

Proizvodnja jalove energije iz distribuiranih izvora i utjecaj na napon i gubitke u mreži

Žanić, Patrik

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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:200:726891>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-19**

Repository / Repozitorij:

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



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

Sveučilišni studij

**PROIZVODNJA JALOVE ENERGIJE IZ DISTRIBUIRANIH IZVORA I
UTJECAJ NA NAPON I GUBITKE U MREŽI**

Završni rad

Patrik Žanić

Osijek, 2020.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju**

Osijek, 15.09.2020.

Odboru za završne i diplomske ispite

Prijedlog ocjene završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju

Ime i prezime studenta:	Patrik Žanić
Studij, smjer:	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. studenta, godina upisa:	4440, 25.09.2019.
OIB studenta:	92672746505
Mentor:	Izv. prof. dr. sc. Marinko Barukčić
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Naslov završnog rada:	Proizvodnja jalove energije iz distribuiranih izvora i utjecaj na napon i gubitke u mreži
Znanstvena grana rada:	Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)
Predložena ocjena završnog rada:	Vrlo dobar (4)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 1 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	15.09.2020.
Datum potvrde ocjene Odbora:	23.09.2020.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 24.09.2020.

Ime i prezime studenta:

Patrik Žanić

Studij:

Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

Mat. br. studenta, godina upisa:

4440, 25.09.2019.

Turnitin podudaranje [%]:

3

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Proizvodnja jalove energije iz distribuiranih izvora i utjecaj na napon i gubitke u mreži**

izrađen pod vodstvom mentora Izv. prof. dr. sc. Marinko Barukčić

i sumentora

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 studenta:

IZJAVA

o odobrenju za pohranu i objavu ocjenskog rada

kojom ja Patrik Žanić, OIB: 92672746505, student/ica Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek na studiju Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija, kao autor/ica ocjenskog rada pod naslovom: Proizvodnja jalove energije iz distribuiranih izvora i utjecaj na napon i gubitke u mreži,

dajem odobrenje da se, bez naknade, trajno pohrani moj ocjenski rad u javno dostupnom digitalnom repozitoriju ustanove Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek i Sveučilišta te u javnoj internetskoj bazi radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu, sukladno obvezi iz odredbe članka 83. stavka 11. *Zakona o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju* (NN 123/03, 198/03, 105/04, 174/04, 02/07, 46/07, 45/09, 63/11, 94/13, 139/13, 101/14, 60/15).

Potvrđujem da je za pohranu dostavljena završna verzija obranjenog i dovršenog ocjenskog rada. Ovom izjavom, kao autor/ica ocjenskog rada dajem odobrenje i da se moj ocjenski rad, bez naknade, trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim:

- a) široj javnosti
- b) studentima/icama i djelatnicima/ama ustanove
- c) široj javnosti, ali nakon proteka 6 / 12 / 24 mjeseci (zaokružite odgovarajući broj mjeseci).

**U slučaju potrebe dodatnog ograničavanja pristupa Vašem ocjenskom radu, podnosi se obrazloženi zahtjev nadležnom tijelu Ustanove.*

Osijek, 24.09.2020.

(mjesto i datum)

(vlastoručni potpis studenta/ice)

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1 Zadatak završnog rada.....	1
2. PREGLED LITERATURE.....	2
3. DISTRIBUIRANI IZVORI.....	3
3.1 Tipovi distribuiranih izvora.....	3
3.1.1 Male hidroelektrane.....	3
3.1.2 Bioplinske elektrane.....	4
3.1.3 Vjetroelektrane.....	5
3.1.4 Solarne elektrane.....	6
3.2 Klasifikacija distribuiranih izvora.....	8
3.3 Prednosti distribuiranih izvora.....	9
3.3.1 Ekonomski utjecaj.....	9
3.3.2 Tehnički utjecaj.....	9
3.4 Nedostatci distribuiranih izvora.....	10
4. SIMULACIJSKI ALAT ZA ANALIZU DISTRIBUTIVNE MREŽE.....	11
4.1 Povezivanje programa OpenDSS i Matlab preko COM sučelja.....	12
4.2 Korisničko sučelje programa OpenDSS.....	13
4.3 Naredbe programa OpenDSS.....	14
4.4 Korisničko sučelje programa Matlab.....	16
4.5 Naredbe programa Matlab.....	17
5. SIMULACIJE UTJECAJA DISTRIBUIRANOG IZVORA NA MREŽU.....	18
5.1 Distribuirani izvor s nepromjenjivim parametrima postavljen na različite lokacije.....	19
5.1.1 Distribuirani izvor u čvoru A.....	20
5.1.2 Distribuirani izvor u čvoru B.....	22
5.1.3 Distribuirani izvor u čvoru C.....	24
5.2 Distribuirani izvor različitih parametara postavljen na jedinstvenu lokaciju.....	26

5.2.1 Distribuirani izvor radne i jalove snage $P=350 \text{ kW}/Q=30 \text{ kvar}$	27
5.2.2 Distribuirani izvor radne i jalove snage $P=800 \text{ kW}/Q=40 \text{ kvar}$	29
5.2.3 Distribuirani izvor radne i jalove snage $P=1700 \text{ kW}/Q=85 \text{ kvar}$	31
5. ZAKLJUČAK	34
LITERATURA.....	36

1. UVOD

Ovaj završni rad bavi se proučavanjem utjecaja distribuiranih izvora na napon i gubitke u mreži. Distribuirani izvori su, za razliku od velikih centralnih postrojenja, mali izvori električne energije koji su spojeni na mrežu. Većina proizvodnje elektroenergetskog sustava se vrši u centralnim postrojenjima jer je takav oblik proizvodnje veoma isplativ, no pojavljuje se problematika velikih gubitaka pri prijenosu energije iz takvih lokacija. Distribuirana proizvodnja je dakle proizvodnja električne energije kroz veliku količinu malih izvora koji su strateški postavljeni na pozicije u mreži gdje je potrebna električna energije u svrhu smanjenja gubitaka prijenosa električne energije. Distribuirani izvori mogu biti bioplinska postrojenja, vjetroelektrane ili male hidroelektrane koje uz proizvodnju djelatne snage imaju mogućnost i slanje jalove energije u mrežu. U drugu ruku, fotonaponska postrojenja su obično manjih snaga, te se sastoje od više manjih jedinica na više lokacija u mreži i u normalnom pogonu ne proizvode jalovu energiju, već se ona generira pretvaračima koji ovakve izvore spajaju s mrežom, te je simulacija ovog završnog rada modelirana upravo s ovakvim tipom distribuiranih izvora. Ovakav pristup, porast izgradnje distribuiranih izvora i njihova ugradnja rezultira olakšanjem sustava kroz cijeli proces proizvodnje i prijenosa električne energije, te osim toga može i poboljšati naponski profil pritoka energije. Sve navedeno smanjuje gubitke i cijenu proizvodnje energije što znači da distribuirani izvori pozitivno utječu na ekonomski aspekt proizvodnje i prijenosa električne energije.

1.1 Zadatak završnog rada

U ovom završnom radu je potrebno proučiti literaturu koja se bavi utjecajem jalove energije na stanje u mreži i mogućnostima proizvodnje jalove energije iz pretvarača fotonaponskih sustava. Potom je potrebno izučiti softverski paket OpenDSS te prikazati osnovni proces modeliranja mreže s distribuiranim izvorima. Nakon toga treba na primjeru distributivne mreže modelirati distribuirani izvor te obaviti simulacije koje proučavaju njegov utjecaj na naponski profil pritoka energije i gubitke. Kako bi proces pokretanja simulacija bio automatiziran, brz i pristupačan za doručivanje, potrebno je preko COM sučelja povezati Matlab i OpenDSS te kroz Matlab odraditi navedene simulacije. Na kraju treba obraditi i analizirati rezultate simulacija te napisati zaključak.

2. PREGLED LITERATURE

Danas postoji mnogo razloga za korištenje fotonaponskih elektrana u kontekstu distribuiranih izvora. Neki od njih su: velik energetska potencijal, ekološka neutralnost, smanjenje cijene komponenti fotonaponskih sustava, visoka pouzdanost itd.[1]. Istraživanja nalažu da je trenutačno glavna primjena fotonaponskih sustava „on-grid“ primjena, pogotovo u ekonomski naprednijim državama kao što su Japan i SAD [1]. Fotonaponske elektrane u funkciji distribuiranih izvora imaju pozitivan utjecaj na mrežu no imaju i loše strane kao što je npr. nedosljednost u proizvodnji električne energije zbog niske insolacije i nemogućnost proizvodnje električne energije za vrijeme noći. Upravo zbog toga potrebno je uvesti nove tipove pretvarača koji mogu kontrolirati snagu koja se pušta u mrežu iz fotonaponskih elektrana. Distribuirani izvori su tema proučavanja u elektroenergetici već dugi niz godina, te se danas uspješno mogu koristiti razni programi za simuliranje specifičnih situacija što pomaže pri proučavanju. Na tematiku distribuiranih izvora već postoji mnogo znanstvenih radova, neki od kojih su korišteni za izradu ovog rada, te su obrađena područja kao što su: opskrba jalovom energijom pomoću pretvarača fotonaponske elektrane [2], utjecaj fotonaponskih elektrana na elektroenergetsku mrežu [3] te utjecaj baterijskih spremišta [4]. Ovaj rad kroz programske simulacije proučava utjecaj distribuiranih izvora na elektroenergetsku mrežu te sagledava mogućnosti proizvodnje jalove energije pomoću pretvarača fotonaponskih elektrana u cilju poboljšanja karakteristika cjelokupne mreže. Simulacije su izvršene uz pomoć programskih paketa OpenDSS i Matlab, no moguće je koristiti još i programske jezike kao što su Python i C++ te programski paket EasyPower, no zbog jednostavnosti i prijedefiniranih testnih mreža koje su napravljene upravo u svrhu izučavanja ovakvih slučajeva, izabran je OpenDSS.

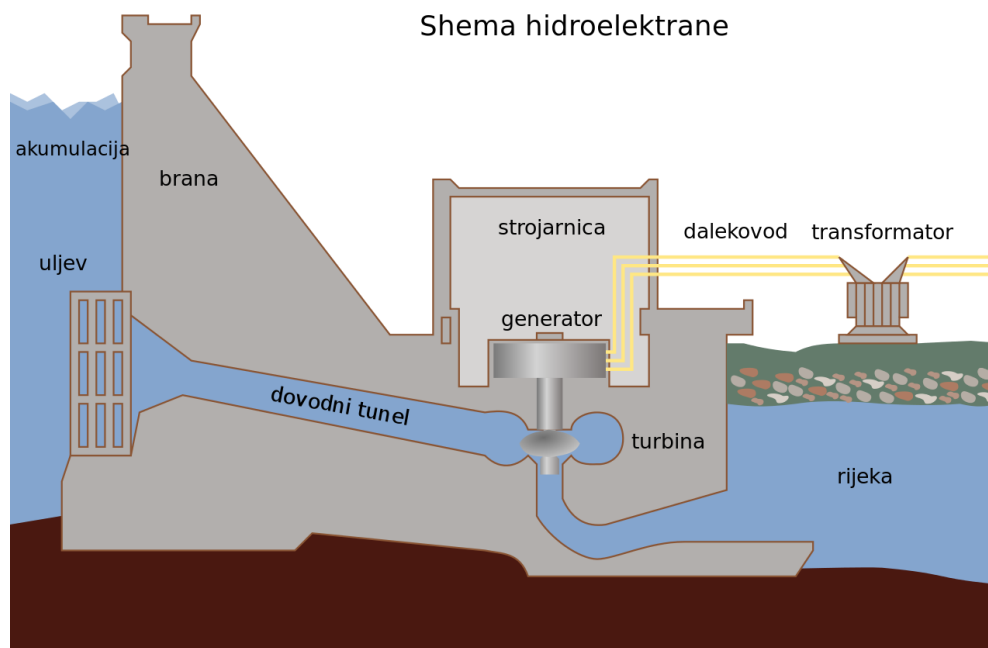
3. DISTRIBUIRANI IZVORI

Kada pričamo o proizvodnji i prijenosu električne energije, u začetcima električne mreže se mislilo isključivo na proizvodnju energije iz velikih centraliziranih jedinica proizvodnje na udaljenim, izoliranim lokacijama. Proizvodnja električne energije se bazira na principu jednakosti proizvodnje i potrošnje, kada je potrošnja veća, proizvodnja se mora proporcionalno povećati. Uz takav princip rada, može doći do problema kada se potrošnja poveća iznad određene granice, što može dovesti do nemogućnosti ispunjavanja potreba potrošača zbog nedovoljnog kapaciteta električne mreže. Kako bi se taj problem riješio, potrebne su investicije u distribuirane izvore. Kao što je već opisano, distribuirani izvori su lokalne jedinice proizvodnje koje zadovoljavaju potrošačke potrebe na lokalnoj razini. Neki od tipova distribuiranih izvora su: male hidroelektrane, bioplinska postrojenja, vjetroelektrane te fotonaponske elektrane, te će oni biti opisani u sljedećim poglavljima.

3.1 Tipovi distribuiranih izvora

3.1.1 Male hidroelektrane

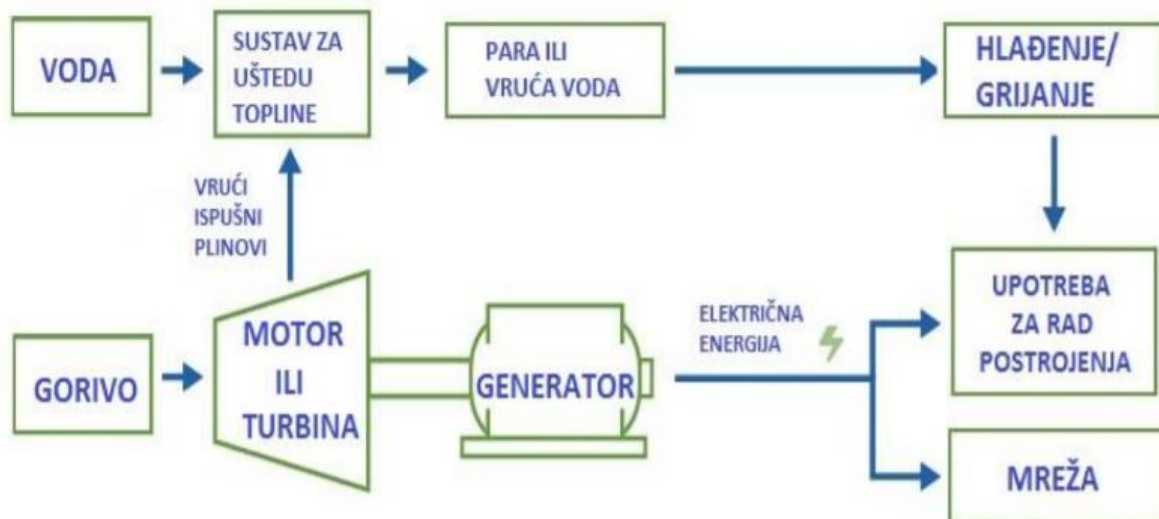
Hidroelektrane su postrojenja u kojima se proizvodnja električne energije odvija na način da se kinetička energija vode pretvara u električnu energiju preko lopatica koje su vezane na turbinu te rotor elektrogeneratora. U kontekstu distribuiranih izvora, hidroelektrane male snage (10kW-10MW) su izgrađene na određenim lokacijama gdje je to potrebno i moguće (protok vode, umjetno akumulacijsko jezero, reverzibilna hidroelektrana) te se tako lokalno zadovoljavaju potrebe potrošača uz minimalni ekološki utjecaj. Osim toga bitno je napomenuti da se hidroelektrana, kao i ostala postrojenja za proizvodnju električne energije, bazira na rotacijskom stroju (generatoru) koji imaju mogućnost isporuke određenog iznosa jalove energije.



Slika 3.1: Shematski prikaz hidroelektrane [5]

3.1.2 Bioplinske elektrane

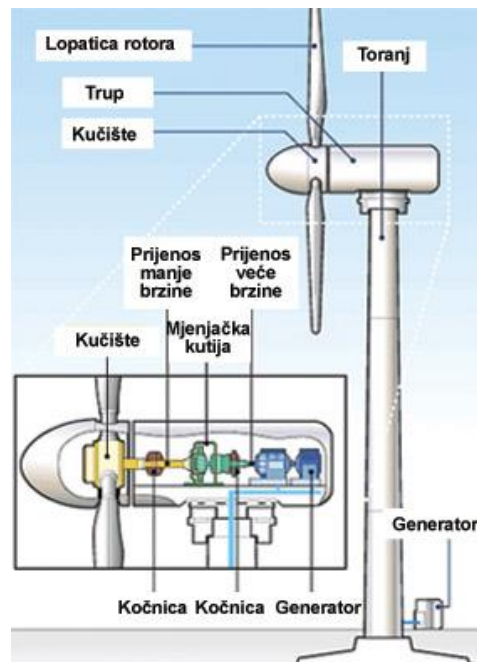
Bioplinska postrojenja su elektrane koje koriste gorivo koje je biološki derivat za proizvodnju termičke energije koja zagrijava vodu i time stvara paru visokog tlaka koja pokreće lopatice vezane na turbinu te rotor elektrogeneratora. U kontekstu distribuiranih izvora, kao i hidroelektrane, bioplinska postrojenja su izgrađena na lokacijama gdje je to potrebno i isplativo. Ovakav tip elektrana se u Republici Hrvatskoj vrlo malo koriste, no kada se koriste onda je to najčešće mala snaga (do par MW) u nekakvom industrijskom kompleksu koji se bavi određenim biološkim tvarima iz čijih ostataka se može raditi biogorivo, npr. pilane i poljoprivredne farme, te se tako zadovoljavaju potrebe za električnom energijom tog kompleksa (kogeneracijsko postrojenje) i, po mogućnosti, okolnih nastambenih jedinica, a da se pri tome ne troše financijska sredstva na prijevoz biogoriva. Bioplinska postrojenja se dakle baziraju na paljenju bioplina, najčešće metana, no prvo se zbog ekološkog utjecaja i efikasnosti proizvodnog procesa sirovi bioplin mora filtrirati. Upravo zbog toga, postrojenja su opremljena filtracijskim sustavima koji filtriraju sumporovodik, ugljikov dioksid i vodenu paru. Kao i hidroelektrana, bioplinsko postrojenje se temelji na rotacijskom stroju te tako ima mogućnost slanja jalove energije u električnu mrežu.



Slika 3.2: Kogeneracijsko postrojenje [6]

3.1.3 Vjetroelektrane

Vjetroelektrane su postrojenja za proizvodnju električne energije koje rade na principu korištenja kinetičke energije vjetra za pokretanje turbine te rotora elektrogeneratora. Vjetroelektrane su najčešće u većem broju na lokacijama koje su specifično određene kroz znanstveno istraživanje i utvrđivanje „ponašanja“ vjetra na tim mjestima. Kao i ostali distribuirani izvori, grade se na mjestima gdje je to uopće moguće što se tiče geopozicije, točnije frekventnosti i jakosti vjetra. Vjetroelektrane zbog nekorištenja goriva imaju minimalan ekološki utjecaj u kontekstu ispušnih plinova, no zbog vibracija koje proizvode imaju određen negativan utjecaj na životinje, što se i danas proučava te se pokušavaju naći načini za smanjivanje lošeg utjecaja na ekosustav. Vjetroelektrane mogu biti iznimno velikih snaga (do 1000 MW, no češće puno manje od toga), ali broj mjesta gdje se isplati ulagati u vjetroelektrane je ograničen. One mogu biti građene u plitkom moru nedaleko od obale (priobalne), na pučini gdje je more preduboko za priobalne vjetroelektrane (pučinske) te na obali gdje se iskorištava energija vjetra na višim atmosferskim slojevima (visinske). Kao i ostale elektrane temeljene na rotacijskom stroju, imaju mogućnost isporuke jalove energije u električnu mrežu.



Slika 3.3: Princip rada vjetroelektrane [7]

3.1.4 Solarne elektrane

Solarne elektrane su postrojenja koja koriste sunčevu energiju za proizvodnju električne energije. Postoji više izvedbi, a neke od njih su solarni toranj, solarni koncentrator sa Stirlingovim motorom i fotonaponska elektrana. **Solarni toranj** funkcioniра na principu usmjeravanja sunčevog zračenja preko pomičnih zrcala na solarni prijamnik s vodom kojemu se temperatura tako povećava te stvara paru i nadalje pokreće parnu turbinu [8]. **Solarni koncentrator sa Stirlingovim motorom** radi na istom principu usmjeravanja sunčevog zračenja na određenu plohu preko zrcala, ali u ovom slučaju se zagrijava Stirlingov motor koji koristi helij ili vodik za provođenje Stirlingovog termodinamičkog ciklusa [9]. Ove vrste fotonaponskih elektrana još nemaju široku primjenu i istražuju se razni materijali i lokacije kako bi se povisila njihova efikasnost.

Najčešće korištena i najiskoristivija od navedenih izvedbi je elektrana bazirana na fotonaponskim modulima koja se izrađuje u obliku fotonaponskih elektrana. **Fotonaponski moduli** su napravljeni od serije spojenih fotonaponskih članaka koji se onda izrađuju u ploče konstruirane tako da osiguraju mehaničku čvrstoću i generalnu otpornost na vanjske utjecaje (korozija, kiša, tuča). **Fotonaponske elektrane** su dakle velik broj međusobno povezanih fotonaponskih modula koji se prostiru preko određene površine te koriste sunčevu energiju za proizvodnju električne energije na principu fotoelektričnog učinka. One mogu biti otočnog tipa te tako proizvoditi energiju samo za npr. potrebe jednog kućanstva gdje se višak energije skladišti u baterije, te mogu

biti mrežnog tipa što znači da se višak energije prodaje tj. šalje u električnu mrežu. Najčešće se grade za opskrbu kućanstva, firme, fakulteta ili gospodarske zgrade no postoje i brojne fotonaponske elektrane velikih snaga (do 200MW).



S

Slika 3.4: Shematski prikaz fotonaponske elektrane [10]

Fotonaponske elektrane temeljene na fotonaponskim modulima, za razliku od ostalih distribuiranih izvora, nemaju rotacijski stroj za generaciju električne energije, te se isporuka jalove energije odvija preko ugrađenih pretvarača. Oni služe za pretvaranje istosmjernog napona kojeg proizvodi fotonaponska elektrana u izmjenični. Imaju ograničenu mogućnost isporuke zbog zahtjeva za rad s vrlo visokim faktorom snage ($\pm 0,95$), te će se upravo parametri pretvarača koristiti kao model distribuiranog izvora u simulacijskom dijelu ovog završnog rada.



Slika 3.5: Fotonaponski pretvarač

3.2 Klasifikacija distribuiranih izvora

Osim standardne raspodjele distribuiranih izvora na tipove, postoji još raspodjela po različitim tehnologijama korištenim za svoj rad. Ovo je raspodjela sa stajališta elektrotehnike te se kao takva koristi za proučavanje njihovog utjecaja na elektroenergetski sustav. Dakle, distribuirani izvori se klasificiraju po primjeni u EE sustavu, obliku proizvedene energije i prema obnovljivosti. U praksi, tehnologija koju izabiremo za nekakav hipotetski slučaj potrebe za opskrbom se bira prema potrebi, ovisno o teretu mreže. Prema [1] područja primjene su:

-Rezervni izvor (engl. Standby) – distribuirani izvor koji se koristi kao rezerva u slučaju kvara u prijenosu električne energije kako bi se zadovoljila potreba za električnom energijom (bolnice, industrije)

-Samostalni (engl. Stand alone) –distribuirani izvor koji se ugrađuje na lokacije gdje je zbog geolokacije financijski nepovoljno graditi infrastrukturu za prijenos električne energije

-Ravnanje vršnog opterećenja (engl. Peak load shaving) – cijena električne energije mijenja se ovisno potrošnji električne energije te prema dostupnosti generacije električne energije, te se tada distribuirani izvori mogu koristiti za pokrivanje vršnog opterećenja

-Opskrbeni izvori (engl. Rural and remote application)– distribuirani izvori koji pokrivaju potrebe potrošača u ruralnim područjima u kontekstu grijanja, rasvijete, komunikacije te još služe za potporu i regulacije voltaže sustava

-Kogeneracija (engl. Heat and power provider)– distribuirani izvori koji se mogu koristiti za kogeneraciju, tj. istovremenu proizvodnju topline i električne energije što omogućuje vrlo visoku stopu efikasnosti

-Bazno opterećenje (engl. Base load)– distribuirani izvori koji služe za proizvodnju dijela potrebne električne energije, ali i za potporu mreže, točnije za poboljšanje naponskog profila sustava i smanjenje gubitaka

3.3 Prednosti distribuiranih izvora

Ugradnja distribuiranih izvora ima mnoge prednosti. Prema [11] ovo su neke od prednosti distribuiranih izvora:

3.3.1 Ekonomski utjecaj

- a) Distribuirani izvor može riješiti problem lokalnog povećanja potrošnje tako što ga se instalira na određenu lokaciju te se tako može izbjeći skupa izgradnja novih dalekovoda
- b) Distribuirani izvor može biti instaliran vrlo jednostavno i vrlo brzo na bilo koju lokaciju te je njegovo održavanje jednostavno i neovisno od modula do modula
- c) Kapacitet distribuiranog izvora se može jednostavno mijenjati ovisno o potrebama dodavanjem i oduzimanjem modula
- d) Distribuirani izvor nije ograničen centralizacijom, točnije može biti instaliran bilo gdje što smanjuje gubitke u prijenosu
- e) Distribuirani izvori povećavaju životni vijek ostale opreme i smanjuju potrošnju goriva

3.3.2 Tehnički utjecaj

- a) Distribuirani izvori mogu smanjiti gubitke snage u distribucijskoj mreži i popraviti naponski profil mreže
- b) Distribuirani izvori poboljšavaju pouzdanost mreže jer, za razliku od centralizirane generacije, njihova proizvodnja je raspoređena na više lokacija
- c) Distribuirani izvori mogu koristiti kao rezervni izvor energije u slučaju iznenadnog kvara u mreži
- d) Distribuirani izvori poboljšavaju ekološki aspekt proizvodnje električne energije
- e) Distribuirani izvori pokrivaju vršno opterećenje ako je to potrebno

3.4 Nedostaci distribuiranih izvora

Uz činjenicu da je proizvodnja električne energije iz distribuiranih izvora poželjna i pozitivna, kao i u svemu, postoje negativni aspekti izgradnje i korištenja distribuiranih izvora. Neki od nedostataka su:

- a)** Proizvodnja električne energije iz distribuiranih izvora često je nepredvidiva i promjenjivog je karaktera
- b)** Kod velikih distribuiranih izvora može doći do zagušenja mreže u uvjetima niske potrošnje, jer sustav nije u mogućnosti preuzeti svu proizvedenu električnu energiju **[11]**
- c)** Smještaj vjetroelektrana, hidroelektrana i fotonaponskih elektrana je uvjetovan geolokacijskim prilikama
- d)** Potreban je velik početni kapital za ulaganje u izgradnju distribuiranih izvora većih snaga
- e)** Postoje određeni adaptacijski problemi pri spajanju distribuiranih izvora na mrežu jer ona u počecima nije bila građena za prihvrat takvih izvora energije

4. SIMULACIJSKI ALAT ZA ANALIZU DISTRIBUTIVNE MREŽE

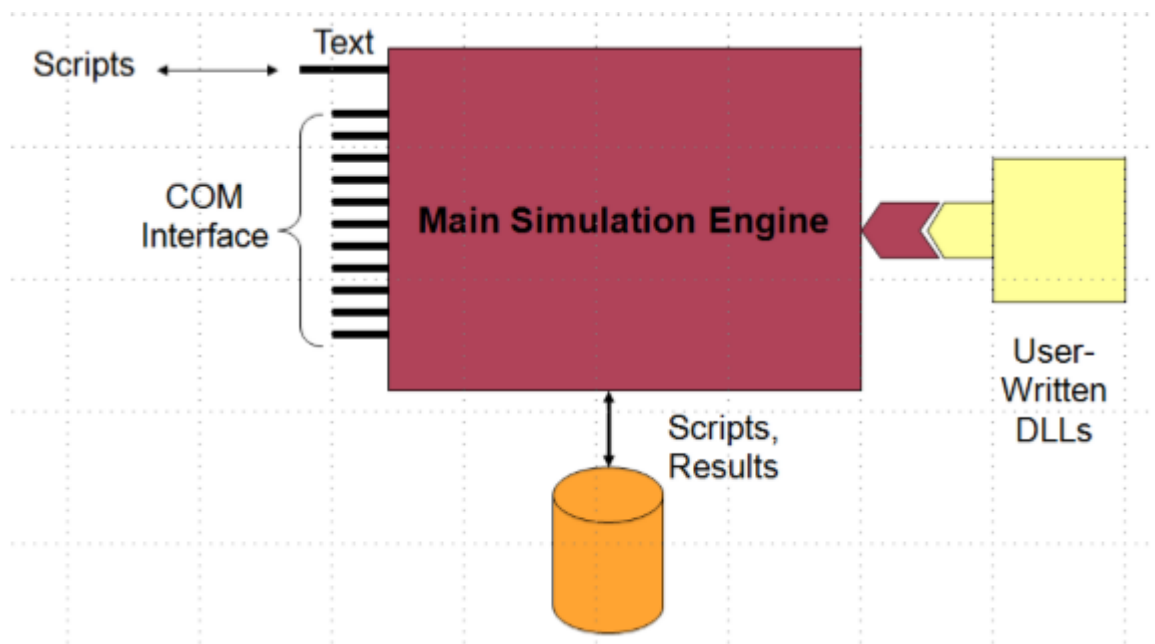
Simulator distribucijskih sustava (engl. Open Distribution System Simulator-OpenDSS) je besplatan *open source* program razvijen od strane Electric Power Research Institute, Inc., te služi za simulaciju elektrotehničkih sustava. *Open source* tip softvera znači da se samom instalacijom dobiju početni kodovi simuliranja raznih tipičnih slučajeva u električnoj mreži te je slobodan za prilagodbu, što je i korišteno za izradu ovog završnog rada. OpenDSS je napravljen tako da može biti samostalan program za izvršenje simulacija, ali i program koji se može povezati s drugim softverom (Python, Matlab) preko COM sučelja. Izvorno je program osmišljen za analizu i simulaciju distribuirane proizvodnje, ali se može koristiti i za novije tehnologije kao što su npr. napredne mreže (engl. SmartGrid).

Neke od primjena OpenDSS-a su:

- Planiranje i analiza distribucije
- Analiza višefaznih izmjeničnih krugova
- Analiza distributivne proizvodnje
- Simuliranje vjetroelektrana
- Simuliranje zaštitnog sustava
- Modeliranje baterijskih spremnika
- Modeliranje distribuiranih izvora
- Modeliranje distributivne mreže
- Simuliranje fotonaponskih sustava

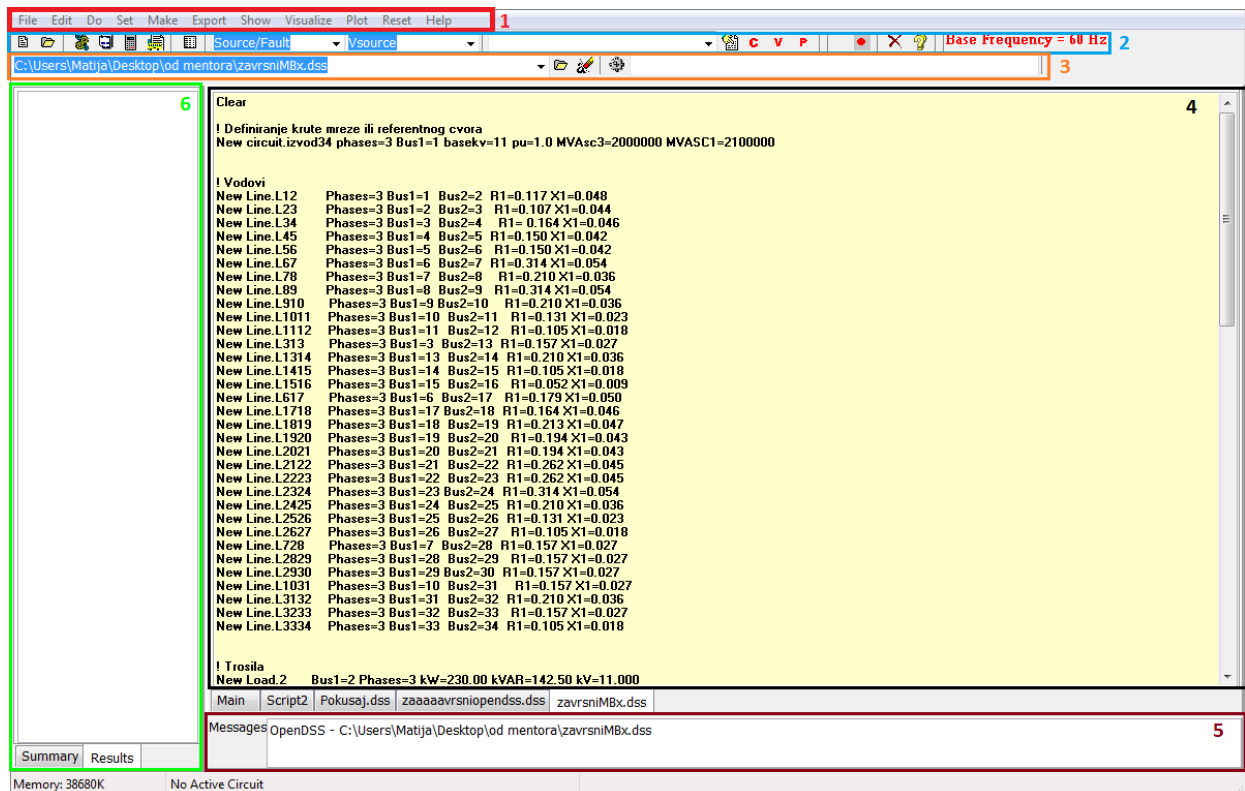
4.1 Povezivanje programa OpenDSS i Matlab preko COM sučelja

Iako je OpenDSS sam po sebi pregledan i dovoljan, ima mogućnost povezivanja s drugim softverom preko COM sučelja. *Component Object Model* (COM) sučelje služi korisniku za dizajniranje i izvršavanje OpenDSS skripti preko eksternih softverskih paketa kao što je Matlab. Ovo omogućuje direktan pristup tekstualnim naredbama koje sadrži OpenDSS te tako koristi ponajviše za automatizaciju procesa simuliranja brojnih slučajeva istovremeno, te za estetsko unaprijeđenje. Slika 4.1 prikazuje strukturu OpenDSS-a.



Slika 4.1: Struktura OpenDSS-a [12]

4.2 Korisničko sučelje programa OpenDSS



Slika 4.2: Korisničko sučelje OpenDSS-a [4]

Pri pokretanju programa otvori se korisničko sučelje (Slika 4.2). Prvi pravokutnik označen brojem 1 sadržava glavni izbornik koji se sastoji od 10 padajućih izbornika sa raznim funkcijama. Neke od glavnih funkcija tih izbornika su spremanje rada, crtanje grafova, prikazivanje elemenata, pomoćni izbornik, crtanje mreže i slično. U pravokutniku označenom brojem 2 se nalazi alatna traka gdje se nalaze neke od glavnih naredbi kao što su „New Script Window“, „Solve“ i „Do Command“, što koristimo za proračun skripte, izvršavanje označenih naredbi, isčitavanje rezultata te otvaranje gotovih skripti. Nakon toga imamo određene programske naredbe koje služe za brzo učitavanje skripti, vizualizaciju napona i struja te prikazivanje zadnje greške. Pod brojem 3 imamo traku koja nas obavještava o lokaciji datoteke u kojoj trenutno radimo te traku koja nam govori koja je zadnja greška pri kalkulaciji i pokretanju skripte, iz čega možemo iščitati što bismo trebali korigirati za uspješno pokretanje simulacije. U pravokutniku označenom brojem 4 nalazi se glavni naredbeni prozor u kojem se nalaze sve potrebne naredbe kojima definiramo sustav, vodove, distribuirane izvore, transformatore, opterećenje te kojima možemo narediti programu iscrtavanje željenih grafova i slično. Pod brojem 5 je označena traka u kojoj primamo obavijesti od programa pri pokretanju skripte te u nju ne možemo ništa pisati, dok je iznad navedene trake popis skripti

koje trenutno imamo otvoreno te tako možemo brzo izvršavati više simulacija. Zadnji dio korisničkog sučelja označen je brojem 6 te u ovom prozoru nemamo mogućnost unošenja teksta već je to tekstualno sučelje koje nam prikazuje rezultate najbitnijih veličina u simulaciji.

4.3 Naredbe programa OpenDSS

Ovaj *open-source* program ima prijedefinirane probne slučaje za mreže različitih razina kompleksnosti i primjena. U ovom završnom radu korišten je testni slučaj s 13 sabirnica te su vršene preinake kroz određene naredbe u odnosu na potrebe ovog završnog rada.

Početak skripte za svaku simulaciju uvijek mora sadržavati naredbu za definiranje referentnog čvora/izvora:

```
New circuit.IEEE13Nodeckt basekv=115 pu=1.0001 phases=3 bus1=SourceBus Angle=30  
~MVAsc3=20000 MVASC1=21000
```

Ova naredba se sastoji od definiranja imena mreže (*New circuit.IEEE13Nodeckt*), te od definiranja glavnih parametara mreže (*basekv=115 pu=1.0001 phases=3 bus1=SourceBus Angle=30*) *Phases* zadaje broj faza mreže, *Bus* zadaje sabirnicu na kojoj će se element nalaziti, *basekv* zadaje bazni napon referentnog čvora, *pu* zadaje dozvoljeno odstupanje te *Angle* zadaje početni fazni pomak. Ovaj program prepoznaje razmake kao funkciju za odvajanje pri definiranju svakog parametara, te je to potrebno učiniti kako i ovdje, tako i u svakoj drugoj naredbi. Više razmaka neće utjecati na kod, te to možemo iskoristiti za estetsko unaprjeđenje. Bitno je još naglasiti da se ne moraju osobno definirati apsolutno svi parametri nekog elementa kako bi se pokrenula simulacija jer su određeni parametri prijedefinirani i ne mogu se promijeniti, no za svaku naredbu postoje određeni parametri koje je neophodno definirati za uspješno pokretanje skripte.

Nakon što definiramo parametre mreže, slijedi definiranje vodova, za što se koristi sljedeća naredba:

```
New Line.632670 Phases=3 Bus1=632.1.2.3 Bus2=670.1.2.3 LineCode=mtx601 Length=667  
units=ft
```

Ova naredba se sastoji od imenovanja voda (*New Line.632670*) te od definiranja njegovih parametara (*Phases=3 Bus1=632.1.2.3 Bus2=670.1.2.3 LineCode=mtx601 Length=667 units=ft*). *Phases* zadaje broj faza voda, *Bus1* i *Bus2* definiraju početak i kraj voda, *LineCode* definira karakteristike voda (**R**-električni otpor voda, **X**-reaktancija voda, **C**-kapacitivnost voda), *Length* definira duljinu te *units* zadaje mjernu jedinicu za duljinu. Ovdje je bitno napomenuti da

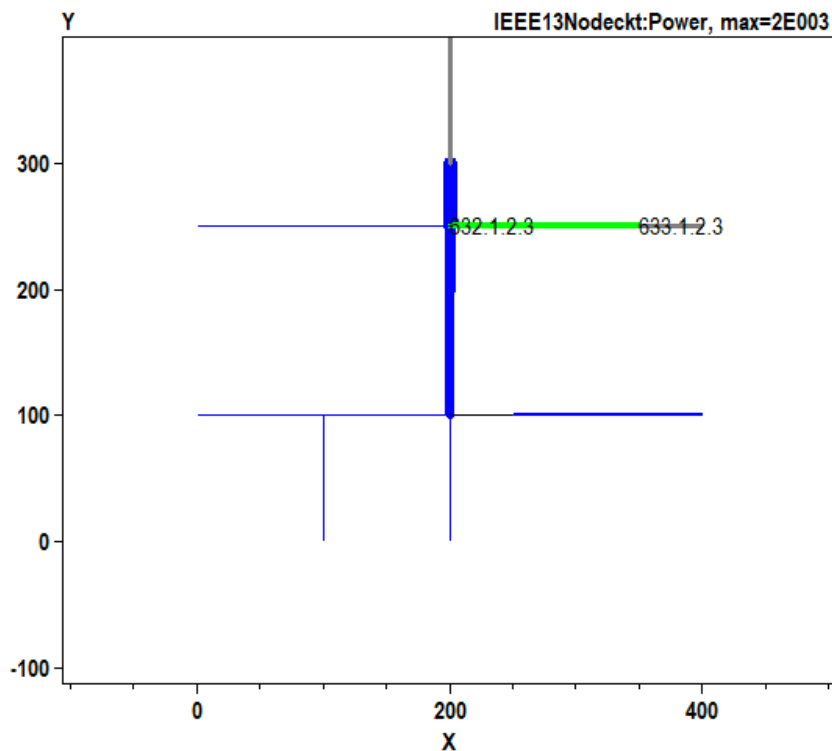
je obvezno definirati početak i kraj voda, te da se karakteristike voda mogu i ručno definirati, bez učitavanja prijedefiniranih parametara voda, što možemo napraviti tako što zamijenimo *LineCode=mtx601* s *R1=0.117 X1=0.048*, čime ručno zadajemo električni otpor i reaktanciju.

Sljedeća funkcija služi za definiranje elementa koji predstavlja teret:

```
New Load.634a Bus1=634.1 Phases=1 Conn=Wye Model=1 kV=0.277 kW=160 kvar=110
```

Sastoji se od definiranja imena elementa (*New Load.634a*), zadavanja lokacije elementa (*Bus1=634.1*), te od definiranja parametara opterećenja (*Phases=1 kV=0.277 kW=160 kvar=110*). *Phases* definira broj faza elementa, *kV* zadaje bazni napon elementa, *kW* zadaje radnu snagu te *kvar* jalovu snagu. Ovdje je bitno napomenuti da je mjerna jedinica za radnu snagu u kilovatima, a ne vatima, na što treba obratiti pozornost pri pisanju skripte.

Sada već možemo pomoću naredbe `plot` u alatnoj traci vizualizirati osnovni oblik mreže s nazivima čvorova:

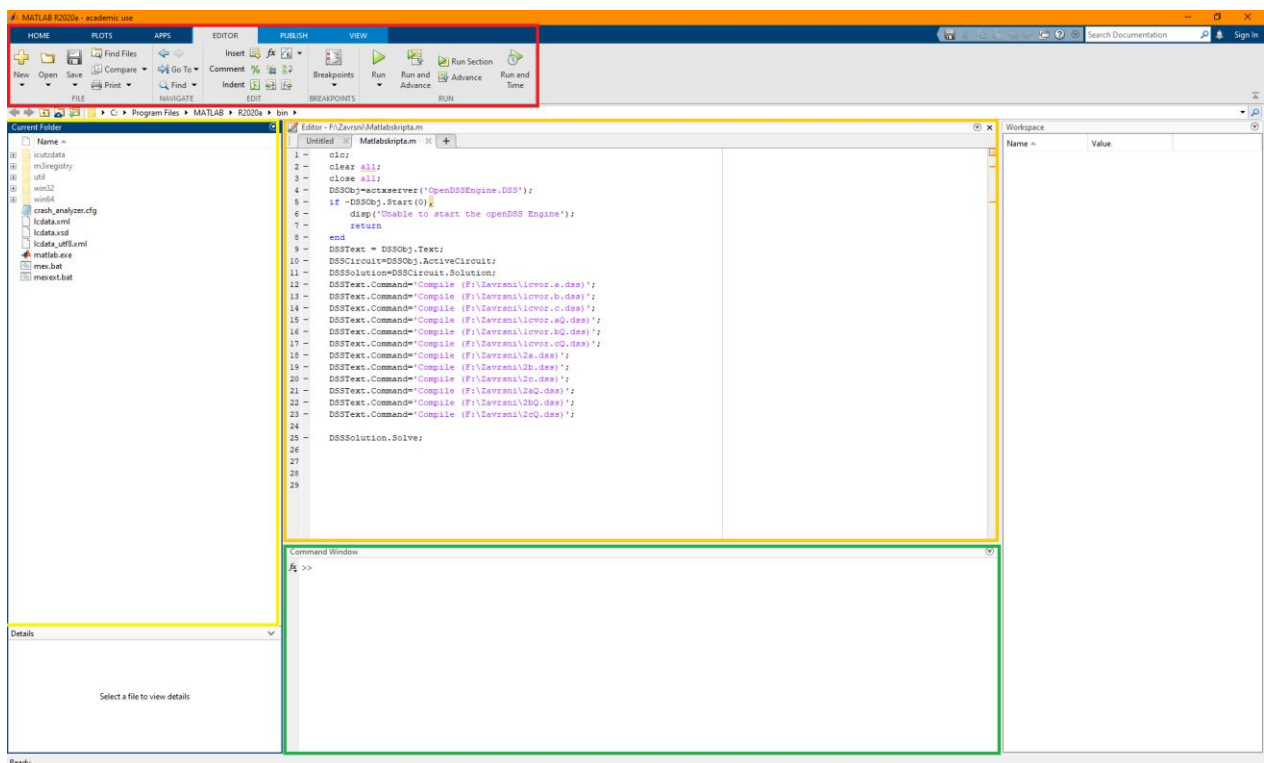


Slika 4.3: Oblik mreže s imenima čvorova

U svrhu ovog završnog rada, sljedeće što je definirano je distribuirani izvor u navedenom primjeru:
New Generator.DGI phases=3 bus1=634.1 kV=0.277 kw=350 kvar=30
 Ova naredba se sastoji od zadavanja imena distribuiranom izvoru (*New Generator.DGI*) te od zadavanja parametara izvora (*phases=3 bus1=634.1 kV=0.277 kw=350 kvar=30*). *Phases* definira broj faza elementa, *bus1* definira na koju sabirnicu je spojen izvor, *kV* definira bazni napon izvora, *kW* radnu snagu, a *kvar* jalovu snagu. Bitno je napomenuti da se bazni napon izvora mora podudarati s baznim naponom sabirnice na koju je sam taj izvor priključen.

Osim dosad navedenih naredbi, bitno je još znati da se dodavanjem znaka „!“ prije linije koda izvršava naredba komentiranja, što znači da se ta naredba neće izvesti pri pokretanju skripte, što možemo koristiti za unaprjeđenje preglednosti koda, pojašnjavanje određenih linija koda i slično. Osim toga, postoje još brojne naredbe za crtanje grafova, shematskog prikaza mreže te razna pravila pri kodiranju što je opisano u priručniku za OpenDSS [13].

4.4 Korisničko sučelje programa Matlab



Slika 4.4: Korisničko sučelje Matlab-a

Crveni pravokutnik označava glavnu alatnu traku korisničkog sučelja, gdje se nalaze neke od primarnih funkcija matlaba kao što su: spremanje skripte, otvaranje nove skripte, pokretanje, crtanje grafova, estetska adaptacija i slično. Žuti pravokutnik označava dio korisničkog sučelja

gdje možemo vidjeti trenutnu mapu u kojemu se nalazimo i sve skripte koje ona sadrži. Zeleni okvir označava naredbeni prozor koji nam omogućuje da izvršavamo naredbu po naredbu, te narančasti okvir koji označava uređivač skripte što je najbitniji dio korisničkog sučelja. Ovdje pišemo sve naredbe koje želimo da program izvrši te smo tako preko tekstualnih naredbi pokretali OpenDSS i skripte koje su tamo spremljene.

4.5 Naredbe programa Matlab

Kod koji je ovdje pisan u svrhu ovog završnog rada je vrlo jednostavan. Počinjemo s čišćenjem radne memorije s naredbom *clear* te povezujemo skriptu s OpenDSS naredbom *DSSObj=actxserver('OpenDSSEngine.DSS')*. Nakon toga osiguravamo povratnu informaciju u slučaju greške:

```
if ~DSSObj.Start(0),  
    disp('Unable to start the openDSS Engine');  
    return  
end
```

te povezujemo varijable:

```
DSSText = DSSObj.Text;  
DSSCircuit=DSSObj.ActiveCircuit;  
DSSSolution=DSSCircuit.Solution;
```

Na kraju, pokrećemo proizvoljan broj skripti u OpenDSS naredbom

DSSText.Command='Compile (F:\Završni\Icvor.a.dss)'; gdje moramo definirati lokaciju skripte koju želimo pokrenuti.

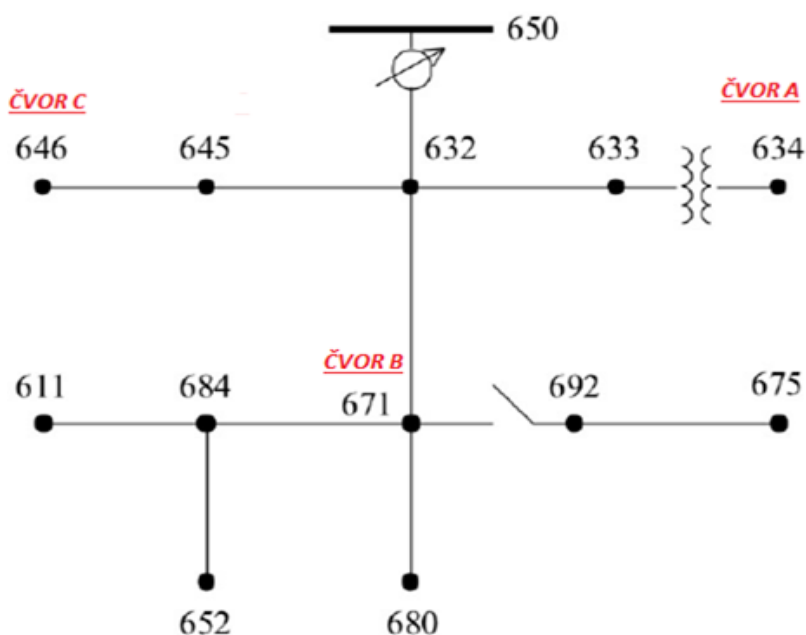
5. SIMULACIJE UTJECAJA DISTRIBUIRANOG IZVORA NA MREŽU

Distribuirani izvor koji će se promatrati kroz sljedeće simulacije modeliran je po prosječnim vrijednostima pretvarača fotonaponske elektrane te su mu omjeri djelatne i jalove snage približno jednaki za sve simulacije.

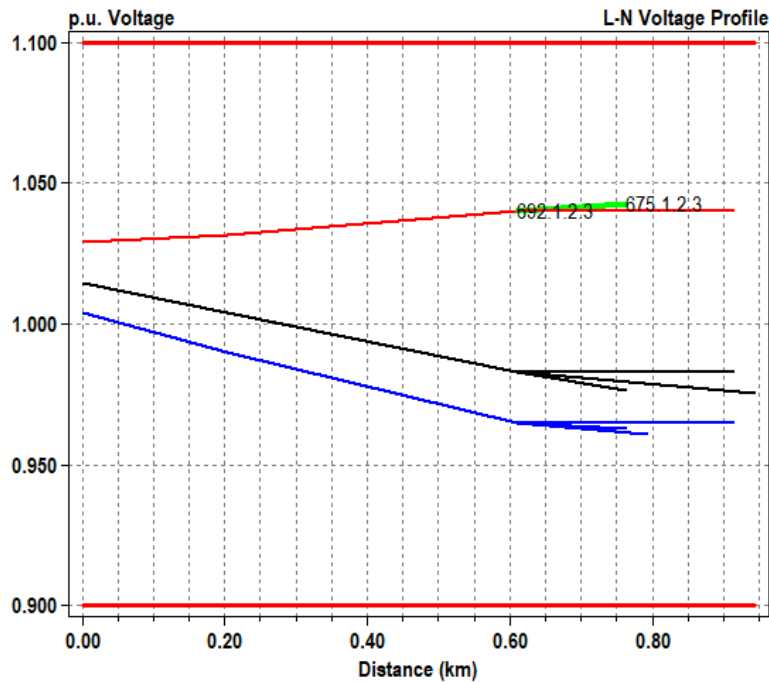
Prvenstveno je potrebno prikazati naponski profil standardno definirane distribucijske mreže s 13 sabirnica bez dodanih distribuiranih izvora kako bi imali referentnu vrijednost za usporedbu, nakon čega ćemo podijeliti simulacije na 2 glavne kategorije:

1. dodati distribuirani izvor nepromjenjive vrijednosti radne i jalove snage te ga postavljati na različite lokacije u mreži za slučaje kada je jalova snaga distribuiranog izvora $Q=0$ i kada je $Q \neq 0$
2. dodati distribuirani izvor i mijenjati vrijednosti radne i jalove snage distribuiranog izvora za stalnu lokaciju u mreži za koju smo u prvoj simulaciji zaključili da postoji najveći utjecaj na gubitke cjelokupne mreže, također za slučaje kada je jalova snaga distribuiranog izvora $Q=0$ i kada je $Q \neq 0$

Osim toga, potrebno je prikazati izgled mreže zbog lokacija sabirnica na koje je spajan distribuirani izvor. Na sljedećim slikama prikazani su trofazni naponski profil mreže **bez distribuiranog izvora** (Slika 5.2) s rezultatnim radnim gubicima od 3.25% (112.4 kW od ukupne radne snage mreže iznosa $P=3454.7$ kW), te shematski prikaz mreže (Slika 5.1).



Slika 5.1: Shematski prikaz mreže [13]



Slika 5.2: Trofazni naponski profil mreže bez distribuiranog izvora
(crna-faza 1, crvena-faza 2, plava-faza 3)

5.1 Distribuirani izvor s nepromjenjivim parametrima postavljen na različite lokacije

Distribuirani izvor sa stalnom vrijednosti radne i jalove snage $P=350$ kW/ $Q=30$ kvar postavljen u čvorove 634,646 i 671. Čvorovi su imenovani slovima: A, B i C zbog preglednosti i jednostavnosti.

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati svih scenarija prve kategorije simulacija:

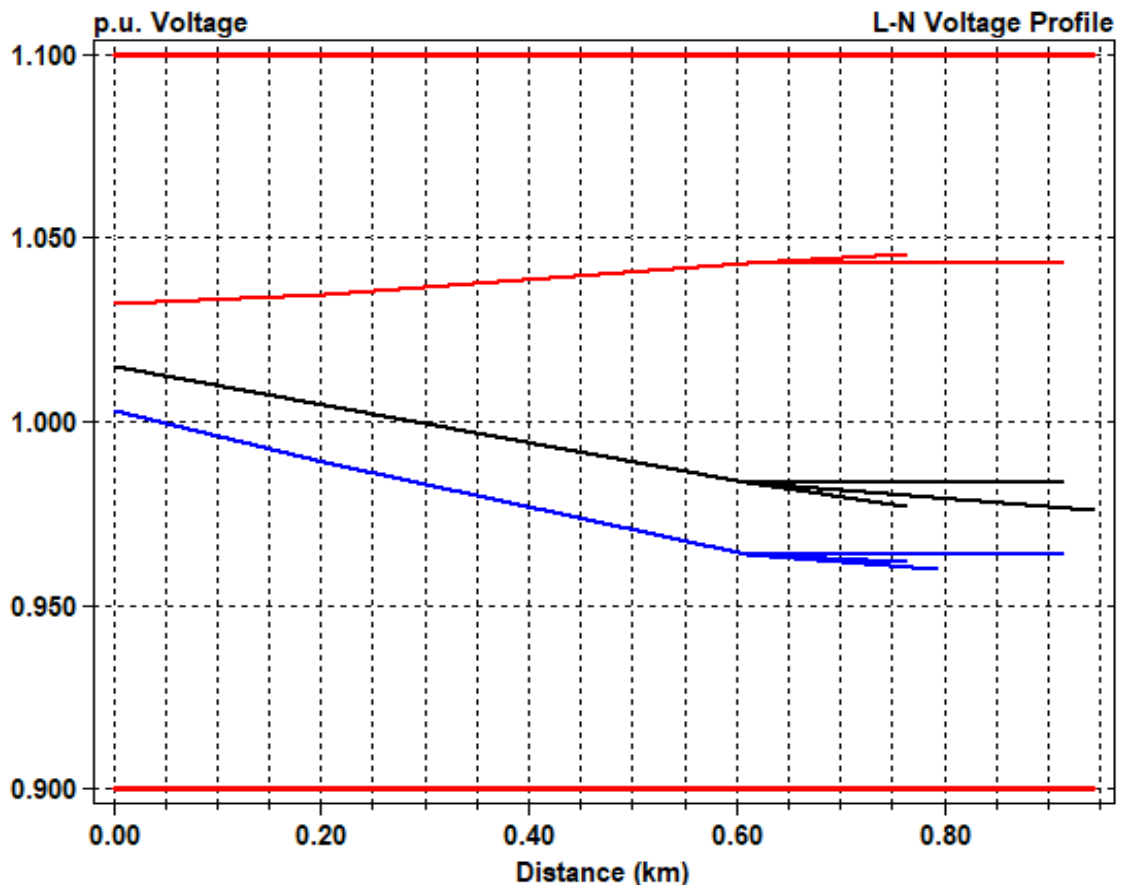
Čvor	A	A (Q=0)	B	B (Q=0)	C	C (Q=0)
Ukupni radni gubici mreže P_g (kW)	90.6	92.7	94.4	95.1	103.3	103.5
Ukupna radna snaga mreže P (kW)	3455.3	3454.1	3459.1	3458.4	3455	3457.4
Udio radnih gubitaka u mreži $\frac{P_g}{\text{Ukupna radna snaga mreže}} \times 100\%$ (%)	2.62	2.68	2.73	2.75	2.99	3

Tablica 5.1: Rezultati simulacija 1. kategorije

5.1.1 Distribuirani izvor u čvoru A

Za prvi slučaj uzet je čvor A koji je na primaru transformatora te je na njega instaliran distribuirani izvor.

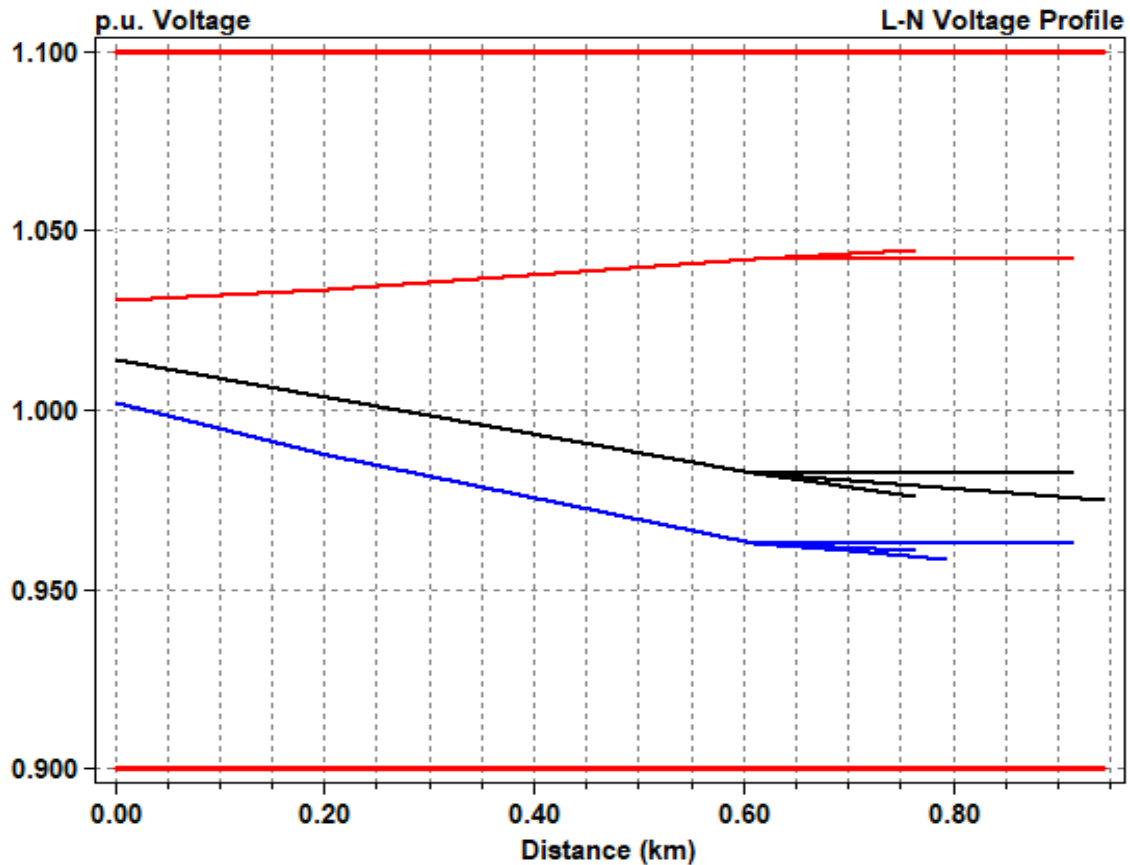
a) sljedeća slika (Slika 5.3) prikazuje trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage $P=350 \text{ kW}/Q=30 \text{ kvar}$, te rezultatnim radnim gubicima od 2.62% (90.6 kW od ukupne radne snage mreže $P=3455.3 \text{ kW}$)



Slika 5.3: Trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage $P=350 \text{ kW}/Q=30 \text{ kvar}$

U ovom slučaju, dodavanje distribuiranog izvora je rezultiralo smanjivanjem ukupnih radnih gubitaka mreže s 3.25% na 2.62% što je bitno poboljšanje kada se uzme u obzir da je dodan samo jedan distribuirani izvor.

b) sljedeća slika (Slika 5.4) prikazuje trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage $P=350 \text{ kW}/Q=0 \text{ kvar}$, te rezultatnim radnim gubicima od 2.68% (92.7 kW od ukupne radne snage mreže $P=3454.1 \text{ kW}$)



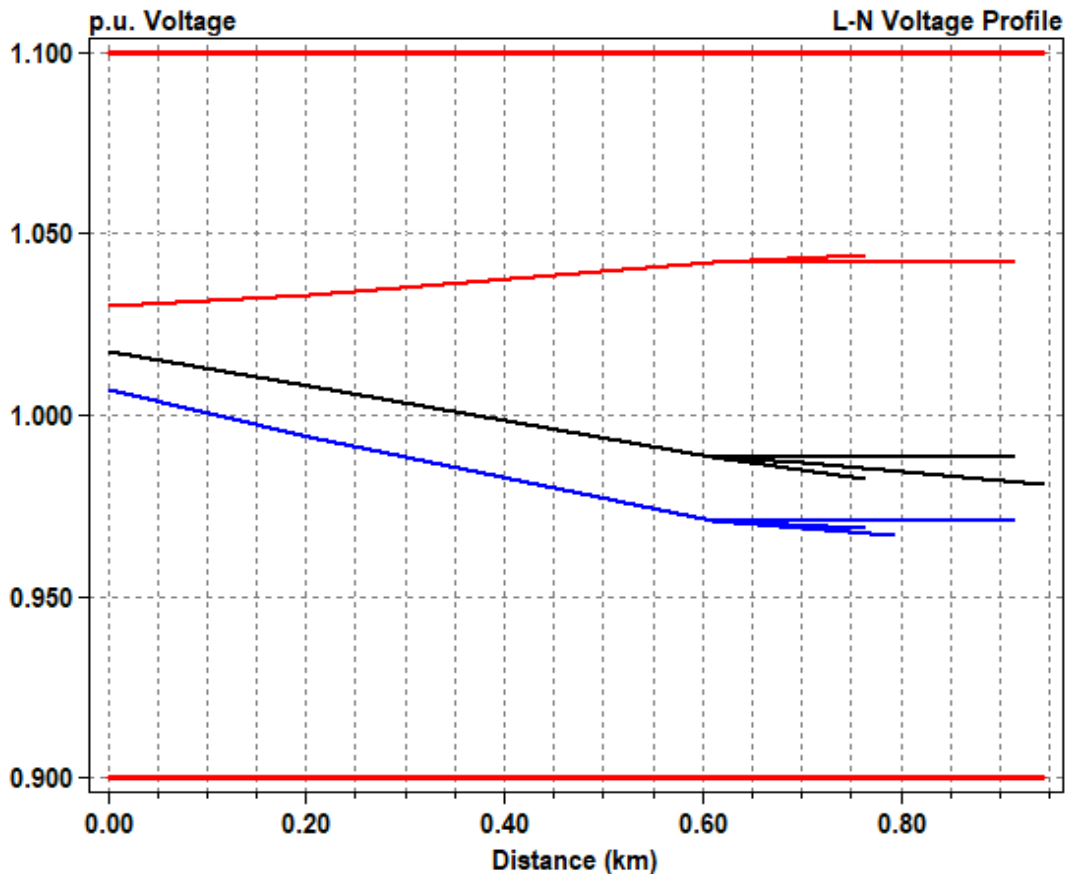
Slika 5.4: Trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage $P=350 \text{ kW}/Q=0 \text{ kvar}$

Za slučaj na istoj lokaciji kao i prethodni, ali s distribuiranim izvorom koji proizvodi čistu djelatnu energiju, rezultanti radni gubici ukupne mreže su se povisili s 2.62% na 2.68% što znači da u ovom slučaju za mrežu nije pogodno da izvor proizvodi čistu djelatnu snagu. Osim toga, na fazi označenoj plavom bojom se može vidjeti i određeno pogoršanje naponskog profila mreže u odnosu na prethodni slučaj s određenom zadanom jalovom snagom distribuiranog izvora.

5.1.2 Distribuirani izvor u čvoru B

Za drugi slučaj uzet je čvor B te je na njega instaliran distribuirani izvor.

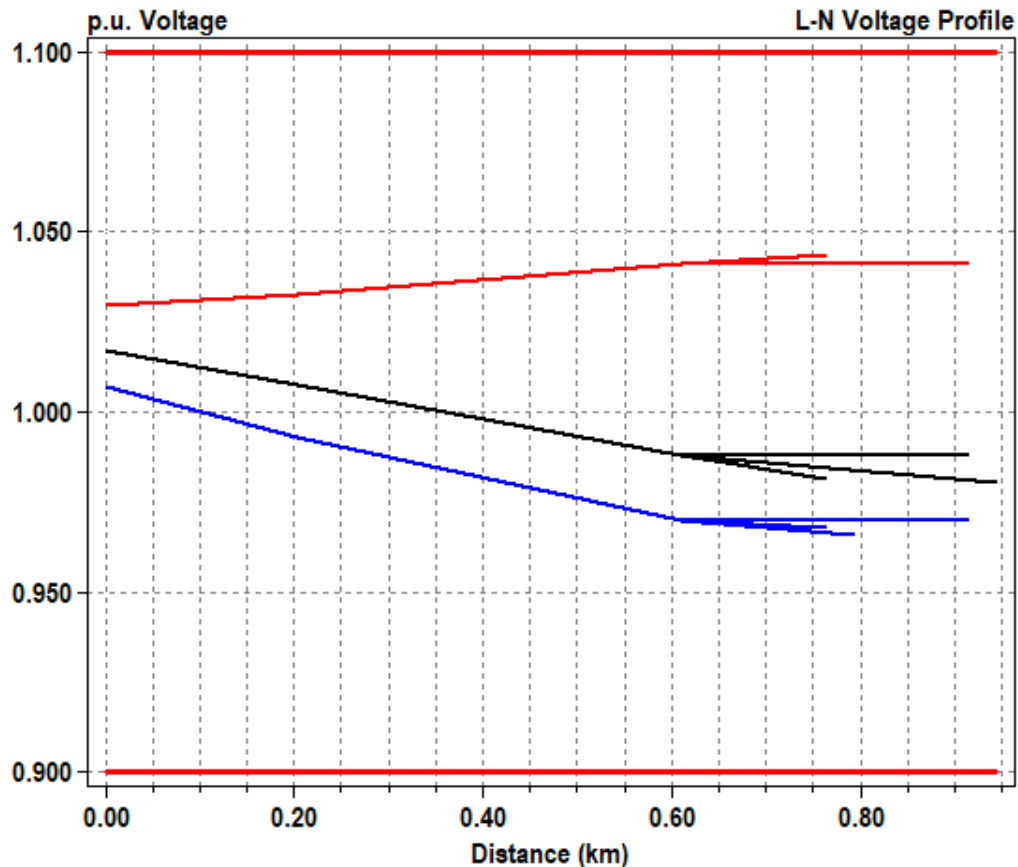
a) sljedeća slika (Slika 5.5) prikazuje trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage $P=350 \text{ kW}/Q=30 \text{ kvar}$, te resultantnim radnim gubicima od 2.73% (94.4 kW od ukupne radne snage mreže $P=3459.1 \text{ kW}$)



Slika 5.5: Trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage $P=350 \text{ kW}/Q=30 \text{ kvar}$

U ovom slučaju, distribuirani izvor je također smanjio ukupne radne gubitke, u odnosu na mrežu bez distribuiranog izvora, s 3.25 % na 2.73%, no imao je manji utjecaj nego u čvoru A.

b) sljedeća slika (Slika 5.6) prikazuje trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage $P=350 \text{ kW}/Q=0 \text{ kvar}$, te rezultatnim radnim gubicima od 2.75% (95.1 kW od ukupne radne snage mreže $P=3458.4 \text{ kW}$)



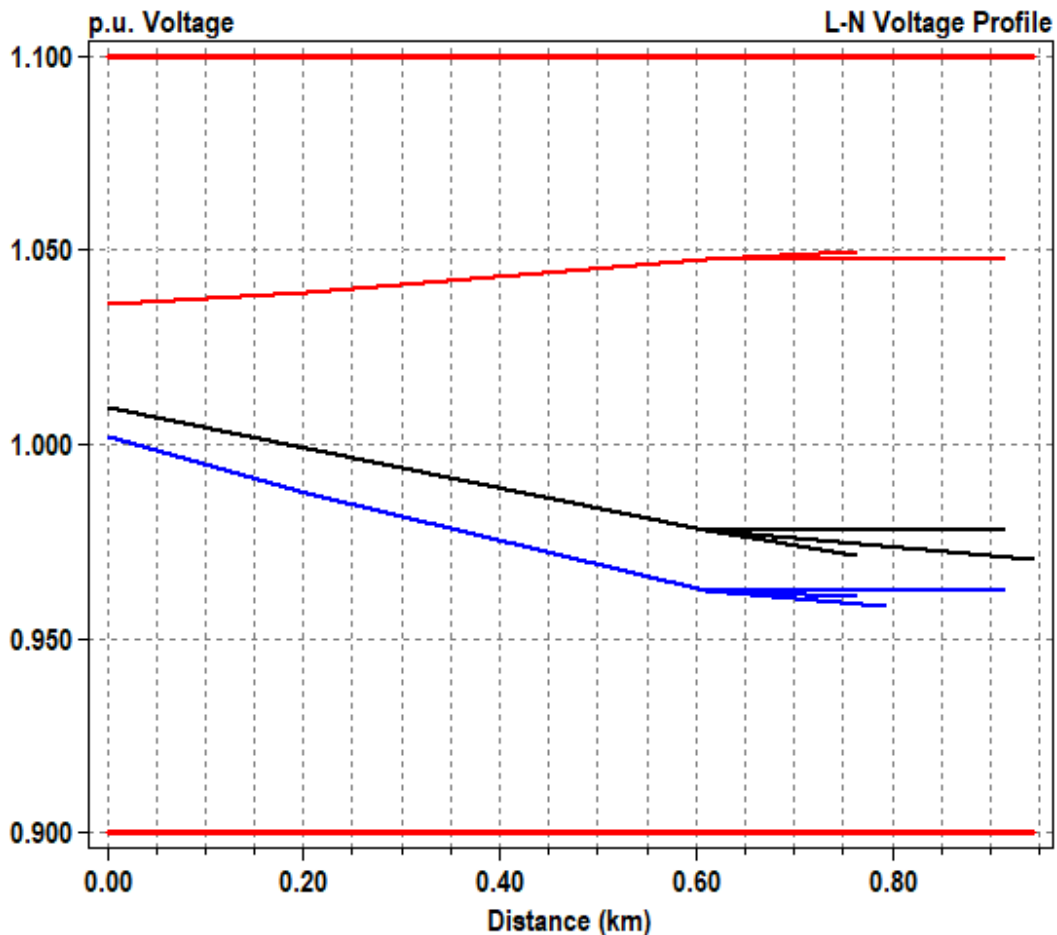
*Slika 5.6: Trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage
 $P=350 \text{ kW}/Q=0 \text{ kvar}$*

Kao i za čvor A, proizvodnja čiste djelatne snage iz ovako modeliranog distribuiranog izvora povećava ukupne gubitke u mreži, ovdje je to s 2.73% na 2.75%. Može se još primijetiti i blago pogoršanje naponskog profila mreže u odnosu na slučaj s jalovom snagom.

5.1.3 Distribuirani izvor u čvoru C

Za treći slučaj uzet je čvor C te je na njega instaliran distribuirani izvor.

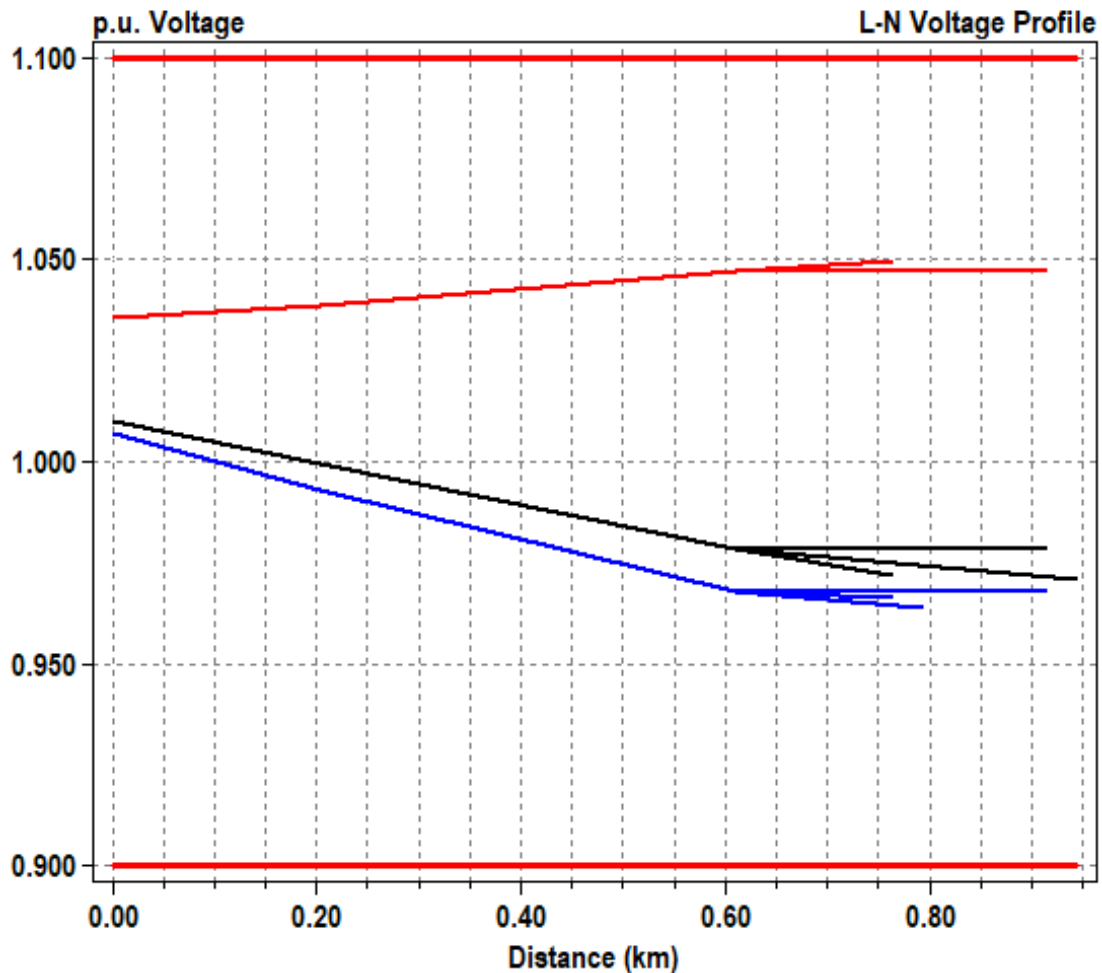
a) sljedeća slika (Slika 5.7) prikazuje trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage $P=350 \text{ kW}/Q=30 \text{ kvar}$, te rezultatnim radnim gubicima od 2.99% (103.3 kW od ukupne radne snage mreže $P=3455 \text{ kW}$)



Slika 5.7: Trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage $P=350 \text{ kW}/Q=30 \text{ kvar}$

Kao i u prethodna dva slučaja, spajanje distribuiranog izvora je smanjilo ukupne gubitke mreže, ovdje je to s 3.25% na 2.99%, no možemo vidjeti da je u čvoru C manji utjecaj na gubitke u odnosu na druge simulacije.

b) sljedeća slika (Slika 5.8) prikazuje trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage $P=350 \text{ kW}/Q=0 \text{ kvar}$, te rezultatnim radnim gubicima od 3% (103.5 kW od ukupne radne snage mreže $P=3457.4 \text{ kW}$)



*Slika 5.8: Trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage
 $P=350 \text{ kW}/Q=0 \text{ kvar}$*

Kao i u prethodnim slučajevima, kada distribuirani izvor proizvodi čistu djelatnu snagu, gubici mreže se povećaju s 2.99% na 3%. U ovom slučaju je to minimalna razlika od 0.01%, no i ovdje se može primijetiti određeno pogoršanje naponskog profila mreže u odnosu na slučaj s jalovom snagom.

Zaključak 1. kategorije simulacija: dodavanje distribuiranog izvora vrijednosti radne i jalove snage $P=350$ kW/ $Q=30$ kvar smanjuje gubitke u mreži bez obzira na čvor u koji ga stavimo. Promjena u rezultatnim radnim gubicima ovisi o čvoru u kojem se nalazi distribuirani izvor, pa se najveće smanjenje gubitaka može primijetiti u simulaciji za čvoru A na primaru transformatora. U navedenoj simulaciji su se ukupni radni gubici smanjili s 3.25% (Poglavlje 5.1) na 2.62% (Poglavlje 5.1.1). Kada distribuirani izvor ne proizvodi jalovu energiju, to rezultira povišenjem radnih gubitaka u svakoj od simulacija. Osim toga, kada distribuirani izvor ne proizvodi jalovu energiju, to pogoršava naponski profil mreže, što je najočitiije u iteraciji gdje je distribuiran izvor postavljen u čvor B. Kada usporedimo naponski profil mreže u kojoj nema distribuiranog izvora (Slika 5.5) i naponski profil mreže u kojoj distribuirani izvor postoji (Slika 5.6), može se vidjeti određeno pogoršanje naponskog profila na sve 3 faze.

5.2 Distribuirani izvor različitih parametara postavljen na jedinstvenu lokaciju

Za ovu kategoriju simulacije će se mijenjati radna i jalova snagu distribuiranog izvora koji je spojen na čvor A. Uzet je čvor A zato što se u prethodnoj kategoriji simulacija pokazalo da je najveći utjecaj na radne gubitke upravo bio u situaciji spajanja distribuiranog izvora na čvor A. U sljedećoj tablici navedeni su podaci svih izvršenih iteracija ove kategorije simulacija:

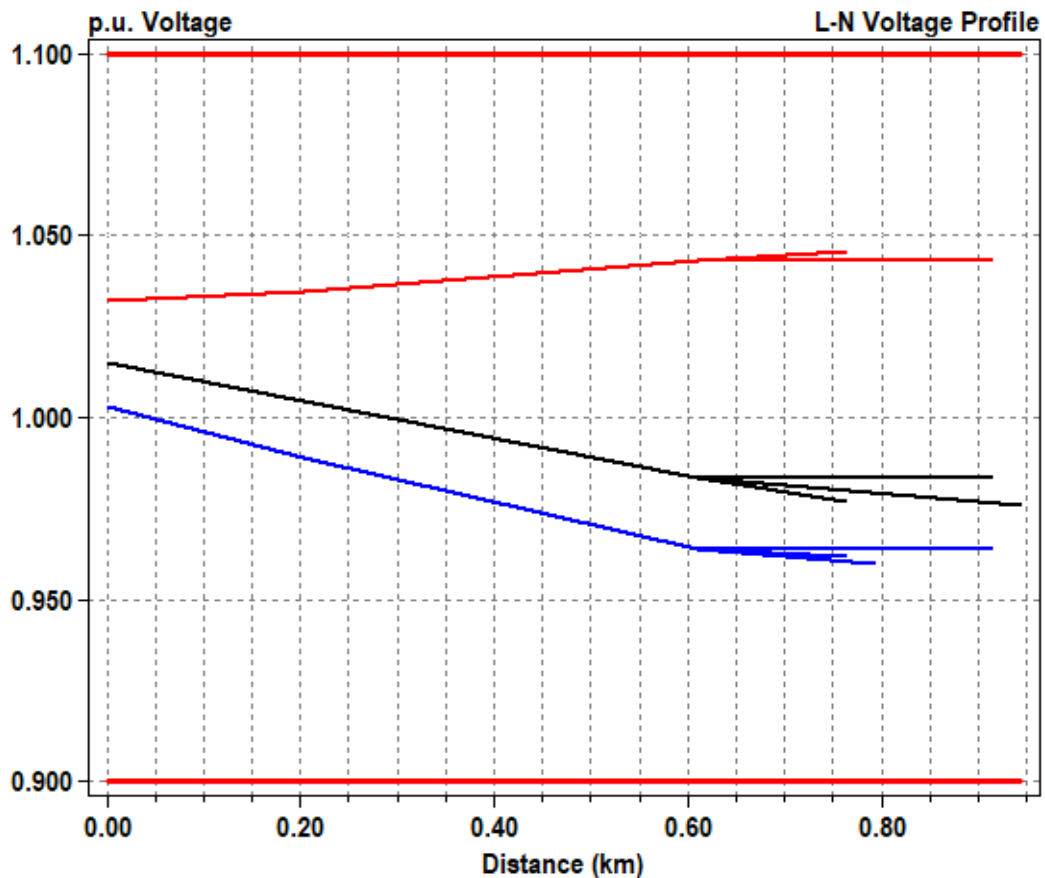
DG (kW/kvar)	350/30	350/0	800/40	800/0	1700/85	1700/0
Ukupni radni gubici mreže P_g (kW)	90.6	92.7	138.3	140.2	523.8	520.1
Ukupna radna snaga mreže P (kW)	3455.3	3454.1	3456	3458.2	3493.3	3484.5
Udio radnih gubitaka u mreži $P_g\%$ $\frac{\text{Ukupna radna snaga mreže}}{\text{Ukupni radni gubici mreže}} \times 100\%$ (%)	2.62	2.68	4	4.05	15	14.92

Tablica 5.2: Rezultati simulacija 2. kategorije

5.2.1 Distribuirani izvor radne i jalove snage $P=350 \text{ kW}/Q=30 \text{ kvar}$

Za prvi slučaj u ovoj kategoriji uzet je distribuirani izvor s parametrima radne i jalove snage $P=350 \text{ kW}/Q=30 \text{ kvar}$.

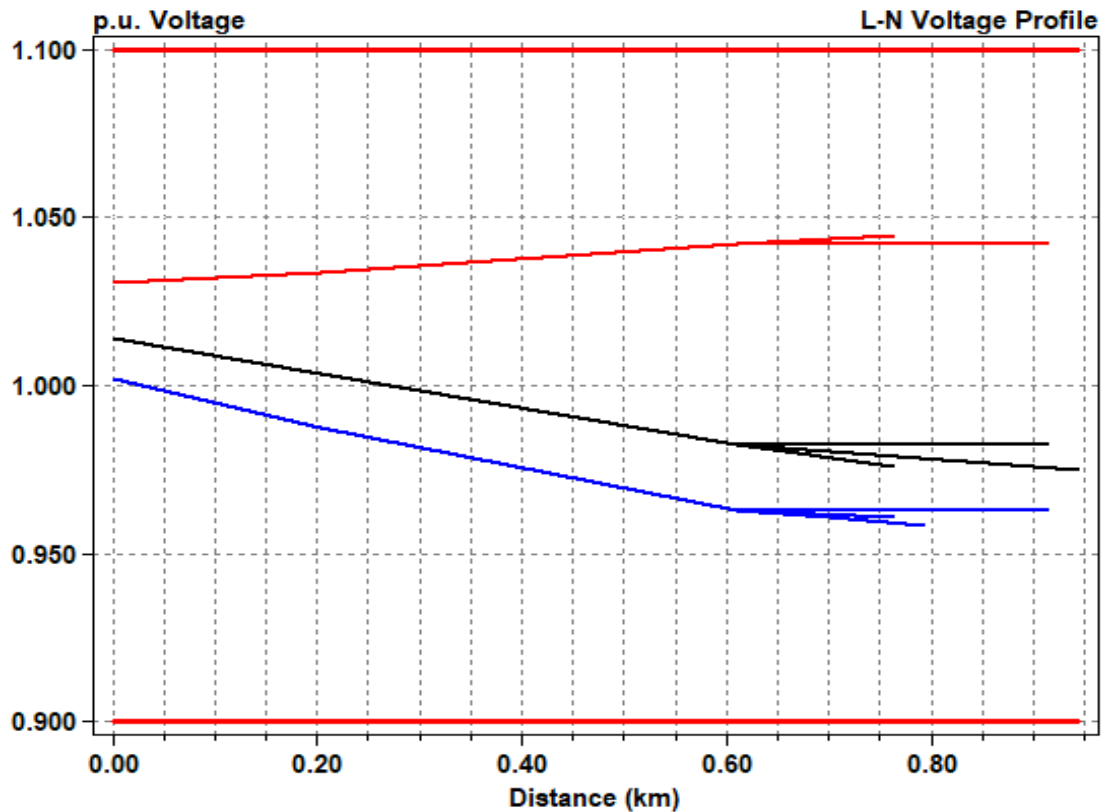
a) sljedeća slika (Slika 5.9) prikazuje trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage $P=350 \text{ kW}/Q=30 \text{ kvar}$, te rezultatnim gubicima od 2.62% (90.6 kW od ukupne radne snage mreže $P=3455.3 \text{ kW}$)



Slika 5.9: Trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage $P=350 \text{ kW}/Q=30 \text{ kvar}$

U ovom slučaju, dodavanje distribuiranog izvora je rezultiralo smanjivanjem ukupnih radnih gubitaka mreže s 3.25% na 2.62% što je bitno poboljšanje kada uzmemo u obzir da je dodan samo jedan distribuirani izvor.

b) sljedeća slika (Slika 5.10) prikazuje trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage $P=350 \text{ kW}/Q=0 \text{ kvar}$, te rezultatnim radnim gubicima od 2.68% (92.7 kW od ukupne radne snage mreže $P=3454.1 \text{ kW}$)



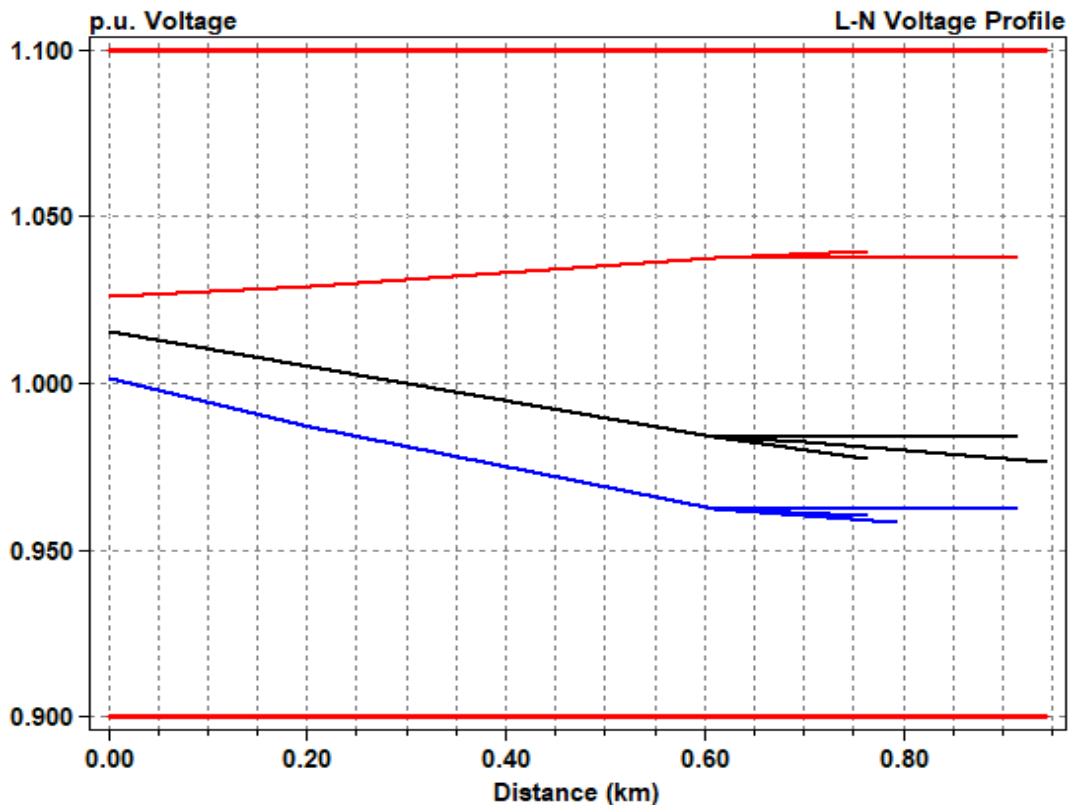
Slika 5.10: Trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage $P=350 \text{ kW}/Q=0 \text{ kvar}$

Za slučaj na istoj lokaciji kao i prethodni, ali s distribuiranim izvorom koji proizvodi čistu djelatnu energiju, rezultatni gubici ukupne mreže su se povisili s 2.62% na 2.68% što znači da ovom slučaju za mrežu nije pogodno da izvor proizvodi čistu djelatnu snagu. Osim toga, može se primijetiti da kada distribuirani izvor ne proizvodi jalovu energiju, to rezultira i određenim pogoršanjem naponskog profila mreže.

5.2.2 Distribuirani izvor radne i jalove snage $P=800 \text{ kW}/Q=40 \text{ kvar}$

Za drugi slučaj u ovoj kategoriji uzet je distribuirani izvor s parametrima radne i jalove snage $P=800 \text{ kW}/Q=40 \text{ kvar}$

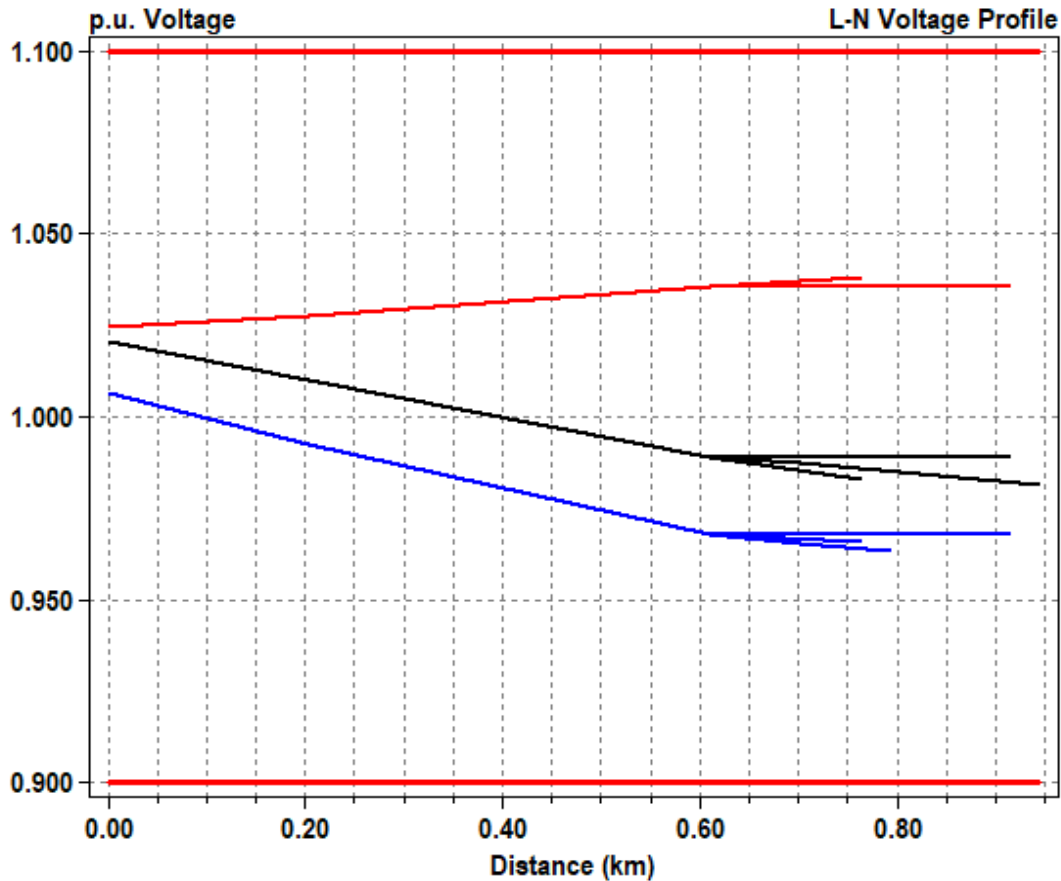
a) sljedeća slika (Slika 5.11) prikazuje trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage $P=800 \text{ kW}/Q=40 \text{ kvar}$, te rezultatnim radnim gubicima od 4% (138.3 kW od ukupne radne snage mreže $P=3456 \text{ kW}$)



Slika 5.11: Trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage $P=800 \text{ kW}/Q=40 \text{ kvar}$

U ovom slučaju, dodavanje distribuiranog izvora je rezultiralo povećanjem ukupnih gubitaka mreže s 3.25% na 4% što znači da distribuirani izvor veće djelatne snage (proporcionalno više jalove snage) utječe negativno na mrežu.

b) sljedeća slika (Slika 5.12) prikazuje trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage $P=800 \text{ kW}/Q=0 \text{ kvar}$, te rezultatnim radnim gubicima od 4.05% (140.2 kW od ukupne radne snage mreže $P=3458.2 \text{ kW}$)



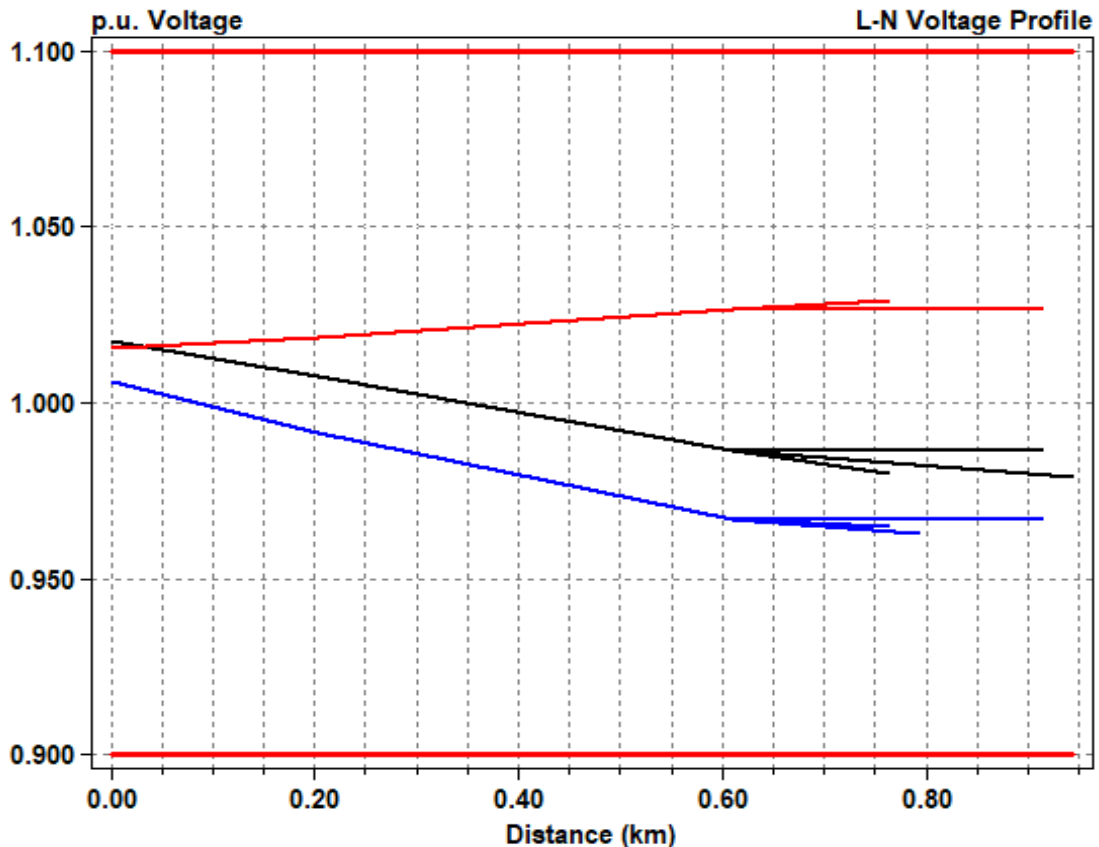
*Slika 5.12: Trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage
 $P=800 \text{ kW}/Q=0 \text{ kvar}$*

Kada se promatra distribuirani izvor s ovom vrijednosti snage i kada je postavljen kao izvor čiste djelatne snage, gubici se povećaju s 4% na 4.05%, što znači da kao i u svim prethodnim slučajevima distribuirani izvor koji ne proizvodi jalovu energiju negativno utječe na gubitke u mreži. Kao i u ranijim simulacijama, može se vidjeti pogoršanje naponskog profila mreže kada distribuirani izvor ne proizvodi jalovu energiju.

5.2.3 Distribuirani izvor radne i jalove snage $P=1700 \text{ kW}/Q=85 \text{ kvar}$

Za treći slučaj u ovoj kategoriji simulacija uzet je izvor s parametrima radne i jalove snage $P=1700 \text{ kW}/Q=85 \text{ kvar}$.

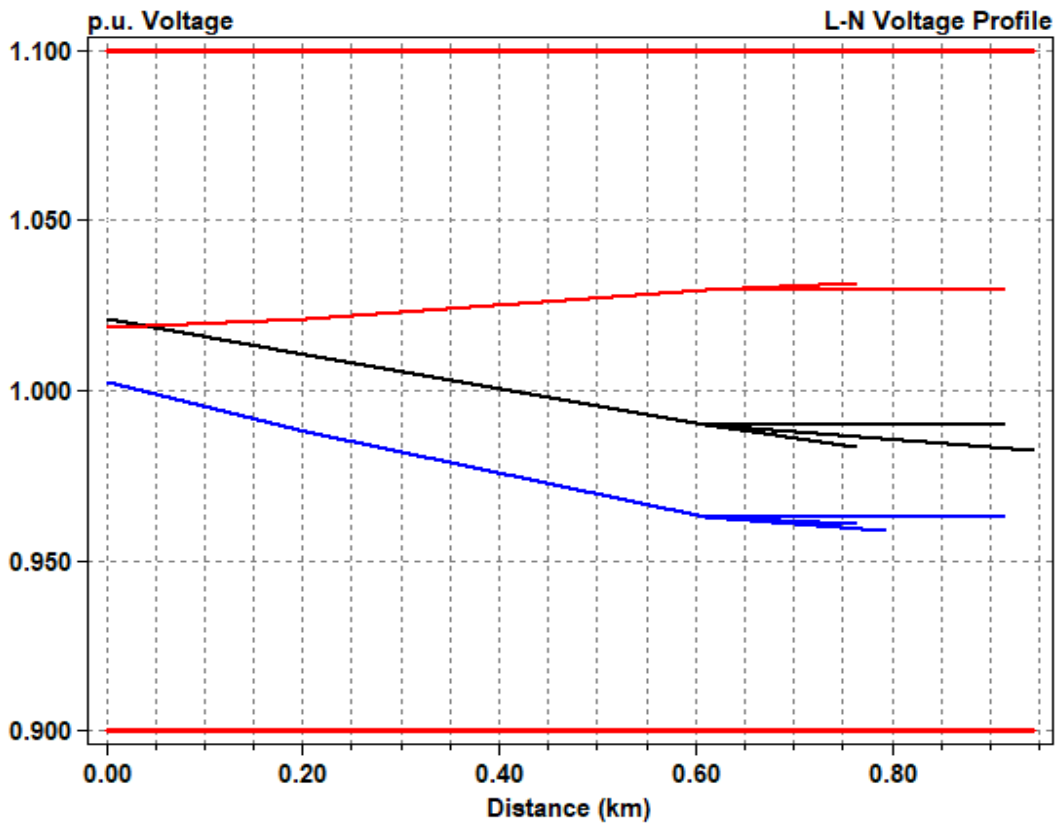
a) sljedeća slika (Slika 5.13) prikazuje trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage $P=1700 \text{ kW}/Q=85 \text{ kvar}$, te rezultatnim radnim gubicima od 15% (523.8 kW od ukupne radne snage mreže $P=3493.3 \text{ kW}$)



Slika 5.13: Trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage $P=1700 \text{ kW}/Q=85 \text{ kvar}$

Kao i u prethodnoj simulaciji, dodavanje distribuiranog izvora navedene vrijednosti radne i jalove snage utječe negativno na gubitke u mreži. Gubici su se povećali s 3.25% na 15% što je iznimno velik utjecaj na gubitke mreže.

b) sljedeća slika (Slika 5.14) prikazuje trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage $P=1700 \text{ kW}/Q=0 \text{ kvar}$, te rezultatnim radnim gubicima od 14.92% (520.1 kW od ukupne radne snage mreže $P=3484.5 \text{ kW}$)



Slika 5.14: Trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage $P=1700 \text{ kW}/Q=0 \text{ kvar}$

U ovoj simulaciji dodan je distribuirani izvor parametara radne i jalove snage $P=1700 \text{ kW}/Q=0 \text{ kvar}$. Gubici u odnosu na mrežu bez distribuiranog izvora su svakako puno veći što je nepovoljno, no ono što je anomalija u odnosu na sve prethodne simulacije je činjenica da kada distribuirani izvor veće snage ne proizvodi jalovu energiju, zapravo se smanje gubici mreže s 15% na 14.92%. Ono što je još bitno spomenuti je da za razliku od ostalih simulacija, u ovoj verziji je distribuirani izvor koji ne proizvodi jalovu energiju zapravo poboljšao naponski profil mreže.

Zaključak 2. kategorije simulacija: stavi li se distribuirani izvor vrijednosti radne i jalove snage $P=350 \text{ kW}/Q=30 \text{ kvar}$ na određeni čvor, gubici će se smanjiti (Poglavlje 5.2.1). Povišenjem snage distribuiranog izvora gubici se bitno povećavaju (Tablica 5.2). Ono što je bitno uočiti je da kada distribuirani izvor radne i jalove snage $P=1700 \text{ kW}/Q=80 \text{ kvar}$ ne proizvodi jalovu energiju zapravo smanjuje gubitke u mreži u odnosu na slučaj kada on proizvodi određenu količinu jalove energije (Poglavlje 5.2.3), što je upravo ono čime želimo upravljati kako bi se distribuirani izvor iskoristio u svrhu poboljšanja parametara mreže. Dakle, osim što se gubici smanje, osjetno se poboljša i naponski profil što se može vidjeti na slikama 5.13 i 5.14. u prethodnom poglavlju.

5. ZAKLJUČAK

Distribuirani izvori imaju vidan utjecaj na naponski profil i gubitke u cjelokupnoj elektroenergetskoj mreži. Rezultati simulacija pokazuju da ugrađivanje distribuiranog izvora iznosa snage 10% od ukupne radne snage mreže pridonosi smanjenju gubitaka cjelokupne mreže s 3.25% na 2.62%, te poboljšanje naponskog profila. Također, u drugoj kategoriji simulacija su rezultati pokazali da se pri ugradnji distribuiranog izvora iznosa 23% od ukupne snage mreže, ali u istom čvoru, zapravo povećavaju gubici cjelokupne mreže s 3.25% na 4%. Osim toga, u simulacijama gdje su korištene manje snage distribuiranih izvora (10% snage od ukupne radne snage mreže) se moglo vidjeti da za mrežu nije pogodno kada distribuirani izvor ne proizvodi jalovu energiju.

U prvoj kategoriji simulacija je uzeta stalna vrijednost distribuiranog izvora te se mijenjala njegova lokacija po čvorovima u mreži. Već kroz prvu kategoriju simulacija se može vidjeti da utjecaj distribuiranog izvora na mrežu ovisi i o njegovoj lokaciji u mreži. U iteracijama koje su obrađene u ovom završnom radu, čvor A se pokazao kao najpovoljnija lokacija za spajanje distribuiranog izvora na mrežu jer su se tada najviše smanjili gubici i najviše se je poboljšao naponski profil.

U drugoj kategoriji simulacija je uzeta jedinstvena lokacija za distribuirani izvor, ali su mu mijenjane vrijednosti radne i jalove snage. Iz iteracija druge kategorije simulacija se može vidjeti da kada se poveća snaga distribuiranog izvora (23% snage od ukupne snage mreže) kojeg priključujemo na mrežu, distribuirani izvor više nema pozitivan utjecaj na mrežu te povećava gubitke u mreži. Ono što je anomalija u odnosu na prethodnu kategoriju simulacija je to da izvor relativno velike snage (49% snage od ukupne snage mreže) koji ne proizvodi jalovu energiju zapravo ima pozitivan utjecaj na mrežu te smanjuje gubitke. To se događa zato što distribuirani izvor visoke snage stvara višak proizvodnje, te se taj višak mora prenijeti kroz vodove u suprotnom smjeru, što rezultira gubicima. Upravo zbog toga, kada smanjimo snagu izvora, smanjimo i gubitke.

Dakle, distribuirani izvori relativno malih snaga u odnosu na ukupnu radnu snagu mreže (10%) imaju pozitivan utjecaj na naponski profil i radne gubitke u mreži, te nije pogodno kada ne proizvode jalovu energiju. Distribuirani izvori relativno velikih snaga u odnosu na ukupnu radnu snagu mreže (50%) imaju negativan utjecaj na mrežu jer povećavaju gubitke i pogoršavaju naponski profil. Osim iznosa snage, za distribuirane izvore je vrlo bitno u kojemu se čvoru elektroenergetske mreže nalaze, pa je pri ugradnji distribuiranog izvora vrlo bitno pravilno ga modelirati.

LITERATURA

- [1] W. El-Khattam, M. M. A. Salama, Distributed generation technologies, definitions and benefits, Electric Power System Research, br. 71, str. 119-128, 2004
- [2] Photovoltaic solar system connected to the electric power grid operating as active power generator and reactive power compensator , F. L. ALBUQUERQUE, A. J. MORAES, G. C. GUIMARÃES, S. M. R. SANHUEZA, A. R. VAZ, 2009.
- [3] W. El-Khattam, M. M. A. Salama, Distributed generation technologies, definitions and benefits, Electric Power System Research, br. 71, str. 119-128, 2004
- [4] MODELIRANJE I SIMULACIJA BATERIJSKIH SPREMIŠTA ELEKTRIČNE ENERGIJE U DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA U OPENDSS PROGRAMU, Matija Kereta, str. 6, 2017.
- [5] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidroelektrana>
- [6] NADOMJESNE SCHEME BIOPLINSKIH ELEKTRANA KORIŠTENE U PRORAČUNIMA ELEKTROENERGETSKIH MREŽA, Marko Terzić, str 18, 2018.
- [7] <https://blog.dnevnik.hr/zoranostric/2015/04/1631933314/vjetroelektrane-u-svijetu-2014.2.html>
- [8] Design of Solar Thermal Power Plants, Zhifeng Wang, 2019.
- [9] Solar Stirling engine-the milestone of the way to meet energy demand with the lowest impact on environment, Štěpán Nosek, str. 3, 2007.
- [10] <http://e-elektro.blogspot.com/2010/06/ovo-je-najcesce-pitanje-kada-govorimo-o.html>
- [11] M. Šunić, N. Kukulj, S. Kulundžić: „Zašto distribuirana proizvodnja energije?“, Plin br./3, godina XIII, rujan 2013.
- [12] The Open Distribution System Simulator™ (OpenDSS), Roger C. Dugan, Davis Montenegro, str. 18, 2019.
- [13] https://www.researchgate.net/figure/IEEE-PES-13-bus-feeder-test-system-12_fig1_271079927
- [14] Reactive Power Compensation with PV Inverters for System Loss Reduction- Saša Vlahinic, Dubravko Frankovic , Vitomir Komen, Anamarija Antonic, 2019.

[15] Multi Objective Optimization of Energy Production of Distributed Generation in Distribution Feeder- Marinko Barukcic, Željko Hederic, Krešimir Miklošević, 2014.

POPIS SLIKA

Slika 3.1: Shematski prikaz hidroelektrane [5]	4
Slika 3.2: Kogeneracijsko postrojenje [6]	5
Slika 3.3: Princip rada vjetroelektrane [7]	6
Slika 3.4: Shematski prikaz fotonaponske farme [8]	7
Slika 3.5: Fotonaponski pretvarač	7
Slika 4.1: Struktura OpenDSS-a [12]	12
Slika 4.2: Korisničko sučelje OpenDSS-a [4]	13
Slika 4.3: Oblik mreže s imenima čvorova	15
Slika 4.4: Korisničko sučelje Matlab-a	16
Slika 5.1: Trofazni naponski profil mreže bez distribuiranog izvora.....	18
Slika 5.2: Shematski prikaz mreže [13]	19
Slika 5.3: Trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage P=350 kW/Q=30 kvar.....	20
Slika 5.4: Trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage P=350 kW/Q=0 kvar.....	21
Slika 5.5: Trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage P=350 kW/Q=30 kvar.....	22
Slika 5.6: Trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage P=350 kW/Q=0 kvar.....	23
Slika 5.7: Trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage P=350 kW/Q=30 kvar.....	24
Slika 5.8: Trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage P=350 kW/Q=0 kvar.....	25
Slika 5.9: Trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage P=350 kW/Q=30 kvar	27
Slika 5.10: Trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage P=350 kW/Q=0 kvar.....	28
Slika 5.11: Trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage P=800 kW/Q=40 kvar.....	29
Slika 5.12: Trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage P=800 kW/Q=0 kvar.....	30

Slika 5.13: Trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage $P=1700$ kW/ $Q=85$ kvar.....	31
Slika 5.14: Trofazni naponski profil mreže s distribuiranim izvorom radne i jalove snage $P=1700$ kW/ $Q=0$ kvar.....	32

SAŽETAK

Zadatak ovog završnog rada je proučiti distribuirane izvore i njihov utjecaj na elektroenergetsku mrežu te opisati i objasniti modeliranje distribuiranih izvora i mreže kroz programske pakete OpenDSS i Matlab.

Nakon rješavanja navedenih zadataka potrebno je izvršiti simulacije na testnom primjeru distributivne mreže s 13 sabirnica koja je predefinirana u programskom paketu OpenDSS. Simulacije se sastoje od dvije kategorije: kategorija s distribuiranim izvorom konstantne vrijednosti kojemu se mijenja lokacija u mreži te kategorija s distribuirani izvorom kojemu je mijenjana vrijednost radne i jalove snage za jedinstvenu lokaciju u mreži. Kroz brojne simulacije gleda se utjecaj distribuiranih izvora raznih vrijednosti snage na naponski profil i radne gubitke u mreži i to za različite lokacije u mreži.

Zaključeno je da distribuirani izvori manje snage imaju pozitivan utjecaj na naponski profil i radne gubitke u mreži, ali i da distribuirani izvori veće snage imaju negativan utjecaj na navedene parametre.

ABSTRACT

The task of this final paper is to study distributed generation in general, summarize their effects on the power grid and to describe and explain the process of modelling distributed generation through OpenDSS and Matlab software packages.

After completing the said tasks, it is necessary to carry out the planned simulations through the predefined 13-bus test example that can be found in the OpenDSS software package. The simulations are divided into two categories: category with constant power values of distributed generation tested with different locations in the power grid and the category with various power values of distributed generation on a fixed location in the power grid. The effects distributed generation on the voltage profile and total losses are observed through many simulations of various power values and locations in the power grid.

It was concluded that distributed generation of lower values of power have a positive effect on the voltage profile and the total losses of the power grid. However, it was also concluded that distributed generation of higher values of power have a negative effect on the said parameters.

ŽIVOTOPIS

PATRIK ŽANIĆ

Rođen 27.12.1998.. u Slavonskom Brodu. Živi u mjestu Podvinje nedaleko od Slavanskog Broda. Osnovnu školu je pohađao u Podvinju. Nakon završene osnovne škole upisuje srednju školu Tehnička škola Slavonski Brod, te odabire smjer elektrotehnika. Završava srednju školu 2017. godine. Iste godine upisuje prvu godinu preddiplomskog studija elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računalstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Kroz svoje obrazovanje stekao je brojna znanja na polju elektrotehnike te znanja u raznim programima koji su potrebni za proučavanje I daljnji napredak znanja u struci elektrotehnike.