

# Izračun pokazatelja pouzdanosti distribucijskih mreža

---

**Tomišić, Petar**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:243210>

*Rights / Prava:* [Attribution-ShareAlike 4.0 International/Imenovanje-Dijeli pod istim uvjetima 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-22**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Sveučilišni prijediplomski studij elektrotehnike

Završni rad

**IZRAČUN POKAZATELJA POUZDANOSTI DISTRIBUCIJSKIH  
MREŽA**

Rijeka, srpanj 2023.

Petar Tomišić

0069086561

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Sveučilišni prijediplomski studij elektrotehnike

Završni rad

**IZRAČUN POKAZATELJA POUZDANOSTI DISTRIBUCIJSKIH  
MREŽA**

Mentor: Prof. dr.sc. Dubravko Franković

Komentor: Mr. Sc. Marijana Živić Đurović, v.pred.

Rijeka, srpanj 2023.

Petar Tomišić

0069086561

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**TEHNIČKI FAKULTET**  
**POVJERENSTVO ZA ZAVRŠNE ISPITE**

Rijeka, 13. ožujka 2023.

Zavod: **Zavod za elektroenergetiku**  
Predmet: **Elektroenergetske mreže**  
Grana: **2.03.01 elektroenergetika**

## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Petar Tomišić (0069086561)**  
Studij: **Sveučilišni prijediplomski studij elektrotehnike**

Zadatak: **Izračun pokazatelja pouzdanosti distribucijskih mreža / Calculation of reliability indicators for distribution networks**


**Opis zadatka:**

U radu je potrebno opisati distribucijsku mrežu radijalnog pogona kao serijski model pouzdanosti. Definirati osnovne i dodatne pokazatelje pouzdanosti. Na jednom primjeru radijalne distribucijske mreže izračunati pokazatelje pouzdanosti te pokazati utjecaj korištenja rastavljača i osigurača na pouzdanost opskrbe potrošača.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

Zadatak uručen pristupniku: 20. ožujka 2023.

Mentor:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. dr. sc. Dubravko Franković

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. dr. sc. Dubravko Franković

  
\_\_\_\_\_  
Mr. sc. Marijana Živić Đurović, v. pred.  
(komentor)

## IZJAVA

Sukladno s člankom 7. Pravilnika o završnom radu, završnom ispitu i završetku preddiplomskih sveučilišnih studija Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, od ožujka 2023. godine, izjavljujem da sam samostalno izradio završni rad pod naslovom „Izračun pokazatelja pouzdanosti distribucijskih mreža“, prema zadatku za završni rad od 20.03.2023.



Petar Tomišić

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	5
1. UVOD .....	6
2. KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE.....	7
2.1. Tehnički parametri električne energije .....	8
3. POUZDANOST .....	13
3.1. Osnovno o pouzdanosti .....	13
3.2. Pokazatelji pouzdanosti distribucijskih mreža .....	13
3.3. Ostali pokazatelji pouzdanosti .....	17
4. ANALIZA DISTRIBUCIJSKE MREŽE.....	19
4.1. Distribucijska mreža – primjer 1 .....	21
4.2. Distribucijska mreža – primjer 2 .....	23
4.3. Distribucijska mreža – primjer 3 .....	26
4.4. Usporedba pokazatelja pouzdanosti distribucijske mreže .....	30
5. ZAKLJUČAK .....	32
6. LITERATURA .....	33
7. POPIS KRATICA I OZNAKA.....	34
8. SAŽETAK RADA I KLJUČNE RIJEČI NA HRVATSKOM I ENGLISKOM JEZIKU ...	35
ABSTRACT AND KEY WORDS.....	36

# 1. UVOD

Električna energija danas jedna je od najraširenijih i najviše korištenih vrsta energije. Zbog toga je važno imati dobru kvalitetu električne energije.

Kvaliteta električne energije dvosmislen je pojam koji ljudima znači mnogo različitih stvari. Iz perspektive korisnika, problem kvalitete električne energije može se definirati kao bilo koje stanje napajanja električnom energijom koje uzrokuje neispravan rad uređaja ili onemogućuje korištenje [1]. U elektrotehnici, kvalitetu električne energije, odnosno napona, podrazumijevamo kao mrežu pravilnog sinusoidnog oblika napona i struje, frekvencije 50 Hz [2].

U prvom poglavlju opisana je kvaliteta električne energije, što ona predstavlja i problemi s kojima se suočavamo kod iste. Također, navedeni su, prikazani i detaljno opisani tehnički parametri električne energije.

U drugom poglavlju opisana je sama tema ovog rada, pouzdanost, te su objašnjeni pokazatelji pouzdanosti kojima definiramo kvalitetu i stabilnost našeg električnog sustava.

U trećem, pretposljednem poglavlju, prikazan je primjer distribucijske mreže i potrošača spojenih na samu mrežu, te su izvedeni zaključci o povezanosti pokazatelja pouzdanosti sa stvarnim svijetom. Također, dočarana je slika ekonomičnosti i isplativosti u odnosu na tehnološko poboljšanje sustava.

U posljednjem poglavlju, dan je zaključak rada te su iznesene tvrdnje i dokazi o gore navedenoj pouzdanosti te samim pokazateljima pouzdanosti u distribucijskim sustavima.

## 2. KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Kvaliteta električne energije podrazumijeva izvore, posljedice i metode kontrole poremećaja, koji se prenose preko elektroenergetskog sustava i utječu na kvalitetu napajanja krajnjih potrošača. Kvalitetom električne energije također se može smatrati bilo koji problem prisutan u deformacijama napona, struje ili frekvencije, a koji za posljedicu ima kvarove ili pogrešan rad električne opreme. Kvaliteta isporuke električne energije obuhvaća probleme pouzdanosti, efikasnosti i sigurnosti napajanja, koji se rješavaju u postupku planiranja, razvoja i tijekom redovnog održavanja mreže. Za to su zaduženi inženjeri i stručnjaci elektroprivrede [3].

Problem kvalitete isporučene električne energije vezan je za sveukupnu stabilnost rada sustava, poremećaja u radu i međusobne utjecaje između sustava i potrošača, i uglavnom se prepoznaje kao kvaliteta napona. Posljedice loše kvalitete električne energije su neočekivani ispad napajanja, kvar opreme, pregrijavanje transformatora i motora itd. Također, istraživanja pokazuju da su najveći uzročnici problema vezanih za kvalitetu električne energije upravo potrošači.

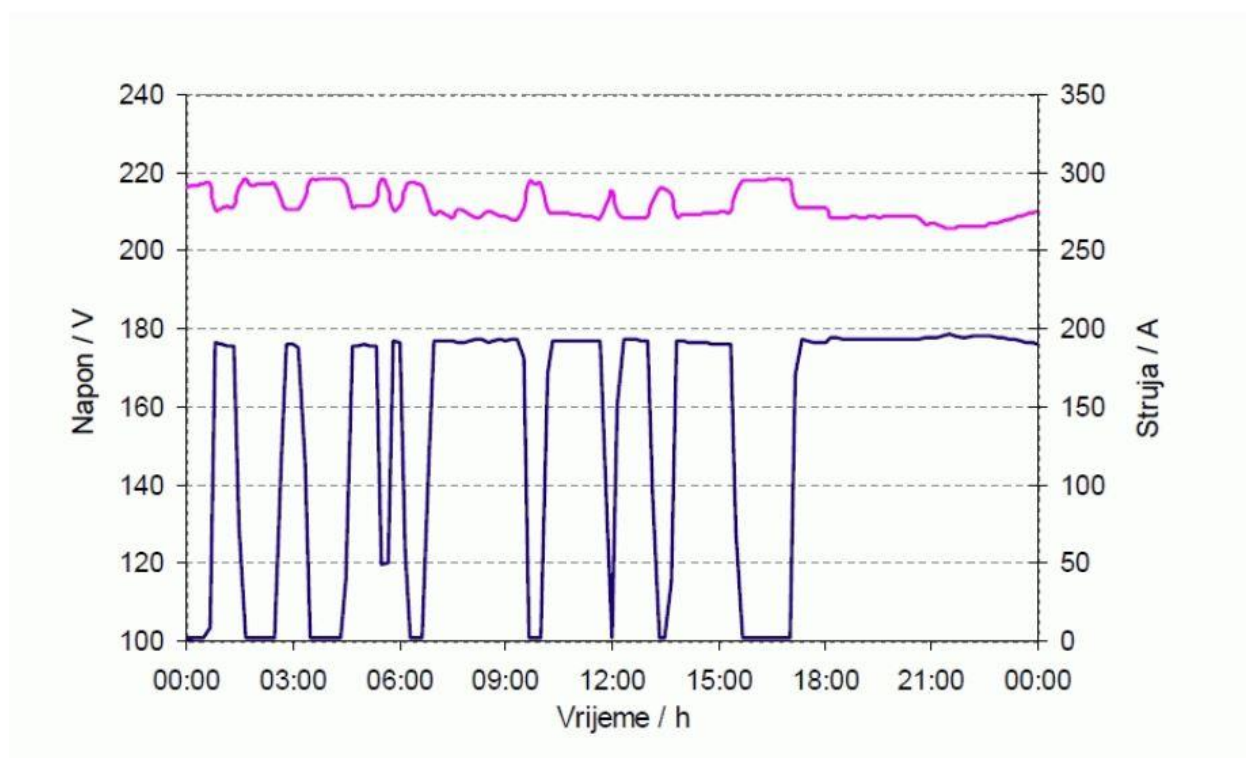
Uvodimo pojam tehničkih parametara kvalitete energije, koji nam pokazuju stanje električne energije i njeno ponašanje te su detaljno opisani u sljedećem potpoglavlju.



## 2.1. Tehnički parametri električne energije

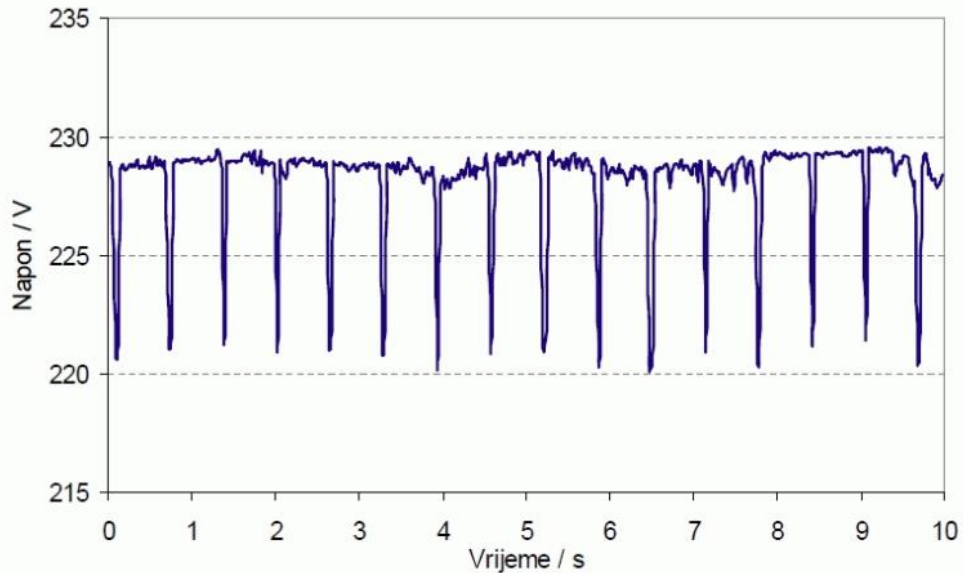
Broj oscilacija naponskog vala u sekundi poznat je kao mrežna frekvencija. Frekvencija u europskim elektroenergetskim mrežama je 50 Hz, no u drugim zemljama, poput SAD-a i Brazila, iznosi 60 Hz.

Veličina napona, definira se kao efektivna vrijednost napona na mjestu predaje električne energije mjerena u određenom vremenskom periodu. Ovisno o nazivnoj vrijednosti naponske razine određena je nazivna vrijednost. U većini zemalja je to 230 V, a u nekim državama može se pronaći 110 V te 220 V.



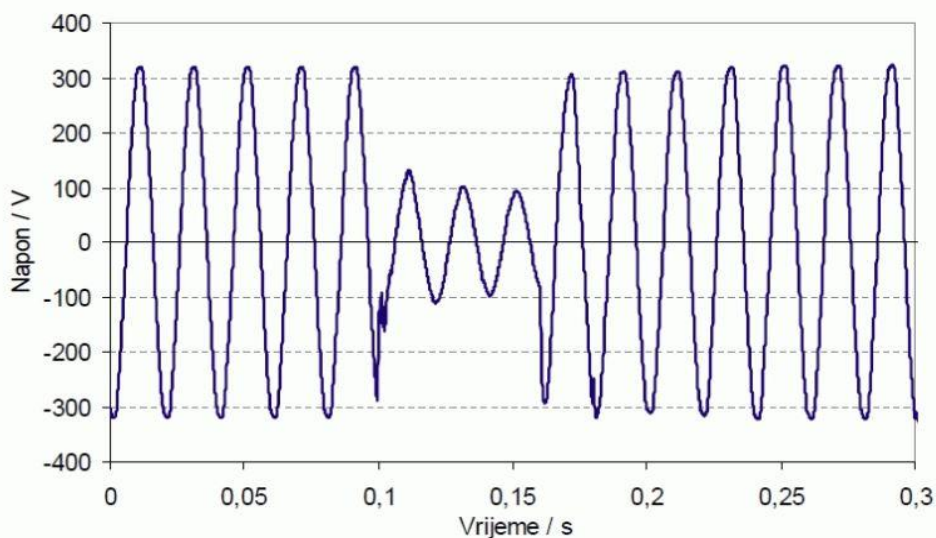
Slika 2.1. Promjena napona i struje u vremenu

Treperenje napona (flickeri) su oscilacije vrijednosti napona koje rezultiraju prividnom promjenom gustoće svjetlosti. Najlakše ih je opisati kao treperenje žarulje ili zaslona računala. Rad elektrolyučnih peći, opreme za zavarivanje i sl. najčešće stvara učestale i nagle promjene opterećenja. Ljudskom oku najviše smetaju flickeri frekvencije 7-10 Hz, a najčešće se javljaju u frekvencijama manjim od 25 Hz.



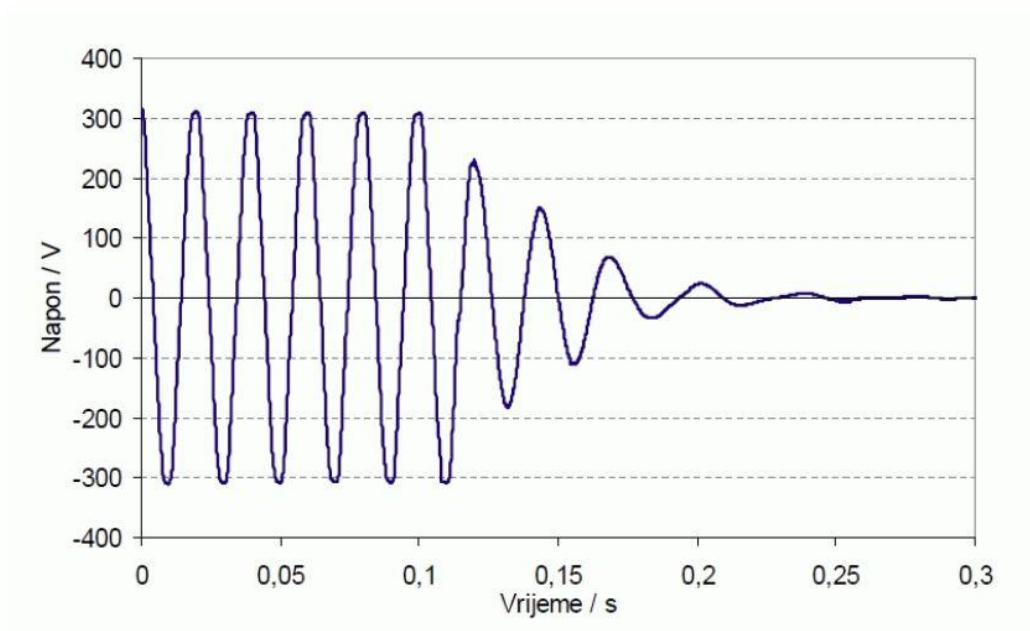
*Slika 2.2. Treperenje napona u vremenu*

Propad napona je kratki pad napona koji padne ispod unaprijed definirane granice (najčešće 90 - 1% nazivnog napona  $U_n$ ). Kvarovi sustava i neočekivana opterećenja, npr. naglo spajanje tereta na osovinu motora, najčešći su uzroci propada napona.



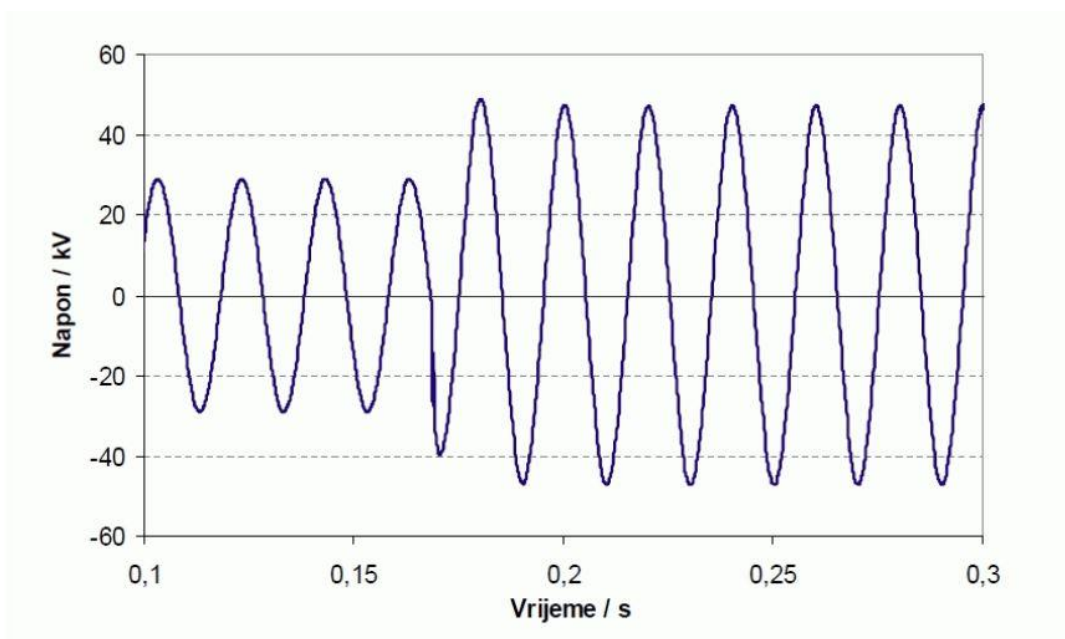
*Slika 2.3. Propad napona*

Stanje nestanka napona nazivamo prekidom napona. Najčešće se prekidom napona smatra kada napon padne ispod 1% nazivnog. Prekide napona dijelimo na duge i kratke. U prekide napona vezane uz kvalitetu električne energije, ne ubrajaju se prekidi napajanja koji su unaprijed planirani i obavljeni.



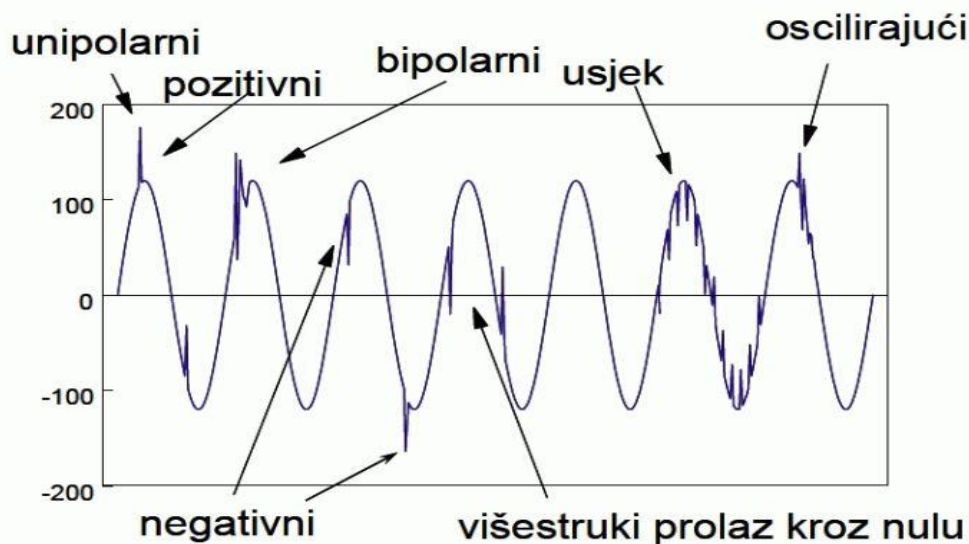
*Slika 2.4. Prekid napona*

Kada napon premaši nazivnu vrijednost, nazivamo ga prenaponom. Kratkotrajni prenaponi u mreži javljaju se u slučaju smetnja u radu mreže, pri sklopnim manipulacijama, udarima groma i slično, a njihova vrijednost obično ovisi o načinu uzemljenja mreže.



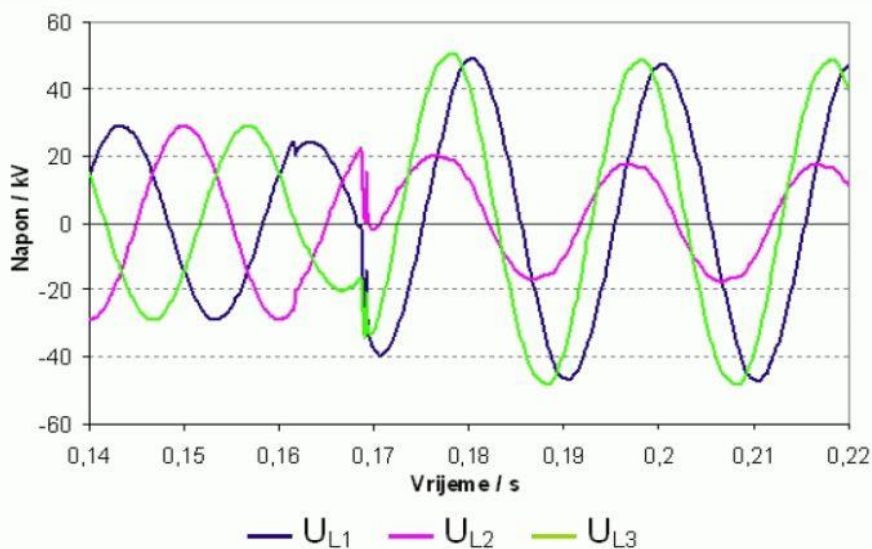
*Slika 2.5. Prenapon*

Impulsni prenapon (tranzijent) je visokofrekvencijska promjena napona koja traje manje od jedne poluperiode (10 ms), a može biti uzrokovana sklopnim operacijama, udarima groma, uklapanjima kapacitivnih tereta, itd. Među mogućim oblicima impulsnih prenapona su pozitivni, negativni, unipolarni, bipolarni, usjek, oscilirajući i višestruki prolaz kroz nulu.



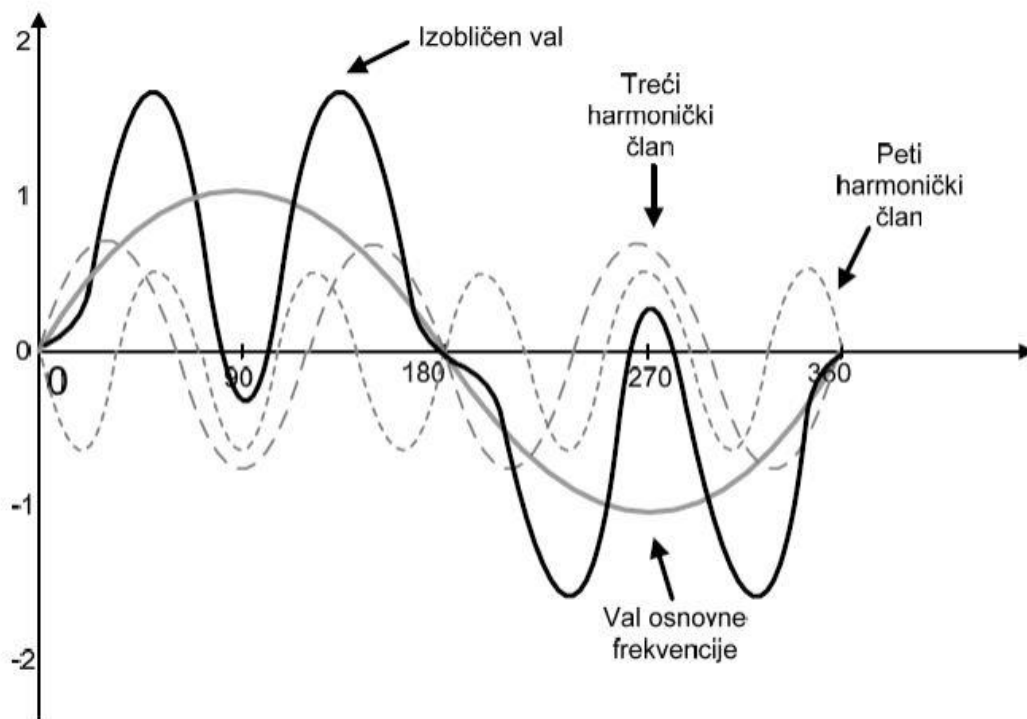
Slika 2.6. Impulsni napon (tranzijent)

Nesimetrija napona se javlja kada se iznosi (amplitude) napona u trofaznom sustavu razlikuju ili kada kut između pojedine dvije faze nije  $120^\circ$ . Omjer inverzne i direktne (izravne) komponente služi kao mjerilo za nesimetriju napona. Neravnomjerna raspodjela opterećenja po fazama ili kvaru u distribucijskim mrežama dovodi do naponske nesimetrije.



Slika 2.7. Nesimetrija napona

Sinusoidni naponi s cijelim višekratnicima osnovne frekvencije poznati su kao naponi viših harmonika. Izrazito su nepoželjni u mrežama jer se zbrajaju na osnovni val i time ga iskrivljuju što otežava napajanje trošila, osobito onih osjetljivih poput medicinske opreme.



Slika 2.8. Naponski harmonici

Naponi međuharmonika sinusoidni su naponi frekvencija koje nisu višekratnici osnovne frekvencije, koji se u današnje vrijeme povećavaju zbog veće upotrebe pretvarača frekvencija i sličnih uređaja [2].

### **3. POUZDANOST**

Pouzdanost se definira kao sposobnost obavljanja predviđene funkcije u toku određenog vremena, pod unaprijed zadanim uvjetima. Spomenuta definicija primjenjuje se i na elemente nekog sustava pojedinačno, ali i na cijeli sustav.

Proračuni pouzdanosti se temelje na modelima elemenata i sustava koji odražavaju njihove karakteristike i strukturu, te na podacima o pokazateljima pouzdanosti do kojih se dolazi statističkom obradom podataka. Analizom pouzdanosti, korištenjem podataka iz prošlosti, predviđamo ponašanje promatranog elementa ili sustava u budućnosti [4].

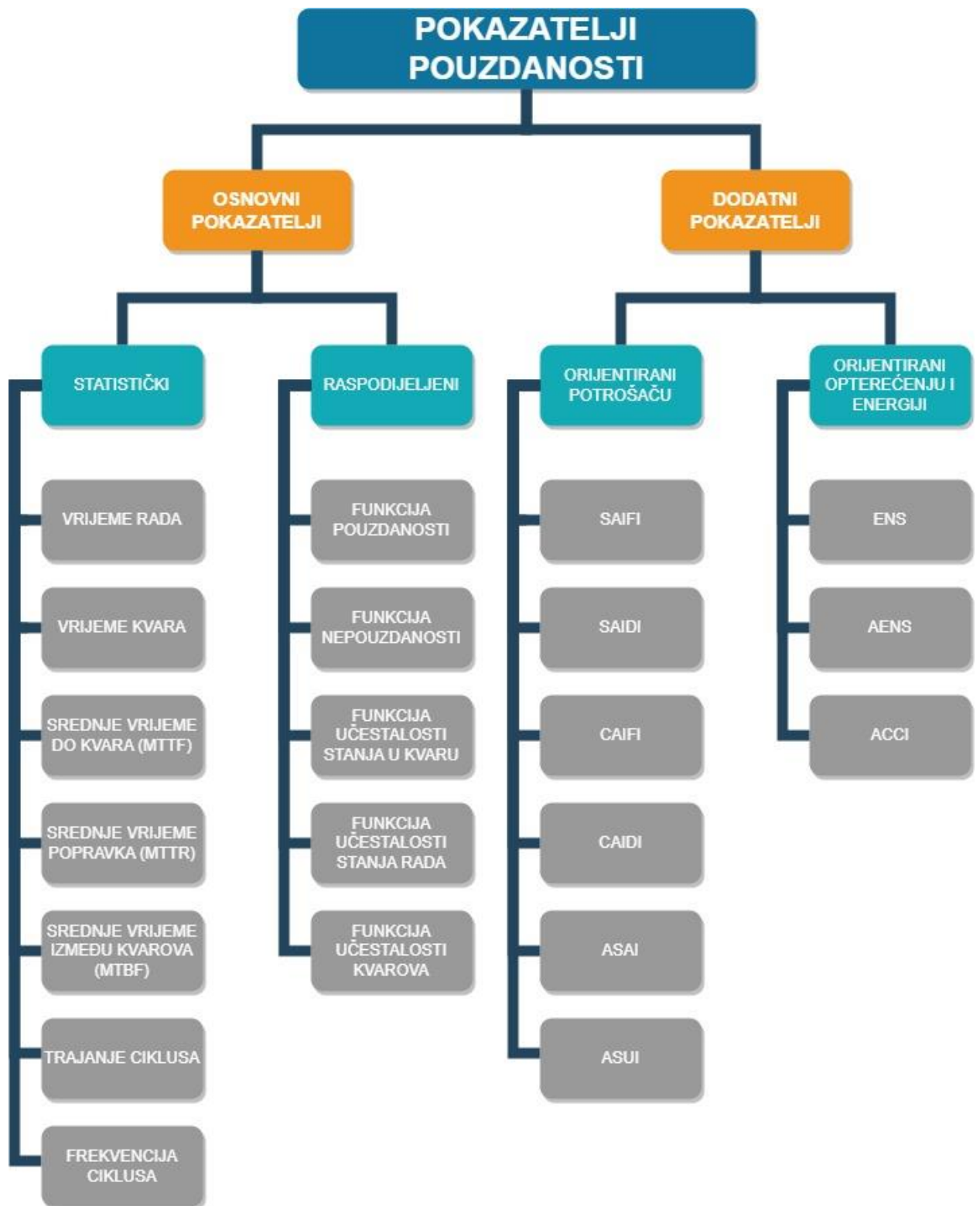
#### **3.1. Osnovno o pouzdanosti**

Pouzdanost je mjera za redovitost opskrbe električnom energijom, adekvatnost i sigurnost elektroenergetskog sustava. Pouzdanost nekog složenog sustava ovisi o pouzdanosti pojedinih komponenata i o samoj strukturi sustava.

#### **3.2. Pokazatelji pouzdanosti distribucijskih mreža**

Pokazatelji pouzdanosti uvijek su bili među najvažnijim pokazateljima koji su se koristili kod planiranja, izgradnje i obnove distribucijske mreže.

Pokazatelji pouzdanosti dijele se na dodatne i osnovne pokazatelje. Osnovni se dalje granaju na statističke i raspodijeljene, a dodatni na pokazatelje orijentirane potrošaču te one orijentirane opterećenju i energiji.



Slika 3.1. Raspodjela pokazatelja pouzdanosti

Prekidi napajanja električnom energijom se prema tipu dijele na planirane i prisilne prekide te prema njihovom trajanju na duge (trajanja duljeg od 3 min.), kratke (trajanja između 1 s i 3 min.) te prijelazne (trajanja kraćeg od 1 s).

Glavni uzroci prekida napajanja električnom energijom su zastoji jedinica distribucijske mreže, koji mogu biti planirani i prisilni.

Planirani prekidi napajanja električnom energijom pojavljuju se uslijed planiranih zastoja jedinica mreže u slučajevima obavljanja potrebnih radova ili zahvata na promatranoj jedinici, odnosno obavljanja radova i zahvata izvan promatrane jedinice, ali uz uvjet izvan pogonskog stanja promatrane jedinice. Prisilni prekidi u distribucijskim mrežama su prekidi stohastičkog karaktera koji su posljedica kvarova na elementima mreže, a izazvani su različitim uzrocima električne i neelektrične prirode.

Jedni od najvažnijih pokazatelja pouzdanosti u distribucijskim mrežama su:

SAIFI (eng. *System Average Interruption Frequency Index*), odnosno prosječni broj dugotrajnih prekida napajanja svakog potrošača (kupca) mreže je pokazatelj koji određuje broj prekida napajanja po korisniku distribucijske mreže. Najčešće se promatra kroz razdoblje od jedne godine [5]. SAIFI je broj koji se dobije bez mjerne jedinice.

Računa se prema izrazu:

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^K N_i}{N_{uk}} \quad (3.1.)$$

Gdje je:

K – ukupan broj prekida napajanja,

$N_i$  – broj kupaca pogođenih  $i$ -tim prekidom napajanja

$N_{uk}$  – sveukupan broj kupaca

$$SAIFI = \frac{\text{ukupan broj potrošača koji su osjetili prekid opskrbe}}{\text{sveukupan broj potrošača}} \quad (3.2.)$$

Drugi najbitniji pokazatelj je SAIDI (eng. *System Average Interruption Duration Index*), odnosno prosječno vrijeme trajanja prekida napajanja jednog potrošača. Pokazuje ukupno trajanje prekida potrošača distribucijske mreže u određenom vremenu. Također, najčešće se promatra



tijekom jedne godine. SAIDI je broj koji je izražen u satima, a u nekim literaturama zna se pojaviti izražen u minutama.

$$\text{SAIDI} = \frac{\sum_{i=1}^K N_i * T_i}{N_{uk}} \text{ [h]} \quad (3.3.)$$

Gdje je:

$T_i$  – trajanje  $i$ -tog prekida napajanja, [h]

$$\text{SAIDI} = \frac{\text{broj potrošača koji su osjetili prekid} * \text{vrijeme prekida napajanja}}{\text{sveukupan broj potrošača}} \text{ [h]} \quad (3.4.)$$

CAIDI (eng. *Customer Average Interruption Duration Index*), odnosno prosječno vrijeme trajanja jednog prekida po potrošaču koji je osjetio prekid napajanja je treći pokazatelj pouzdanosti. Predstavlja prosječno vrijeme za ponovno uključenje napajanja. Izražava se kao omjer SAIDI-a i SAIFI-a. Mjerna jedinica je sat.

$$\text{CAIDI} = \frac{\text{SAIDI}}{\text{SAIFI}} \text{ [h]} \quad (3.5.)$$

ENS (eng. *Energy Not Supplied*), odnosno neisporučena energija je energija koja je izgubljena kao rezultat grešaka ili kvarova na mreži. ENS se mjeri u megavat satima (MWh). Smanjenje ENS-a znači minimiziranje prekida u opskrbi elektroenergetskog sustava [6].

$$\text{ENS} = \sum_{i=1}^n L_i * D_i \text{ [MWh]} \quad (3.6.)$$

Gdje je:

$L_i$  – prosječno opterećenje [kW, MW]

$D_i$  – vrijeme prekida napajanja potrošača [h/god]

AENS (eng. *Average Energy Not Supplied*), odnosno prosječna neisporučena energija je omjer neisporučene energije i sveukupnog broja potrošača. Izražava se u kilovat satima po godini.

$$\text{AENS} = \frac{\text{ENS}}{N_{uk}} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{god}} \right] \quad (3.7.)$$

### 3.3. Ostali pokazatelji pouzdanosti

U prethodnom poglavlju, nabrojani su i utvrđeni nama neke od najbitnijih pokazatelja pouzdanosti. U ovom poglavlju, navest će se i ostali pokazatelji pouzdanosti, koji nam nisu vitalni za prikaz pouzdanosti u promatranim mrežama, ali ih ne smijemo izostaviti.

Na slici 3.2. prikazana je opća raspodjela pokazatelja pouzdanosti. Postoji i još pokazatelja pouzdanosti koji nisu na toj slici navedeni, ali za naše potrebe, gore navedeni će biti sasvim dovoljni.

Vrijeme rada je, kao što i sama riječ govori, vrijeme koje je proteklo dok je postrojenje u normalnom pogonskom stanju.

Vrijeme kvara je suprotno vremenu rada, te mjeri se dok je električno postrojenje izvan normalnog pogona. Oba pokazatelja mjere se u satima.

Srednje vrijeme do kvara (eng. *Mean Time to Failure*), skraćeno MTTF, je ključna stavka kvara koja pomaže inženjerima da procijene koliko dugo nepopravljiva komponenta može raditi prije nego što pokvari. Praćenje MTTF-a može dovesti do minimiziranja prekida, maksimalnog životnog vijeka itd. MTTF se računa kao omjer ukupnih sati provedenih u pogonu i broja ukupnih „stavki“ pogona:

$$\text{MTTF} = \frac{t_{\text{uk}}}{N_{\text{uk}}} \text{ [h]} \quad (3.8.)$$

Za primjer uzimo da je pogon u radu 3000 sati, te sadrži 10 prekidača. MTTF ovog pogona iznosi 3000/10, odnosno 300 h. To znači da će svakih 300 sati morati mijenjati stari prekidač s novim.

Srednje vrijeme popravka (eng. *Mean Time to Repair*), odnosno skraćeno MTTR, također je jedna od veličina koja nam govori koliko nam je vremena potrebno za popravak nekog elementa, odnosno vraćanje tog elementa u potpunu funkcionalnost.

Recimo da smo prekidač mijenjali 3 puta. Prvi i drugi put nam je trebalo po pola sata, no treći put došlo je do komplikacija te smo mijenjali prekidač punih sat vremena. MTTR je onda jednak:

$$\text{MTTR} = \frac{t_1+t_2+t_3}{n_i} = \frac{30+30+60}{3} = 40 \text{ [min]} = 0.67 \text{ [h]} \quad (3.9.)$$

Srednje vrijeme između kvarova (eng. *Mean Time between Failures*), ili MTBF, je vrijeme za koje element može raditi prije nego što nastupi kvar. Mjeri vrijeme između jednog kvara i sljedećeg. MTBF je ključan za procjenu koliko dugo postrojenje može koristiti element prije sljedećeg neplaniranog zastoja. Veći MTBF, veća je pouzdanost elementa.

MTBF se izražava kao:

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Ukupno vrijeme rada}}{\text{Ukupan broj kvarova}} [\text{h}] \quad (3.10.)$$

Trajanje i frekvencija ciklusa su obrnuto proporcionalne veličine, i pomažu nam u određivanju gore navedenih pokazatelja pouzdanosti.

Dodatni pokazatelji orijentirani potrošaču koje još moramo spomenuti su ASUI i ASAI.

ASUI (eng. *Average Service Utility Index*), odnosno indeks prosječne neraspoloživosti napajanja, je omjer vremena u kojem postrojenje nije u pogonu i ukupnog vremena kroz neki promatrani period:

$$\text{ASUI} = \frac{\text{Vrijeme izvan pogona}}{\text{Ukupno promatrano vrijeme}} \quad (3.11.)$$

ASAI (eng. *Average Service Availability Index*), odnosno indeks prosječne raspoloživosti napajanja, je vrijeme isporučene energije podijeljen s vremenom pretplaćenih sati željene energije. ASAI je najčešće promatran kroz period jednog mjeseca ili jedne godine, ali ga možemo računati za bilo koji period.

$$\text{ASAI} = 1 - \text{ASUI} \quad (3.12.)$$

ASAI, kao i ASUI, su vjerojatnosti bez mjerne jedinice, te mogu iznositi u iznosu od 0 do 1.

## 4. ANALIZA DISTRIBUCIJSKE MREŽE

U sljedećim primjerima rješavati ćemo problem realne distribucijske mreže, te za svaki od primjera određivati pokazatelje pouzdanosti.

Tablica 4.1. Zadani podaci o elementima mreže

<b>ELEMENT MREŽE</b>	<b>UČESTALOST OTKAZA <math>f_i</math> [kvar/god]</b>	<b>VRIJEME TRAJANJA KVARA <math>r_i</math> [h]</b>	<b>VRIJEME PREKIDA NAPAJANJA POTROŠAČA <math>D_i</math> [h/god]</b>
<b>Glavni vod 0-1</b>	0.2	6	1.2
<b>Glavni vod 1-2</b>	0.3	6	1.8
<b>Glavni vod 2-3</b>	0.3	6	1.8
<b>Glavni vod 3-4</b>	0.4	6	2.4
<b>Glavni vod 4-5</b>	0.5	6	3
<b>Ogranak 1-6</b>	0.4	3	1.2
<b>Ogranak 2-7</b>	0.6	3	1.8
<b>Ogranak 7-8</b>	0.4	3	1.2
<b>Ogranak 3-9</b>	0.4	3	1.2
<b>Ogranak 4-10</b>	0.4	3	1.2
<b>Ogranak 5-11</b>	0.4	3	1.2

U tablici su navedeni elementi mreže, te njihovi parametri, po kojima možemo računati pokazatelje pouzdanosti.

Učestalost otkaza  $f_i$  je pokazatelj koliko će se na pojedinom elementu mreže dogoditi kvar u nekom vremenu, najčešće je to po godini dana.

Vrijeme trajanja kvara  $r_i$ , kao što i sama riječ govori, je vrijeme trajanja kvara na nekom od elemenata mreže do ponovnog uspostavljanja mreže u funkcionalnost, i mjeri se u satima.

$$r_i = \frac{\sum f_i \cdot r_i}{\sum f_i} \text{ [h]} \quad (4.1.)$$

Vrijeme prekida napajanja potrošača,  $D_i$  je posljednji član ove tablice te on se dobije kao umnožak učestalosti otkaza  $f_i$  te vremena trajanja kvara  $r_i$ . Izražen je u satima po godini:

$$D_i = f_i * r_i \left[ \frac{h}{\text{god}} \right] \quad (4.2.)$$

*Tablica 4.2. Potrošački čvorovi*

<b>POTROŠAČKI ČVOR</b>	<b>BROJ POTROŠAČA <math>n_i</math></b>	<b>PROSJEČNO OPTEREĆENJE <math>L_i</math> [kW]</b>
<b>6</b>	200	2500
<b>7</b>	400	2000
<b>8</b>	650	1600
<b>9</b>	800	1200
<b>10</b>	1050	800
<b>11</b>	1300	500

U tablici 4.2. su navedeni potrošački čvorovi, koliko u svakom čvoru imamo potrošača te koliko je prosječno opterećenje u svakom čvoru. Iz ove tablice možemo zaključiti da se broj potrošača  $n_i$  i prosječno opterećenje  $L_i$  povećava kako idemo prema kraju mreže.

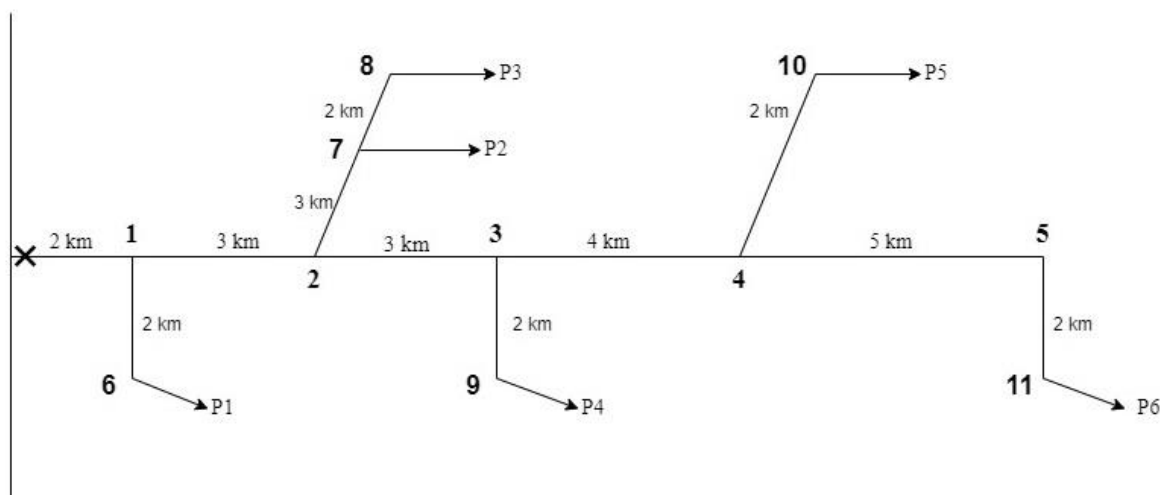
#### 4.1. Distribucijska mreža – primjer 1

U ovom primjeru, prikazana je shema distribucijske mreže i njezinih potrošača. Brojevima od 1-11 označeni su čvorovi, te su prikazani vodovi s njihovim zadanim duljinama.

Na početku voda stavljen je prekidač koji služi za prekid pogona od napajanja u slučaju kvara na nekim od prikazanih elemenata mreže. Prekidač je sklopni aparat koji trajno uspostavlja, trajno provodi i prekida struje u normalnim pogonskim uvjetima te koji podnosi i prekida struje kratkog spoja.

U shemi su prikazani glavni vodovi i ogranci, glavni koji se nalaze na ravnoj liniji te ogranci koji „izlaze“ iz glavnih vodova te spajaju glavni vod s potrošačima. Glavni vodovi su 0-1 duljine 2 km, 1-2 duljine 3 km, 3-4 duljine 4 km te 4-5 duljine 5 km.

U čvoru 1, prikazan je prvi potrošač P1, te ogranak 1-6 duljine 2km. Nadalje, u čvoru 2, prikazana su dva potrošača, P2 i P3, te ogranci 2-7 duljine 3km i 7-8 duljine 2km. U trećem čvoru nalazi se potrošač P4, te ogranak 3-9 duljine 2 km. Sljedeći, četvrti čvor sadrži potrošač P5 te ogranak 4-10 koji vodi do potrošača, duljine 2 km. Posljednji čvor je čvor 5, sadrži potrošač P6 te ogranak 5-11 koji je duljine također 2 km.



Slika 4.1. Shema potrošača - primjer 1

Za ovu mrežu, učestalost otkaza  $f_i$ , računa se tako da zbrojimo učestalost otkaza za svaki element, odnosno za svaki pojedini vod i ogranak:

$$f_{i_{pr1}} = f_{0-1} + f_{1-2} + f_{2-3} + f_{3-4} + f_{4-5} + f_{1-6} + f_{2-7} + f_{7-8} + f_{3-9} + f_{4-10} + f_{5-11} = 0.2 + 0.3 + 0.3 + 0.4 + 0.5 + 0.4 + 0.6 + 0.4 + 0.4 + 0.4 + 0.4 = 4.3 \text{ [kvar/god]}.$$

Također, vrijeme prekida napajanja potrošača  $D_i$  računamo tako da zbrojimo vrijeme prekida napajanja potrošača u svakom pojedinom elementu mreže:

$$D_{i_{pr1}} = D_{0-1} + D_{1-2} + D_{2-3} + D_{3-4} + D_{4-5} + D_{1-6} + D_{2-7} + D_{7-8} + D_{3-9} + D_{4-10} + D_{5-11} = 1.2 + 1.8 + 1.8 + 2.4 + 3 + 1.2 + 1.8 + 1.2 + 1.2 + 1.2 + 1.2 = 18 \text{ [h/god]}.$$

Što se tiče pokazatelja pouzdanosti, u ovom primjeru iznose:

$$SAIFI_{pr1} = \frac{\sum f_i \cdot n_i}{n_i} = \frac{4.3 \cdot 200 + 4.3 \cdot 400 + 4.3 \cdot 650 + 4.3 \cdot 800 + 4.3 \cdot 1050 + 4.3 \cdot 1300}{200 + 400 + 650 + 800 + 1050 + 1300} = 4.3$$

$$SAIDI_{pr1} = \frac{\sum D_i \cdot n_i}{n_i} = \frac{18 \cdot 200 + 18 \cdot 400 + 18 \cdot 650 + 18 \cdot 800 + 18 \cdot 1050 + 18 \cdot 1300}{200 + 400 + 650 + 800 + 1050 + 1300} = 18 \text{ [h]}$$

$$CAIDI_{pr1} = \frac{SAIDI_{pr1}}{SAIFI_{pr1}} = \frac{18}{4.3} = 4.186 \text{ [h]}$$

$$ENS_{pr1} = \sum L_i \cdot D_i = 500 \cdot 1.2 + 800 \cdot 1.8 + 1200 \cdot 1.2 + 1600 \cdot 1.2 + 2000 \cdot 1.2 + 2500 \cdot 1.2 = 10.8 \text{ [kWh]}$$

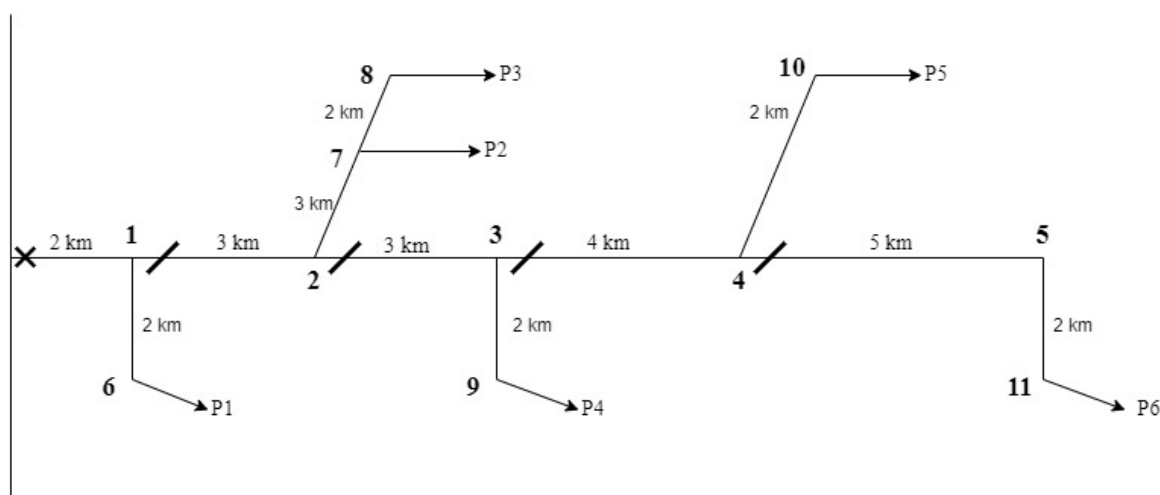
$$AENS_{pr1} = \frac{\sum L_i \cdot D_i}{\sum n_i} = \frac{10800}{200 + 400 + 650 + 800 + 1050 + 1300} = 2.455 \text{ [kWh/god]}$$

Nadalje, u primjerima 2 i 3, koristiti će se shema iste strukture, s istim vodovima i potrošačima, ali s dodatnim elementima mreže koji će kasnije biti detaljno opisani.

## 4.2. Distribucijska mreža – primjer 2

U drugom primjeru, u distribucijsku mrežu nadodali smo rastavljače prije svakog glavnog voda. Rastavljači služe za vidljivo odvajanje dijela postrojenja koji nije pod naponom od dijela postrojenja koji je pod naponom. Rastavljači služe i da bi se zaštitilo osoblje koje upravlja samim postrojenjem. Također, služe i da bi se omogućio pristup pojedinim elementima postrojenja dok su ostali dijelovi postrojenja u aktivnom pogonu.

U ovom primjeru postavljena su četiri rastavljača, jedan rastavljač na svaki dio glavnog voda između dva susjedna čvora. Vrijeme lokaliziranja kvara u ovom primjeru iznosi jedan sat, to znači da će se u jedan sat odrediti na kojem mjestu postrojenja je nastao kvar, te će se u tom vremenu ponovno uključiti sve dionice mreže koje nisu bile zahvaćene ovim kvarom.



Slika 4.2. Shema potrošača - primjer 2

Prekidom napajanja u čvoru 11,  $f_{i11}$  će iznositi 4.3 [kvar/god]. Vrijeme trajanja kvara  $r_{i11}$ , dobije se kao:

$$r_{i11} = \frac{\sum f_i * r_i}{\sum f_i} = \frac{(0.2+0.3+0.3+0.4+0.5)*6+(2+0.6)*3}{4.3} = 4.186 \text{ [h]}$$

Vrijeme prekidanja napajanja potrošača dobije se kao umnožak učestalosti otkaza  $f_i$  te vremena trajanja kvara  $r_i$ ,  $i$  u ovom čvoru iznosi:

$$D_{i11} = f_{i11} * r_{i11} = 4.3 * 4.186 = 18 \text{ [h/god]}$$



U čvoru 10, učestalost otkaza  $f_{i10}$  nam se ne razlikuje od prethodnog čvora, te iznosi  $f_{i10} = 4.3$  [kvar/god]. Kako dijelovi voda 4-5 i 5-11 nisu nužni za napajanje potrošača u čvoru 10, u slučaju kvara na tim dionicama, potrošač u čvoru 10 ostat će bez napajanja onoliko vremena koliko je potrebno da se kvar lokalizira. U izračunu vremena trajanja kvara učestalosti kvara spomenutih dionica množe se s vremenom lokalizacije kvara (1h), a ne s vremenom trajanja popravka tih dionica:

$$r_{i10} = \frac{\sum f_i * r_i}{\sum f_i} = \frac{(0.2+0.3+0.3+0.4)*6+(0.5+0.4)*1+(0.4+0.4+0.6+0.4+0.4)*3}{4.3} = 3.419 \text{ [h]}$$

Stoga, posljedično nam je manje i vrijeme napajanja potrošača u čvoru 10:

$$D_{i10} = f_{i10} * r_{i10} = 4.3 * 3.419 = 14.7 \text{ [h/god]}$$

U 9. čvoru, učestalost otkaza se također ne mijenja,  $f_{i9} = 4.3$  [kvar/god]. Vrijeme trajanja kvara se smanjuje u odnosu na 10. čvor, te iznosi:

$$r_{i9} = \frac{\sum f_i * r_i}{\sum f_i} = \frac{(0.2+0.3+0.3)*6+(0.4+0.4+0.5+0.4)*1+(0.4+0.6+0.4+0.4)*3}{4.3} = 2.767 \text{ [h]}$$

Posljedično, manje je i vrijeme napajanja potrošača  $D_{i9}$ :

$$D_{i9} = f_{i9} * r_{i9} = 4.3 * 2.767 = 11.9 \text{ [h/god]}$$

Prekidom u čvoru 8, učestalost otkaza ostaje ista,  $f_{i8} = 4.3$  [kvar/god]. Također, smanjuje nam se i vrijeme trajanja kvara, jer imamo samo dva voda, vod 0-1 i vod 1-2, koji nam imaju najveće vrijeme trajanja kvara:

$$r_{i8} = \frac{\sum f_i * r_i}{\sum f_i} = \frac{(0.2+0.3)*6+(0.3+0.4+0.4+0.4+0.5+0.4)*1+(0.6+0.4+0.4)*3}{4.3} = 2.233 \text{ [h]}$$

Vrijeme napajanja potrošača  $D_{i8}$  je:

$$D_{i8} = f_{i8} * r_{i8} = 4.3 * 2.233 = 9.6 \text{ [h/god]}$$

U čvoru 7, učestalost otkaza ostaje ista,  $f_{i7} = 4.3$  [kvar/god]. Vrijeme kvara je isto kao i za čvor 8, budući da imamo istu granu, samo čvor koji je „bliži“ glavnom vodu:

$$r_{i7} = \frac{\sum f_i * r_i}{\sum f_i} = \frac{(0.2+0.3)*6+(0.3+0.4+0.4+0.5+0.4)*1+(0.6+0.4+0.4)*3}{4.3} = 2.233 \text{ [h]}$$

Sukladno tome, smanjit će nam se i vrijeme napajanja potrošača u čvoru 7:

$$D_{i7} = f_{i7} * r_{i7} = 4.3 * 2.233 = 9.6 \text{ [h/god]}$$

U posljednjem čvoru, učestalost otkaza mreže je ista kao i u prethodnim čvorovima,  $f_{i6} = 4.3$  [kvar/god]. Smanji nam se i vrijeme kvara u odnosu na prethodni čvor, jer uzimamo u obzir da će se samo glavni vod 0-1 popravljati 6h i ogranak 1-6 će se popravljati 3h, a svi ostali elementi mreže će biti lokalizirani kroz 1h:

$$r_{i6} = \frac{\sum f_i * r_i}{\sum f_i} = \frac{0.2 * 6 + (0.3 + 0.6 + 0.4 + 0.3 + 0.4 + 0.4 + 0.4 + 0.5 + 0.4) * 1 + 0.4 * 3}{4.3} = 1.419 \text{ [h]}$$

S time je jasno da će i vrijeme napajanja potrošača u čvoru 6 biti manje:

$$D_{i6} = f_{i6} * r_{i6} = 4.3 * 1.419 = 6.1 \text{ [h/god]}$$

Pokazatelji pouzdanosti u primjeru 2 iznose:

$$SAIFI_{pr2} = \frac{\sum f_i * n_i}{n_i} = \frac{4.3 * 200 + 4.3 * 400 + 4.3 * 650 + 4.3 * 800 + 4.3 * 1050 + 4.3 * 1300}{200 + 400 + 650 + 800 + 1050 + 1300} = 4.3$$

$$SAIDI_{pr2} = \frac{\sum D_i * n_i}{n_i} = \frac{18 * 200 + 14.7 * 400 + 11.9 * 650 + 9.6 * 800 + 9.6 * 1050 + 6.3 * 1300}{200 + 400 + 650 + 800 + 1050 + 1300} = 9.839 \text{ [h]}$$

$$CAIDI_{pr2} = \frac{SAIDI_{pr2}}{SAIFI_{pr2}} = \frac{9.839}{4.3} = 2.288 \text{ [h]}$$

$$ENS_{pr2} = \sum L_i * D_i = 500 * 18 + 800 * 14.7 + 1200 * 11.9 + 1600 * 9.6 + 2000 * 9.6 + 2500 * 6.1 = 84.85 \text{ [kWh]}$$

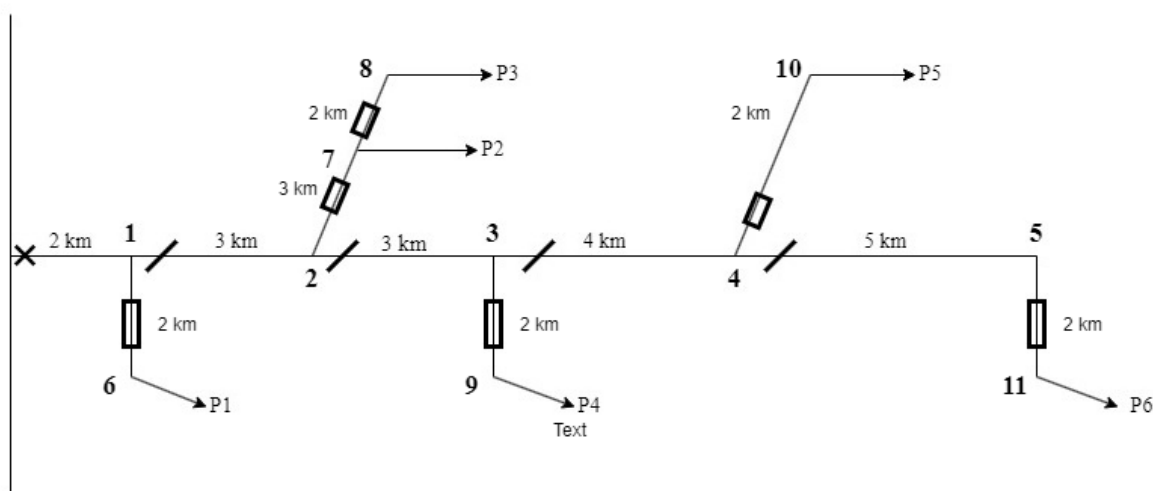
$$AENS_{pr2} = \frac{\sum L_i * D_i}{\sum n_i} = \frac{84850}{200 + 400 + 650 + 800 + 1050 + 1300} = 19.284 \text{ [kWh/god]}$$

Dodavanjem rastavljača ispred glavnih vodova, postigla se manja učestalost otkaza  $f_i$  i kraće vrijeme trajanja kvara  $r_i$ . Nadalje, samim time postiglo se i smanjenje ukupnog trajanja prekida potrošača distribucijske mreže, odnosno SAIDI, te smanjenje prosječnog vremena trajanja jednog prekida po potrošaču koji je osjetio prekid napajanja (CAIDI), jer je on proporcionalan sa SAIDI-jem. Parametar SAIFI se nije promijenio, budući da on ovisi o učestalosti otkaza u čvorovima  $f_i$  te broju potrošača  $n_i$ , koji je uvijek konstantan u prva dva primjera. Što se energije tiče, ENS i AENS su dakako veći nego u prvom primjeru, što je i lako zaključiti jer su nam vremena prekida napajanja  $D_i$  višestruko veća, a baš o tome i ovise ovi pokazatelji pouzdanosti.

### 4.3. Distribucijska mreža – primjer 3

U trećem primjeru, na već „nadodane“ rastavljače, dodali smo i osigurače. Osigurači su također sklopni aparati, te njihova je uloga zaštita elemenata od kratkog spoja. Pored toga, mogu služiti i za zaštitu od preopterećenja. Osigurači funkcioniraju tako da pregaranjem rastalnice prekidaju strujni krug, te tako omogućuju zaštitu samih elemenata pogona.

U našem slučaju, osigurači su postavljeni na svakom od ogranaka, tako da štite potrošače od eventualnih nepovoljnih prilika u mreži.



Slika 4.3. Shema potrošača - primjer 3

U trećem primjeru, kod prekida napajanja u čvoru 11, učestalost otkaza više nije 4.3 [kvar/god], kao u svim prethodnim primjerima. Učestalost otkaza se smanjuje zbog toga jer više ne pribrajamo sve elemente mreže, nego samo glavne vodove i ogranke koji, u slučaju kvara, prekidaju napajanje potrošača u čvoru 11. Stoga nam je:

$$f_{i11} = f_{i0-1} + f_{i1-2} + f_{i2-3} + f_{i3-4} + f_{i4-5} + f_{i5-11} = 0.2 + 0.3 + 0.3 + 0.4 + 0.5 + 0.4 = 2.1 \text{ [kvar/god]}.$$

Vrijeme trajanja kvara u ovom čvoru je najveće, budući da nemamo lokaliziranja kvara:

$$r_{i11} = \frac{\sum f_i \cdot r_i}{\sum f_i} = \frac{(0.2 + 0.3 + 0.3 + 0.4 + 0.5) \cdot 6 + 0.4 \cdot 3}{2.1} = 5.429 \text{ [h]}$$

Vrijeme prekida napajanja potrošača  $D_i$  u čvoru 11 je:

$$D_{i11} = f_{i11} \cdot r_{i11} = 2.1 \cdot 5.429 = 11.4 \text{ [h/god]}$$

U čvoru 10, učestalost otkaza je ista kao i u čvoru 11, ali u ovom slučaju pribrajamo ogranak 4-10:

$$f_{i10} = f_{i0-1} + f_{i1-2} + f_{i2-3} + f_{i3-4} + f_{i4-5} + f_{i4-10} = 0.2 + 0.3 + 0.3 + 0.4 + 0.5 + 0.4 = 2.1 \text{ [kvar/god]}.$$

Vrijeme trajanja kvara u čvoru 10 se smanjuje u odnosu na čvor 11, zato što u glavnom vodu 4-5 dolazi do lokaliziranja kvara te se samim time smanjuje i vrijeme:

$$r_{i10} = \frac{\sum f_i * r_i}{\sum f_i} = \frac{(0.2 + 0.3 + 0.3 + 0.4) * 6 + 0.5 * 1 + 0.4 * 3}{2.1} = 4.238 \text{ [h]}$$

Posljedično tome smanjuje se i  $D_i$ :

$$D_{i10} = f_{i10} * r_{i10} = 2.1 * 4.238 = 8.9 \text{ [h/god]}$$

U devetome čvoru, učestalost otkaza se također ne mijenja, samo umjesto ogranka 4-10 pribrajamo ogranak 3-9:

$$f_{i9} = f_{i0-1} + f_{i1-2} + f_{i2-3} + f_{i3-4} + f_{i4-5} + f_{i3-9} = 0.2 + 0.3 + 0.3 + 0.4 + 0.5 + 0.4 = 2.1 \text{ [kvar/god]}.$$

Vrijeme trajanja kvara se dodatno smanjuje, zbog glavnog voda 3-4 kod kojeg dolazi do lokaliziranja kvara:

$$r_{i9} = \frac{\sum f_i * r_i}{\sum f_i} = \frac{(0.2 + 0.3 + 0.3) * 6 + (0.4 + 0.5) * 1 + 0.4 * 3}{2.1} = 3.286 \text{ [h]}$$

Smanjenjem  $r_i$ , smanjuje se i  $D_i$ :

$$D_{i9} = f_{i9} * r_{i9} = 2.1 * 3.286 = 6.9 \text{ [h/god]}$$

Kod 8. čvora, povećava se učestalost otkaza, jer ukupnoj učestalosti otkaza dodajemo učestalost otkaza ogranaka 2-7 i 7-8:

$$f_{i8} = f_{i0-1} + f_{i1-2} + f_{i2-3} + f_{i3-4} + f_{i4-5} + f_{i2-7} + f_{i7-8} = 0.2 + 0.3 + 0.3 + 0.4 + 0.5 + 0.6 + 0.4 = 2.7 \text{ [kvar/god]}.$$

Vrijeme trajanja kvara u čvoru 8 se smanjuje jer sada imamo lokaliziranje glavnih vodova 2-3, 3-4 te 4-5:

$$r_{i8} = \frac{\sum f_i * r_i}{\sum f_i} = \frac{(0.2 + 0.3) * 6 + (0.3 + 0.4 + 0.5) * 1 + (0.6 + 0.4) * 3}{2.7} = 2.667 \text{ [h]}$$

Zbog povećanja učestalosti otkaza, dobivamo veće vrijeme napajanja potrošača nego kod čvora 9:

$$D_{i8} = f_{i8} * r_{i8} = 2.7 * 2.667 = 7.2 \text{ [h/god]}$$

U čvoru 7, učestalost otkaza se smanjuje u odnosu na čvor 8, budući da pribrajamo samo ogranak 2-7, a ne i ogranak 7-8:

$$f_{i7} = f_{i0-1} + f_{i1-2} + f_{i2-3} + f_{i3-4} + f_{i4-5} + f_{i2-7} = 0.2 + 0.3 + 0.3 + 0.4 + 0.5 + 0.6 = 2.3 \text{ [kvar/god].}$$

S time nam se neznatno smanjuje i vrijeme trajanja kvara:

$$r_{i7} = \frac{\sum f_i * r_i}{\sum f_i} = \frac{(0.2+0.3)*6 + (0.3+0.4+0.5)*1 + (0.6)*3}{2.3} = 2.609 \text{ [h]}$$

Smanjenjem ovih dvaju članova, smanjuje se i vrijeme napajanja potrošača:

$$D_{i7} = f_{i7} * r_{i7} = 2.3 * 2.609 = 6 \text{ [h/god]}$$

U posljednjem čvoru, čvoru 6, učestalost otkaza nam je ista kao i kod prvih tri čvora, ali uz glavne vodove sada pribrajamo i ogranak 1-6:

$$f_{i6} = f_{i0-1} + f_{i1-2} + f_{i2-3} + f_{i3-4} + f_{i4-5} + f_{i1-6} = 0.2 + 0.3 + 0.3 + 0.4 + 0.5 + 0.4 = 2.1 \text{ [kvar/god].}$$

Vrijeme trajanja kvara je najmanje dosad, i iznosi:

$$r_{i6} = \frac{\sum f_i * r_i}{\sum f_i} = \frac{0.2*6 + (0.3+0.3+0.4+0.5)*1 + 0.4*3}{2.1} = 1.857 \text{ [h]}$$

Sukladno tome, najmanje nam je i vrijeme napajanja potrošača:

$$D_{i6} = f_{i6} * r_{i6} = 2.1 * 1.857 = 3.9 \text{ [h/god]}$$

Pokazatelji pouzdanosti u posljednjem primjeru iznose:

$$SAIFI_{pr3} = \frac{\sum f_i * n_i}{n_i} = \frac{2.1*200 + 2.1*400 + 2.1*650 + 2.7*800 + 2.3*1050 + 2.1*1300}{200+400+650+800+1050+1300} = 2.257$$

$$SAIDI_{pr3} = \frac{\sum D_i * n_i}{n_i} = \frac{11.4*200 + 8.9*400 + 6.9*650 + 7.2*800 + 6*1050 + 3.9*1300}{200+400+650+800+1050+1300} = 6.239 \text{ [h]}$$

$$CAIDI_{pr3} = \frac{SAIDI_{pr3}}{SAIFI_{pr3}} = \frac{6.239}{2.257} = 2.765 \text{ [h]}$$

$$ENS_{pr3} = \sum L_i * D_i = 500*11.4 + 800*8.9 + 1200*6.9 + 1600*7.2 + 2000*6 + 2500*3.9 = 54.37 \text{ [kWh]}$$

$$AENS_{pr3} = \frac{\sum L_i * D_i}{\sum n_i} = \frac{54370}{200+400+650+800+1050+1300} = 12.357 \text{ [kWh/god]}$$

Postavljanjem osigurača u svaku granu s ogrankom, postignuta je još niža učestalost otkaza u čvorovima i još manje vrijeme trajanja kvara nego kod primjera broj 2, pa nam je time manje i

vrijeme prekida napajanja potrošača. Usporedivši treći primjer s drugim, vrijednosti nam se smanjuju do najviše 45%, a uspoređujemo li treći primjer s prvim primjerom, razlike prelaze čak i 55%. SAIFI i SAIDI su također manji nego u drugom primjeru, i to za oko pola vrijednosti. CAIDI je skoro identičan, budući da je on omjer SAIDI-a i SAIFI-a. ENS je skoro dvostruko manji nego u drugom primjeru, kao i AENS.

#### 4.4. Usporedba pokazatelja pouzdanosti distribucijske mreže

U ovom potpoglavlju iznijeti će se usporedbe između gore riješenih primjera. U prvoj tablici biti će prikazana usporedba pokazatelja pouzdanosti između prethodnih 3 primjera.

Tablica 4.3. Pokazatelji pouzdanosti u prethodnim primjerima

	PRIMJER 1	PRIMJER 2	PRIMJER 3
<b>SAIFI [-]</b>	4.3	4.3	2.257
<b>SAIDI [h]</b>	18	9.839	6.239
<b>CAIDI [h]</b>	4.186	2.288	2.765
<b>ENS [kWh]</b>	10.8	84.85	54.37
<b>AENS [kWh/god]</b>	2.455	19.284	12.357

Što se tiče SAIFI-ja i SAIDI-ja, oni su nam je najmanji u posljednjem primjeru. Međutim, CAIDI ima najmanju vrijednost u drugome primjeru, no neznatno manju od one u trećem primjeru. ENS i AENS su najmanji u prvom primjeru, što se može i napamet zaključiti budući da u prvom primjeru imamo najmanje vrijeme prekida pojedinog potrošača.

U drugoj tablici biti će iznesene razlike između osnovnih pokazatelja pouzdanosti u čvoru koji je najudaljeniji od mreže te čvoru koji je najbliži samom izvoru.

Tablica 4.4. Osnovni pokazatelji pouzdanosti u čvorovima

		PRIMJER 1	PRIMJER 2	PRIMJER 3
<b>ČVOR NAJBLIŽI IZVORU – ČVOR 6</b>	<b>f<sub>i6</sub> [kvar/god]</b>	0.4	4.3	2.1
	<b>r<sub>i6</sub> [h]</b>	3	1.419	1.857
	<b>D<sub>i6</sub> [h/god]</b>	1.2	6.1	3.9
<b>ČVOR NAJUDALJENIJI IZVORU – ČVOR 11</b>	<b>f<sub>i11</sub> [kvar/god]</b>	0.4	4.3	2.1
	<b>r<sub>i11</sub> [h]</b>	3	4.186	5.429
	<b>D<sub>i11</sub> [h/god]</b>	1.2	18	11.4

Iz ove tablice možemo zaključiti da, kako se udaljavamo od izvora, tako rastu vrijednosti vremena lokaliziranja kvara  $r_i$ , te posljedično tome i vremena napajanja potrošača u čvoru,  $D_i$ .



## 5. ZAKLJUČAK

Dan danas, susrećemo se sa sve više novih tehnologija, vrsta uređaja i različitih potrošača koji imaju svoje zahtjeve za konstantnim i efektivnim napajanjem. Stoga, važno nam je imati kvalitetno napajanje električnom energijom, koje će omogućiti nesmetan i bezbrižan rad krajnjih korisnika u kojoj god grani industrije se nalazili. Znamo da je, zbog nebrojno mnogo čimbenika koji utječu na elektroenergetski sustav, nemoguće ostvariti konstantno napajanje električnom energijom, međutim, možemo kupcima omogućiti zadovoljavajuću i prihvatljivu razinu pouzdanosti napajanja.

Pouzdanost je sposobnost elektroenergetskog sustava da ostvari konstantnu opskrbu prema potrošačima, te je jedno od područja kojim se bavi kvaliteta električne energije. Svim vrstama klijenata pouzdanost napajanja implicira se na različite načine. Čak i kratki prekidi mogu rezultirati značajnim financijskim gubicima za velike industrijske i poslovne korisnike, iako prekidi u velikoj mjeri znače da kućanstva ne mogu koristiti svoje električne uređaje, koji su neophodni za egzistenciju modernog čovjeka. Shodno tome, pouzdanost je vrlo bitna stavka elektroenergetskog sustava, kako s energetskog, tako i s tehničkog gledišta.

Pouzdanost se opisuje pokazateljima pouzdanosti, te su upravo oni bili tema ovog završnog rada. Distribucijski sustav sadrži pregršt pokazatelja pouzdanosti, no nama najbitniji su SAIFI, SAIDI, CAIDI, ENS i AENS. S ovim pokazateljima možemo s lakoćom odrediti što se događa u sustavu, te pouzdanost samog sustava. Ukupno povećavanje pouzdanosti sustava postićemo sklopnim aparatima, odnosno prekidačima, rastavljačima i osiguračima, što smo i dokazali u primjeru završnog rada.

Dodavanjem rastavljača u mrežu, postigli smo manju učestalost otkaza  $f_1$  i kraće vrijeme trajanja kvara  $r_1$ . Samim time, postigli smo povećanje pokazatelja pouzdanosti mreže i ukupne pouzdanosti u sustavu. Ugradnjom osigurača u svaki ogranak, omogućili smo još nižu učestalost kvarova čvorova i kraće razdoblje kvara nego u primjeru 2, što znači da imamo i manje vremena za prekid napajanja potrošača distribucijske mreže.

Zaključujemo da dodavanjem određenih sklopnih aparata, dobivamo povećanu pouzdanost distribucijske mreže. Ugrađivanjem sklopnih aparata u mrežu, povećava nam se i cijena samog postrojenja, zato je bitno ustanoviti koji su nam sklopni aparati potrebni za zadovoljavajuću kvalitetu energije koju prenosimo potrošačima.

## 6. LITERATURA

- [1] Brown, R. : “Electric Power Distribution Reliability“, Marcel Dekker, New York, 2002.
- [2] Živić Đurović, M.: “Proračun pouzdanosti distribucijskih mreža“, s Interneta, [https://moodle.srce.hr/2022-2023/pluginfile.php/7795721/mod\\_resource/content/0/13\\_14\\_Proracun%20pouzdanosti.pdf](https://moodle.srce.hr/2022-2023/pluginfile.php/7795721/mod_resource/content/0/13_14_Proracun%20pouzdanosti.pdf), 12.4.2023.
- [3] Katić, V.; Tokić A.; Konjić T.: “Kvalitet električne energije“, Novi Sad, 2007.
- [4] Nahman, J. : „Razvodna postrojenja“, Beograd, 2005.
- [5] Tomašić, T.; Mešić, D.; Tunjić, A.: “ POKAZATELJI POUZDANOSTI NAPAJANJA KAO KRITERIJI ZA PLANIRANJE“, Opatija, 2018.
- [6] Mungall, A.: „RIIO-ET1 Annual Report 2017-18“, s Interneta, [https://www.ofgem.gov.uk/sites/default/files/docs/2019/03/riio\\_et\\_2018\\_19\\_annualreport\\_final\\_version\\_published.pdf](https://www.ofgem.gov.uk/sites/default/files/docs/2019/03/riio_et_2018_19_annualreport_final_version_published.pdf)
- [7] Komen, V. : „Proračun pouzdanosti elektroenergetskih mreža“, s Interneta

## 7. POPIS KRATICA I OZNAKA

SAIFI – (eng. *System Average Interruption Frequency Index*), prosječan broj dugotrajnih prekida napajanja mreže

SAIDI – (eng. *System Average Interruption Duration Index*), prosječno vrijeme trajanja prekida napajanja jednog potrošača

CAIDI – (eng. *Customer Average Interruption Duration Index*), prosječno vrijeme trajanja jednog prekida po potrošaču koji je osjetio prekid napajanja

ENS – (eng. *Energy Not Supplied*), neisporučena energija

AENS – (eng. *Average Energy Not Supplied*), prosječna neisporučena energija

MTTF – (eng. *Mean Time to Failure*), srednje vrijeme do kvara

MTTR – (eng. *Mean Time to Repair*), srednje vrijeme popravka

MTBF – (eng. *Mean Time between Failures*), srednje vrijeme između kvarova

ASUI – (eng. *Average Service Utility Index*), indeks prosječne neraspoloživosti napajanja

ASAI – (eng. *Average Service Availability Index*), indeks prosječne raspoloživosti napajanja

$f_i$  – učestalost otkaza

$r_i$  – vrijeme trajanja kvara

$D_i$  – vrijeme prekida napajanja potrošača

## **8. SAŽETAK RADA I KLJUČNE RIJEČI NA HRVATSKOM I ENGLISKOM JEZIKU**

Kvaliteta električne energije je često pogrešno shvaćen pojam, tako da je lakše nazvati ju kvalitetom napona. Kvalitetom napona smatra se mreža pravilnog sinusoidnog oblika, frekvencije 50 Hz. Kvalitetu električne energije možemo prikazati tzv. tehničkim parametrima, u koje ubrajamo veličinu napona, treperenje napona, propad napona, nesimetrija itd.

Pouzdanost je grana kvalitete električne energije, te predstavlja mjeru opskrbe elektroenergetskog sustava. Pouzdanost možemo gledati kao stabilnost i sigurnost distribucijskog sustava. Izražava se pokazateljima pouzdanosti, koji su bili temelj ovog završnog rada.

Pokazatelji pouzdanosti su mjere, odnosno indikatori koji pokazuju kako se distribucijski sustav ponaša. Jedni od najbitnijih su SAIFI, SAIDI, CAIDI, ENS i AENS.

Ključne riječi: kvaliteta električne energije, kvaliteta napona, pouzdanost, pokazatelji pouzdanosti

## **ABSTRACT AND KEY WORDS**

Power quality is an often misunderstood term, so voltage quality is easier to call it. The quality of the voltage is considered to be a network with a unvarying sinusoidal shape, with a frequency of 50 Hz. The quality of electricity can be represented by the so-called technical parameters, which include voltage magnitude, flickers, voltage drop, asymmetry, etc.

Reliability is a branch of the quality of electricity, and represents a measure of the supply of the power system. Reliability can be seen as the stability and security of the distribution system. It is expressed by reliability indicators, which were the basis of this final work.

Reliability indicators are measures and indicators which show how the distribution system behaves. One of the most important are SAIFI, SAIDI, CAIDI, ENS and AENS.

Key words: power quality, voltage quality, reliability, reliability indicators