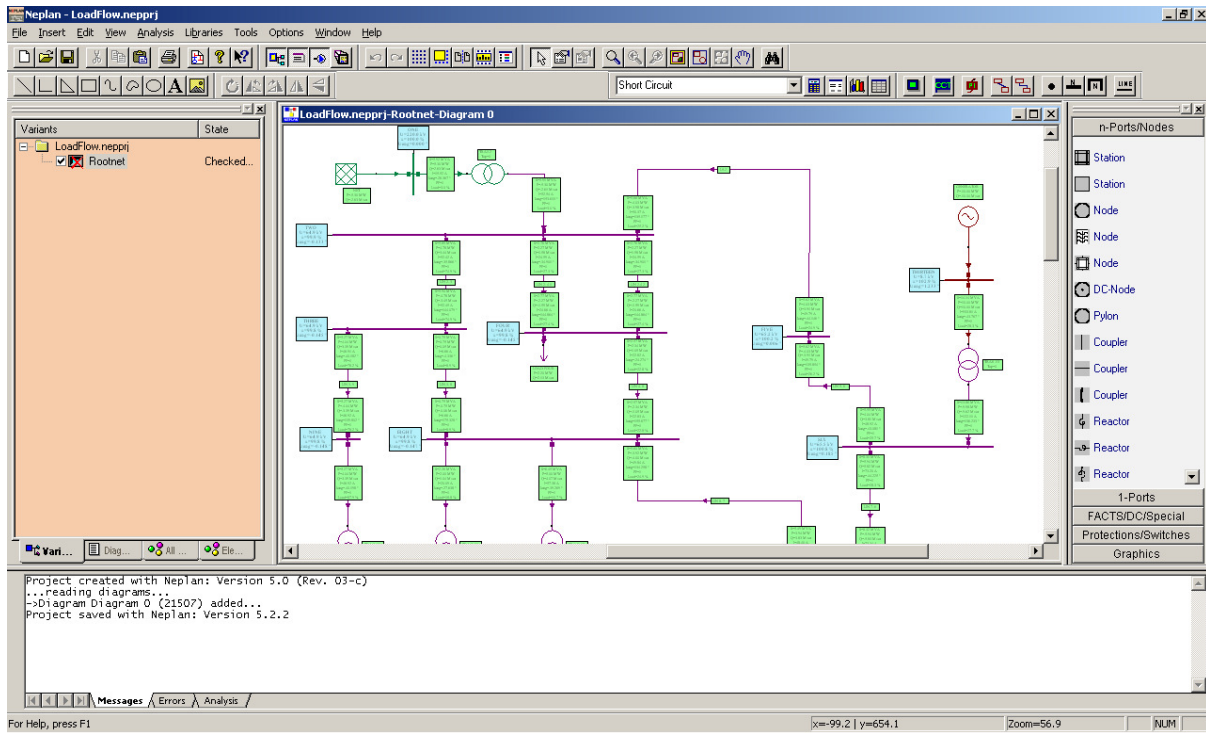
IME I PREZIME: _____.

BROJ INDEKSA: _____.

BROJ POENA:	
OVJERAVA:	
DATUM:	

1. APARATURA

Na raspolaganju je softver NEPLAN 5.2 u studentskoj verziji za simulaciju rada elektroenergetskih sistema (Slika 1.1).



Slika 1.1 Radni prozor softvera za simulaciju EES

2. TEORIJSKA OSNOVA LABORATORIJSKE VJEŽBE

2.1 Značaj proračuna kratkih spojeva

Proračuni kratkih spojeva, tj. proračuni struja i napona u EES-u za vrijeme trajanja kratkih spojeva, spadaju u osnovne proračune u analizi EES i, po značaju, su neposredno iza proračuna tokova snaga. Potreba za ovim proračunima je jednako važna za projektovanje budućih kao i za proširenje postojećih mreža i sistema.

Kao i u slučaju ultrabrzih prelaznih procesa i ova klasa prelaznih procesa ima u potpunosti električni karakter. Njihovo prigušenje zavisi od vremenskih konstanti ekvivalentnih kola generatora i mreže koje se kreću od nekoliko ciklusa struje i napona 50 Hz do reda 10 s. Pošto struje kratkog spoja igraju naročitu ulogu u prvih 10 – 100 ms nakon nastanka kvara, to se i analize kratkih spojeva obično ograničavaju na ovaj interval.

U režimu kratkog spoja, pored potpunog ili djelimičnog smanjenja prenosne sposobnosti vodova i čitavih djelova sistema, javljaju se visoke vrijednosti struja kratkog spoja koje mogu elektromehanički i termički oštetiti i razoriti namotaje generatora, transformatora i ostale opreme u sistemu. Za proračun elektrodinamičkih naprežanja, neophodnih za dimenzionisanje i izbor opreme, mjerodavne su udarne struje kratkog spoja iz subtranzijentnog perioda. Subtranzijentni period je suviše kratak da bi toplotni efekti došli do izražaja, pa je za termičke proračune mjerodavna struja iz tranzijentnog perioda. U toku tog perioda se uglavnom vrši i prekidanje struje kvara, pa su tranzijentne struje mjerodavne za dimenzionisanje i izbor prekidača.

Kod nesimetričnih kvarova sa zemljom (k1Z i k2Z) preko uzemljevača i ostalih povratnih puteva kroz zemlju i zaštitnu užad zatvaraju se struje nultog redosljeda. Veličina ovih struja određuje i način uzemljenja zvjezdista i strujno-naponske prilike na uzemljivačima koje mogu biti opasne po ljude i životinje (napon dodira i koraka). Za ove proračune je, takođe, mjerodavan tranzijentni period.

2.2 Metodi za proračun struja kratkih spojeva

Za analizu nesimetričnih stanja sistema razvijeno je više metoda, ali u najvećoj primjeni je Metoda simetričnih komponenti koju je 1918. godine razvio C. L. Fortescue. Bazično svojstvo ovog metoda, kako mu i ime govori, jeste razlaganje nesimetričnih faznih struja i napona u zbir tri komponentna simetrična sistema: sistem direktnog (1), inverznog (2) i nultog redosljeda (0).

Ako, na primjer, \underline{I}_R , \underline{I}_S i \underline{I}_T predstavljaju fazore tri neuravnotežene (nesimetrične) fazne struje¹ u nekom elementu sistema, onda se po definiciji te tri struje razlažu u sljedećih devet komponenti:

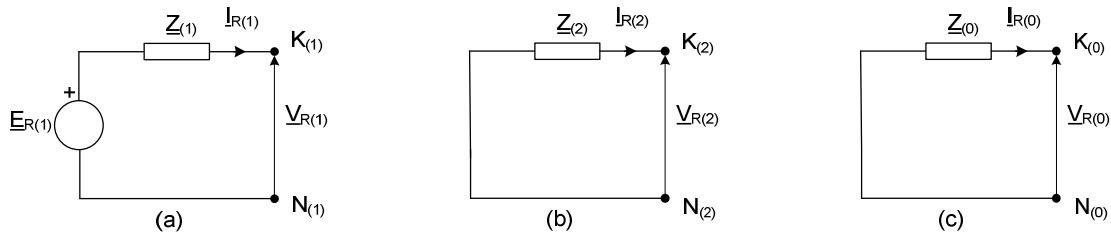
$$\begin{aligned}\underline{I}_R &= \underline{I}_{R(1)} + \underline{I}_{R(2)} + \underline{I}_{R(0)} \\ \underline{I}_S &= \underline{I}_{S(1)} + \underline{I}_{S(2)} + \underline{I}_{S(0)} \\ \underline{I}_T &= \underline{I}_{T(1)} + \underline{I}_{T(2)} + \underline{I}_{T(0)}\end{aligned}\quad (2.1)$$

Osnovne jednačine neuravnoteženog trofaznog sistema:

$$\begin{aligned}\underline{V}_{R(1)} &= \underline{E}_{R(1)} - \underline{Z}_{(1)} \underline{I}_{R(1)} \\ \underline{V}_{R(2)} &= 0 - \underline{Z}_{(2)} \underline{I}_{R(2)} \\ \underline{V}_{R(0)} &= 0 - \underline{Z}_{(0)} \underline{I}_{R(0)}\end{aligned}\quad (2.2)$$

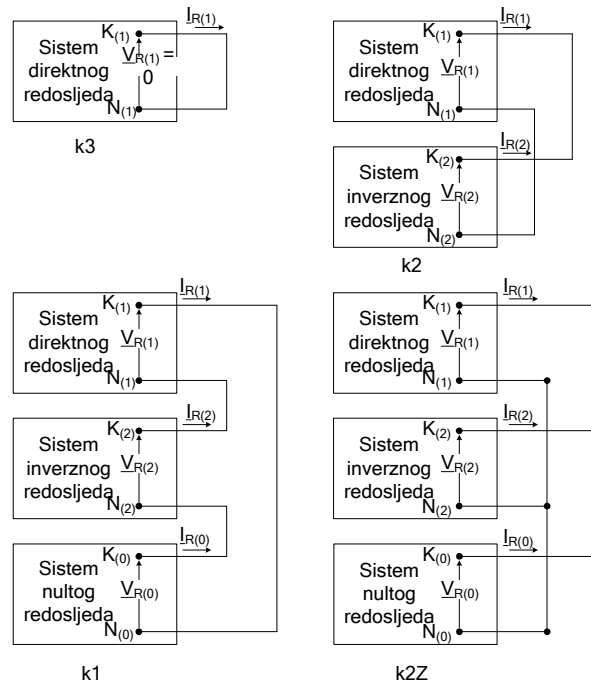
Relacija (2.2) može se predstaviti ekvivalentnim kolima na Slika 2.1.

¹ Pretpostavljaju se prostoperiodične struje, što omogućava primjenu fazorskog računa.



Slika 2.1 Monofazna ekvivalentna kola simetričnih komponenti

U jednačinama (2.2) ima šest nepoznatih: $\underline{V}_{R(1)}$, $\underline{V}_{R(2)}$, $\underline{V}_{R(0)}$, $\underline{I}_{R(1)}$, $\underline{I}_{R(2)}$, $\underline{I}_{R(0)}$. Da bi se odredile, neophodno je imati još tri jednačine. Te jednačine se dobijaju iz posebnih terminalnih uslova koji važe na mjestu poremećaja. Ekvivalentne šeme za sve tipove kratkih spojeva date su na slici koja slijedi.

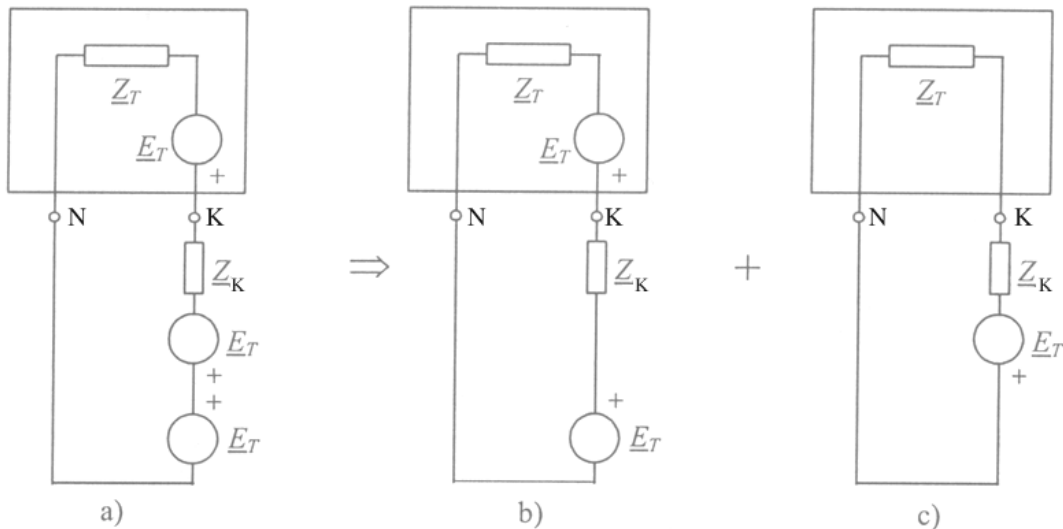


Slika 2.2 Ekvivalentne šeme za sve tipove kratkih spojeva

Za proračun kratkih spojeva često se koriste metod stvarnih ems i metod superpozicije (Theveninov postupak). U okviru ove vježbe analiziraće se metod superpozicije. Grafička interpretacija ovog metoda data je na Slici 2.3.

Ako se u grani sa ZK dodaju na red dvije Theveninove ems ET vezane u opoziciju (Slika 2.3), u sistemu neće doći do promjene strujno-naponskih prilika. Primjenom principa (teoreme) superpozicije moguće je, pored ostalih, postaviti dva stanja kao na Slikama 2.3 b i c. Slika 2.3b odgovara normalno radno stanje pri kojem u spoljašnjoj grani impedanse \underline{Z}_K nema struje. Drugim riječima, umetanje ems $\underline{E}_T = \underline{U}_r$ (\underline{U}_r napon u čvoru K prije nastanka kvara) nema nikakvog uticaja na raspodjelu struje i napona u stvarnom sistemu pri normalnom pogonu.

Drugi režim prema Slici 2.3c je režim u fiktivnom sistemu. Ovaj sistem se dobija tako što se isključe sve ems u stvarnom sistemu (pri zadržanim unutrašnjim impedansama generatora), a u mjesto poremećaja se postavlja Theveninova ems - \underline{E}_T usmjerena ka zemlji, odnosno ka čvoru nultog potencijala N u sistemu.



Slika 2.3 Interpretacija teoreme superpozicije

Rezultat proračuna na fiktivnom sistemu (c) su promjene struja koje superponirane sa radnim strujama iz stvarnog sistema (b) daju rezultatnu sliku kvara koji je prikazan sistemom (a), ili simbolično: stanje (a) = stanje (b) + stanje (c).

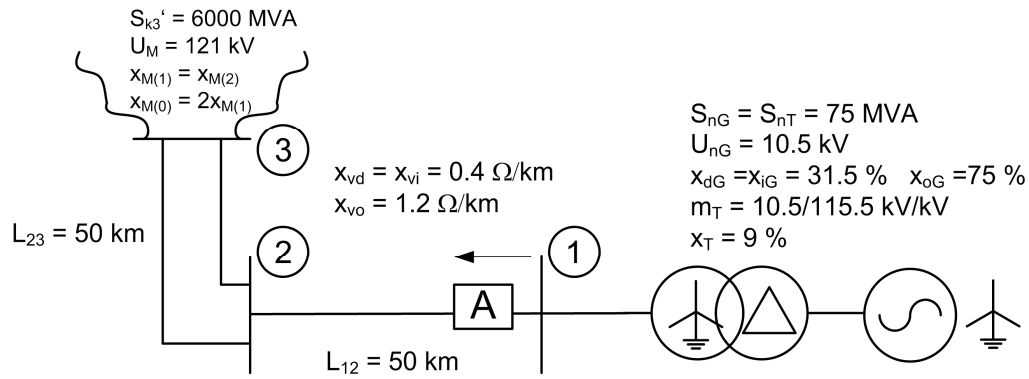
Treba napomenuti da se u slučaju kratkih spojeva najčešće mogu zanemariti struje iz normalnog režima jer su one po modulu znatno manje od struja kratkih spojeva. S druge strane, one su i fazno pomjerene ispred struja kratkih spojeva za skoro 90° , jer je sistem u normalnom pogonu pretežno aktivan (struja skoro u fazi sa naponom), dok je u kratkom spoju praktično reaktivan.

Kod metoda stvarnih ems neophodno je poznavanje modula i faznog stava ems svakog izvora. Ove veličine se ne mogu obezbijediti primjenom prethodnog postupka. U tom slučaju se koristi postupak koji povezuje mrežu iz normalnog pogona sa svim izvorima i opterećenjima, uključujući i sami poremećaj, tako da sistem i poremećaj u potpunosti predstavljaju odraz stvarnih prilika u sistemu nakon poremećaja.

Ako je poremećaj nesimetričan, onda se stvarni sistem razlaže na tri komponentna sistema, pri čemu se u sistemu direktnog redosljeda zadržavaju sve ems izvora, a sprezanje komponentnih sistema (Slika 2.2) zavisi od vrste kvara. U sistemu sa većim brojem izvora, ovakav postupak zahtijeva primjenu metoda i softvera za proračune u složenim mrežama uz upotrebu kompjutera, dok se u slučaju Theveninovog postupka mnogi proračuni mogu izvesti ručno.

3. ZADACI LABORATORIJSKE VJEŽBE

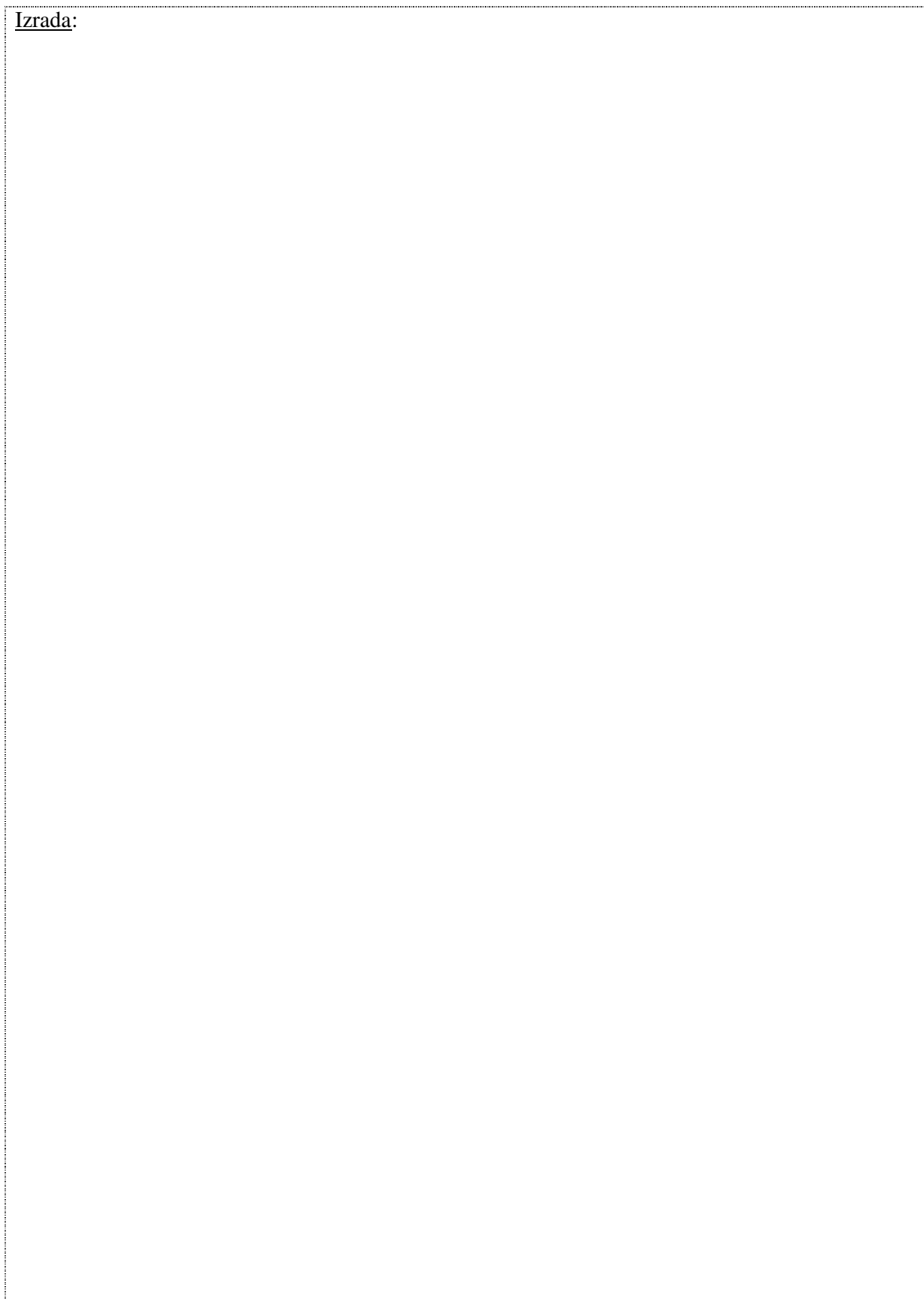
1) U dijelu sistema prikazanom na Slici 3.1, dolazi do jednopolnog kratkog spoja na sabirnicama 1. Odrediti struju kvara kroz prekidač A ako je poznato da je struja na istom mjestu prije kvara iznosila $(239+j89)A$. Koristiti metod superpozicije za rješavanje kratkih spojeva. Napon u čvoru 1 prije kvara iznosio je 117 kV.



Slika 3.1 Dio EES-a

Izrada:

Izrada:



2) Koristeći softver Neplan 5.2 za simulaciju EES, formirati model iz prethodnog zadatka i proračunati (Podesiti da generator daje mreži $P_G = 50$ MW, a da mu je nominalni faktor snage 0.9, $x_d\% = 180\%$, $x_d'\% = 39\%$):

- tokove snaga i fazore napone u čvorovima
- struju kroz prekidač A nakon što se desio k1 u čvoru 1.

Dobijene rezultate napisati u Tabela 3-I.

Tabela 3-I Rezultati simulacije I

	Prvi čvor	Drugi čvor	Treći čvor
Efektivna vrijednost napona U [kV]			
Fazni stav napona δ [°]			

Struja kroz prekidač prije kvara:

_____.

Struja kroz prekidač nakon kvara:

_____.

Ukupna struja kvara:

_____.

3) Koristeći Neplan ponoviti proračun iz prethodnog zadatka za slučaj sljedećih kvarova u čvoru 2:

- trolni kratki spoj
- dvopolni kratki spoj
- dvopolni kratki spoj sa zemljom.

U Tabeli 3-II upisati dobijene rezultate.

Tabela 3-II Rezultati simulacije II

	k1	k2	k2Z	k3
Struja kroz prekidač prije kvara [A]				
Struja kroz prekidač nakon kvara [A]				
Ukupna struja kvara [A]				

Ukupna snaga k1 na mjestu kvara:

_____.

Ukupna snaga k2 na mjestu kvara:

_____.

Ukupna snaga k2Z na mjestu kvara:

_____.

Ukupna snaga k3 na mjestu kvara:

_____.

4) U postojećoj šemi dodati potrošač snage $\underline{S}_p = (30+j20)\text{MVA}$ u čvoru 2 i proračunati struju kvara kroz prekidač A i ukupnu struju kvara za sve tipove kratkih spojeva. Rezultate upisati u Tabeli 3-III.

Ukupna snaga k1 na mjestu kvara:

_____.

Ukupna snaga k2 na mjestu kvara:

_____.

Ukupna snaga k2Z na mjestu kvara:

_____.

Ukupna snaga k3 na mjestu kvara:

_____.

Tabela 3-III Rezultati simulacije III

	k1	k2	k2Z	k3
Struja kroz prekidač prije kvara [A]				
Struja kroz prekidač nakon kvara [A]				
Ukupna struja kvara [A]				

5.) Potrošač iz prethodnog zadatka premjestiti u čvor 1 i ponoviti proračun za sve tipove kvarova. Rezultate upisati Tabeli 3-IV.

Tabela 3-IV Rezultati simulacije IV

	k1	k2	k2Z	k3
Struja kroz prekidač prije kvara [A]				
Struja kroz prekidač nakon kvara [A]				
Ukupna struja kvara [A]				

Ukupna snaga k1 na mjestu kvara:

_____.

Ukupna snaga k2 na mjestu kvara:

_____.

Ukupna snaga k2Z na mjestu kvara:

_____.

Ukupna snaga k3 na mjestu kvara:

_____.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu urađenih zadataka, odgovoriti na sljedeća pitanja.

1. Šta predstavlja kratki spoj?

2. Koji kvar se pokazao kao najnepovoljniji za vod i na osnovu čega ste to zaključili?

3. Koji su najvažniji parametri koji se dobijaju analizom KS i za šta se oni koriste?

4. Navesti koji se metodi koriste za proračun kratkih spojeva?

5. Kakav je uticaj potrošača na struju kvara u oba analizirana slučaja?

6. Sažeto objasniti metod superpozicije za proračun kratkih spojeva.
