

# Analiza strujno-naponskih prilika u aktivnoj distribucijskoj mreži

---

Tešić, Želimir

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

*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:200:964969>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-26**

*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

**Sveučilišni studij**

**ANALIZA STRUJNO-NAPONSKIH PRILIKA U  
AKTIVNOJ DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI**

**Završni rad**

**Želimir Tešić**

**Osijek, 2024.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1P: Obrazac za ocjenu završnog rada na sveučilišnom prijediplomskom studiju****Ocjena završnog rada na sveučilišnom prijediplomskom studiju**

|  |  |
|--|--|
| <b>Ime i prezime pristupnika:</b>  | Želimir Tešić  |
| <b>Studij, smjer:</b>  | Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija   |
| <b>Mat. br. pristupnika, god.</b>  | 5027, 27.07.2021.  |
| <b>JMBAG:</b>  | 0165090418   |
| <b>Mentor:</b>   | izv. prof. dr. sc. Krešimir Fekete   |
| <b>Sumentor:</b>   | Marina Dubravac, univ. mag. ing. el.   |
| <b>Sumentor iz tvrtke:</b>   |  |
| <b>Naslov završnog rada:</b>   | Analiza strujno-naponskih prilika u aktivnoj distribucijskoj mreži   |
| <b>Znanstvena grana završnog rada:</b>   | <b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>  |
| <b>Zadatak završnog rada:</b>  | U radu je potrebno objasniti evoluciju distribucijske mreže od pasivne ka aktivnoj. Na primjerima iz dostupne literature pokazati utjecaj distribuirane proizvodnje i aktivnih kupaca na struje i napone distribucijske mreže. Na vlastitom primjeru izvršiti proračun struja i napona u aktivnoj distribucijskoj mreži.<br>Sumentorica sa FERIT-a: Marina Dubravac Tema rezervirana za: Želimir Tešić |
| <b>Datum prijedloga ocjene završnog rada od strane mentora:</b>  | 17.09.2024.  |
| <b>Prijedlog ocjene završnog rada od strane mentora:</b>   | Vrlo dobar (4)   |
| <b>Datum potvrde ocjene završnog rada od strane Odbora:</b>  | 25.09.2024.  |
| <b>Ocjena završnog rada nakon obrane:</b>  | Vrlo dobar (4)   |
| <b>Datum potvrde mentora o predaji konačne verzije završnog rada čime je pristupnik završio sveučilišni prijediplomski studij:</b> | 29.09.2024.  |



**FERIT**

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

## IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Osijek, 29.09.2024.

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| Ime i prezime Pristupnika:          | Želimir Tešić  |
| Studij:                             | Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija |
| Mat. br. Pristupnika, godina upisa: | 5027, 27.07.2021.  |
| Turnitin podudaranje [%]:           | 8  |

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Analiza strujno-naponskih prilika u aktivnoj distribucijskoj mreži**

izrađen pod vodstvom mentora izv. prof. dr. sc. Krešimir Fekete

i sumentora Marina Dubravac, univ. mag. ing. el.

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis pristupnika:

# SADRŽAJ

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. UVOD</b> .....   | <b>1</b>  |
| 1.1. Zadatak završnog rada .....   | 2         |
| <b>2. PREGLED PODRUČJA RADA</b> .....  | <b>3</b>  |
| <b>3. AKTIVNE DISTRIBUCIJSKE MREŽE</b> .....   | <b>5</b>  |
| 3.1. Elektroenergetski sustav .....  | 5         |
| 3.2. Distribucijske mreže .....  | 6         |
| 3.2.1. Pasivne ili klasične distribucijske mreže .....   | 6         |
| 3.2.2. Prelazak s pasivnih distribucijskih mreža na aktivne distribucijske mreže .....                                 | 7         |
| 3.2.3. Aktivne distribucijske mreže .....  | 7         |
| 3.2.4. Pametne mreže .....   | 8         |
| <b>4. UTJECAJ DISTRIBUIRANE PROIZVODNJE NA STRUJNO-NAPONSKE PRILIKE U SREDNJONAPONSKOJ DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI</b> ..... | <b>10</b> |
| 4.1. Opis srednjonaponske distribucijske mreže .....   | 10        |
| 4.2. Opis simulacije .....   | 12        |
| 4.3. Rezultati proračuna.....  | 18        |
| 4.3.1. Naponi po sabirnicama .....   | 18        |
| 4.3.2. Opterećenje transformatora .....  | 23        |
| 4.3.3. Opterećenje vodova.....   | 27        |
| <b>5. ZAKLJUČAK</b> .....  | <b>32</b> |
| <b>LITERATURA</b> .....  | <b>33</b> |
| <b>SAŽETAK</b> .....   | <b>36</b> |
| <b>ABSTRACT</b> .....  | <b>37</b> |

## 1. UVOD

U posljednjih nekoliko godina dosadašnje pasivne (konvencionalne) distribucijske mreže (DM) s jednosmjernim tokovima snage postaju aktivne s dvosmjernim tokovima snage zbog sve veće integracije obnovljivih izvora energije (OIE) i sustava za pohranu energiju. Također, sve više krajnjih korisnika posjeduje električno vozilo (EV). Takvi krajnji korisnici koji proizvode električnu energiju i prodaju viškove u mrežu, nazivaju se u literaturi aktivni kupci i mogu uzrokovati različite probleme u mreži poput povišenja napona, preopterećenja elemenata mreže, povećane gubitke i slično. Stoga je takvu mrežu potrebno konstantno analizirati i vršiti proračune.

Autori u literaturi [1] analiziraju strujno-naponske prilike na primjeru stvarne DM s velikom integracijom fotonaponskih (FN) elektrana. Izvodi se proračun tokova snaga, gubitaka, kratkog spoja i kapacitet integracije FN na primjeru sredjonaponske (SN) DM. U literaturi [2] autori uz tehničke, proučavaju i ekonomske aspekte u svrhu istraživanja ekonomske isplativosti investicije. Literatura [3] temeljito proučava DM prilikom povezivanja različitih opterećenja na određena mjesta u DM. Autori literature [4] u svom istraživanju opisuju modeliranje niskonaponskih (NN) DM te analiziraju što se događa prilikom integracije FN u DM. Autori literatura [5] i [6] analiziraju probleme koji se pojavljuju prilikom integracije FN u mrežu. Literatura [7] obrađuje napredne tehnologije za kontrolu napona i volt-var kontrolu reaktivne snage. Autori istražuju strategije za učinkovito upravljanje naponom i reaktivnom snagom.

U ovome radu napravljen je proračun tokova snaga na SN aktivnoj DM. Proračun je podijeljen na dva dijela, za minimalnu i maksimalnu potrošnju te je u svakom dijelu proučavano po četiri različita scenarija spajanja distribuiranog izvora (DI), što u ovom slučaju predstavlja elektrana na biomasu. Analizirani su naponi na sabirnicama, opterećenja transformatora i opterećenja vodova.

Rad se sastoji od 5 poglavlja i započinje uvodom. U drugom poglavlju opisan je pregled područja rada i literature koja se bave analizom aktivnih DM. U većini slučajeva je korištena FN elektrana kao DI. Treće poglavlje sastoji se od opisa elektroenergetskog sustava, pasivnih i aktivnih DM te prijelaza iz pasivnih u aktivne mreže. Četvrto poglavlje, praktični dio rada sadrži analizu na vlastitom primjeru SN DM. Prikazani su padovi napona na sabirnicama, opterećenja transformatora te opterećenja vodova dobivena iz izvedenih proračuna. Mreža je modelirana u programskom paketu EasyPower. Posljednje poglavlje je zaključak gdje su prokomentirani rezultati, doneseni zaključci i moguća rješenja.

## **1.1. Zadatak završnog rada**

Zadatak završnog rada je objasniti evoluciju distribucijske mreže od pasivne ka aktivnoj. Na primjerima iz dostupne literature pokazati utjecaj distribuirane proizvodnje i aktivnih kupaca na struje i napone distribucijske mreže. Na vlastitom primjeru izvršiti proračun struja i napona u aktivnoj distribucijskoj mreži.

## 2. PREGLED PODRUČJA RADA

Autori u literaturi [1] analiziraju strujno-naponske prilike na primjeru stvarne DM s velikom integracijom FN elektrana. Izvodi se proračun tokova snaga, gubitaka, kratkog spoja i kapacitet integracije FN na primjeru SN DM. DM je modelirana u programskom paketu DIgSILENT Power Factory [8]. Simulacija je podijeljena u nekoliko slučajeva u kojima je ispitana različita razina integracije FN - 20%, 60% i 100%. Provedenim istraživanjem proizlazi zaključak da se povećanjem FN smanjuju gubici u mreži te da je struja kratkog spoja maksimalna pri vršnom opterećenju.

U literaturi [2] autori uz tehničke, proučavaju i ekonomske aspekte u svrhu istraživanja ekonomske isplativosti investicije. Uz FN elektrane analiziraju, vjetroelektrane (VE) i sustave za pohranu energije. Autori navode da postoje brojne prednosti od kojih je najvažnija smanjenje stakleničkih plinova. Paralelno s prednostima dolaze i nedostaci, poput osjetljivosti na vremenske uvjete i malog kapaciteta za generiranje električne energije (EE). Autori su zaključili da su, u njihovom slučaju, najisplativije opcije VE snage 5 kW i FN elektrana snage 1.5 kW. Prema rezultatima istraživanja dolaze do zaključka da sustavi za pohranu energije nisu isplativi u ovom slučaju. Naplatna tarifa ima veliku ulogu u ovom radu te je zaključeno da su varijabilne tarife isplativije od stalnih.

Literatura [3] temeljito opisuje značajke DM prilikom povezivanja različitih opterećenja na određena mjesta u DM. Potrošači povezani na različitim mjestima u DM imaju utjecaj na stabilnost DM. Ukoliko je opterećenje pozicionirano uz trafostanicu izaziva se prevelik napon i preopterećenje, odnosno kada se opterećenje nalazi na kraju voda dolazi do nestabilnog napajanja. Uz to autori su zaključili da prisustvom FN elektrana i sustava za pohranu energije u mreži dolazi do jačanja stabilnosti napona DM. Također i generator može doprinijeti poboljšanju napona te manjim gubicima u mreži.

Autori literature [4] u svom istraživanju opisuju modeliranje NN DM te analiziraju što se događa prilikom integracije FN u DM. Odrađuju automatizaciju modeliranja. Automatizacijom modeliranja se predstavlja da na postojeće modele SN DM, modeliranje se provodi pomoću programskog jezika Python. Istraživanje je rezultiralo visokom točnošću te je provedeno i testirano na ruralnim i urbanim mrežama. Integracijom FN u DM se povećava kapacitet mreže.



Zbog velike potražnje energije i ekonomskih neprilika dolazi naglog rasta broja FN elektrana. Autori literature [5] analiziraju probleme koji se pojavljuju prilikom integracije FN u mrežu. Integracijom energije u postojeće mreže dolazi do brojnih mana, poput prenapona i pojačanog gubitka snage, obrnutog toka snage, naponske nestabilnosti te komunikacijskih problema. Za uklanjanje nedostataka predloženo je nekoliko opcija. Prva opcija je razviti inteligentne releje ili invertere koji gase FN sustave kada vrijednost njihova izlaza padne ispod određene vrijednosti. Osim releja, ukazuju i na razvijanje dinamičkih sustava za pohranu energije.

Kao i u svim prethodnim literaturama, literatura [6] proučava probleme koji nastaju zbog integracije FN u DM. Autori rade istraživanje prilikom kojih analiziraju utjecaje na napon, snagu, stabilnost te sustav zaštite. Nakon analize predlažu rješenja za poboljšanje integracije FN. Kako bi se osigurao stabilan pogon DM, visoke učinkovitosti i stalne optimizacije preporučuju korištenje umjetne inteligencije.

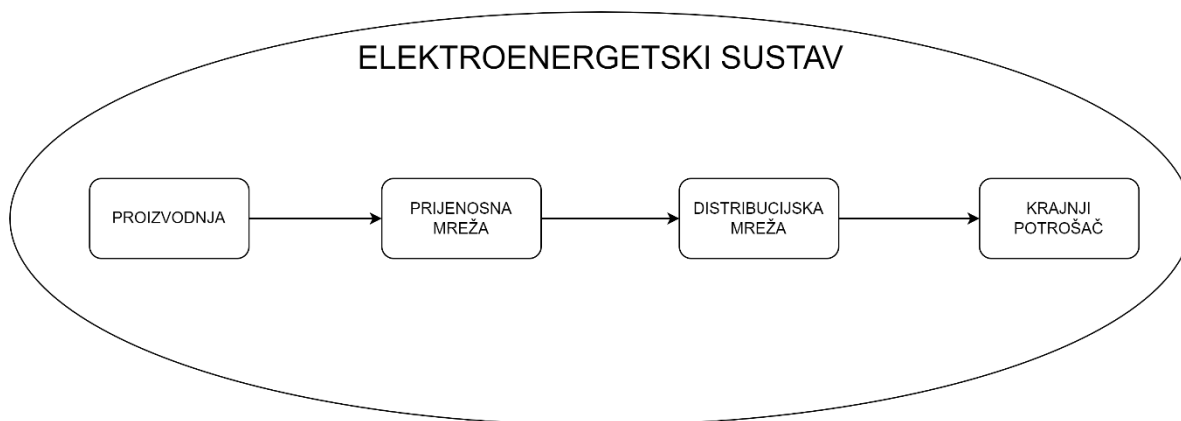
Literatura [7] obrađuje napredne tehnologije za kontrolu napona i volt-var kontrolu reaktivne snage. Autori istražuju strategije za učinkovito upravljanje naponom i reaktivnom snagom. Razmatraju se različite tehnologije kao što su pametni FN pretvarači, transformatori s promjenjivom preklopkom, upravljanje opterećenjem, kondenzatorske baterije, regulatori napona i tehnologije za optimizaciju napona. Posebna pozornost je okrenuta ka koordinaciji među različitim tehnologijama kako bi se postigla stabilnost i učinkovitost DM.

### 3. AKTIVNE DISTRIBUCIJSKE MREŽE

U ovom poglavlju obrađene su DM, njihova podjela, dok je naglasak na aktivnim DM i njihovim značajkama. Prvo je ukratko opisan elektroenergetski sustav.

#### 3.1. Elektroenergetski sustav

Elektroenergetski sustav (EES) složeni je tehničko-tehnološki sustav koji obuhvaća proizvodnju, prijenos, distribuciju i potrošnju električne energije jedne zemlje ili nekog područja. Sačinjavaju ga elektrane, transformatorske stanice (transformator), vodovi za prijenos i distribuciju (dalekovod; električni energetska vod) te uređaji za potrošnju električne energije (Slika 3.1.). Glavna je zadaća upravljanja sustavom osigurati da se u svakom trenutku svakom potrošaču može isporučiti onoliko EE kolika je njegova trenutačna potreba [9].



*Slika 3.1. Elektroenergetski sustav*

Proces proizvodnje EE započinje u elektranama. U svakom trenutku količina proizvedene EE mora biti jednaka količini potrošene EE [9]. Elektrane se dijele na konvencionalne ili obnovljive i na nekonvencionalne ili obnovljive. Neke od konvencionalnih elektrana su termoelektrane (TE), nuklearne elektrane (NE), dok su nekonvencionalne: FN elektrane, VE, elektrane na bioplin i biomasu.

Prijenosna mreža povezuje izvore energije, odnosno elektrane s DM. Glavna zadaća je prijenos velike količine energije na velike udaljenosti uz što manje gubitke. Za prijenos EE na velike

udaljenosti primjenjuje se visoki napon. U Europi je standardizirano 110 kV, 220 kV, 400 kV, a u svijetu i do 1000 kV.

Visoki napon se koristi za smanjenje gubitaka. Prema Joulovom zakonu gubici rastu sa porastom struje, što je struja veća, gubici su veći [10]. Zato s većim naponom, struja prijenosa je manja i naposljetku gubici su manji.

Potrošač se odnosi na sve krajnje korisnike, odnosno uređaje koji upotrebljavaju EE za obavljanje svog rada. Potrošači su uređaji, motori i aparati u kojima se EE pretvara u korisne oblike energije [11]. Korisni oblici energije koji se koriste u kućanstvima su toplinska, svjetlosna, mehanički rad i kemijska energija.

## **3.2. Distribucijske mreže**

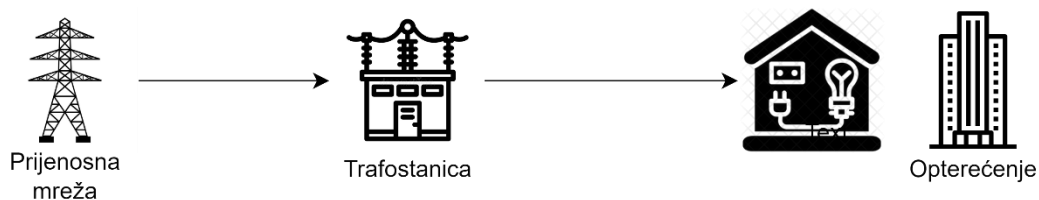
DM su sustavi koji prenose električnu energiju od prijenosnih mreža ili od izvora električne energije do krajnjih korisnika. Ove mreže služe za opskrbu EE rezidencijalnim, komercijalnim i industrijskim potrošačima te se sastoje od raznih komponenata kao što su transformatori, vodovi i distribucijske stanice [12].

### **3.2.1. Pasivne ili klasične distribucijske mreže**

Pasivne DM su tradicionalni sustavi za distribuciju električne energije u kojima se EE prenosi jednosmjerno od izvora prema potrošačima. U ovim mrežama nema integriranih uređaja za upravljanje ili povrat energije u mrežu, što ih čini jednostavnijima, ali manje fleksibilnima u odnosu na aktivne DM [13].

Zbog centraliziranog načina rada tradicionalne mreže, EE se proizvodi u elektranama i prenosi do potrošača pomoću vodova prije nego što se distribuira krajnjim korisnicima, odnosno potrošačima, putem DM, dok primjenom centralne strategije kontrole je omogućen nadzor mreže na svim razinama. Stoga, SN i NN DM se može promatrati kao "pasivna" opterećenja energetskog sustava [14].

Pasivna DM prikazana je na slici 3.2. [15, 16, 17, 18, 19].



*Slika 3.2. Pasivna distribucijska mreža [15, 16, 17, 18, 19]*

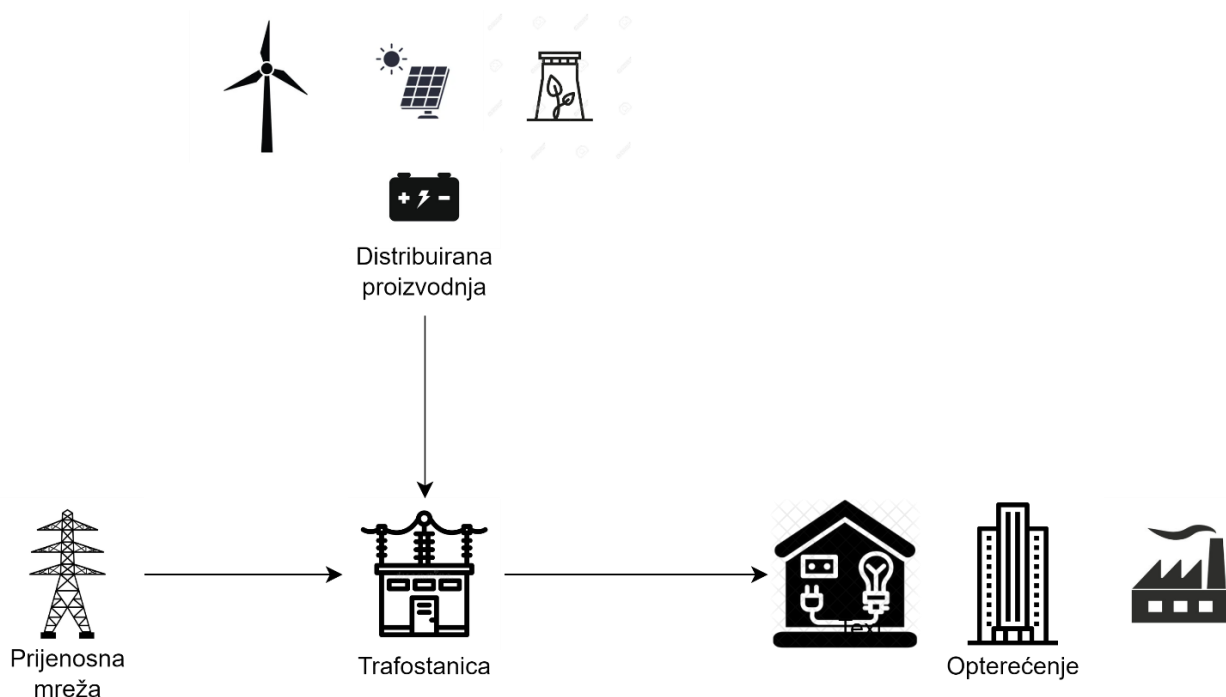
### **3.2.2. Prelazak s pasivnih distribucijskih mreža na aktivne distribucijske mreže**

Uslijed dinamične promjene opterećenja dolazi do problema s postojećom električnom mrežom, što je pridonijelo integraciji DI. DI se sastoji od nekoliko dijelova: sustava distribuirane proizvodnje (DP), sustava za pohranu energije, upravljanja potrošnjom, kao i sustava za upravljanje energijom te mikromreže. Zbog pravilnog protoka i kontrole te zaštite električne mreže, DI su pozicionirani u neposrednoj okolici krajnjeg korisnika (npr. FN elektrane na krovovima obiteljskih kuća). Mreže su prinuđene da rade kao aktivni distribucijski sustavi s neprekidnom kontrolom i optimizacijom više DI, jer priključivanjem periodičnih DI dolazi do narušavanja fleksibilnosti, izdržljivosti i stabilnosti, zbog toga što su DM konstruirane prema maksimalnim ili prosječnim uvjetima opterećenja [14].

### **3.2.3. Aktivne distribucijske mreže**

Aktivna DM definirana je kao modernizirana DM koja uključuje distribuirane ili decentralizirane izvore energije s mogućnostima rada i kontrole u realnom vremenu, integrira napredne informacijske i komunikacijske tehnologije. Ključna značajka je dvosmjernan protok energije između izvora i krajnjeg korisnika, a ključne komponente od kojih se aktivna DM sastoji su pametna brojila, DI te sustavi za upravljanje energijom [14].

Aktivna DM prikazana je na slici 3.3. [15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23].



*Slika 3.3. Aktivna distribucijska mreža [15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23]*

Bez obzira što klasična mreža teži prema obliku i radu pametne mreže, zadaća električne mreže ostaje da uz ravnotežu proizvodnje, potrošnje i gubitaka nesmetano, stabilno i efikasno dovodi EE krajnjim korisnicima, no prilikom uvođenja DI dolazi do poremećaja ravnoteže i pojave dvosmjernih tokova energije. Daljim razvojem dolazi do povećanja DI što još više utječe na poremećaj ravnoteže i otežava vraćanje prvobitne stabilnosti sustava. Stoga, DM stalnim nadzorom mreže mora osigurati neprekidnu opskrbu EE, da bi se to pravovremeno odradilo potrebno automatizirati, unaprijediti zaštitu i kontrolu te omogućiti dvosmjernan prijenos informacija [14].

#### **3.2.4. Pametne mreže**

Razvojem pametnih mreža dolazi i do evolucije DM, integracijom DI i mikromreža, mreže su sve kompleksnije. Posljedično, uporaba nove opreme i raznih komunikacijskih mogućnosti, dovodi do izrade inteligentnih elektroničkih uređaja, raznih vrsta senzora te pametnih brojila. Osim nadzora, aktivna DM, uz pomoć odgovarajućih naprednih senzora, ima sposobnost predviđanja svog razvojnog puta i paralelno s time osmišljavanje koordiniranih strategija za veću operativnu učinkovitost te bolju pouzdanost sustava [14].

Aktivna DM može se realizirati isključivo uz podršku različitih podsustava u mreže, jer zbog svog primarnog zadatka i arhitekture nalikuje na pametnu mrežu. Veza između pametne mreže i aktivne DM vidljiva je iz hijerarhijskog prikaza slojeva mreže, a sastoji se od:

1) sloja energetskeg sustava, služi za proizvodnju, prijenos i distribucije energije te sustave za korisnike;

2) sloja kontrole energije, koristi se za nadzor, kontrolu te upravljanje;

3) sloj komunikacije i informacija, koji omogućuje dvosmjernu komunikaciju i prijenos informacija u pametnoj mreži;

4) sloj sigurnosti koji osigurava povjerljivost, integritet, autentifikaciju i dostupnost podataka;

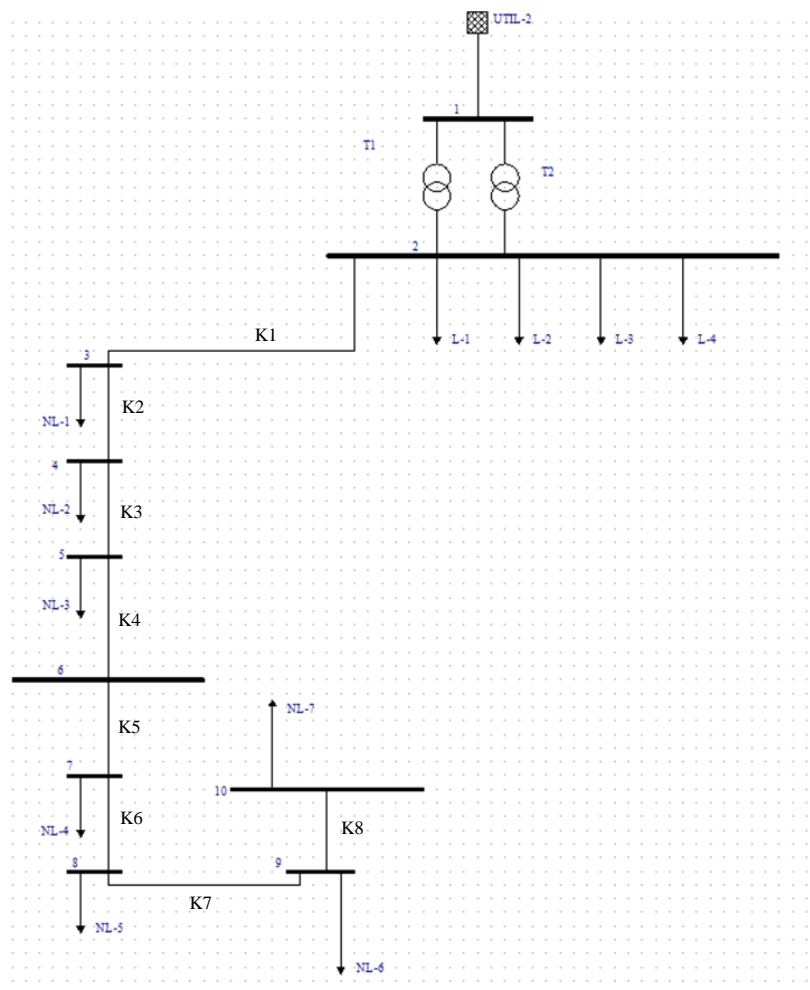
5) aplikacijskog sloja, služi za pružanje aplikacija pametne mreže korisnicima i energetskim tvrtkama uz uporabu komunikacijske i informatičke infrastrukture [14].

## 4. UTJECAJ DISTRIBUIRANE PROIZVODNJE NA STRUJNO-NAPONSKE PRILIKE U SREDNJONAPONSKOJ DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI

U ovom poglavlju prvo je opisana mreža sa svim parametrima. Nakon toga opisan je tijek proračuna i prokomentirani su dobiveni rezultati.

### 4.1. Opis srednjonaponske distribucijske mreže

SN DM sastoji se od dva transformatora 35/10 kV koji rade u paralelnom radu. U mreži se nalazi dvanaest sabirnica, od kojih su deset u baznom slučaju te dvije koje zajedno s DI priključene na različita mjesta u mreži. Jednofazna shema mreže modelirana u programskom paketu EasyPower je prikazana na slici 4.1.



Slika 4.1. Jednofazna shema mreže modelirana u programskom paketu EasyPower

Topologija mreže je radijalna. Preostali dio mreže modeliran je kao kruta mreža nakon toga su spojena dva transformatora potpuno jednakih parametara koji rade u paralelnom radu mrežu postavljaju na odgovarajuće naponske razine. Na sabirnici 2 se nalaze četiri trošila te vod kojim je povezana sa sabirnicom 3. Nastavno na nju slijede naredne sabirnice 4, 5, 6, 7, 8, 9 i 10 koje su povezane vodovima te svaka osim 6 sadrži po jedno trošilo. Parametri transformatora, trošila i vodova su prikazane u tablicama 4.1. – 4.3.

DP predstavlja elektrana na biomasu. Elektrana je spojena na mrežu preko transformatora 6,3/10 kV.

**Tablica 4.1.** Podaci o transformatorima.

| TRANSFORMATOR | PRIJENOSNI<br>OMJER | Sn [MVA] | Uk [%] |
|---------------|---------------------|----------|--------|
| T1            | 35/10               | 8        | 8      |
| T2            | 35/10               | 8        | 8      |
| T3            | 6,3/10              | 3        | 6      |

**Tablica 4.2.** Podaci o vodovima.

| OD-DO                | NAZIV | R [ $\Omega$ ] | L<br>[mH/km] | C[ $\mu$ F/km] | NAZIVNA<br>STRUJA[A] | DULJINA<br>[km] |
|----------------------|-------|----------------|--------------|----------------|----------------------|-----------------|
| 2-3                  | K1    | 0,1257         | 0,52         | 0,450          | 480                  | 3               |
| 3-4                  | K2    | 0,1257         | 0,52         | 0,450          | 480                  | 3               |
| 4-5                  | K3    | 0,1257         | 0,52         | 0,450          | 480                  | 3               |
| 5-6                  | K4    | 0,1257         | 0,52         | 0,450          | 480                  | 3               |
| 6-7                  | K5    | 0,2064         | 0,54         | 0,371          | 360                  | 2,7             |
| 7-8                  | K6    | 0,2533         | 0,55         | 0,342          | 325                  | 2,5             |
| 8-9                  | K7    | 0,3203         | 0,57         | 0,365          | 290                  | 2               |
| 9-10                 | K8    | 0,2533         | 0,55         | 0,342          | 325                  | 2,5             |
| 2-11, 6-11,<br>10-11 | K9    | 0,1645         | 0,53         | 0,401          | 410                  | 2,85            |



**Tablica 4.3.** Podaci o trošilima: a) maksimalno opterećenje, b) minimalno opterećenje.

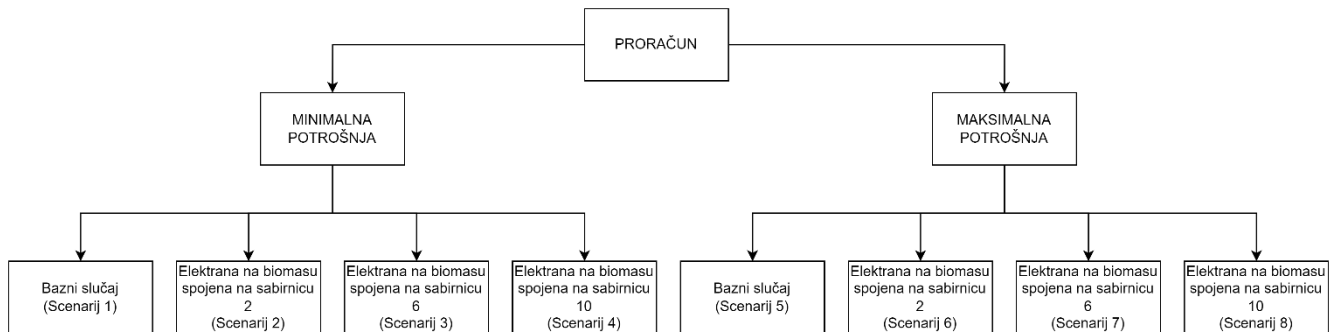
|    | POTROŠAČI | P [MW] | Q [MVAR] |
|----|-----------|--------|----------|
| a) | L1        | 1,3    | 0,601    |
|    | L2        | 2,3    | 0,672    |
|    | L3        | 2,3    | 0,526    |
|    | L4        | 2,8    | 0,574    |
|    | NL1       | 0,308  | 0,103    |
|    | NL2       | 0,6294 | 0,242    |
|    | NL3       | 0,816  | 0,206    |
|    | NL4       | 0,041  | 0,273    |
|    | NL5       | 0,188  | 0,365    |
|    | NL6       | 0,023  | 0,086    |
|    | NL7       | 0,035  | 0,187    |
| b) | L1        | 0,450  | 0,180    |
|    | L2        | 0,750  | 0,202    |
|    | L3        | 0,750  | 0,158    |
|    | L4        | 0,900  | 0,172    |
|    | NL1       | 0,152  | 0,031    |
|    | NL2       | 0,249  | 0,073    |
|    | NL3       | 0,305  | 0,062    |
|    | NL4       | 0,021  | 0,082    |
|    | NL5       | 0,176  | 0,1095   |
|    | NL6       | 0,013  | 0,025    |
|    | NL7       | 0,020  | 0,056    |

## 4.2. Opis simulacije

Proračun je podijeljen na 2 dijela, promatramo različite scenarije uz minimalnu i maksimalnu potrošnju. Oba dijela proračuna sastoje se od četiri scenarija, bazni i 3 slučaja povezivanja DI na tri različite sabirnice, odnosno sabirnicu 2, 6 te 10. Scenariji 1-4 predstavljaju minimalnu

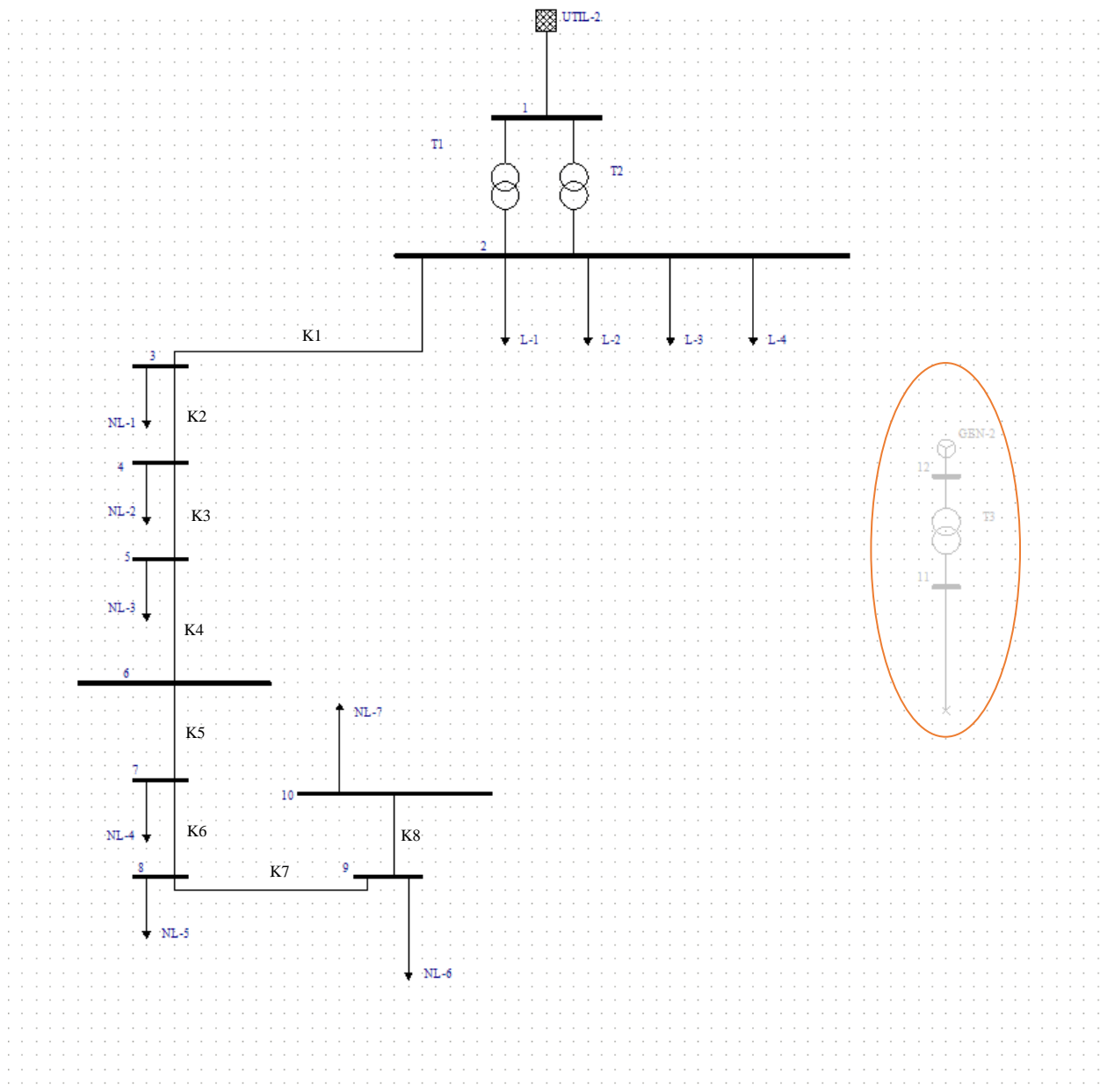
potrošnju, a scenariji 5-8 predstavljaju maksimalnu potrošnju. Scenariji 1 i 5 su modeli pasivne DM, dok je u scenarijima 2, 3, 4, 6, 7 i 8 povezana elektrana na biomasu, nazivne snage 3 MVA, djelatne snage 3MW uz  $\cos \varphi = 1$ , što predstavlja aktivnu DM.

Tijek simulacije prikazan je na slici 4.1.



*Slika 4.2. Tijek simulacije*

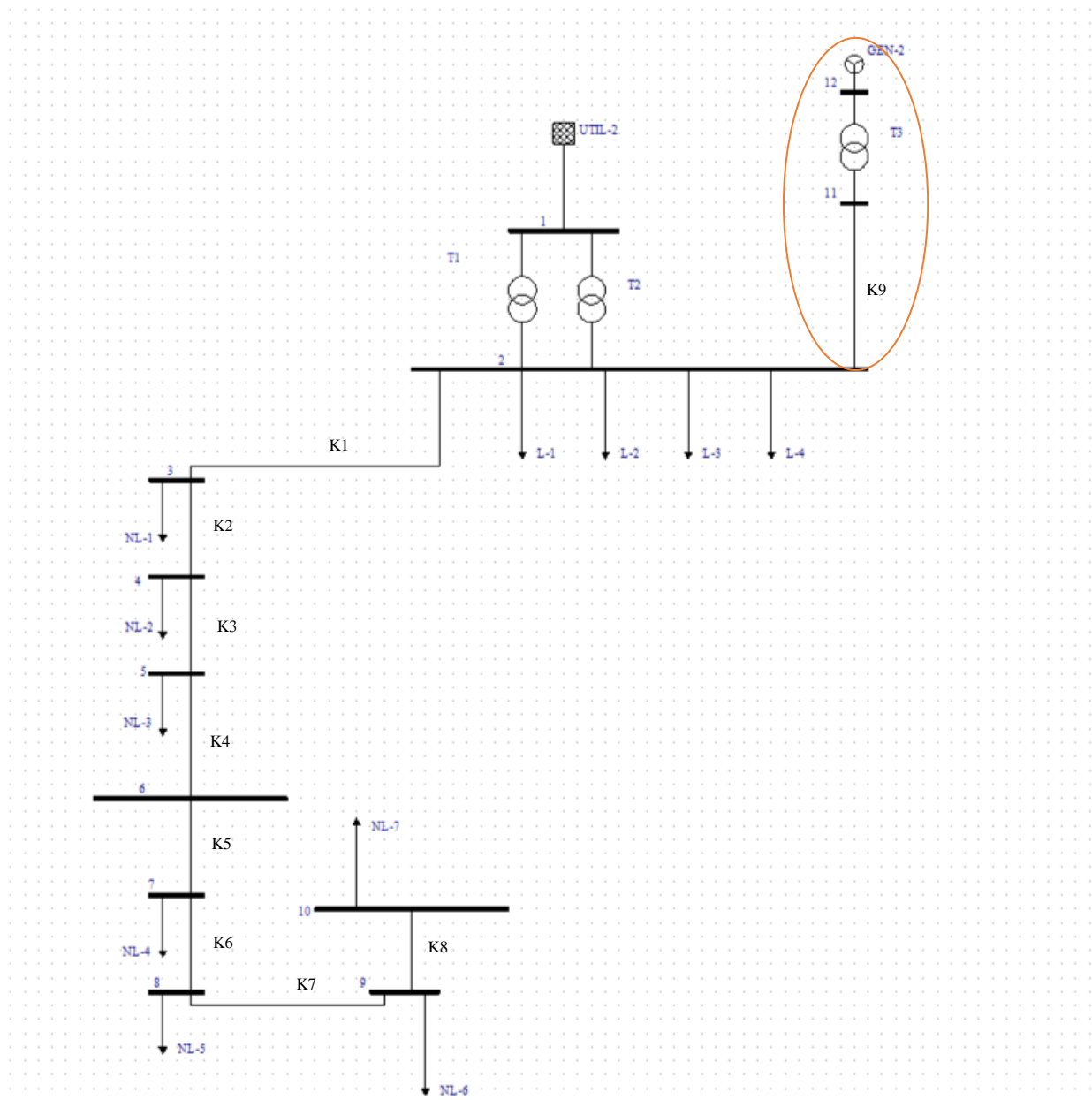
Jednofazna shema mreže modelirane u programskom paketu EasyPower za Scenarije 1 i 5 prikazana na slici 4.3.



*Slika 4.3. Scenarij 1 i Scenarij 5*

Scenarij 1 i Scenarij 5 predstavljaju bazni slučaj, odnosno DI nije povezan. Scenarij 1 opisuje slučaj kada je analizirana minimalna potrošnja. Scenarij 5 opisuje slučaj kada je analizirana maksimalna potrošnja.

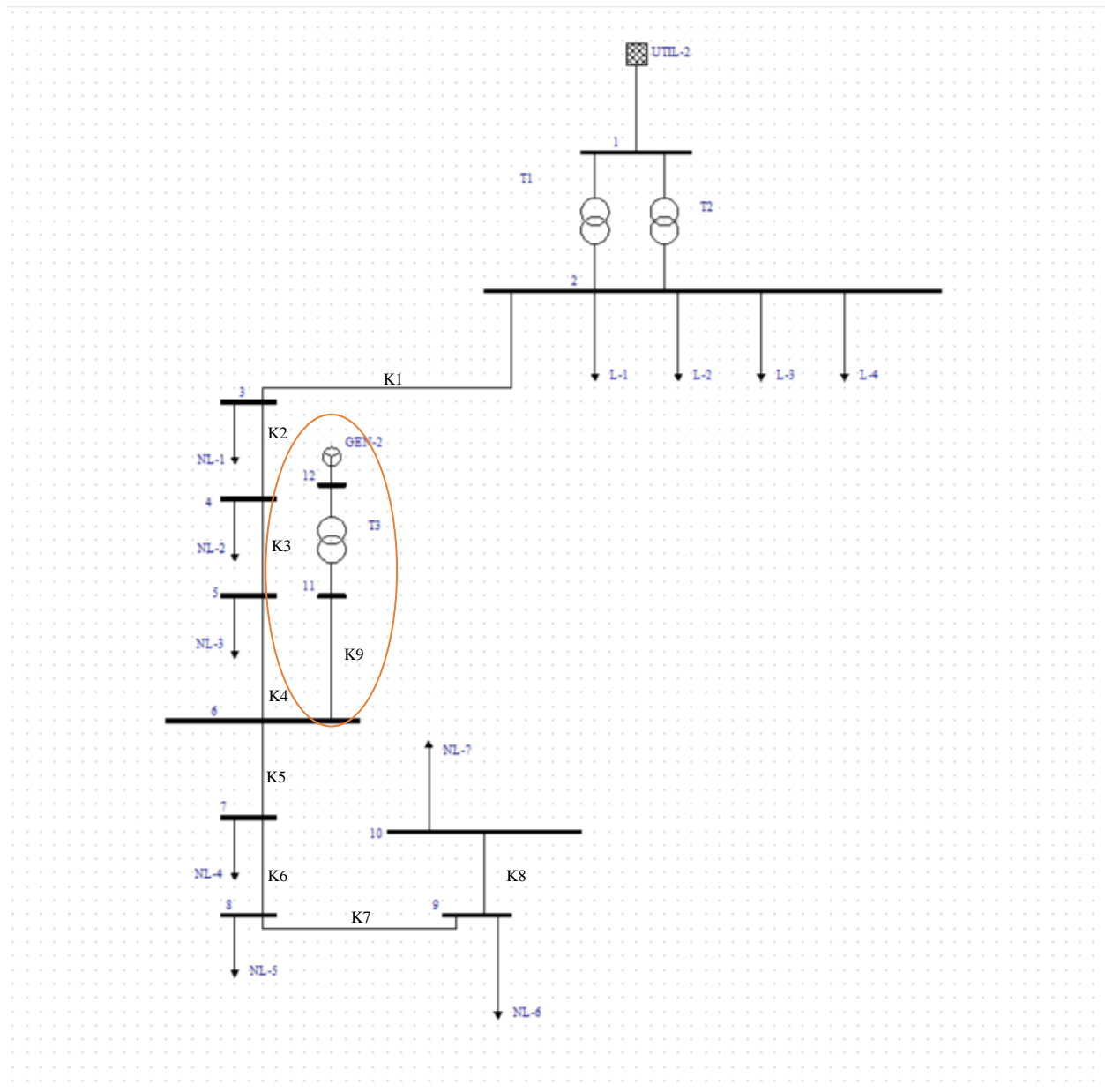
Jednofazna shema mreže modelirane u programskom paketu EasyPower za Scenarije 2 i 6 prikazana na slici 4.4.



*Slika 4.4. Scenarij 2 i Scenarij 6*

Scenarij 2 i Scenarij 6 predstavljaju slučaj kada je DI povezan na sabirnicu 2. Scenarij 2 opisuje slučaj kada je analizirana minimalna potrošnja. Scenarij 6 opisuje slučaj kada je analizirana maksimalna potrošnja.

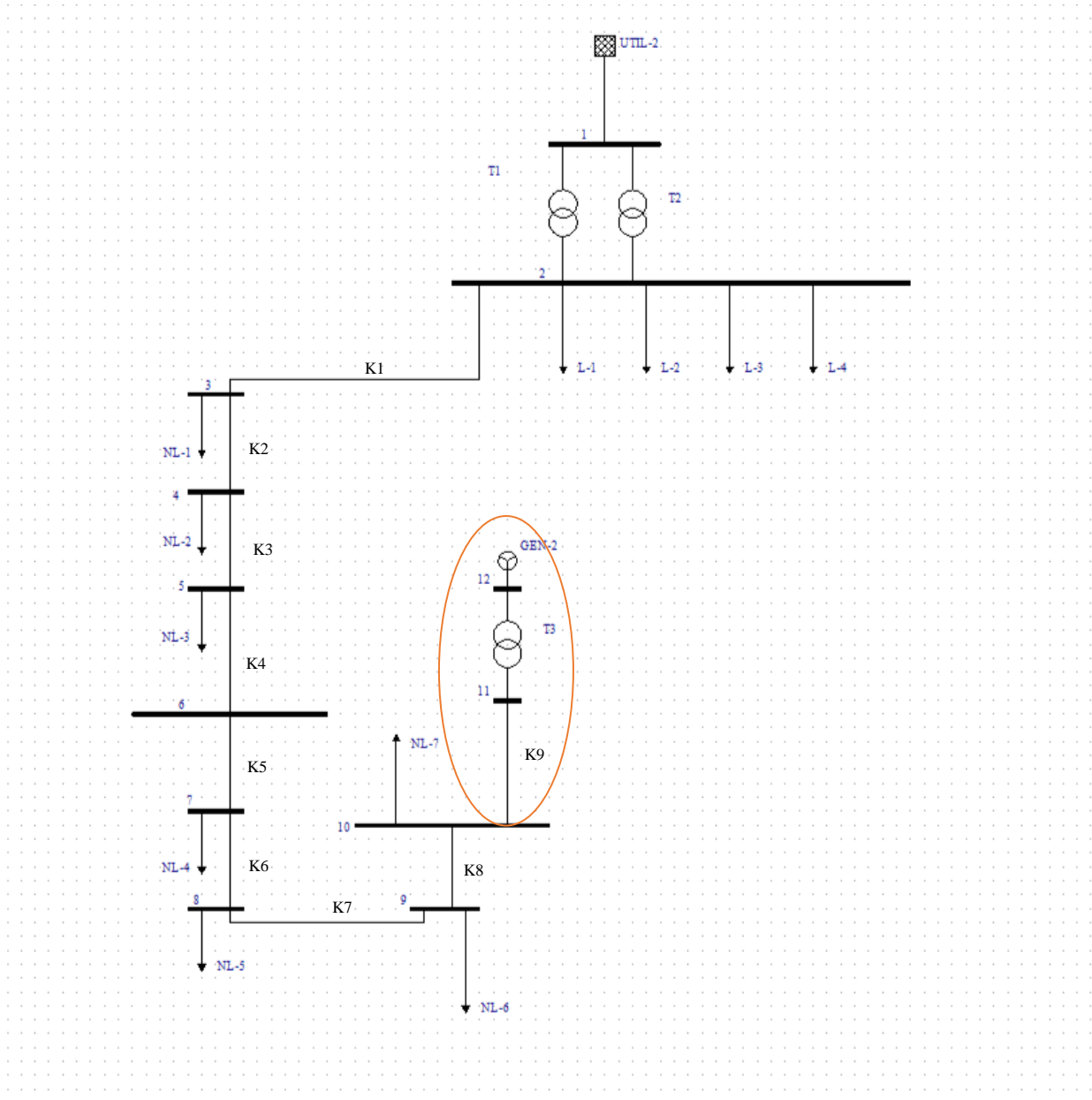
Jednofazna shema mreže modelirane u programskom paketu EasyPower za Scenarije 3 i 7 prikazana na slici 4.5.



*Slika 4.5. Scenarij 3 i Scenarij 7*

Scenarij 3 i Scenarij 7 predstavljaju slučaj kada je DI povezan na sabirnicu 6. Scenarij 3 opisuje slučaj kada je analizirana minimalna potrošnja. Scenarij 7 opisuje slučaj kada je analizirana maksimalna potrošnja.

Jednofazna shema mreže modelirane u programskom paketu EasyPower za Scenarije 4 i 8 prikazana na slici 4.6.



*Slika 4.6. Scenarij 4 i Scenarij 8*

Scenarij 4 i Scenarij 8 predstavljaju slučaj kada je DI povezan na sabirnicu 10. Scenarij 4 opisuje slučaj kada je analizirana minimalna potrošnja. Scenarij 8 opisuje slučaj kada je analizirana maksimalna potrošnja.

## **4.3. Rezultati proračuna**

### **4.3.1. Naponi po sabirnicama**

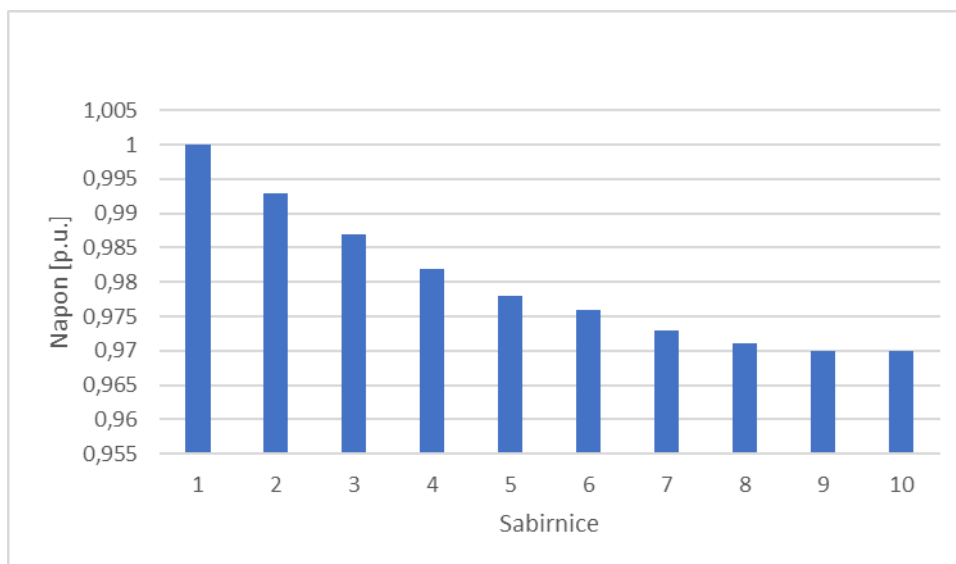
Proračun je proveden kada DI nije bio spojen, bazni slučaj, zatim kada je DI bio spojen na sabirnicu 2, 6 i 10.

Slike 4.7., 4.8., 4.9. i 4.10. prikazuju vrijednosti napona na sabirnicama za minimalnu i maksimalnu potrošnju.

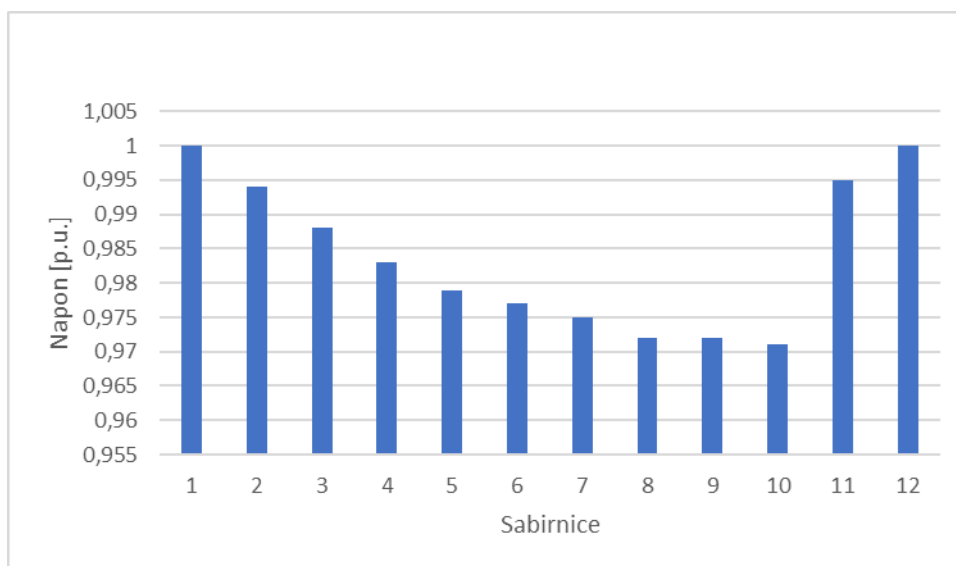
U baznom slučaju što je sabirnica udaljenija od sabirnice 1, niži je i njen napon, iz grafa je vidljiv konstantan pad napona.

U ostalim slučajevima, kada je spojena elektrana na biomasu, na određenu sabirnicu u grafu su vidljive sabirnice 11 i 12 jer su dio DI. Elektrana uzrokuje porast napona na sabirnicama koje se nalaze blizu nje. U svim scenarijima osim baznih, zabilježen je porast napona u cijeloj mreži. U scenariju 2 i 6 najznačajniji porast bio je na sabirnici 2, u scenarijima 3 i 7 najznačajniji na sabirnici 6, dok u scenarijima 4 i 8, slično kao i u prethodnom, napon se povećao na sabirnicama 10, 9, 8, 7 i 6.

a)



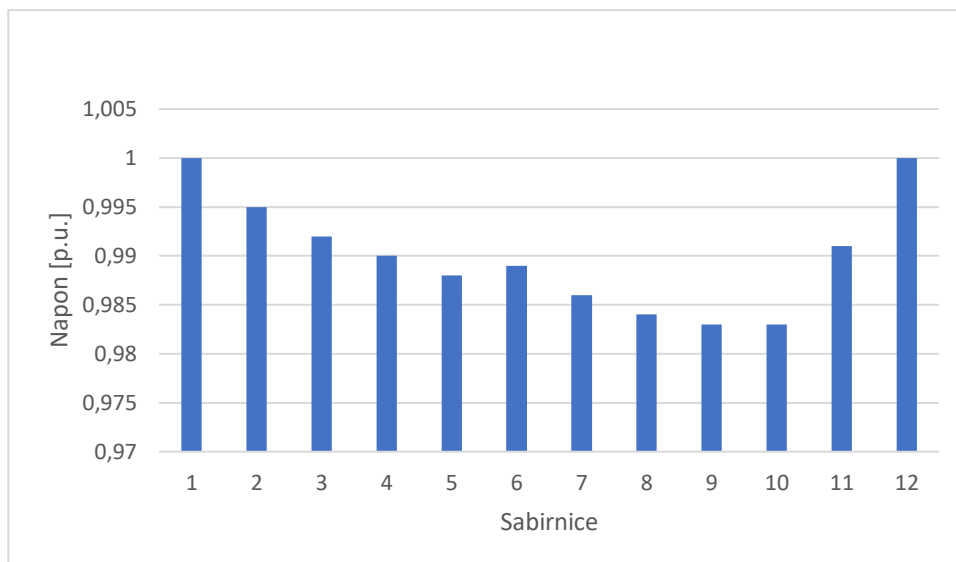
b)



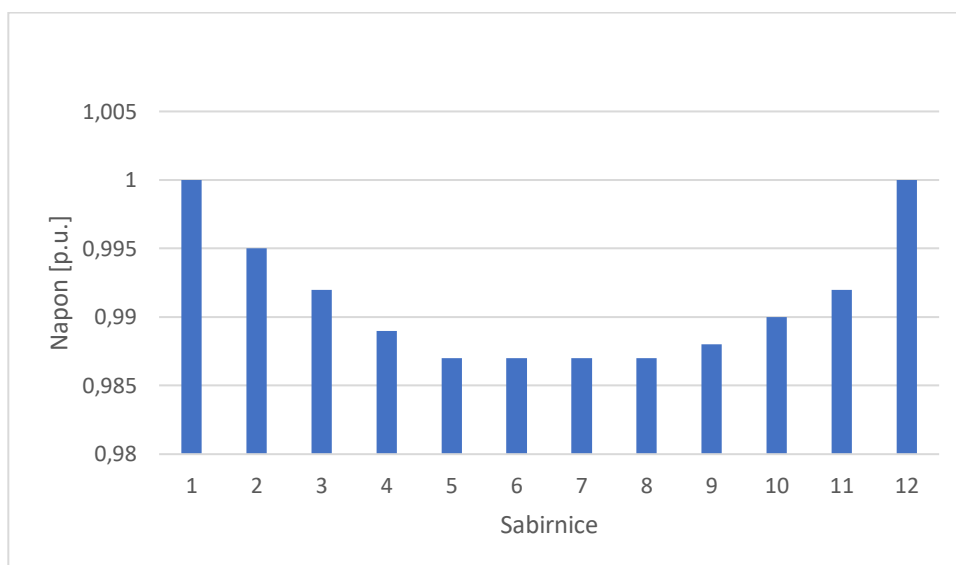
**Slika 4.7.** Opterećenje transformatora uz minimalnu potrošnju: a) Scenarij 1, b) Scenarij 2



a)

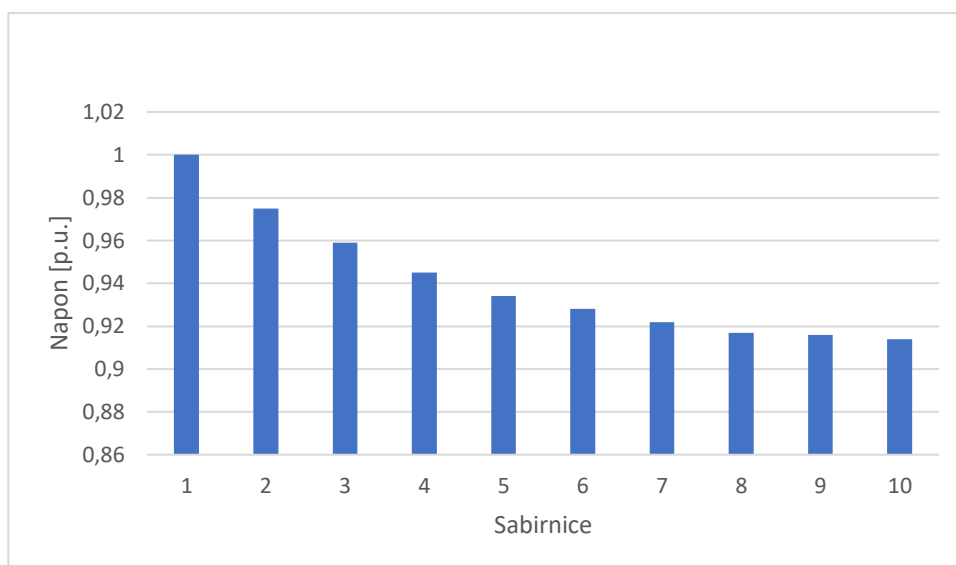


b)

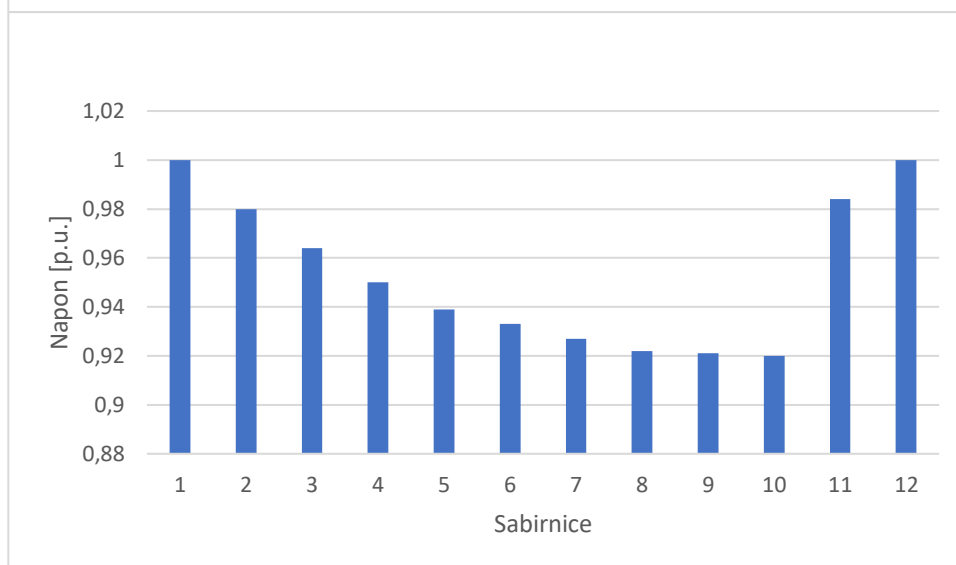


*Slika 4.8. Naponi na sabirnicama uz minimalnu potrošnju: a) Scenarij 3, b) Scenarij 4*

a)

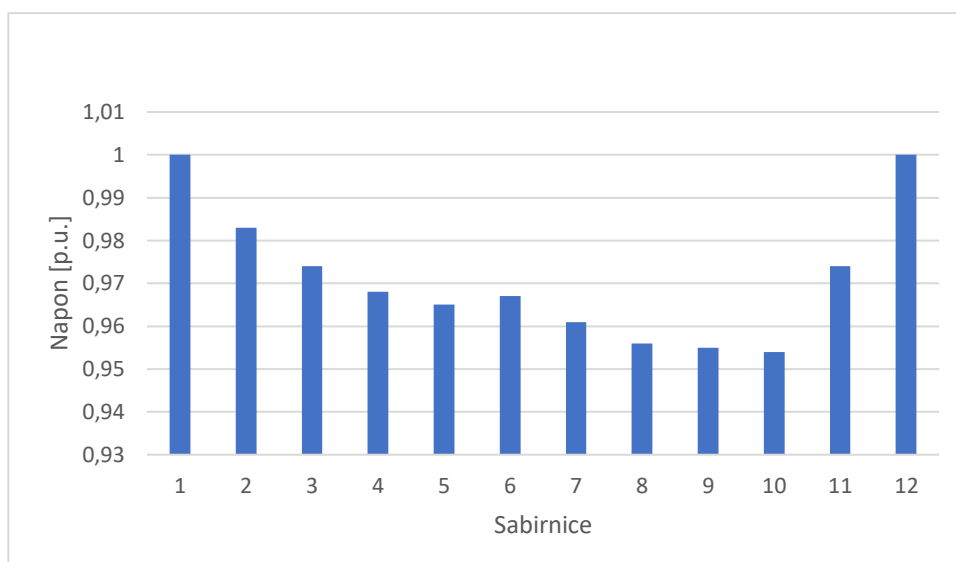


b)

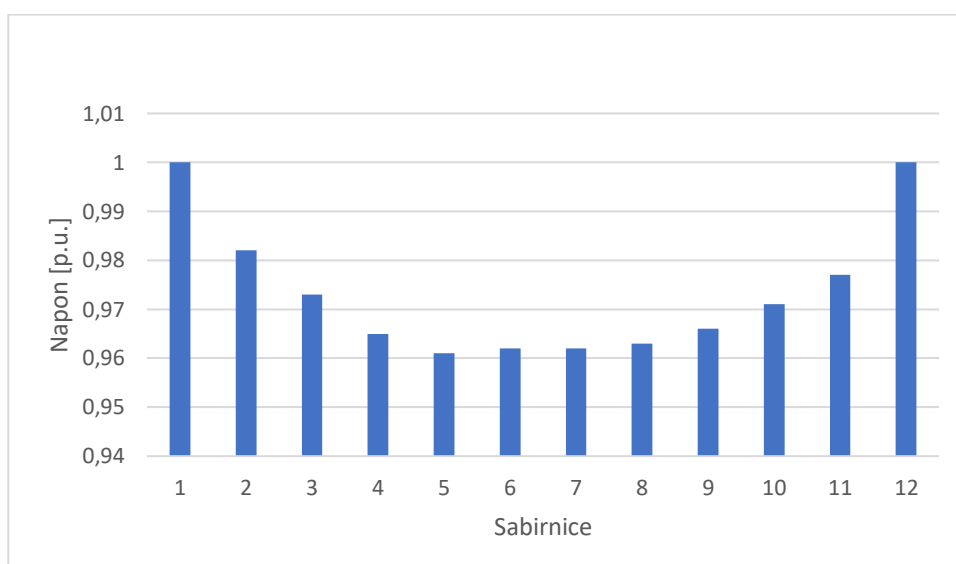


**Slika 4.9.** Naponi na sabirnicama uz maksimalnu potrošnju: a) Scenarij 5, b) Scenarij 6

a)



b)



**Slika 4.10.** Naponi na sabirnicama uz maksimalnu potrošnju: a) Scenarij 7, b) Scenarij 8

### **4.3.2. Opterećenje transformatora**

Proračuni na transformatorima su provedeni kada elektrana na biomasu nije bila spojena, bazni slučaj, zatim kada je DI bio spojen na sabirnicu 2, 6 i 10.

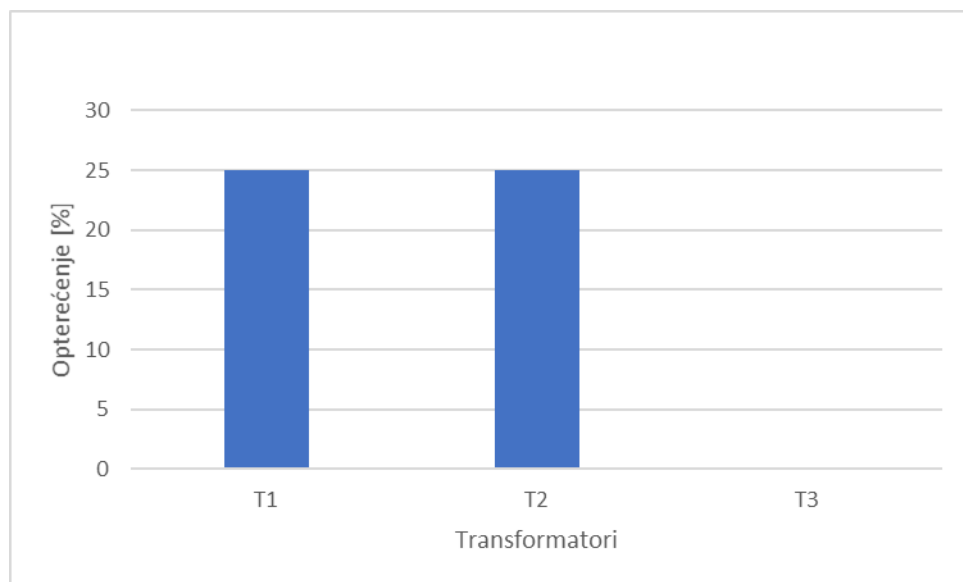
Slike 4.11., 4.12., 4.13. i 4.14. prikazuju vrijednosti opterećenja transformatora za minimalnu i maksimalnu potrošnju.

Niti u jednom slučaju ne dolazi do preopterećenja transformatora, u svim slučajevima opterećenja transformatora su u dozvoljenim granicama.

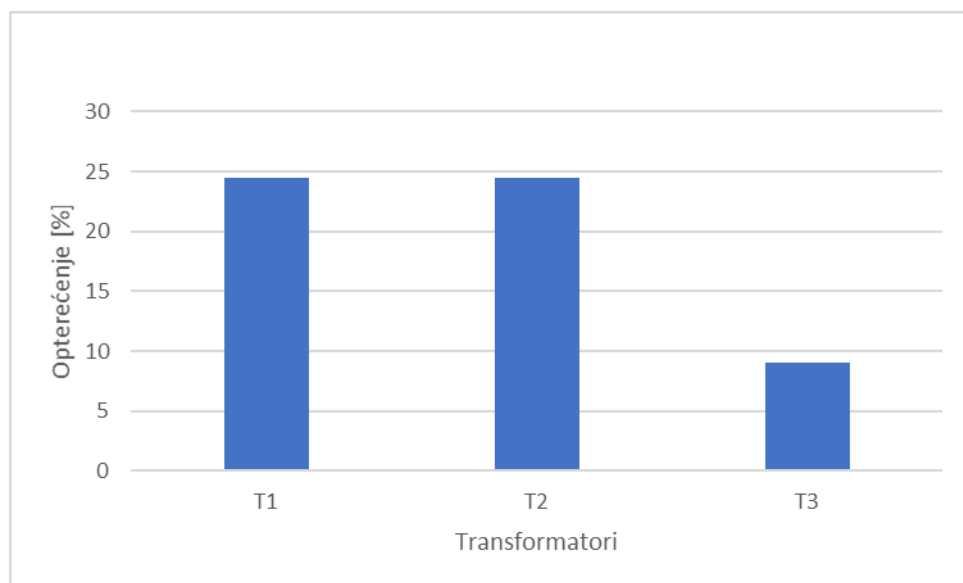
U baznom slučaju zabilježeno je veće opterećenje jer se preko njih napaja promatrani dio mreže uz to opterećenje transformatora T3 je nula jer nije povezan.

U ostalim slučajevima iz grafova je vidljivo kako transformator T3 ima najmanje opterećenje kada je vanjski izvor povezan na sabirnicu 2, gdje su paralelno spojeni i transformatori T1 i T2.

a)

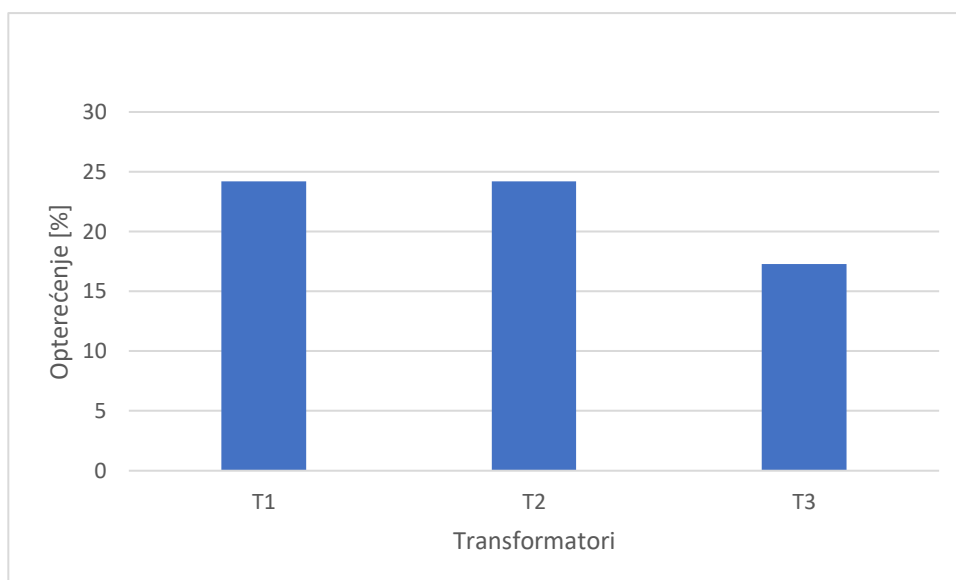


b)

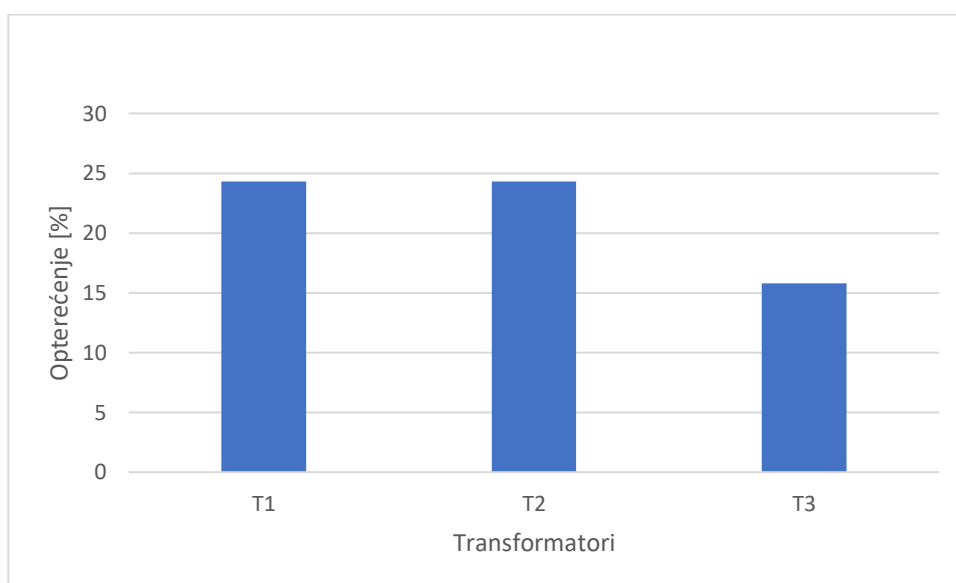


**Slika 4.11.** Opterećenje transformatora uz minimalnu potrošnju: a) Scenarij 1, b) Scenarij 2

a)

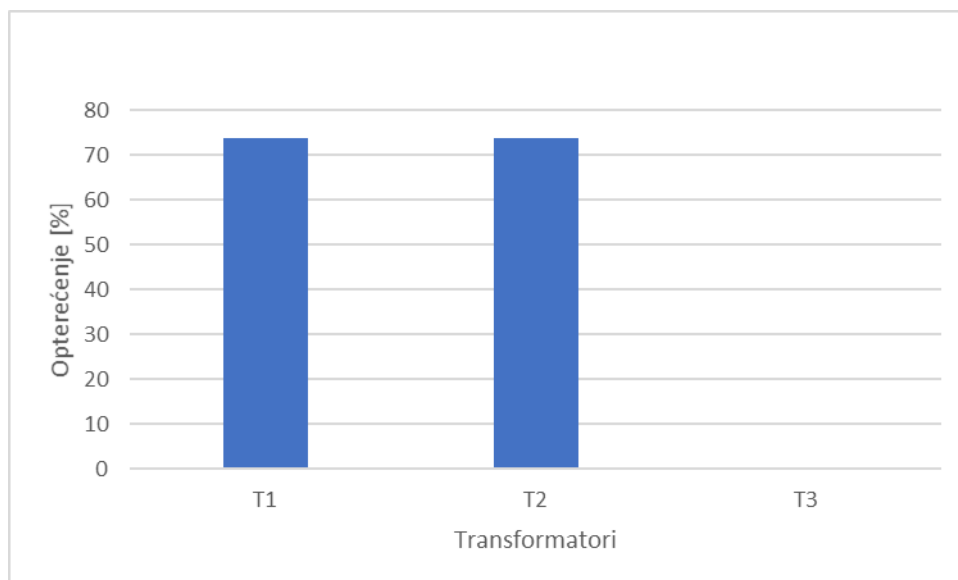


b)

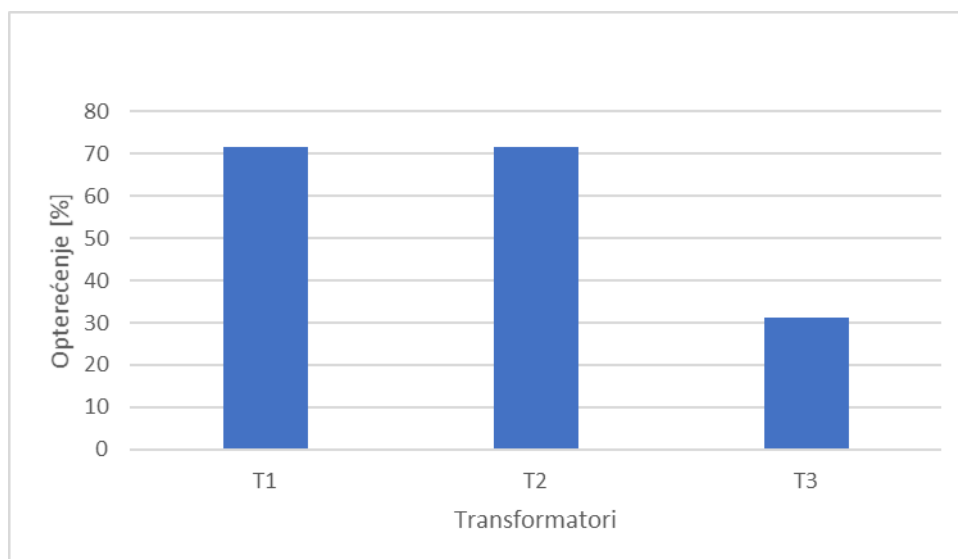


*Slika 4.12. Opterećenje transformatora uz minimalnu potrošnju a) Scenarij 3, b) Scenarij 4*

a)

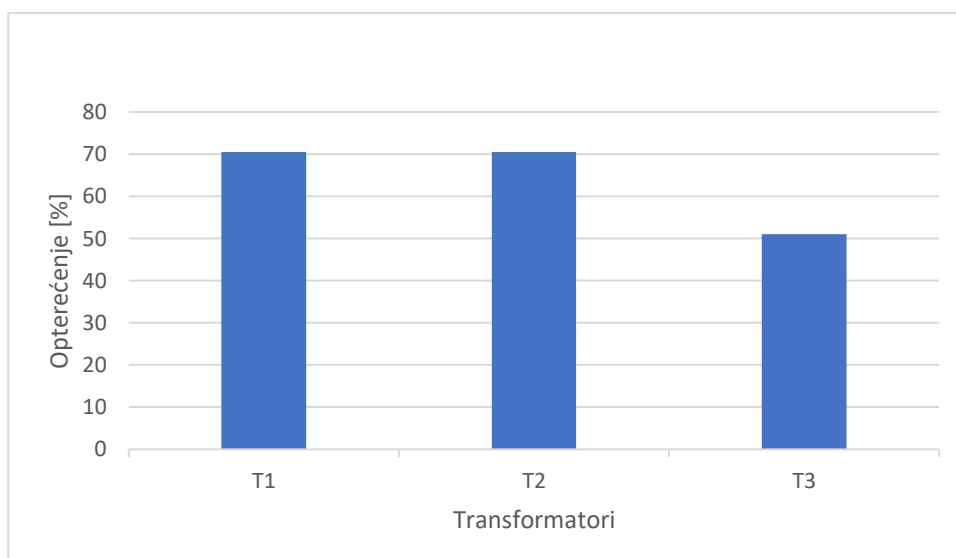


b)

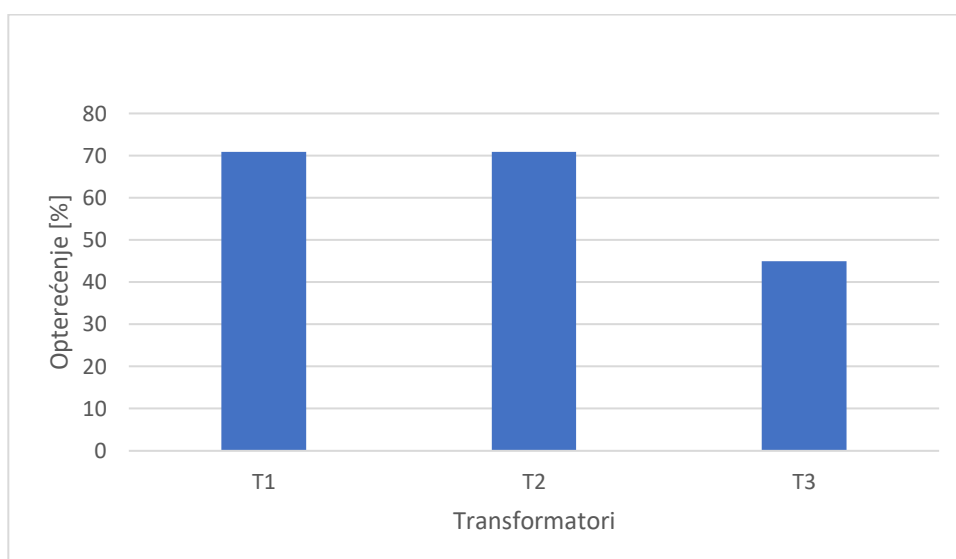


**Slika 4.13.** Opterećenje transformatora uz maksimalnu potrošnju: a) Scenarij 5, b) Scenarij 6

a)



b)



*Slika 4.14. Opterećenje transformatora uz maksimalnu potrošnju: a) Scenarij 7, b) Scenarij 8*

### 4.3.3. Opterećenje vodova

Proračuni na vodovima su provedeni kada elektrana na biomasu nije bila spojena, bazni slučaj, zatim kada je vanjski izvor bio spojen na sabirnicu 2, 6 i 10.

Slike 4.15., 4.16., 4.17. i 4.18. prikazuju vrijednosti opterećenja vodova za minimalnu i maksimalnu potrošnju.

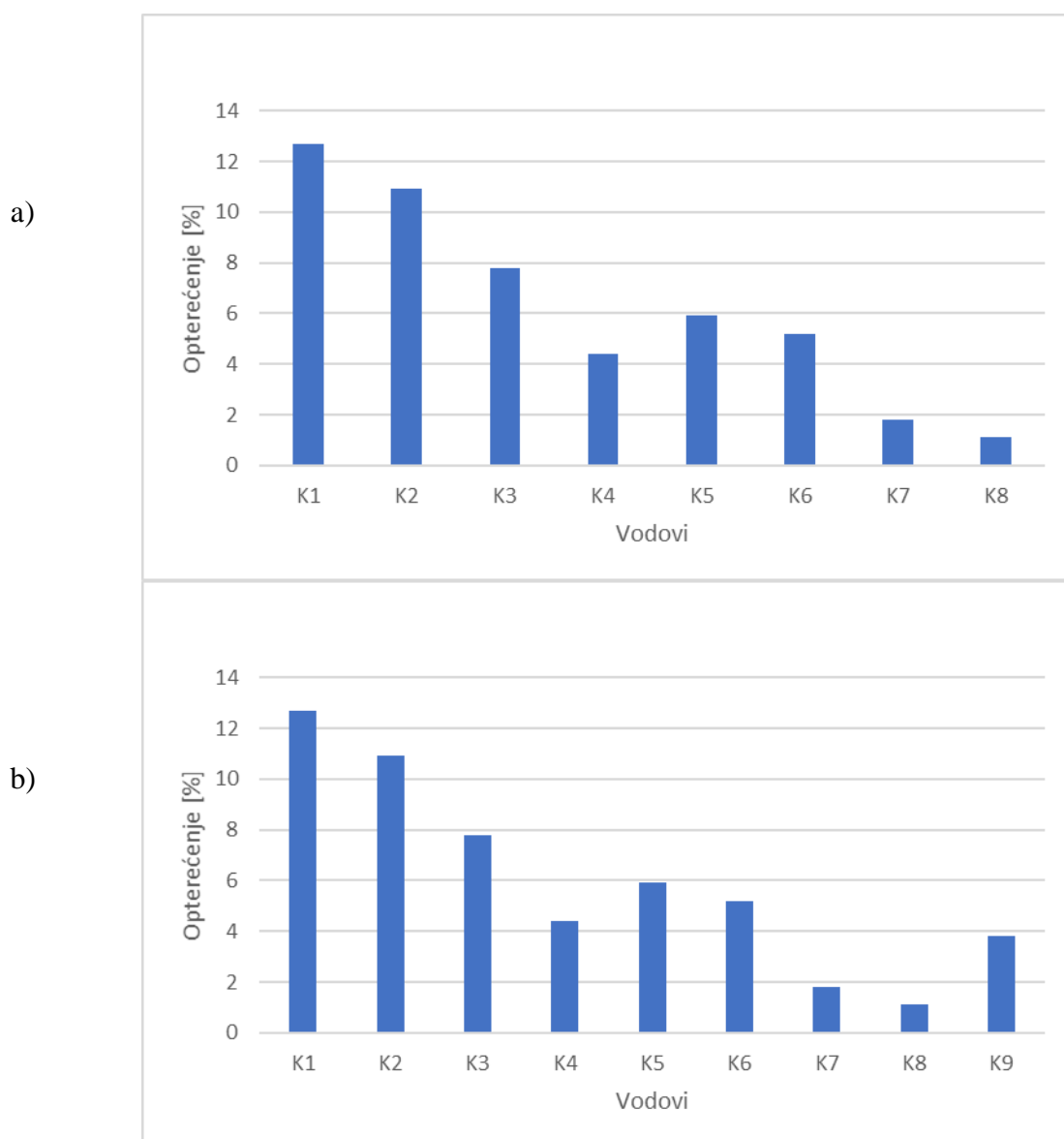
Iz podataka o vodovima vidljivo je kako se opterećenje vodova nalazi u dozvoljenim granicama i ovisi o padu napona te duljini voda. Graf za bazni slučaj jasno prikazuje da se vodovi K5 i K6 jače opterećuju od ostalih kabela, uzrok tomu je manja nazivna struja i manji poprečni presjek.



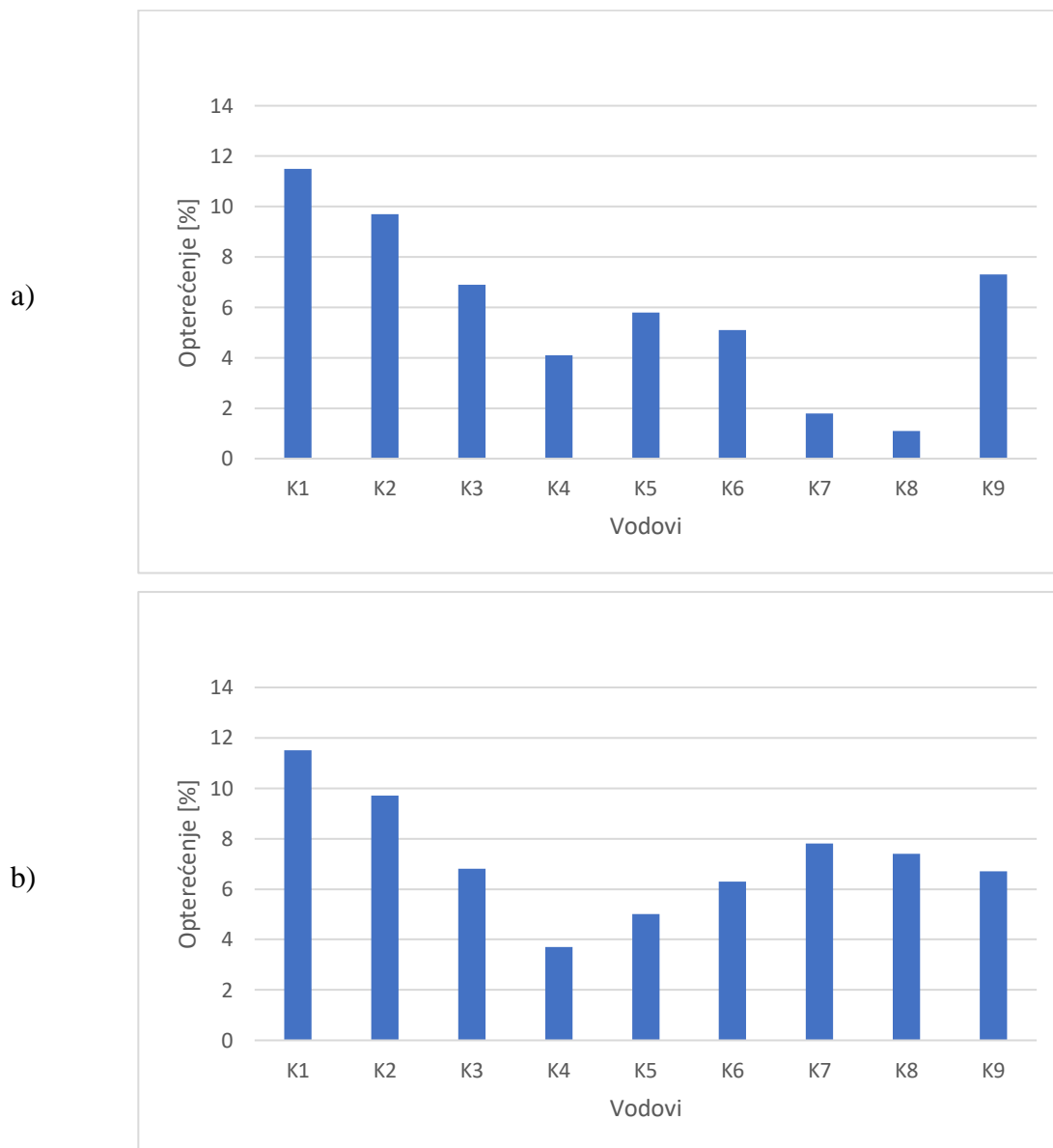
Općenito gledajući rezultate proračuna, dodavanjem DI u postojeću DM mijenja se opterećenje vodova. Uzrok tomu su dvosmjerni tokovi snage. Opterećenje vodova raste u okolini sabirnice na koju je spojen DI.

Kada je elektrana na biomasu spojena na sabirnicu 2 i sabirnicu 6, graf je sličan kao i za bazni slučajja te postoji vod K9 koji predstavlja opterećenje voda između DI i sabirnice 2 na koju je povezan.

Ukoliko je elektrana spojena na sabirnicu 10 vodovima od K1 do K5 opterećenje je približno jednako onom u baznom slučaju, nakon čega se opterećenje povećava na preostalim vodovima koji se nalaze bliže same sabirnice 10.

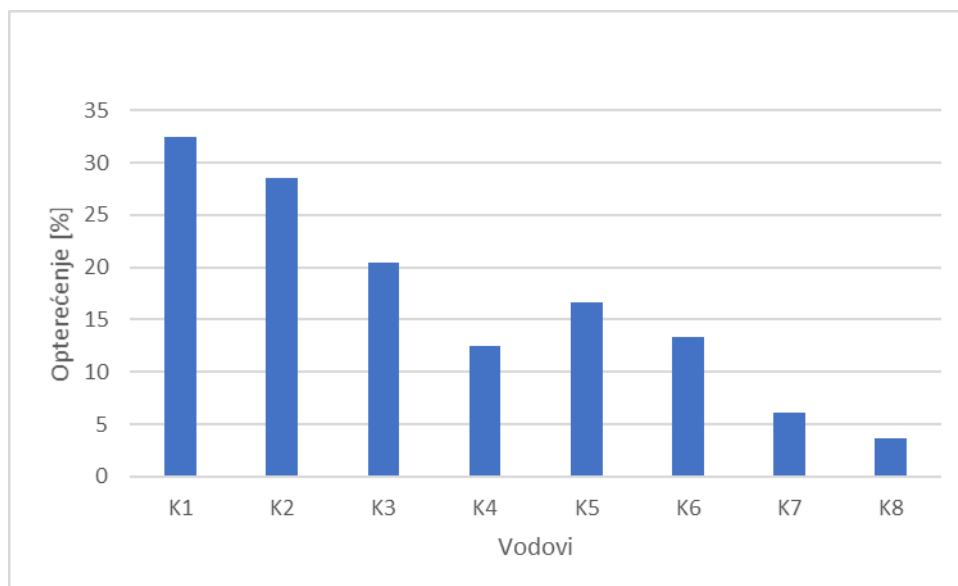


**Slika 4.15.** Opterećenje vodova uz minimalnu potrošnju: a) Scenarij 1, b) Scenarij 2

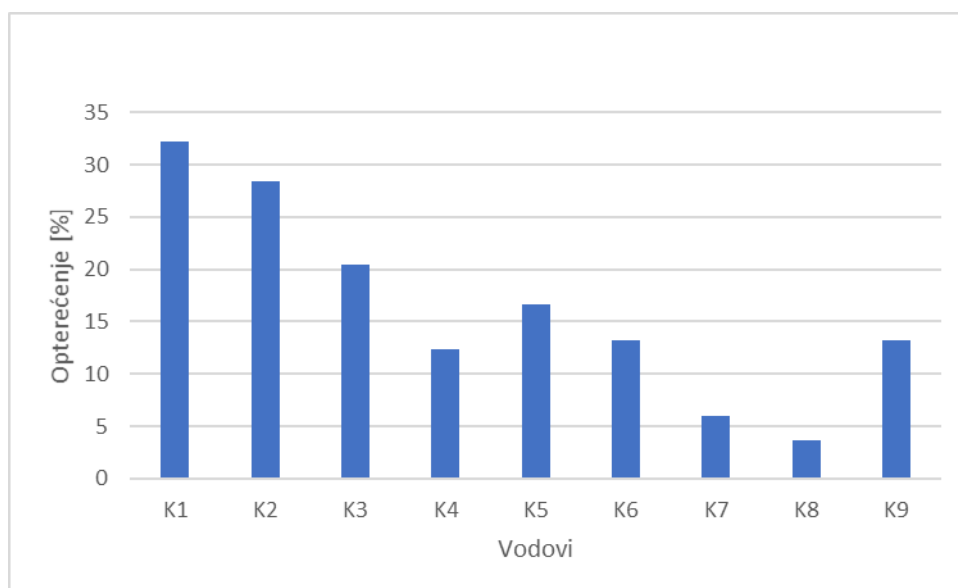


**Slika 4.16.** Opterećenje vodova uz minimalnu potrošnju: a) Scenarij 3, b) Scenarij 4

a)

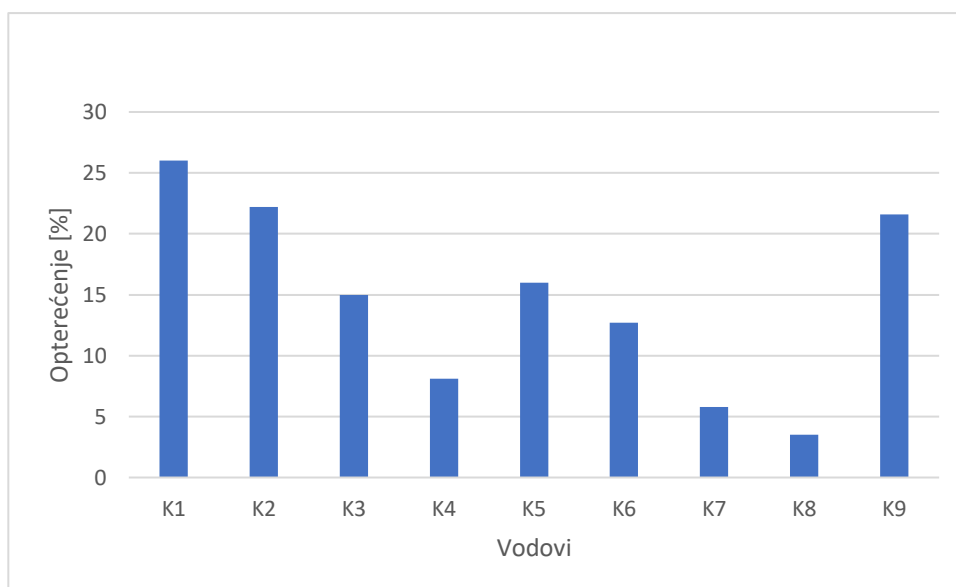


b)

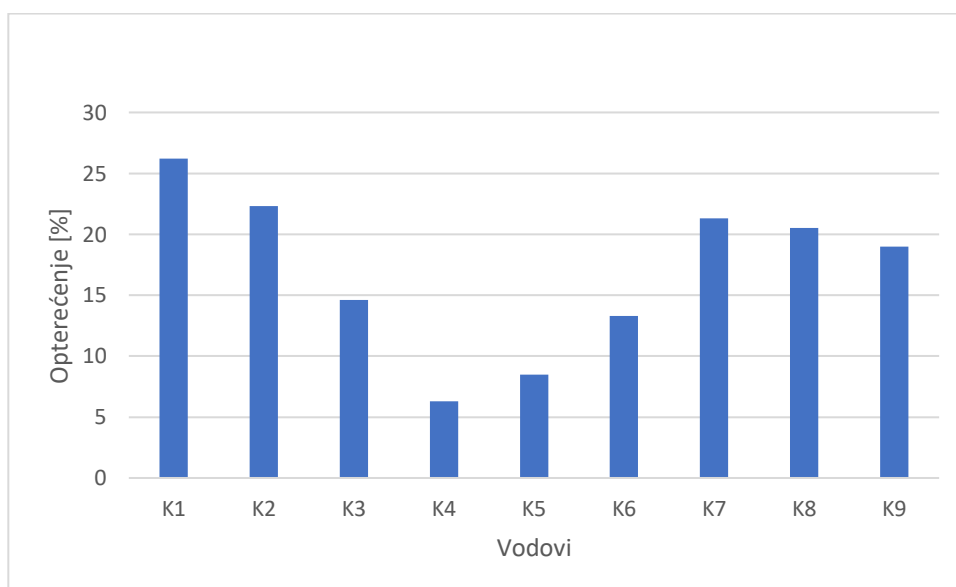


*Slika 4.17. Opterećenje vodova uz maksimalnu potrošnju: a) Scenarij 5, b) Scenarij 6*

a)



b)



*Slika 4.18. Opterećenje vodova uz maksimalnu potrošnju: a) Scenarij 7, b) Scenarij 8*

## 5. ZAKLJUČAK

Cilj rada je bio proučiti strujno-naponske prilike u aktivnoj DM. Provedenim proračunima analizirani su naponi na sabirnicama, opterećenja transformatora te opterećenja vodova. Odrađeni su proračuni za bazni slučaj i različite lokacije spajanja DI u DM. U ovom slučaju elektrana na biomasu je predstavljala DI.

Provedeno istraživanje je obuhvaćalo proračune za minimalnu i maksimalnu potrošnju. Zaključak istraživanja je da u mreža s dodanim DI dolazi do porasta napona na svim sabirnicama, posebice na onima gdje je povezan DI. U scenarijima 2, 3 i 4 napravljen je proračun za minimalnu potrošnju, pa je zabilježen je i veći porast napona nego u scenarijima 6, 7 i 8. Mreža koja je analizirana u proračunu nije bila preopterećena niti u jednom slučaju. Maksimalno opterećenje transformatora zabilježeno je u baznom slučaju, scenarij 5, kada nije bio povezan DI, iznosa 73,8%, dok maksimalno zabilježeno opterećenje prilikom povezivanja DI bilo je 71,7%, u scenariju 8. U baznom slučaju, scenarij 5, zabilježeno je maksimalno opterećenje voda K1 iznosi 32,4%.

Ukoliko bi došlo do povećanja napona iznad dozvoljenih granica koristila bi se promjena preklopke transformatora. U slučaju preopterećenja kabela, postojeći bi se trebao zamijeniti novim. Također, jedna od metoda je i iskorištavanje mogućnosti regulacije elektrane na biomasu te naposljetku optimizacija.

## LITERATURA

- [1] M.R. Maghami, J. Pasupuleti, C.M. Ling, Impact of Photovoltaic Penetration on Medium Voltage Distribution Network, Sustainability 2023, dostupno na: <https://doi.org/10.3390/su15075613>.
- [2] F.M. Camilo, P. Santos, Technical-Economic Evaluation of Residential Wind and Photovoltaic Systems with Self-Consumption and Storage Systems in Portugal. Energies, 2023, dostupno na: <https://doi.org/10.3390/en16041805>.
- [3] C. Yang, Y. Sun, Y. Zou, F. Zheng, S. Liu, B. Zhao, M. Wu. H. Cui, Optimal Power Flow in Distribution Network: A Review on Problem Formulation and Optimization Methods. Energies, 2023, dostupno na: <https://doi.org/10.3390/en16165974>.
- [4] J. Anderson, A.P. Agalgaonkar, Low-Voltage Network Modeling and Analysis with Rooftop PV Forecasts: A Realistic Perspective from Queensland, Australia. Energies, 2023, dostupno na: <https://doi.org/10.3390/en16155834>.
- [5] M.S. Hossain, N. Abboodi Madloul, A.W. Al-Fatlawi, M. El Haj Assad, High Penetration of Solar Photovoltaic Structure on the Grid System Disruption: An Overview of Technology Advancement, Sustainability 2023, dostupno na: <https://doi.org/10.3390/su15021174>.
- [6] B. Uzum, A. Onen, H.M. Hasanien, S.M. Muyeen, Rooftop Solar PV Penetration Impacts on Distribution Network and Further Growth Factors—A Comprehensive Review. Electronics, 2021, dostupno na: <https://doi.org/10.3390/electronics10010055>.
- [7] K. Gholami, M.R. Islam, M.M. Rahman, A. Azizivahed, A. Fekih, State-of-the-art technologies for volt-var control to support the penetration of renewable energy into the smart distribution grids. Energy Reports, 2022, Pages 8630-8651. dostupno na: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.06.080>.
- [8] DIgSILENT Power Factory, dostupno na: <https://www.digsilent.de/en/>. [6.6.2024.]
- [9] Elektroenergetski sustav. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013., dostupno na: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/elektroenergetski-sustav>. [26.6.2024.]
- [10] Joulov zakon. Britannica, mrežno izdanje, dostupno na: <https://www.britannica.com/science/Joules-law>. [26.6.2024.]

- [11] H. Pandžić, I. Kuzle, Elektroenergetika, udžbenik, mrežno izdanje, 2009, dostupno na: <https://element.hr/wp-content/uploads/2020/06/unutra-52133.pdf>.
- [12] F. Pabón, E. Inga, M. Campaña, Planning Underground Power Distribution Networks to Minimize Negative Visual Impact in Resilient Smart Cities, Electricity 2022, <https://doi.org/10.3390/electricity3030024>.
- [13] V. Volnyi, P. Ilyushin, K. Suslov, S. Filippov, Approaches to Building AC and AC–DC Microgrids on Top of Existing Passive Distribution Networks, Energies, 2023, dostupno na: <https://doi.org/10.3390/en16155799>.
- [14] K. H. Mohd Azmi et al, Active Electric Distribution Network, Applications, Challenges, and Opportunities, Survey, 2022. dostupno na: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9987475>.
- [15] "Transmission line symbol", dostupno na: <https://www.vecteezy.com/free-vector/transmission-line> [23.6.2024.]
- [16] "Substation symbol", dostupno na: <https://www.dreamstime.com/illustration/substation-symbol.html> [23.6.2024.]
- [17] "Residential load symbol", dostupno na: <https://iconscout.com/kr/icon/home-electricity-6> [23.6.2024.]
- [18] "Skyscraper symbol", dostupno na: [https://www.flaticon.com/free-icon/skyscraper\\_5776223](https://www.flaticon.com/free-icon/skyscraper_5776223) [23.6.2024.]
- [19] "Factory symbol", dostupno na: <https://stock.adobe.com/hr/search?k=factory+icon> [23.6.2024.]
- [20] "Photovoltaic symbol", dostupno na: [https://www.shutterstock.com/search/solar-house-icon?image\\_type=vector&page=3](https://www.shutterstock.com/search/solar-house-icon?image_type=vector&page=3) [23.6.2024.]
- [21] "Biomass power plant symbol", dostupno na: [https://www.123rf.com/photo\\_126124886\\_eco-power-plant-line-icon-biomass-power-plant-green-energy-eco-friendly-industry-factory-concept-vec.html](https://www.123rf.com/photo_126124886_eco-power-plant-line-icon-biomass-power-plant-green-energy-eco-friendly-industry-factory-concept-vec.html) [23.6.2024.]
- [22] "Battery symbol", dostupno na: <https://stock.adobe.com/search?k=battery+symbol> [23.6.2024.]

[23] "Wind power plant symbol", dostupno na:  
<https://stock.adobe.com/search?k=wind+turbine+icon> [23.6.2024.]



## SAŽETAK

U ovom radu opisane su literature koje se bave strujno-naponskim prilikama u aktivnoj distribucijskoj mreži. Aktivna distribucijska mreža definirana je kao modernizirana pasivna distribucijska mreža koja uključuje distribuirane ili decentralizirane izvore energije s mogućnostima rada i kontrole u realnom vremenu, integrira napredne informacijske i komunikacijske tehnologije. Dan je primjer aktivne distribucijske mreže gdje je distribuirani izvor elektrana na biomasu. Provedeno je nekoliko scenarija koji uključuju minimalnu i maksimalnu potrošnju te različite lokacije distribuiranog izvora u promatranj mreži. Prema dobivenim rezultatima distribuirani izbor uzrokuje porast napona na određenim sabirnicama kao i porast opterećenja vodova i transformatora.

Ključne riječi: aktivna, distribuirani izvor, distributivna mreža, elektrana na biomasu, pasivna

## **ABSTRACT**

This paper describes the literature dealing with different conditions in an active distribution network. An active distribution network is defined as a modernized passive distribution network that includes distributed or decentralized energy sources with real-time operation and control capabilities, integrates advanced information and communication technologies. An example of an active distribution network is given with biomass power plant as distributed generation is studied. Several scenarios are conducted that include minimum and maximum consumption and different locations of distributed generation in the observed network. According to obtained results, distributed generation causes the voltage increase at the certain buses as well as the increase in loading of cables and transformers.

Keywords: active, distributed source, distribution network, biomass power plant, passive