

POBOLJŠANI MODEL ZA PLANIRANJE NISKONAPONSKIH DISTRIBUCIJSKIH MREŽA KOMBINIRANJEM HIJERARHIJSKIH I STOHAISTIČKIH OPTIMIZACIJSKIH METODA

Softić, Amir

Doctoral thesis / Disertacija

2017

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:200:606876>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-04**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK
Poslijediplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

Amir Softić

**POBOLJŠANI MODEL ZA PLANIRANJE
NISKONAPONSKIH DISTRIBUCIJSKIH
MREŽA KOMBINIRANJEM
HIJERARHIJSKIH I STOHAŠTIČKIH
OPTIMIZACIJSKIH METODA**

Doktorska disertacija

Osijek, 2016.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK
Poslijediplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

Amir Softić

**POBOLJŠANI MODEL ZA PLANIRANJE
NISKONAPONSKIH DISTRIBUCIJSKIH
MREŽA KOMBINIRANJEM
HIJERARHIJSKIH I STOHAŠTIČKIH
OPTIMIZACIJSKIH METODA**

Doktorska disertacija

Osijek, 2016.

Doktorska disertacija izrađena je na Zavodu za elektroenergetiku
Elektrotehničkog fakulteta u Osijeku

Mentor: prof. dr. sc. Marinko Stojkov

Doktorska disertacija ima 271 stranicu.

Disertacija br.: 53

Povjerenstvo za ocjenu doktorske disertacije:

1. Dr. sc. Damir Šljivac, redoviti profesor, predsjednik, Elektrotehnički fakultet Osijek
2. Dr. sc. Marinko Stojkov, redoviti profesor, mentor, Strojarski fakultet Slavonski Brod
3. Dr. sc. Ivica Pavić, redoviti profesor, član, Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu

Povjerenstvo za obranu doktorske disertacije:

1. Dr. sc. Damir Šljivac, redoviti profesor, predsjednik, Elektrotehnički fakultet Osijek
2. Dr. sc. Marinko Stojkov, redoviti profesor, mentor, Strojarski fakultet Slavonski Brod
3. Dr. sc. Ivica Pavić, redoviti profesor, član, Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu
4. Dr. sc. Zvonimir Klaić, docent, član, Elektrotehnički fakultet Osijek
5. Dr. sc. Danijel Topić, docent, član, Elektrotehnički fakultet Osijek

*Srdačno se zahvaljujem prof. dr. sc. Marinku Stojkovu
na svesrdnoj pomoći pri izradi ove doktorske disertacije*

SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. DISTRIBUCIJSKE MREŽE | 6 |
| 2.1. STRUKTURA DISTRIBUCIJSKIH MREŽA | 6 |
| 2.2. NISKONAPONSKE DISTRIBUCIJSKE MREŽE | 9 |
| 2.2.1. Transformatorske stanice | 10 |
| 2.2.2. Niskonaponski vodovi | 11 |
| 2.2.3. Niskonaponski potrošači | 12 |
| 2.3. ENERGETSKI PRORAČUNI U NISKONAPONSKIM DISTRIBUCIJSKIM MREŽAMA | 14 |
| 2.3.1. Proračun opterećenja potrošača | 14 |
| 2.3.2. Proračun gubitaka snage i energije | 17 |
| 2.3.3. Proračun padova napona | 18 |
| 2.3.4. Odabir snage transformatora | 19 |
| 2.3.5. Proračun tokova struja i odabir tipa vodiča | 19 |
| 2.4. PLANIRANJE DISTRIBUCIJSKIH SUSTAVA | 20 |
| 2.4.1. Matematički modeli planiranja | 20 |
| 2.4.2. Planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža | 20 |
| 2.4.3. Opći kriteriji planiranja | 22 |
| 2.4.4. Tehnički kriteriji planiranja | 23 |
| 2.4.5. Ekonomski kriteriji planiranja | 23 |
| 2.4.6. Kriterij pouzdanosti napajanja | 25 |
| 3. HIJERARHIJSKE I STOHAŠTIČKE METODE OPTIMIZACIJE | 28 |
| 3.1. OPĆENITO O OPTIMIZACIJI | 28 |
| 3.1.1. Formuliranje problema optimizacije | 28 |
| 3.1.2. Klasificiranje optimizacijskih problema | 30 |
| 3.1.3. Pregled optimizacijskih metoda | 33 |
| 3.2. HIJERARHIJSKE METODE OPTIMIZACIJE | 41 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 3.2.1. | Općenito o hijerarhijskim optimizacijskim metodama | 41 |
| 3.2.2. | Analitički hijerarhijski postupak (AHP) | 42 |
| 3.2.3. | Metoda neizrazitog grupiranja | 52 |
| 3.3. | STOHAŠTIČKE METODE OPTIMIZACIJE | 67 |
| 3.3.1. | Općenito o stohastičkim optimizacijskim metodama | 67 |
| 3.3.2. | Algoritam simuliranog kaljenja | 68 |
| 4. | MODEL PLANIRANJA NISKONAPONSKIH DISTRIBUCIJSKIH MREŽA | 83 |
| 4.1. | OPĆENITO O MODELIMA PLANIRANJA | 83 |
| 4.2. | DIJAGRAM TOKA | 84 |
| 4.3. | KORACI PREDLOŽENOG MODELA PREMA DIJAGRAMU TOKA | 86 |
| 4.3.1. | Ulazni podaci | 86 |
| 4.3.2. | Formiranje alternativa | 88 |
| 4.3.3. | Formiranje mrežne topologije | 93 |
| 4.3.4. | Proračuni – formiranje kriterija | 95 |
| 4.3.5. | Rangiranje kriterija i alternativa | 97 |
| 4.3.6. | Optimalno rješenje | 99 |
| 5. | PRAKTIČNI PRIMJER PRIMJENE MODELA PLANIRANJA | 105 |
| 5.1. | ULAZNI PODACI | 106 |
| 5.2. | PRORAČUN OPTEREĆENJA POTROŠAČA | 109 |
| 5.3. | ODREĐIVANJE LOKACIJE TRANSFORMATORSKE STANICE | 113 |
| 5.4. | ODREĐIVANJE NISKONAPONSKIH IZVODA | 114 |
| 5.5. | FORMIRANJE MREŽNE TOPOLOGIJE | 119 |
| 5.6. | FORMIRANJE KRITERIJA | 124 |
| 5.6.1. | Padovi napona kod krajnjih potrošača | 125 |
| 5.6.2. | Gubici snage | 126 |
| 5.6.3. | Opterećenje vodova | 126 |
| 5.6.4. | Investicijski troškovi | 127 |
| 5.7. | RANGIRANJE | 130 |
| 5.7.1. | Rangiranje kriterija | 130 |
| 5.7.2. | Rangiranje alternativa | 132 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| 5.8. | OPTIMALNO RJEŠENJE | 136 |
| 5.9. | UTJECAJ OPTEREĆENJA POTROŠAČA NA PROSTORNO RJEŠENJE | 141 |
| 5.9.1. | Minimalno opterećenje transformatorske stanice | 142 |
| 5.9.2. | Opterećenje transformatorske stanice u proljetnom periodu | 143 |
| 5.9.3. | Opterećenje transformatorske stanice u ljetnom periodu | 145 |
| 5.9.4. | Opterećenje transformatorske stanice u jesenskom periodu | 147 |
| 5.9.5. | Opterećenje transformatorske stanice u zimskom periodu | 149 |
| 5.10. | UTJECAJ NESIMETRIJE NA PROSTORNO RJEŠENJE | 151 |
| 5.10.1. | Prostorno rješenje pri maksimalnoj vrijednosti nesimetrije | 154 |
| 5.10.2. | Prostorno rješenje pri minimalnoj vrijednosti nesimetrije | 156 |
| 5.10.3. | Prostorno rješenje pri prosječnoj vrijednosti nesimetrije | 158 |
| 5.10.4. | Prostorno rješenje pri najvjerojatnijoj vrijednosti nesimetrije | 160 |
| 5.11. | PROSTORNO RJEŠENJE PRI IZGRADNJI NOVIH MREŽA | 161 |
| 5.11.1. | Prosječno istodobno opterećenje potrošača | 162 |
| 5.11.2. | Maksimalno istodobno opterećenje potrošača | 164 |
| 5.11.3. | Minimalno istodobno opterećenje potrošača | 166 |
| 5.12. | UTJECAJ PROMJENE OPTEREĆENJA POTROŠAČA NA OPTIMALNO RJEŠENJE | 167 |
| 5.13. | USPOREDBA REZULTATA SA POSTOJEĆOM MREŽOM – POTVRDA MODELA | 168 |
| 5.13.1. | Usporedba rezultata padova napona | 169 |
| 5.13.2. | Usporedba rezultata gubitaka radne snage | 179 |
| 5.13.3. | Ekonomski pokazatelji primjene modela planiranja | 185 |
| 6. | ZAKLJUČAK | 191 |
| | SAŽETAK | 196 |
| | ABSTRACT | 197 |
| | LITERATURA | 198 |
| | POPIS KRATICA | 204 |
| | POPIS SLIKA | 207 |
| | POPIS TABLICA | 210 |
| | PRILOG 1. Zemljopisne koordinate mjernih mjesta | 215 |
| | PRILOG 2. Pojedinačna utrošena godišnja energija niskonaponskih potrošača | 217 |

| | |
|--|-----|
| PRILOG 3. Jednodnevno, satno mjerenje opterećenja transformatorske stanice i niskonaponskih izvoda (period vršnog opterećenja) | 218 |
| PRILOG 4. Pojedinačno godišnje vršno opterećenje niskonaponskih potrošača | 219 |
| PRILOG 5. Zemljopisne koordinate stupnih mjesta mreže sa 5 niskonaponskih izvoda | 220 |
| PRILOG 6. Zemljopisne koordinate stupnih mjesta mreže sa 6 niskonaponskih izvoda | 221 |
| PRILOG 7. Zemljopisne koordinate stupnih mjesta mreže sa 7 niskonaponskih izvoda | 223 |
| PRILOG 8. Zemljopisne koordinate stupnih mjesta mreže sa 8 niskonaponskih izvoda | 224 |
| PRILOG 9. Duljine i presjeci dionica distribucijske mreže sa 5 niskonaponskih izvoda | 226 |
| PRILOG 10. Duljine i presjeci dionica distribucijske mreže sa 6 niskonaponskih izvoda | 228 |
| PRILOG 11. Duljine i presjeci dionica distribucijske mreže sa 7 niskonaponskih izvoda | 231 |
| PRILOG 12. Duljine i presjeci dionica distribucijske mreže sa 8 niskonaponskih izvoda | 234 |
| PRILOG 13. Godišnje vršno opterećenje potrošača – podaci za Matpower | 237 |
| PRILOG 14. Dionice distribucijske mreže sa 5 niskonaponskih izvoda – podaci za Matpower | 238 |
| PRILOG 15. Dionice distribucijske mreže sa 6 niskonaponskih izvoda – podaci za Matpower | 241 |
| PRILOG 16. Dionice distribucijske mreže sa 7 niskonaponskih izvoda – podaci za Matpower | 243 |
| PRILOG 17. Dionice distribucijske mreže sa 8 niskonaponskih izvoda – podaci za Matpower | 246 |
| PRILOG 18. Opterećenje potrošača (sabirnica) – podaci za metodu simuliranog kaljenja | 249 |
| PRILOG 19. Dionice najbolje prostorne distribucijske mreže – podaci za metodu simuliranog kaljenja | 252 |
| PRILOG 20. Minimalno godišnje opterećenje potrošača – podaci za Matpower | 255 |

| | |
|--|-----|
| PRILOG 21. Vršno opterećenje potrošača u periodu proljeća – podaci za Matpower | 256 |
| PRILOG 22. Vršno opterećenje potrošača u periodu ljeta – podaci za Matpower | 258 |
| PRILOG 23. Vršno opterećenje potrošača u periodu jeseni – podaci za Matpower | 259 |
| PRILOG 24. Vršno opterećenje potrošača u periodu zime – podaci za Matpower | 261 |
| PRILOG 25. Opterećenje potrošača pri maksimalnoj vrijednosti nesimetrije – podaci za Matpower | 263 |
| PRILOG 26. Opterećenje potrošača pri minimalnoj vrijednosti nesimetrije – podaci za Matpower | 264 |
| PRILOG 27. Opterećenje potrošača pri prosječnoj vrijednosti nesimetrije – podaci za Matpower | 266 |
| PRILOG 28. Opterećenje potrošača pri najvjerojatnijoj vrijednosti nesimetrije – podaci za Matpower | 267 |
| ŽIVOTOPIS | 270 |

1. UVOD

Elektroenergetski sustav čine proizvodnja, prijenos, distribucija i potrošnja električne energije i njegova temeljna zadaća je pouzdana i kvalitetna opskrba električnom energijom svih kupaca. Ovaj sustav je najrasprostranjeniji od svih tehničkih sustava, te je zbog svoje kompleksnosti i najskuplji. Elektroenergetska mreža može se definirati kao uži dio elektroenergetskog sustava koja obuhvaća elemente preko kojih se direktno proizvodi, prenosi, distribuira i troši električna energije, odnosno generatori, vodovi, transformatori i trošila. Elektroenergetska mreža se u različitim analizama nikada ne promatra u cjelini, već samo pojedini (manji) dijelovi, dok se ostatak nadomješta s većom ili manjom točnošću na fizikalno prihvatljiv način.

U uvjetima deregulacije tržišta izuzetan značaj imaju kriteriji pouzdanosti, ekonomičnosti i sigurnosti u snabdijevanju krajnjih potrošača kvalitetnom električnom energijom. Proces deregulacije tržišta je proces kojim se liberaliziraju i demonopoliziraju tržište i utjecaj tržišnih subjekata kako bi se stvorilo tržište sa većom učinkovitošću i nižim cijenama električne energije. Za razliku od monopolističke organizacije elektroenergetskog sektora potrebno je razdvojiti tržišne djelatnosti od djelatnosti sa obilježjima prirodnog monopola [1]. Tržišne djelatnosti je potrebno liberalizirati i omogućiti ravnopravno učešće svih sudionika tržišta. Potencijalne tržišne djelatnosti kod kojih je moguć razvoj tržišta su proizvodnja, trgovina i opskrba električnom energijom. Djelatnostima prirodnog monopola pripadaju prijenos i distribucija električne energije [2]. One imaju status prirodnog monopola obzirom da su neophodne za povezivanje mjesta proizvodnje i mjesta potrošnje električne energije.

Stalno povećanje potražnje za električnom energijom stvara potrebu za izgradnjom novih i unapređenjem postojećih objekata elektroenergetskog sustava. Kako bi se opravdala velika ulaganja potrebno je praviti projekte ekonomske isplativosti i do 20 godina unaprijed. Dakle, u novim uvjetima tržišnog poslovanja planiranje elektroenergetskog sustava, bilo kratkoročno, srednjoročno ili dugoročno, zauzima bitno mjesto u cjelokupnoj strategiji elektrodistribucijske tvrtke.

Izradom matematičkih modela koji opisuju trenutačno stanje sustava moguće je dobiti najbolja rješenja koja su najučinkovitija za tvrtku, ali koja istovremeno mogu osigurati najkvalitetnije i najpouzdanije snabdijevanje svih potrošača električnom energijom. Odluka o izboru modela ili simulacijske tehnike ovisi o karakteristikama sustava i željenim ulaznim, odnosno izlaznim parametrima. Izlazni rezultati ovakvih modela namijenjeni su osobama odgovornim za projekt kako bi mogli donijeti odluku o njegovoj izgradnji ili ne izgradnji.

Budući razvoj energetskog sustava mora zadovoljiti niz različitih ciljeva. Prije svega, elektroenergetski sustav mora biti ekonomski učinkovit, mora osigurati pouzdanu opskrbu krajnjih potrošača i ne bi trebao imati negativnih utjecaja na okolinu. Pored ovih, općih ciljeva, postoji i veći broj dodatnih ciljeva i kriterija. U isto vrijeme, na rad i razvoj sustava utječu različiti neizvjesni i slučajni faktori. Stoga se u konačnici često dobiva veći broj mogućih alternativa (varijanti). Iz cjelokupne skupine mogućih rješenja planer nastoji da pronađe

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

najbolju ili u ovisnosti o prihvaćenim uvjetima optimalnu alternativu. U biti, to je složen problem povezan sa višestrukim ciljevima, nesigurnostima i većim brojem promjenjivih veličina. Obzirom da se radi o složenom problemu planer se, u biti, susreće sa multikriterijskim optimizacijskim zadatkom.

Proces planiranja sastoji se od nekoliko koraka temeljem kojih se, sukladno zadanim kriterijima, dobiva niz prigodnih alternativa [3]:

1. Identificiranje problema – definiranje opsega primjene i ograničenja;
2. Određivanje ciljeva – definiranje što treba minimizirati;
3. Identificiranje alternativa – koje su dostupne opcije;
4. Proračun alternativa – proračun svih mogućnosti;
5. Odabir najbolje alternative – izbor opcije koja najbolje zadovoljava ciljeve;
6. Donošenje konačne odluke – temeljem dobivenih rezultata odabir alternative koja će se u konačnici i provesti.

U ovoj disertaciji bit će predložen novi, poboljšani model planiranja niskonaponskih distribucijskih mreža temeljen na višekriterijskom odlučivanju, uz uporabu suvremenih optimizacijskih metoda.

Niskonaponske distribucijske mreže karakterizira niža naponska razina u odnosu na prijenosne i sredjenaponske mreže, smanjena pogonska sigurnost, izostanak dvostranog napajanja, mala opterećenja potrošača, česta uporaba zračnih vodova, te veća duljina niskonaponskih izvoda. Najčešći problemi koji se javljaju kod ovih mreža u vezi su sa kvalitetom i gubicima električne energije. Rješavanje ovih problema je izazov za distribucijske tvrtke obzirom da su u tržišnim uvjetima poslovanja obvezne isporučiti kvalitetnu električnu energiju do krajnjih kupaca, ali istovremeno vodeći računa i o vlastitim interesima.

Planiranjem niskonaponskih distribucijskih mreža nastoji se odrediti optimalna konfiguracija mreže za snabdijevanje električnom energijom potrošača raspoređenih na određenom zemljopisnom području. U biti, sastoji se od određivanja veličine i lokacije transformatorske stanice, tipova vodiča koje je potrebno upotrijebiti, te prostorne konfiguracije mreže. Dakle, temeljni cilj je pronalaženje radijalne konfiguracije mreže sa najnižim ukupnim troškovima, pri čemu se mora voditi računa o veličini i lokaciji transformatorske stanice, smjerovima rasprostiranja i kapacitetu niskonaponskih vodova kojima se snabdijevaju prostorno raspoređeni potrošači s određenim prognoziranim opterećenjem, toplinskim ograničenjima koja su u vezi sa izdržljivošću uređaja i opreme u transformatorskoj stanici i niskonaponskih vodova, te naponskim razinama.

Kako bi se dobile prigodne alternative potrebno se držati određenih kriterija. Definiranje kriterija temelji se na procjeni planera pri čemu se mora voditi računa kako o interesima potrošača tako i o interesima tvrtke. Za razliku od monopolističkog sustava, u tržišnim uvjetima poslovanja zahtjevi potrošača za kvalitetnom i sigurnom isporukom električne energije dolaze u prvi plan.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

U predloženom modelu planiranja u razmatranje su uzeta četiri kriterija temeljem kojih se dobivaju najbolje alternative, a to su:

1. Padovi napona kod krajnjih potrošača;
2. Gubici radne snage u distributivnim vodovima;
3. Investicijski troškovi izgradnje mreže;
4. Propusna moć distributivnih vodova.

U uvjetima tržišnog poslovanja, kada kvaliteta električne energije koja se isporučuje krajnjim kupcima ima jednu od najvažnijih uloga, kao primarni cilj kod planiranja niskonaponskih distribucijskih mreža uspostavlja se dovođenje razine napona kod svakog potrošača u granice sukladne propisanoj normi. Nakon toga, gledano iz kuta distribucijske tvrtke, kao naredni cilj uspostavlja se dovođenje gubitaka u mreži na što nižu razinu, što se može postići pravilnim odabirom vrste vodiča i optimalnom prostornom razdiobom niskonaponske distribucijske mreže. Naravno, od značaja za distribucijsku tvrtku su i troškovi izgradnje jedne ovakve mreže, ali u tržišnim uvjetima zahtjevi kupaca su prioritetni tako da ovi troškovi nisu u prvom planu. Na kraju, od značaja je i kapacitet, odnosno propusna moć niskonaponskih vodova, koji limitiraju iznos opterećenja koja moraju prenijeti do krajnjih kupaca. Ovakav problem može se riješiti adekvatnim odabirom tipova i presjeka vodiča. Dakle, radi se o kompleksnom problemu gdje je istovremeno potrebno riješiti pitanje optimalne lokacije transformatorske stanice i konfiguracije niskonaponske mreže, ali uz uvažavanje spomenutih kriterija.

U biti, odabir kriterija ovisi o tome što se želi postići kao krajnji cilj i stvar su subjektivne procjene onoga tko vrši planiranje. Cilj planiranja niskonaponskih distribucijskih mreža je konstruiranje mreže koja će zadovoljiti prognoziranje potrebe potrošača za električnom energijom na siguran, pouzdan i učinkovit način. Kako bi se postigao ovaj cilj nastoje se minimizirati investicijski troškovi i troškovi gubitaka, uz uvažavanje ograničenja koja uključuju kapacitet opreme (vodova), maksimalne padove napona i radijalnu konfiguraciju mreže [4].

U ovome trenutku postoji vrlo malo (gotovo da i ne postoje u dostupnoj literaturi) modela za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža. Oni se u praksi najčešće i ne primjenjuju jer nisu naišli na potporu distribucijskih tvrtki, obzirom da je financijska dobit od poboljšanog planiranja relativno mala kada se promatraju pojedinačna transformatorska područja. Međutim, promatrajući cjelokupnu elektroenergetsku mrežu i stanje u njoj, ekonomski pokazatelji su drugačiji. Pravilnom primjenom i mogućnošću različitog vrednovanja kriterija model nudi niz rješenja iz kojih se može dobiti jedinstveno, optimalno rješenje, što u dosadašnjem načinu izgradnje i razvoja niskonaponskih distribucijskih mreža nije bilo moguće.

Temeljna teza ove doktorske disertacije je da do sada za niskonaponsku distribucijsku mrežu nisu rađeni/prihvaćeni jedinstveni modeli planiranja rekonstrukcije i izgradnje ovakvih mreža, tako da je cilj disertacije izrada jednog takvog modela. Taj model će davati rješenja kod kojih su padovi napona kod krajnjih potrošača sukladni propisanim normama, što je u uvjetima tržišnog poslovanja od velikog značaja. Isto tako, model će ponuditi rješenja sa najmanjim

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

gubicima snage, što je vrlo važno za distribucijsku tvrtku jer se na taj način ostvaruju financijske uštede, čime se stvaraju uvjeti za ostvarivanje veće dobiti, te omogućava preusmjeravanje financijskih sredstava za druge potrebe. Primjenom jednog ovakvog modela planiranja distribucijske tvrtke mogu unaprijed planirati potrebna sredstva za rekonstrukciju, odnosno izgradnju distribucijske mreže.

Dakle, ova disertacija će dati jedan prihvatljiv i lako primjenjiv model kojim će biti riješena pitanja:

- izbora instalirane snage i optimalne lokacije transformatorske stanice,
- određivanja broja niskonaponskih izvoda iz transformatorske stanice potrebnih za napajanje potrošača,
- prostornog rasprostiranja niskonaponske distribucijske mreže,
- izbora tipa i presjeka niskonaponskih vodova,
- izbora najpovoljnije prostorne konfiguracije distribucijske mreže,
- određivanja optimalnog uklopnog stanja niskonaponske distribucijske mreže obzirom na iznos gubitaka u mreži i padove napona kod krajnjih potrošača.

Pošto se radi o višekriterijskom odlučivanju, sa nizom nesigurnosti i ograničenja tipa jednakosti i nejednakosti, kao vrlo prigodne za primjenu u modelu planiranja nameću se suvremene optimizacijske metode koje se upravo temelje na rješavanju ovakvih složenih problema. Izrada matematičkih modela koji koriste optimizacijske algoritme zahtijeva poznavanje energetskog sustava i njegovih fizikalnih svojstava, ali i poznavanje matematičkih formulacija problema koji se u njemu pojavljuju. Najčešće korištene optimizacijske metode su [5]:

- Umjetna inteligencija;
- Ekspertni sustavi;
- Neuronske mreže;
- Genetski algoritmi.

Svaki od ovih algoritama ima svoje prednosti i nedostatke, a njihova primjena ovisi o odluci planera. Uporaba umjetne inteligencije zahtijeva dobar opis problema, dok ekspertni sustavi nemaju mogućnost učenja za razliku od neuronskih mreža i genetskih algoritama itd.

Obzirom na kompleksnost problema planiranja, karakter varijabli koje se pojavljuju i njihovu slučajnu prirodu, promjenjivost parametara (opterećenje, padovi napona), u predloženom modelu planiranja se primjenjuju hijerarhijske i stohastičke optimizacijske metode.

Za određivanje prostorne lokacije transformatorske stanice u predloženom modelu planiranja koristi se metoda neizrazitog grupiranja (*eng. fuzzy clustering*). Ova metoda pripada skupinama i hijerarhijskih i stohastičkih metoda. Metoda je, isto tako, vrlo prigodna za prostorno grupiranje potrošača, odnosno formiranje niskonaponskih izvoda iz transformatorske stanice.

Nekim prigodnim grafičkim programom formiraju se alternative, odnosno različite prostorne varijante distribucijske mreže, od kojih je potrebno odabrati najbolju. Za odabir najbolje prostorne varijante model koristi tzv. analitički hijerarhijski postupak (*eng. analytic hierarchy process – AHP*) koji pripada skupini hijerarhijskih algoritama.

Nakon odabira najboljeg prostornog rješenja određuje se njegovo optimalno uklopno stanje. Za tu svrhu, u predloženom modelu planiranja, upotrebljava se metoda simuliranog kaljenja (*eng. simulated annealing*). Ova metoda pripada skupini stohastičkih metoda.

U polaznom istraživanju, koje je napravljeno u prvoj fazi izrade disertacije, obrađeni su teorijski i praktični rezultati objavljenih radova drugih istraživača. Iz dostupne literature koja se odnosi na planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža može se uočiti da ni u jednom radu nije ponuđen model koji se temelji na korištenju predviđenih optimizacijskih algoritama. To se odnosi i na objavljene radove iz ovog područja. Dakle, razvoj novog modela planiranja je težište rada u ovoj disertaciji.

U okviru doktorske disertacije očekuju se slijedeći izvorni znanstveni doprinosi:

- Izrada poboljšanog modela za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem metoda neizrazitog grupiranja, analitičkog hijerarhijskog postupka i simuliranog kaljenja sa ciljem dobivanja optimalne konfiguracije distribucijske mreže;
- Definiranje kriterija optimalne konfiguracije distribucijske mreže;
- Potvrda modela usporedbom sa rezultatima dobivenim mjerenjem i proračunom za postojeću niskonaponsku distribucijsku mrežu.

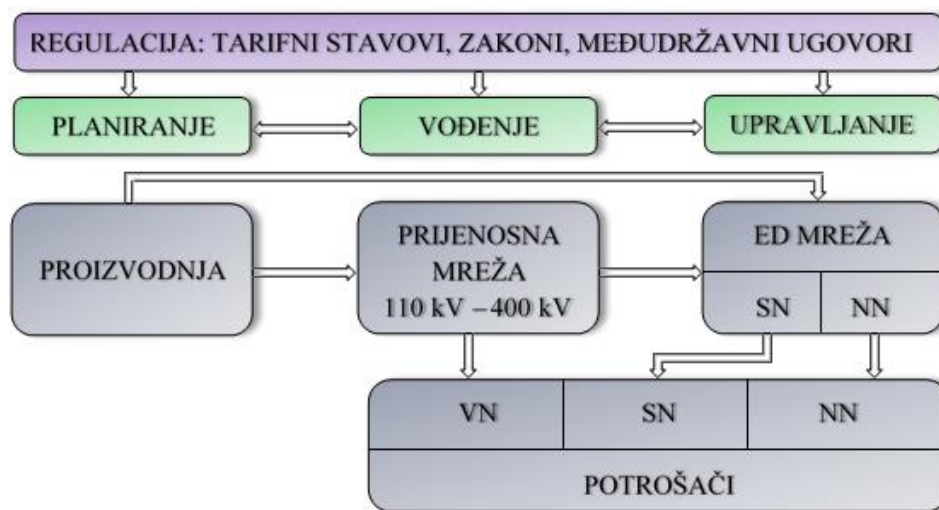
Razvijeni model će biti namijenjen za planiranje kako rekonstrukcija postojećih, tako i za izgradnju u cijelosti novih niskonaponskih distribucijskih mreža, te detektiranje problema u postojećim mrežama. Pravilnim odabirom i vrednovanjem određenih kriterija i što preciznijim definiranjem topologije mreže, model treba ponuditi najbolje rezultate. Stoga,iskusnim inženjerima, koji se bave planiranjem mreža, ovaj model treba poslužiti kao vrlo koristan alat.

2. DISTRIBUCIJSKE MREŽE

Distribucijske mreže su dio elektroenergetskog sustava koji služi za dovođenje električne energije od prijenosne mreže ili elektrana priključenih na distribucijsku mrežu do potrošača priključenih na distribucijsku mrežu. Dije se na:

- srednjenaponske distribucijske mreže, naponskih razina 35 kV, 20 kV, 10 kV i 6 kV i
- niskonaponske distribucijske mreže, naponske razine 0,4 kV.

Položaj distribucijskih mreža u elektroenergetskom sustavu može se prikazati prema shemi na slici 2.1 [6].



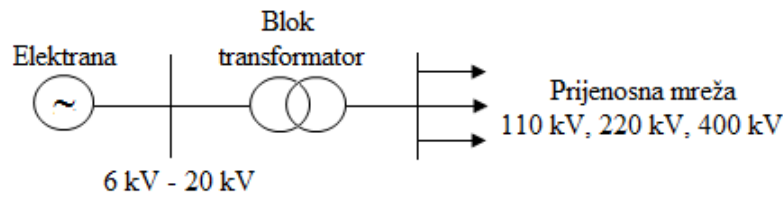
Slika 2.1. Elektroenergetski sustav

Regulacija rada elektroenergetskog sustava podrazumijeva tarifne stavove, zakonodavni okvir i međudržavne ugovore temeljem kojih su uređeni odnosi unutar elektroenergetskog sustava. Planiranje, vođenje i upravljanje proizvodnjom, prijenosnim i distribucijskim mrežama vrši se jednim dijelom odvojeno za svaki segment, a drugim dijelom koordinirano između pojedinih dijelova elektroenergetskog sustava. Koordinaciju rada između proizvodnje, prijenosa i distribucije električne energije vrše nacionalni i regionalni dispečerski centri, odnosno operator sustava u decentraliziranom sustavu.

2.1. STRUKTURA DISTRIBUCIJSKIH MREŽA

Napajanje distribucijskih mreža vrši se preko prijenosne mreže ili elektrana. Napajanje iz prijenosne mreže vrši se preko VN/SN transformatora, ali postoji i mogućnost direktnog povezivanja elektrana na distribucijsku mrežu preko blok transformatora. Veće elektrane uvijek su priključene na prijenosnu mrežu, preko koje se energija isporučuje distribucijskoj mreži. Priključenje elektrane na prijenosnu mrežu vrši se preko blok transformatora (Slika 2.2).

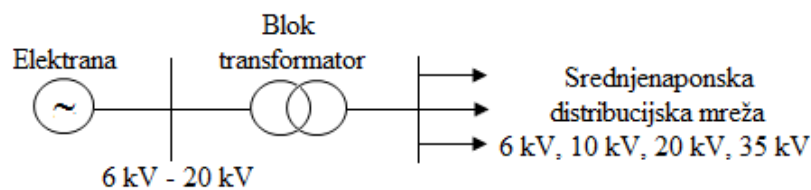
Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda



Slika 2.2. Priključak elektrane na prijenosnu (visokonaponsku) mrežu

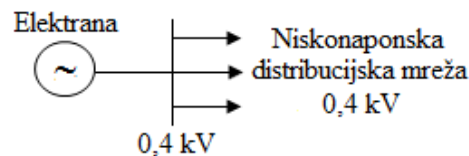
Male elektrane se mogu priključiti direktno na distribucijsku mrežu i to na dva načina:

1. Preko blok transformatora na srednjenaponsku distribucijsku mrežu, za elektrane snage od 1 MW i više (Slika 2.3),



Slika 2.3. Priključak male elektrane na srednjenaponsku distribucijsku mrežu

2. Direktno na niskonaponsku distribucijsku mrežu, za elektrane snage do nekoliko stotina kW (Slika 2.4).



Slika 2.4. Priključak male elektrane na niskonaponsku distribucijsku mrežu

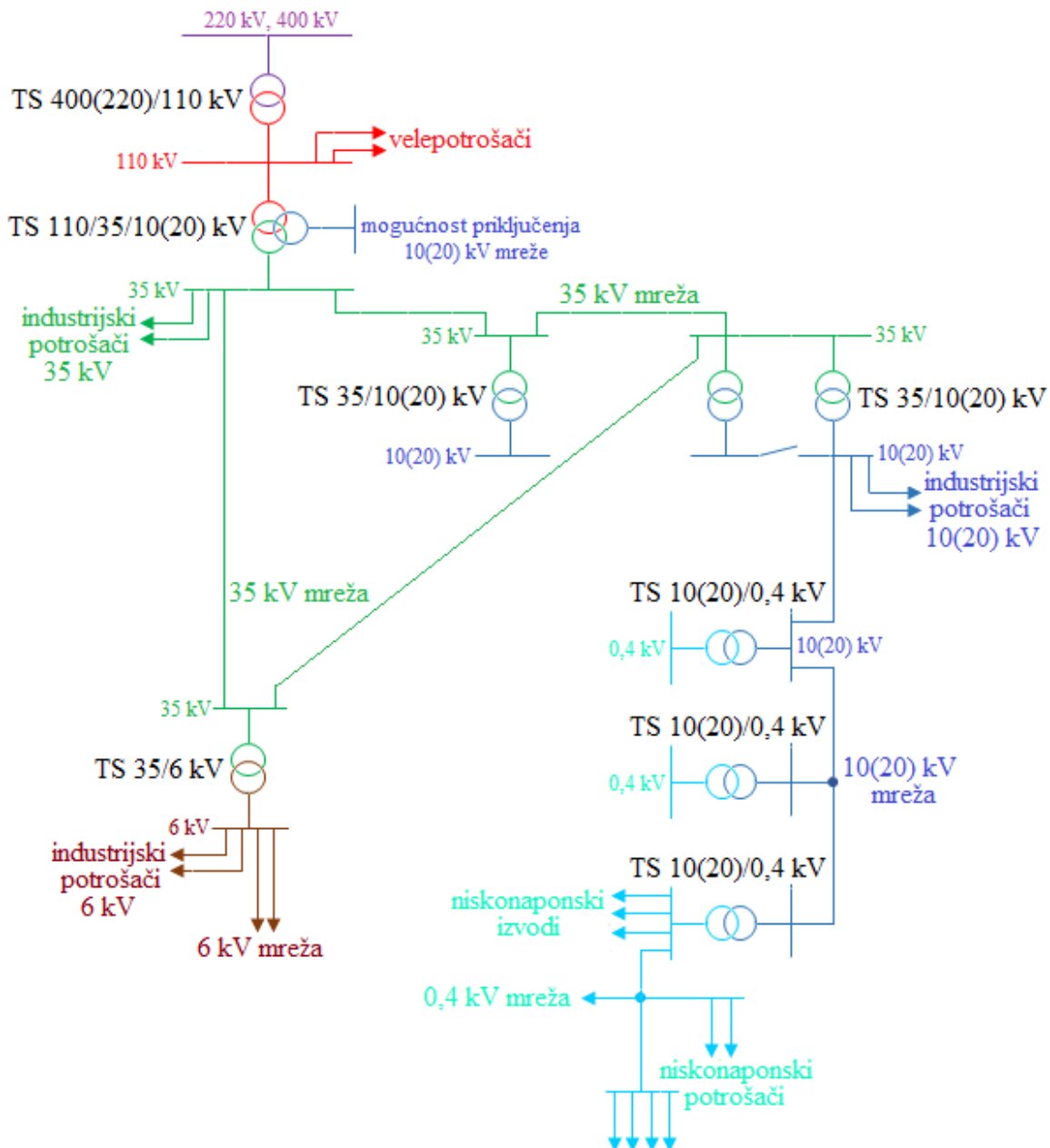
Obzirom da u elektroenergetskom sustavu postoje različite naponske razine tako se i potrošači električne energije dijele na:

- velepotrošače, koji su priključeni direktno na prijenosnu mrežu,
- industrijske potrošače, koji su priključeni na srednjenaponsku mrežu (6 kV, 10 kV, 20 kV, 35 kV),
- niskonaponske potrošače, priključene na 0,4 kV mrežu.

Dakle, za napajanje distribucijskih potrošača potrebna je veza između prijenosne i distribucijske mreže. Ova veza može se ostvariti na dva načina:

1. Distribucija prema niskom naponu vrši se preko dvije transformacije, i to: putem 35 kV i putem 10(20) kV distribucijske mreže. Prijenosna mreža napaja 110/35/10(20) kV transformatorsku stanicu, s tim da je na tercijaru transformatora moguć i direktan priključak 10(20) kV mreže. Primjer takve mreže prikazan je na slici 2.5.

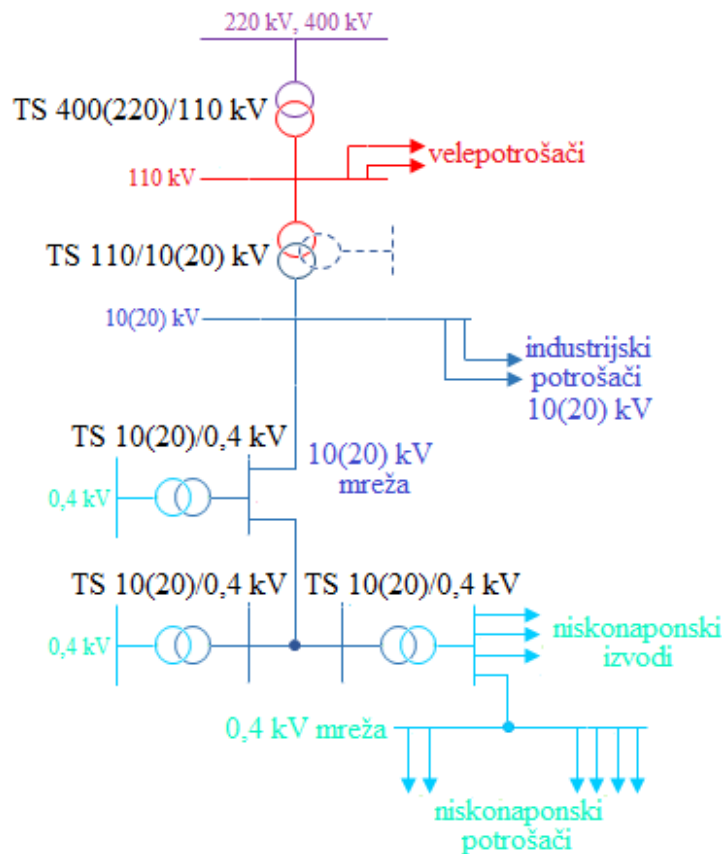
Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda



Slika 2.5. Distribucijska mreža sa tri sredjenaponske razine (6 kV, 35 kV i 10(20) kV)

- Distribucija prema niskom naponu vrši se direktnom transformacijom 110/10(20) kV čime se eliminira potreba za 35 kV mrežom, odnosno ne postoji transformacija 35/10(20) kV. Tendencija razvoja distribucijskih mreža je da se smanji broj naponskih razina, čime bi se smanjili gubici u distribuciji električne energije, te smanjila zauzetost prostora mnogim lokacijama i trasama dalekovoda i kabela, uz olakšano održavanje postrojenja i vodova [7]. Opredjeljenje je ukidanje 35 kV naponske razine. Osim toga, tendencija je i promjena naponske razine sa 10 kV na 20 kV, gdje god je to moguće. To se radi na način da se ugrađuje oprema za naponsku razinu 20 kV, s tim da mreža radi na 10 kV naponskoj razini dok se ne steknu uvjeti za prijelaz na 20 kV naponsku razinu. Primjer ovakve mreže prikazan je na slici 2.6.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda



Slika 2.6. Distribucijska mreža sa jednom srednjenaponskom razinom (10 kV ili 20 kV)

2.2. NISKONAPONSKE DISTRIBUCIJSKE MREŽE

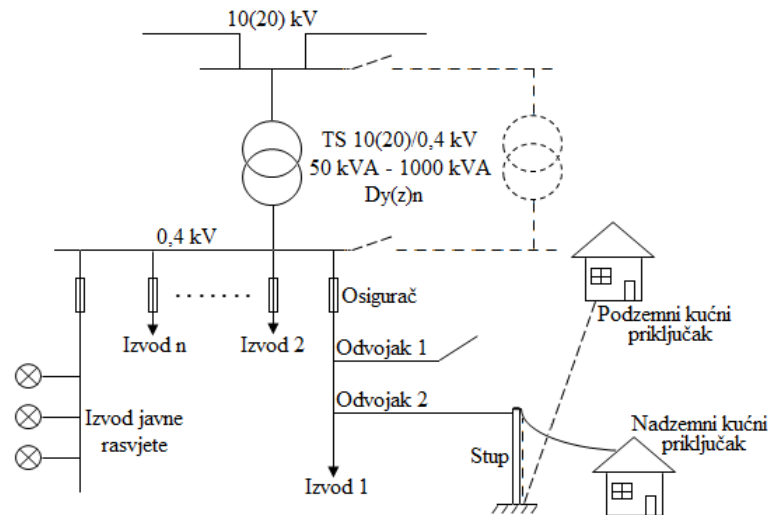
Niskonaponske distribucijske mreže služe za napajanje niskonaponskih potrosaca elektricne energije iz srednjenaponske distribucijske mreže. Nazivni napon ovih mreža je 230/400 V, a izgrađuju se za napajanje jednofaznih i trofaznih potrosaca. Izvode se sa četiri (tri fazna i nulti) vodiča, odnosno dva (fazni i nulti) vodiča.

Po svojoj strukturi niskonaponske distribucijske mreže mogu biti [8]:

- Radijalne – najčešće se koriste u praksi pošto su najjednostavnije i najekonomičnije. Nemaju mogućnost rezervnog napajanja, pa kvar na bilo kojem dijelu mreže uzrokuje prekid napajanja niskonaponskog izvoda u cijelosti;
- Zamkaste – imaju mogućnost rezervnog napajanja iz iste ili susjedne TS 10(20)/0,4 kV. U normalnom (redovitom) pogonu međuveze su isključene tako da rade kao radijalne mreže;
- Petljaste – koriste se u uvjetima gdje je velika površinska gustoća opterećenja i gdje je potrebna veća pouzdanost isporuke elektricne energije. Pogon nije radijalan već su zatvorene sve petlje u niskonaponskoj mreži, ali i petlje preko 10(20) kV mreže.

Osnovna struktura niskonaponske distribucijske mreže prikazana je na slici 2.7 [9].

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda



Slika 2.7. Niskonaponska distribucijska mreža

Osnovni elementi niskonaponske distribucijske mreže su:

- Transformatorske stanice;
- Niskonaponski vodovi;
- Niskonaponski potrošači.

2.2.1. Transformatorske stanice

Temeljna zadaća distribucijskih transformatorskih stanica je povezivanje srednjenaponske i niskonaponske distribucijske mreže (SN/NN). Rade se kao tipski proizvodi i mogu biti:

- stupne, koje se postavljaju na stupu nadzemne 10(20) kV mreže i obično su manjih snaga, reda 50 kVA–250 kVA,
- izgrađene u posebnom građevinskom objektu i veće su snage, reda 400 kVA–1000 kVA.

Distribucijske transformatorske stanice grade se sa jednim ili više transformatora, prijenosnog odnosa 10(20)/0,4 kV. Temeljni elementi su:

- Građevinski dio ili noseći stup;
- Sustav uzemljenja i gromobranske zaštite;
- Transformator, nazivne snage 50 kVA–1000 kVA, grupe spoja Dyn (za veće snage) ili Yzn (za manje snage);
- Srednjenaponsko postrojenje (srednjenaponski sklopni blok). Sadrži obični ili učinski rastavljač. Može biti zrakom izolirano ili SF6 postrojenje. Ukoliko je priključak sa nadzemne mreže potrebni su i odvodnici prenapona;
- Niskonaponsko postrojenje (niskonaponski sklopni blok). Sadrži prekidač u transformatorskom polju i osigurače u vodnim poljima, te uređaje za mjerenje i zaštitu;
- Pomoćni sustav (rasvjeta, klimatizacija i sl.).

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

2.2.2. Niskonaponski vodovi

Vodovi su dijelovi električne mreže koji povezuju objekte istog nazivnog napona. Temeljna zadaća niskonaponskih vodova je prijenos električne energije do krajnjih, niskonaponskih potrošača. Dije se na:

- Nadzemne (zračne) vodove;
- Podzemne (kabelske) vodove.

Osnovni elementi nadzemnih vodova su:

- Stup – po položaju u trasi dijele se na linijske i kutne. Po načinu vješanja vodiča dijele se na nosne i zatezne. Po materijalu od kojeg su izrađeni dijele se na drvene, armirano–betonske i čelično–rešetkaste;
- Vodiči – izrađuju se u obliku žica ili užadi za prijenos većih snaga. Presjek vodiča i materijal od kojeg su izrađeni definiraju maksimalno dozvoljenu struju koja smije trajno protjecati vodom u pogonu. Od materijala za izradu vodiča se koriste: bakar (Cu), aluminij (Al), čelik (Fe) i kombinacija aluminija i čelika (Al–Fe). Vodiči od bakra se koriste za male presjeke i raspone, i to presjeka najčešće 16 mm². Ostali tipovi vodiča se izrađuju u obliku užadi, a presjeci užadi su normirani nizom: 10 mm², 16 mm², 25 mm², 35 mm², 70 mm², 95 mm², 120 mm², 150 mm². Za nadzemne kućne priključke danas se najčešće koristi tzv. samonosivi kabelski snop (SKS), odnosno izolirani zračni vodič. Fazni vodič se izrađuje od aluminijskog užeta presjeka 16 mm², 25 mm², 35 mm², 50 mm², 70 mm² i 150 mm², a nulti vodič od legure Al–Mg, presjeka 50 mm² i 70 mm², dok je izolacija najčešće polietilenskog tipa XLPE;
- Izolatori – imaju ulogu da električki izoliraju vodiče od stupa i da ih mehanički drže u određenom položaju, te prenose mehaničke sile sa vodiča na stup. Materijali za izradu izolatora su: porculan, steatit, kaljeno staklo i kompozitni materijali. Po načinu na koji nose vodiče dijele se na: potporne i ovjesne;
- Uzemljenje – ovom sustavu pripada zaštitno uže (ako postoji), uzemljivač stupa i galvanski spojevi metalnih dijelova koji nisu pod naponom;
- Temelji – uloga temelja je da sve sile sa stupa prenesu na tlo.

Podzemni (kabelski) vodovi dijele se na jednožilne i trožilne. Osnovni dijelovi kabelskih vodova su: fazni vodič, poluvodljivi sloj, izolacija, ispuna, vodljivi plašt i vanjski omotač. Fazni vodiči se izrađuju u vidu užeta, a kao materijal se koriste bakar i aluminij. Izolacija dolazi iznad faznog vodiča, a najčešće korišteni materijal je umreženi polietilen. Vodljivi plašt se nalazi iznad izolacije kabela. Iznad vodljivog plašta se nalazi vanjski omotač izrađen od izolacijskog materijala (PVC ili obični polietilen), a služi za zaštitu kabela od vanjskih utjecaja (mehanička oštećenja, vlaga i sl.).

Osnovni električki parametri kabela su:

- Nazivni napon U_n – napon za koji je projektirana izolacija kabela;
- Nazivna struja I_n – dozvoljeno strujno opterećenje za odgovarajući tip i presjek kabela, u nazivnim uvjetima;
- Dozvoljeno strujno opterećenje kabela I_t – najveća struja kojom se kabel može trajno opteretiti uvjetovana dozvoljenim zagrijavanjem kabela. U redovitom pogonu je 80 % toplinski dopuštenog opterećenja, a u izvanrednom pogonu je 120 % toplinski dopuštenog opterećenja;
- Radni otpor, induktivitet i kapacitet kabela.

Prednosti kabela u odnosu na zračne vodove su:

- Nema vizualne degradacije prostora;
- Imaju veću pogonsku pouzdanost jer nisu izloženi atmosferskim utjecajima;
- Zaštićeni su od namjernog uništavanja.

Nedostaci kabela u odnosu na zračne vodove su:

- Daleko veća cijena;
- Daleko teže lociranje mjesta kvara;
- Potrebno je znatno više vremena za otklanjanje kvara.

2.2.3. Niskonaponski potrošači

Pod niskonaponskim potrošačem se smatra pojedinačno trošilo ili skupina trošila koja je priključena na distribucijsku mrežu, odakle uzimaju potrebnu električnu energiju za svoj rad.

Općenito, potrošači se razlikuju prema:

- načinu priključka na distribucijsku mrežu (trofazni, dvofazni i jednofazni),
- naponskoj razini preko koje su priključeni na distribucijsku mrežu (niskonaponski potrošači su: kućanstva, obrti, usluge, rasvjeta itd.),
- tehničkim karakteristikama,
- tarifama po kojima plaćaju energiju, odnosno snagu.

Pojedinačna trošila mogu biti jednofazna ili trofazna (i rijetko dvofazna), dok grupna trošila predstavljaju skupinu kućanstava, niskonaponski izvod, konzum trafostanica 10(20)/0,4 kV itd.

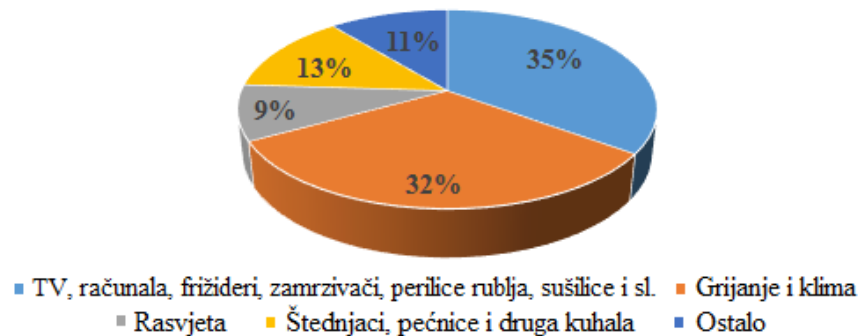
Osnovne vrste pojedinačnih trošila su:

- Termička trošila;
- Rasvjeta;
- Elektromotori;
- Elektronički pretvarači.

U specijalna trošila ubrajaju se:

- Željezare (elektrolučne peći);
- Veliki asinkroni motori;
- Veliki pretvarači;
- Elektrovuča.

Različita trošila imaju i različitu potrošnju električne energije. Primjer potrošnje električne energije jednog kućanstva, za različite vrste trošila, prikazan je na slici 2.8 [10].

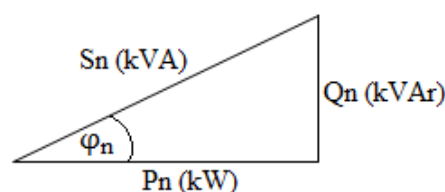


Slika 2.8. Primjer potrošnje električne energije različitih kućanskih trošila

Nazivni podaci svakog trošila su:

- Nazivna snaga P_n (jednofazna ili trofazna);
- Nazivni faktor snage $\cos\varphi_n$;
- Nazivni napon U_n .

Nazivne vrijednosti struja trošila mogu se odrediti iz nazivnih podataka i trokuta snaga prikazanog na slici 2.9.



Slika 2.9. Trokut snaga

$$S_n = \frac{P_n}{\cos\varphi_n} \quad (2.1)$$

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot \cos\varphi_n \cdot U_n} \quad (2.2)$$

$$I_n = \frac{P_n}{\cos\varphi_n \cdot V_n} \quad (2.3)$$

gdje su: U_n – nazivni linijski napon na koji je priključeno trošilo (kV)
 V_n – nazivni fazni napon na koji je priključeno trošilo (kV)

2.3. ENERGETSKI PRORAČUNI U NISKONAPONSKIM DISTRIBUCIJSKIM MREŽAMA

2.3.1. Proračun opterećenja potrošača

Potrošači u niskonaponskoj distribucijskoj mreži se dijele u tri kategorije, i to:

1. Kućanstva;
2. Ostali potrošači;
3. Javna rasvjeta.

Temeljni parametri koje je potrebno poznavati kod potrošača su radna snaga koju uzimaju iz mreže i faktor snage (ili jalova snaga).

a) Proračun opterećenja kućanstava

Obzirom da sva trošila u kućanstvu nisu uključena u isto vrijeme onda vrijedi [9], [11], [12]:

$$P_v < P_i \quad (2.4)$$

gdje su: P_v – vršno opterećenje kućanstva (kW)
 P_i – instalirana snaga kućanstava (kW)

Obzirom da svako kućanstvo ima svoje navike kada je u pitanju potrošnja električne energije, zbroj pojedinačnih vršnih opterećenja $P_{v1}, P_{v2}, \dots, P_{vn}$ veći je od vršnog opterećenja skupine kućanstava. Zato je neophodno uvesti faktor:

$$f_i = \frac{P_{vn}}{P_{v1} + P_{v2} + \dots + P_{vi}} \quad (2.5)$$

gdje je: f_i – faktor istodobnosti (Ruscov (*Rusc*) faktor – za kućanstva obično 0,17)

Ovaj faktor je manji što je broj kućanstava veći. Ukoliko su kućanstva približno jednakih karakteristika, odnosno vršne snage, vršno opterećenje skupine kućanstava računa se preko formule:

$$P_{vn} = P_{v1} \cdot (f_i \cdot n + (1 - f_i) \cdot \sqrt{n}) \quad (2.6)$$

gdje su: n – broj kućanstava u promatranoj skupini

f_i – faktor istodobnosti za vrlo veliki (teorijski beskonačan) broj kućanstava

Temeljem izračunatog vršnog opterećenja skupine od n kućanstava može se dobiti udio (ekvivalentno opterećenje) pojedinog kućanstva:

$$P_1 = \frac{P_{vn}}{n} \quad (2.7)$$

Jalova snaga računa se preko faktora snage $\cos\varphi$:

$$Q_1 = P_1 \cdot \operatorname{tg}\varphi \quad (2.8)$$

b) Proračun opterećenja javne rasvjete i ostalih potrošača

Faktor istodobnosti za javnu rasvjetu je 1, tako da je snaga pojedinog rasvjetnog tijela jednaka nazivnoj snazi, a vršno opterećenje je zbroj svih nazivnih snaga.

Ostali potrošači, koji ne pripadaju u kategoriju kućanstava, su definirani vlastitom instaliranom snagom P_{inst} , faktorom istodobnosti prema ostalim potrošačima f_i i faktorom snage $\cos\varphi$. Faktor istodobnosti je različit od 1 u slučaju da vršno opterećenje promatranog potrošača ne nastupa istovremeno sa vršnim opterećenjem ostalih potrošača u mreži. U čvoru u koji su priključeni ostali potrošači oni sudjeluju s opterećenjem:

$$P_{ost} = P_v \cdot f_i \quad (2.9)$$

$$Q_{ost} = P_{ost} \cdot \operatorname{tg}\varphi \quad (2.10)$$

Izračunate vrijednosti za javnu rasvjetu i ostalu potrošnju se pribrajaju potrošnji kućanstava, te se u odgovarajućem čvoru u konačnici dobiva:

$$P_{uk} = P_{kuć} + P_{ost} + P_{jav.ras.} \quad (2.11)$$

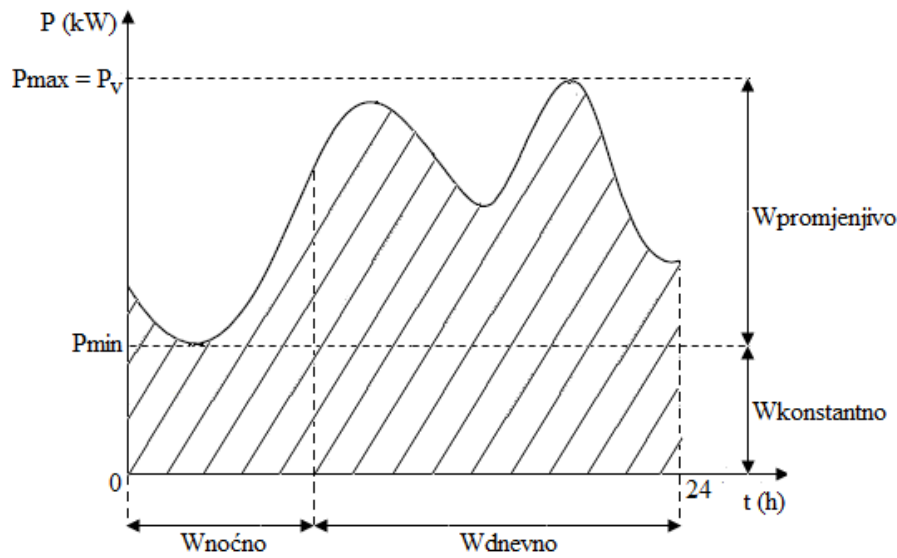
$$Q_{uk} = Q_{kuć} + Q_{ost} + Q_{jav.ras.} \quad (2.12)$$

Proračun pojedinačnih opterećenja potrošača za postojeće niskonaponske distribucijske mreže moguće je provesti temeljem drugačijeg postupka. Potrebni ulazni podaci za jedan ovakav proračun su godišnja utrošena radna energija svakog potrošača i jednodnevno mjerenje satnih opterećenja na 0,4 kV strani transformatora i svim niskonaponskim distribucijskim izvodima. Za potrošače iz kategorije ostale potrošnje potrebni su podaci o vršnom opterećenju i utrošenoj radnoj i jalovoj energiji.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Proračun pojedinačnih opterećenja potrošača provodi se prema slijedećem postupku [13]:

- Temeljem jednodnevnih, satnih očitavanja radne i jalove energije određuju se vrijednosti faktora snage $\cos\varphi$ transformatorske stanice i svih niskonaponskih distribucijskih izvoda. Ukoliko nisu dostupna mjerenja jalove energije, za kućanstva se obično uzima $\cos\varphi = 0,95$ – $0,98$, a za potrošače iz kategorije ostale potrošnje uzima se stvarna vrijednost temeljem mjerenja radne i jalove energije. Na ovaj način, dobiva se dnevni dijagram opterećenja (Slika 2.10).



Slika 2.10. Dnevni dijagram opterećenja

- Temeljem jednodnevnog satnog očitavanja brojila radne energije pojedinih niskonaponskih izvoda određuje se maksimalna (vršna) snaga izvoda (maksimalno satno očitavanje),
- Dijeljenjem sumarne godišnje utrošene energije za svaki niskonaponski izvod sa maksimalnom postignutom snagom izvoda dobiva se polazna minimalna vrijednost upotrebnog vremena,

$$T_{up_{min}} = \frac{W_{uk_{god}}}{P_{max}} \quad (2.13)$$

gdje su: $W_{uk_{god}} = W_{uk_{dnev}} \cdot 365$ (kWh)

$W_{uk_{dnev}}$ – sumarno jednodnevno satno očitavanje brojila radne energije (kWh)

- Maksimalna radna snaga svakog potrošača dobiva se dijeljenjem ukupne godišnje utrošene energije potrošača sa dobivenim upotrebnim vremenom,

$$P_{max_{pot}} = \frac{W_{ostv_{pot}}}{T_{up_{min}}} \quad (2.14)$$

- Uz poznati faktor snage $\cos\varphi$ dobiva se i maksimalna jalova snaga potrošača,

$$Q_{\max_{\text{pot}}} = P_{\max_{\text{pot}}} \cdot \text{tg}\varphi \quad (2.15)$$

- Za dobivene vrijednosti maksimalnih radnih snaga potrošača, proračunom tokova snaga, dobivaju se vrijednosti snaga injektiranih u svaki niskonaponski izvod,

$$P_{\text{inj}} = P_{\text{pot}} + P_{\text{gub}} \quad (2.16)$$

gdje su: P_{gub} – gubici prijenosa električne energije u niskonaponskim vodovima (kW)

- Proračunom koeficijenta c za svaki niskonaponski izvod vrši se procjena godišnje utrošene energije svakog izvoda temeljem dnevne utrošene energije, pri čemu je:

$$c = \frac{W_{\text{ukgod}} \cdot P_{\text{inj}}}{365 \cdot W_{\text{ukdnev}} \cdot P_{\text{pot}}} \quad (2.17)$$

- Korigiranjem $W_{\text{ukgod}} = W_{\text{ukdnev}} \cdot 365 \cdot c$ dobiva se korigirana vrijednost upotrebnog vremena za sve niskonaponske izvode, a samim tim i konačne, korigirane vrijednosti maksimalnog opterećenja svakog pojedinačnog potrošača.

2.3.2. Proračun gubitaka snage i energije

Dobivanjem vrijednosti opterećenja svakog potrošača proračunom tokova snaga u nekome od softverskih paketa (PowerCAD, Matpower, Windis i sl.) moguće je odrediti vrijednosti gubitaka radne i jalove snage. Točniji proračun gubitaka snage podrazumijeva poznavanje krivulje trajanja opterećenja i u praksi je vrlo teško doći do podataka temeljem kojih bi se mogla formirati godišnja krivulja trajanja opterećenja. Stoga se temeljem rezultata proračuna gubitaka snage radi aproksimativni proračun gubitaka energije na godišnjoj razini na slijedeći način [13], [14]:

- Temeljem proračunatih P_{inj} i P_{pot} dobiva se vrijednost ukupnih gubitaka:

$$P_{\text{gub}} = P_{\text{inj}} - P_{\text{pot}} \quad (2.18)$$

- Gubici snage ovisni o opterećenju (varijabilni) su:

$$P_{\text{var}} = P_{\text{gub}} - P_0 \quad (2.19)$$

gdje su: P_0 – gubici praznog hoda (kW)

- Korekcija polaznog upotrebnog vremena ili tzv. vrijeme trajanja gubitaka računa se kao:

$$T_{\text{gub}} = \left[a \cdot T_{\text{up}} + (1 - a) \cdot \frac{T_{\text{up}}^2}{8760} \right] \quad (2.20)$$

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

pri čemu je a konstanta koja se u distribucijskim mrežama, ovisno o obliku krivulje trajanja opterećenja, kreće u granicama 0,15–0,2. Najčešće se uzima $a = 0,17$.

- Temeljem gubitaka praznog hoda P_0 računaju se gubici energije praznog hoda W_0 , kao:

$$W_0 = P_0 \cdot 8760 \quad (2.21)$$

- Temeljem vremena trajanja gubitaka i varijabilnih gubitaka snage dobivaju se varijabilni gubici energije kao:

$$W_{\text{var}} = T_{\text{gub}} \cdot P_{\text{var}} \quad (2.22)$$

- Ukupni godišnji gubici energije su:

$$W_{\text{gub}} = W_0 + W_{\text{var}} \quad (2.23)$$

odnosno u postotnom iznosu,

$$w_{\text{gub}}(\%) = \frac{W_{\text{gub}}}{W_{\text{ukgod}}} \cdot 100\% \quad (2.24)$$

2.3.3. Proračun padova napona

Pad napona u simetrično opterećenoj mreži računa se kao [9], [12]:

$$\Delta u(\%) = \frac{k_f \cdot k_t \cdot P \cdot l \cdot (r + x \cdot \text{tg}\varphi)}{U^2} \cdot 100\% \quad (2.25)$$

gdje su: P – opterećenje voda (kW)

l – duljina voda (km)

r, x – jedinične konstante voda (Ω/km)

k_f – faktor ovisan o broju faza

k_t – faktor težišta opterećenja na vodu

Tablica 2.1 prikazuje faktor k_f ovisno o broju faza.

Tablica 2.1. Faktor k_f u ovisnosti o broju faza

| Vod | Jednofazni | Dvofazni | Trofazni |
|--------|------------|----------|----------|
| U (kV) | 0,23 | 0,40 | 0,40 |
| k_f | 3,0 | 1,5 | 1,0 |

Faktor težišta opterećenja voda k_t računa se prema izrazu:

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

$$k_t = \frac{l_0 + l_1 \cdot \frac{n-1}{2}}{l_0 + l_1 \cdot (n-1)} \quad (2.26)$$

gdje su: l_0 – udaljenost od transformatorske stanice do prvog potrošača na vodu (km)

l_1 – prosječna udaljenost među potrošačima na vodu (km)

n – broj potrošača na vodu

2.3.4. Odabir snage transformatora

Za više niskonaponskih izvoda, ukupno maksimalno opterećenje kućanstava određuje se Ruscovom formulom. Zbrajanjem maksimalnih opterećenja svih izvoda ne bi bio uvažan faktor istodobnosti potrošnje kućanstava na različitim izvodima. Ukupnom maksimalnom opterećenju kućanstava pridodaje se maksimalno opterećenje ostalih potrošača sa uračunatim faktorom istodobnosti, te ukupno opterećenje javne rasvjete. Na ovaj način dobiva se ukupno maksimalno opterećenje niskonaponske mreže.

Minimalna potrebna snaga transformatora računa se kao [9], [15]:

$$S_n \geq \frac{P_{\max_{mreže}}}{r_{pre} \cdot (1 - r_{rez}) \cdot \cos\varphi} \quad (2.27)$$

gdje su: $P_{\max_{mreže}}$ – ukupno maksimalno opterećenje mreže (kW)

$\cos\varphi$ – prosječni faktor snage

r_{pre} – faktor dopuštenog preopterećenje transformatora

r_{rez} – faktor rezerve

2.3.5. Proračun tokova struja i odabir tipa vodiča

Proračunom tokova snaga (P , Q), kroz sve dionice niskonaponske mreže, odgovarajuće vrijednosti struja koje teku svakom dionicom dobivaju se kao:

$$I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (2.28)$$

gdje su: P , Q – snage u početnoj točki promatrane dionice (kW, kVAr)

U – napon u početnoj točki promatrane dionice (kV)

Obzirom da je za svaki tip vodiča, u ovisnosti o njegovom presjeku i materijalu od kojeg je izrađen, definirana maksimalna vrijednost struje I_n koja može protjecati kroz njega, temeljem izračunate vrijednosti struje za svaku dionicu može se odrediti da li odabrani tip vodiča zadovoljava. Obično, odabrani tip vodiča zadovoljava ukoliko je ispunjen uvjet:

$$I \leq 0,8 \cdot I_n \quad (2.29)$$

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

2.4. PLANIRANJE DISTRIBUCIJSKIH SUSTAVA

Izgled distribucijskog sustava strateško je pitanje za većinu distribucijskih tvrtki. Ključni problem je lociranje postrojenja i alociranje potrošača. Sam izgled distribucijskog sustava je usko povezan sa lokacijom, odnosno prostornim rasporedom objekata koje je potrebno opskrbiti električnom energijom. Naravno, odabir što povoljnijih lokacija za vlastita postrojenja je jedan od važnih faktora za distribucijske tvrtke. Primarna uloga planiranja distribucijskog sustava je usklađivanje vlastitih interesa distribucijskih tvrtki sa interesima potrošača.

2.4.1. Matematički modeli planiranja

Modeli planiranja mogu se klasificirati kako slijedi [16]:

- Kontinuirani modeli lokacija (modeli u ravnini) (*eng. continuous location models*) – karakteriziraju ih dvije značajke: prostor rješenja je kontinuiran, odnosno izvodljiv je za lociranje postrojenja u svakoj točki ravnine i udaljenost se mjeri prigodnom metrikom, obično Manhattan, Euclidean ili metrika ravne–crte (zračna udaljenost);
- Modeli lokacije mreže (*eng. network location models*) – kod ovih modela udaljenost se računa kao najkraći put na grafu;
- Modeli mješovito–cjelobrojnog programiranja (*eng. mixed–integer programming models*) – za razliku od prethodnih modela ovi modeli predstavljaju diskretizirane optimizacijske modele i koriste ulazne podatke bez ispitivanja odakle dolaze. Gruba podjela ovih modela izgleda kako slijedi:
 - a) jedno–fazni u usporedbi sa više–faznim modelima (*eng. single–stage vs. multi–stage models*),
 - b) opterećeni u usporedbi s neopterećenim modelima (*eng. capacitated vs. uncapacitated models*),
 - c) jedno–izvorni u usporedbi sa više–izvornim modelima (*eng. single–sourcing vs. multiple–sourcing*),
 - d) jedno–proizvodni u usporedbi sa više–proizvodnim modelima (*eng. single–product vs. multi–product*),
 - e) statički u usporedbi sa dinamičkim modelima (*eng. static vs. dynamic models*),
 - f) modeli s i bez mogućnosti usmjeravanja (*eng. with or without routing options*).

Kada se radi o elektroenergetskom sustavu ovi modeli se najčešće primjenjuju u analizama grupiranja.

2.4.2. Planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža

Planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža je važno zbog zadovoljavanja određenih zahtjeva i temelji se na prognozi opterećenja i pouzdanosti u napajanju potrošača. Postoje tri kategorije planiranja i to: dugoročno planiranje, planiranje razvoja mreže i planiranje izgradnje mreže [17].

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Zadaća dugoročnog planiranja je određivanje optimalnog rasporeda mreže i investicijskih troškova, pri čemu se mora uzeti u obzir budući razvoj. Planiranje razvoja mreže (tzv. razvoj korak po korak) mora biti sukladno prognoziranom povećanju opterećenja kako bi se na vrijeme osigurale dovoljne količine električne energije sukladne rastu potrošnje. Planiranje izgradnje mreže (tzv. dizajn) je aktualni inženjerski posao gdje se planiraju i prihvaćaju potrebni strujni krugovi i transformatorske stanice.

Jedan od esencijalnih elemenata u planiranju distribucijskih mreža je određivanje lokacije centra potrošnje gdje treba biti smještena transformatorska stanica. Ovo se radi u dugoročnom planiranju (npr. desetogodišnji plan). Nadalje, planiranjem razvoja mreže određuju se niskonaponski izvodi kojim će se vršiti snabdijevanje krajnjih potrošača električnom energijom. Temeljem ovoga na kraju se vrši planiranje izgradnje mreže.

Pri planiranju mreža značajna pažnja se mora pridati pouzdanosti koja je u vezi sa sposobnošću kontinuiranog snabdijevanja električnom energijom svih kupaca. Ona se može mjeriti brojem prekida u danom periodu ili prosječnom dužinom trajanja prekida. Ona je uvijek proporcionalna troškovima. Stoga je veoma važno iznaći ravnotežu između pouzdanosti i troškova.

Sustavno planiranje niskonaponske distribucijske mreže moguće je samo onda kada je uspostavljen i prihvaćen jedinstveni sustav aksioma za planiranje mreže. Odluke su to bolje, što je sustav aksioma potpuniji. Ovakav sustav treba sadržavati [18]:

- Zakone i tehničke propise;
- Zahtjeve koje trebaju ispuniti komponente mreže;
- Dopušteno trajanje prekida u napajanju;
- Prognozu opterećenja;
- Pogonske zahtjeve.

Sustav za planiranje razvoja mreže sadrži sve pripadajuće zakone, propise i norme za distribucijska postrojenja, uključujući i propise o zaštiti na radu.

Zahtjevi koje trebaju ispuniti komponente mreže promatraju se za dva pogonska stanja, i to: za normalan pogon i nakon kvara. Ako kvar nastane slučajno, u periodu velikih opterećenja, čime se kratkotrajno mora preopteretiti neka druga komponenta mreže, to skraćuje njezin vijek trajanja. Skraćenje vijeka trajanja komponenti mreže uspostavlja granice zahtjeva za komponente koji se moraju uvrstiti u načela planiranja. Dakle, za potrebe pričuvnog pogona u slučaju kvara, neke od komponenti mreže mogu biti opterećene više od nazivne snage dok traje popravak oštećenog dijela mreže, ali se mora voditi računa o granicama do kojih se komponente mogu preopteretiti, kao i o vremenu trajanja preopterećenja.

Važan parametar za pogon i planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža je trajanje prekida nakon kvara. Ako se prihvati da svakom kvaru odgovara određena neisporučena električna energija, koja ovisi o vjerojatnosti nastanka kvara, odatle slijedi da za svaku veličinu prekinutog opterećenja postoji određeno trajanje prekida napajanja. Načelo $(n-1)$ ne može se u mrežama

primijeniti dosljedno, u smislu da svaka komponenta ima svoju pričuvnu komponentu. Mora se krenuti više prema tome da se za svako ispalo opterećenje predvidi odgovarajuće pričuvno napajanje, koje se ne mora uvijek aktivirati odmah, nego treba biti u vremenu odgovarajućeg dopuštenog trajanja prekida. Prekide napajanja nije moguće izbjeći. Zato je potrebno svesti njihovo trajanje na podnošljivu mjeru za potrošače, kao i za troškove isporučitelja.

O prognozi potrošnje ovisi pravilno predviđanje potrebnih ulaganja, a veliki utjecaj na kvalitetu prognoze ima porast opterećenja. Iz navedenog razloga, procjena opterećenja mora biti što pouzdanija i uz nju se treba dati procjena nesigurnosti mogućih odstupanja. Nadalje, vrijedi da bi pomoću statističke metode bilo dobro pronaći ovisnost između porasta potrošnje i porasta općih veličina. Porast opterećenja (snage) teže je procijeniti jer je to slučajna veličina koja ovisi o načinu i vrsti potrošnje samoga potrošača. Iz toga se može zaključiti da porast opterećenja za dva područja može biti različit, uz isti porast potrošnje električne energije. Postoji niz prognostičkih metoda koje se bave trendom potrošnje električne energije, a jedna od njih je ekstrapolacija trenda pomoću regresije. Ova metoda koristi podatke iz prošlosti za zaključivanje tijeka potrošnje u budućnosti. Prognoze mogu biti kratkoročne ili dugoročne, ali ih svakako treba revidirati u određenim vremenskim razmacima.

U načelu, u planiranje razvoja niskonaponskih distribucijskih mreža pripadaju i zahtjevi za ponašanjem mreže u pogonu, kao i učestalost održavanja komponenti mreže. Ponašanje mreže u pogonu može biti određeno na način da se traži da uklopno stanje nadređene mreže ne utječe bitno na sklopne radnje u podređenoj mreži. Daljnji zahtjev može biti da se odredi maksimalni broj sklopnih radnji za promjenu uklopnog stanja mreže.

Planiranje distribucijskih mreža je posao koji obično obavlja veći broj inženjera–planera u distribucijskim tvrtkama. Pritom, sve više podrške im dolazi novim, gotovim programima za planiranje i vjerojatno će se u budućnosti takvi oblici planiranja još više proširiti i produbiti. Međutim, kriterije planiranja, čak i pri radu s računalnim programima za planiranje, mora ipak odrediti sam planer mreže, a najbolje je da glavni dio kriterija bude usuglašen unutar distribucije. Prelaskom na deregulirano poslovanje elektroprivrednih djelatnosti, dakle i distribucijske, važnu će kariku predstavljati planiranje koje će obavljati, i biti za to odgovorni, budući operateri mreža. Osim do sada prihvaćenih, morat će se uvesti i kategorije planiranja koje u netržišnoj i reguliranoj elektroprivredi uglavnom nisu bile poznate ili nisu bile uvažene, kao što je npr. ugovorena pouzdanost napajanja, odšteta za neisporučenu energiju i snagu i sl.

2.4.3. Opći kriteriji planiranja

Postoje li dileme o načinu ulaganja, troškovima mreže i sl. mora se, u načelu, načiniti više različitih varijanti razvitka mreže. Svaka varijanta promatra se neovisno. Pojedine vremenske etape razvoja mreže moraju biti sadržane jednako u svim varijantama i obrađuju se jednako. Komponente mreže moraju biti dimenzionirane tako da na kraju pojedine etape izdrže dostignuta opterećenja, imaju gubitke napona u dopuštenim granicama i traženu pouzdanost napajanja. Ne može se unaprijed odrediti koliko varijanti ili etapa u nekoj razradi mreže treba načiniti.

Varijante se uspoređuju prema padovima napona, gubicima snage, troškovima izgradnje mreže, te ukupnim troškovima nastalim tijekom cijelog razdoblja planiranja (sve planirane etape). Dakle, troškove pojedine varijante čine:

- Troškovi ulaganja (investicija);
- Troškovi pogona (troškovi gubitaka električne energije i snage, te troškovi održavanja).

Upotrijebljena godišnja stopa porasta vršnog opterećenja u jednoj varijanti mora se upotrijebiti jednako u svim varijantama. Godišnju stopu porasta treba dogovoriti sa širim krugom poznavatelja okolnosti na danom području (naročito s urbanistima). Stopu porasta tijekom perioda planiranja moguće je i mijenjati, a podrazumijeva se da će se to dosljedno provesti u svim uspoređenim varijantama.

2.4.4. Tehnički kriteriji planiranja

Dopušteni gubitak napona u bilo kojem čvoru mreže, na kraju određene etape razvoja mreže, u redovitom (normalnom) pogonu, je, prema Europskoj normi EN50160, $\Delta u = \pm 10\%$ [19]. Ako taj temeljni uvjet nije zadovoljen, mreža se dijeli, odnosno uvode se novi strujni krugovi, koji preuzimaju dio tereta preopterećenog strujnog kruga. Vod koji se tom prilikom uvodi u mrežu mora biti tipizirani vod, optimalnog presjeka vodiča koji udovoljava zahtjevima toplinske čvrstoće kod kratkog spoja.

Dopušteno relativno opterećenje komponenti sustava, pri razradi planirane mreže, je slijedeće:

- Opterećenje u normalnom pogonu: 80% toplinski dopuštenog opterećenja;
- Opterećenje u izvanrednom pogonu: 120% toplinski dopuštenog opterećenja.

Kod nadzemnih vodova nije dopušteno toplinsko preopterećenje, nego se ograničenje ogleda u padu napona na njihovom kraju u redovitom, odnosno izvanrednom pogonu.

Novi vodovi, koji se ugrađuju, moraju imati tipski presjek vodiča, po mogućnosti optimalni, odnosno ovisan o veličini konzuma kojega napajaju. Optimalni presjek vodiča nadzemnog voda i kabela određuje se posebnim računom, a potom se iz standardnog niza ili niza tipiziranih vodova odabiru vodovi čiji je presjek najbliži optimalnom.

Jedinice transformatora koji se ugrađuju moraju biti tipske (blizu optimalne) veličine, ovisno o veličini konzuma koji napajaju. Optimalna veličina (nazivna snaga) transformatora određuje se posebnim proračunom, a potom se iz standardnog niza ili niza tipiziranih transformatora odabire onaj čija je nazivna snaga najbliža optimalnoj.

2.4.5. Ekonomski kriteriji planiranja

Gubici električne energije valoriziraju se odgovarajućim cijenama na razini svih komponenti. Jedan primjer je dan u tablici 2.2.

Tablica 2.2. *Primjer proračuna gubitaka po komponentama mreže*

| Komponenta mreže | Uporabno vrijeme vršnog opterećenja (h) | Faktor oblika dijagrama opterećenja | Faktor gubitaka ϑ | Cijena snage k_s (€/kW) | Cijena energije k_e (€/kWh) | Faktor istodobnosti | Cijena gubitaka na razini komponente mreže C_e (€/kW) |
|-----------------------------|---|-------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------|---|
| Transformator 10(20)/0,4 kV | 2.500 | 0,285 | 0,112 | 170 | 0,06 | 0,72 | 191 |
| Kabel 0,4 kV | 1.800 | 0,205 | 0,070 | 170 | 0,06 | 0,55 | 130 |
| Nadzemni vod 0,4 kV | 1.500 | 0,171 | 0,053 | 170 | 0,06 | 0,50 | 113 |

Cijena gubitaka praznog hoda transformatora jednaka je za sve planirane transformatore (za transformatorske stanice sa više transformatora), jer gubici nastaju istodobno, pod uvjetom da su svi transformatori uključeni cijele godine (8760 sati). Ta cijena iznosi:

$$C_0 = k_s + k_e \cdot 8760 \quad (\text{€/kW/god}) \quad (2.30)$$

gdje su: k_s – cijena snage (€/kW)

k_e – cijena energije (€/kWh)

Približan izračun investicijskih troškova izgradnje mreže treba sadržavati podatke kako je to prikazano u tablici 2.3.

Tablica 2.3. *Primjer cjenika investicijskih troškova izgradnje mreže*

| Transformator 10(20)/0,4 kV, 400 kVA, sa ugradnjom (€) | Stupovi sa ovjesnom opremom i ugradnjom (€/stup) | SKS 70 mm ² (€/m) | SKS 35 mm ² (€/m) | SKS 16 mm ² (€/m) | Kućni priključak sa opremom i ugradnjom (€/kom) |
|--|--|------------------------------|------------------------------|------------------------------|---|
| 30.519 | 871 | 10 | 8 | 4 | 1.573 |

Dakle, približni ukupni troškovi izgradnje distribucijske mreže mogu se prikazati kao:

$$C_i = t \cdot c_T + s \cdot c_s + l_1 \cdot c_{70} + l_2 \cdot c_{35} + l_3 \cdot c_{16} + n \cdot c_p \quad (2.31)$$

gdje su: t – broj transformatora u transformatorskoj stanici

c_T – cijena jednog transformatora sa ugradnjom (€)

s – broj stupova

c_s – prosječna cijena jednog stupa sa ovjesnom opremom i ugradnjom (€)

l_1, l_2, l_3 – ukupna dužina potrebnog SKS 70 mm², 35 mm² i 16 mm² (m)

c_{70}, c_{35}, c_{16} – cijena SKS 70 mm², 35 mm² i 16 mm² (€/m)

n – ukupan broj potrošača

c_p – cijena kućnog priključka sa opremom i ugradnjom (€/kom)

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Proračun troškova je potrebno izvesti određenom stopom aktualizacije troškova. Aktualizacijom troškova ulaganja i ostalih troškova svode se sve financijske veličine ulaganja i pogonskih troškova pojedinih etapa razvitka na početnu godinu, kako bi se ukupni troškovi pojedinih varijanti mogli međusobno usporediti. U svim promatranim varijantama planiranja moraju se primijeniti jednake stope aktualizacije troškova.

2.4.6. Kriterij pouzdanosti napajanja

Kvarovi u mreži ne mogu se izbjeći. Dopusšteno vrijeme prekida napajanja kod kvara ovisno je o količini neisporučene električne snage, a posredno i električne energije. Temeljna zadaća inženjera–planera je da sustav radi pouzdano i sigurno uz prihvatljive troškove i da se održi raspoloživost, sigurnost i cjelovitost sustava na zadovoljavajućoj razini, te da se sustav odupre raznim poremećajima i kvarovima koji su široko rasprostranjeni u svim dijelovima sustava.

U procesu deregulacije elektroenergetskog tržišta i uvođenja konkurencije među distributerima aktualizira se problem pouzdanosti, odnosno kvalitete električne energije koja se isporučuje krajnjim kupcima. Električna energija, kao i svaki drugi proizvod, mora ispunjavati određene ugovorene norme. Normiranje kvalitete isporučene električne energije u biti se vrši preko dvije grupe pokazatelja:

- Pokazatelji koji se odnose na pouzdanost/kvalitetu isporuke, koji odražavaju stanje elektroenergetske mreže, te učestalost i trajanje prekida u opskrbi;
- Pokazatelji koji se odnose na kvalitetu napona, koji odražavaju razinu i oblik napona na mjestu isporuke i definirani su normom EN50160.

Pokazatelji kvalitete napona imaju izuzetnu važnost za manju skupinu specifičnih kupaca, dok pokazatelji pouzdanosti isporuke imaju važnost za svakoga kupca. Osiguranje pouzdane opskrbe kupaca električne energije, osim u fazi planiranja razvoja mreže, je obveza distributera i u fazi vođenja, rada i održavanja mreže. Kupci se moraju napajati pouzdano i sigurno. Kako bi se to i ostvarilo potrebno je ispuniti i određene ekonomske uvjete vezane sa pouzdanošću. U slučaju nedovoljnih ulaganja u mrežu kao rezultat se javlja nedovoljna pouzdanost koja se očituje u čestim prekidima u opskrbi kupaca. Prekomjerna ulaganja rezultiraju nepotrebnim troškovima koji se odražavaju na povećanje krajnje cijene električne energije, što za posljedicu ima negativan utjecaj na krajnje kupce. U oba ova slučaja, u jednom monopolističkom sustavu, posljedice ne snose tvrtke nego krajnji kupci. Međutim, u uvjetima dereguliranih tržišta električne energije situacija se bitno mijenja jer nastaju novi, pravno i vlasnički neovisni subjekti.

Prema podacima iz literature koja analizira praksu distribucijskih tvrtki [20], za ocjenu pouzdanosti isporuke električne energije iz distribucijskih mreža koristi se dvadesetak pokazatelja koje definira Standard IEE 1366–2003, odnosno „Vodič pokazatelja pouzdanosti distributivnog sustava“ (*eng. Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices*). Proračun pokazatelja pouzdanosti temelji se na registriranju broja i dužine trajanja prekida u isporuci električne energije i utvrđivanju posljedica prekida. Ovisno o načinu praćenja

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

posljedica prekida računaju se pokazatelji pouzdanosti prema broju potrošača koji su ostali bez opskrbe ili prema neisporučenoj energiji.

Većina tvrtki ili regulatornih agencija odlučuje se za izbor nekoliko pokazatelja po kojima se prati pouzdanost isporuke električne energije i najčešće su to: SAIFI, SAIDI i CAIDI.

Ovi pokazatelji pouzdanosti definirani su na slijedeći način [21], [22], [23], [24]:

1. SAIFI – eng. *System Average Interruption Frequency Index*

Ovaj pokazatelj naziva se indeks prosječne učestalosti prekida sustava i pokazuje prosječan broj prekida po kupcu godišnje na razini sustava. Matematički, računa se prema jednadžbi:

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^K N_i}{N_T} \quad (2.32)$$

gdje su: K – ukupan broj prekida
 N_i – broj kupaca koji su osjetili prekid opskrbe
 N_T – ukupan broj usluženih kupaca

2. SAIDI – eng. *System Average Interruption Duration Index*

Ovaj pokazatelj naziva se indeks prosječne dužine trajanja prekida sustava i pokazuje prosječno trajanje prekida po kupcu na razini sustava. Obično se mjeri u minutama prekida. Matematički, računa se prema jednadžbi:

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^K N_i \cdot t_i}{N_T} \quad (2.33)$$

gdje su: K – ukupan broj prekida
 N_i – broj kupaca koji su osjetili prekid opskrbe
 N_T – ukupan broj usluženih kupaca
 t_i – trajanje i -tog prekida u minutama

3. CAIDI – eng. *Customer Average Interruption Duration Index*

Ovaj pokazatelj naziva se indeks prosječnog trajanja prekida kupaca i pokazuje prosječno vrijeme potrebno da se ponovno uspostavi opskrba kupaca. Matematički, računa se prema jednadžbi:

$$CAIDI = \frac{\sum_{i=1}^K N_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^K N_i} = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (2.34)$$

Pređoćeni pokazatelji pouzdanosti mogu znaćajno odstupati na razlićitim podrućjima potrošnje. Najznaćajnija odstupanja su pri podjeli potrošnje na pretežitno urbano i pretežitno ruralno podrućje potrošnje. Niže vrijednosti pokazatelja pouzdanosti oćekuju se u pretežitno urbanim podrućjima u kojima dominira kabelaška mreža, dok se više vrijednosti ovih pokazatelja oćekuju u pretežitno ruralnim podrućjima u kojima dominira nadzemna mreža.

Regulatorne agencije, kroz regulatorne mehanizme, provjeravaju potrebe i oćekivanja potrošaća u vezi sa kvalitetom isporuke elektrićne energije, odnosno procjenjuju spremnost potrošaća da plate veću cijenu elektrićne energije u cilju poboljšanja pouzdanosti isporuke (*eng. willingness to pay*).

3. HIJERARHIJSKE I STOHAŠTIČKE METODE OPTIMIZACIJE

3.1. OPĆENITO O OPTIMIZACIJI

Problemi pronalaženja optimalnog rješenja susreću se i rješavaju svakodnevno. Na njih se nailazi skoro posvuda, a po prirodi su veoma raznovrsni. Zajedničko za sve njih je nastojanje da se pronađe rješenje koje u najvećoj mogućoj mjeri udovoljava potrebama, odnosno stvara najveću korist.

Predmet razmatranja optimizacije su problemi za koje postoje manje ili više dobro razrađeni matematički modeli ili za koje se takvi modeli moraju napraviti. Konkretnije, predmet su modeli i metode optimizacije za odabrane klase problema koji se često susreću u praksi, a matematički su relativno dobro obrađeni. Pri ovome se mora uzeti u obzir da se u teoriji optimizacije prvenstveno traži rješenje postavljenog optimizacijskog problema i ne razmatra se pitanje koliko postojeći model odgovara realnom zadatku.

3.1.1. Formuliranje problema optimizacije

Teorija optimizacije se bavi razvojem modela i metoda kojima se nalaze optimalna rješenja matematički formuliranih problema [25]. Bilo koje rješenje problema označavamo sa x . U pravilu, x u stvari predstavlja $x = (x_1, \dots, x_n)$. Komponente rješenja $x_j, j = 1, \dots, n$, nazivaju se *upravljačke varijable* ili *varijable odluke*. Uobičajeno je da se optimalno rješenje označava kao $x^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)$.

Optimalno u pravilu znači najbolje. Da bi se za neko rješenje moglo reći da je najbolje potrebno je imati mjeru temeljem koje će se odrediti kvaliteta rješenja i koja će omogućiti njegovu usporedbu sa drugim mogućim rješenjima. U matematičkom modelu stoga mora postojati funkcija kojom se svakom rješenju pridružuje odgovarajuća vrijednost koja predstavlja mjeru njegove kvalitete. Ta funkcija se naziva *kriterijska funkcija* ili *funkcija cilja*. Uobičajeno se označava sa $f(x)$. Zadatak optimizacije je pronalaženje rješenja koje daje ekstremnu vrijednost kriterija (maksimum ili minimum), kao i određivanje vrijednosti kriterija. Varijable koje je potrebno odrediti međusobno su uvjetovane relacijama i ograničenjima. Matematički izrazi kojima se predočavaju ova ograničenja nazivaju se zajedničkim imenom *skup ograničenja*. Svako rješenje koje zadovoljava postojeća ograničenja naziva se *dopustivim*. Dopustiva rješenja formiraju skupinu dopustivih rješenja ili dopustivu skupinu rješenja D . Dopustiva skupina rješenja D je određena sustavom ograničenja, koja su obično tipa nejednakosti [26]:

$$D = \{ x \in \mathbb{R}^n \mid g_i(x) \leq 0, i=1, \dots, m \} \quad (3.1)$$

gdje su: i – indeks ograničenja

m – ukupan broj ograničenja

$g(x)$ – funkcija ograničenja

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Opća zadaća optimizacije je pronalaženje $x \in D$ za koje funkcija $f(x)$ dostiže optimalnu (maksimalnu ili minimalnu) vrijednost.

Kao primjer može se navesti postavka zadatka linearnog programiranja u kojem je potrebno pronaći vrijednost za x koja ima maksimum matematičke linearne funkcije:

$$z = c \cdot x \quad (3.2)$$

pri ograničenjima,

$$\begin{aligned} A \cdot x &\leq b \\ x &\geq 0 \end{aligned} \quad (3.3)$$

gdje su koeficijenti dani matricama,

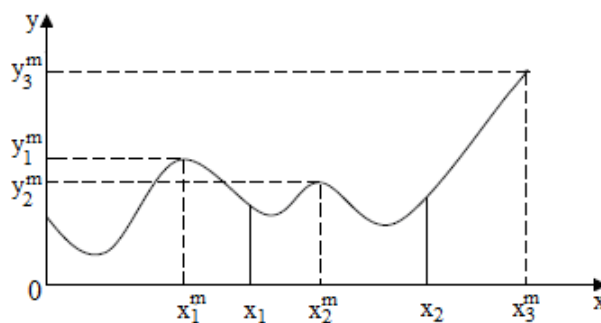
$$\begin{aligned} c &= \parallel c_j \parallel_{1 \times n} \\ A &= \parallel a_{ij} \parallel_{m \times n} \\ b &= \parallel b_i \parallel_{m \times 1} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Koeficijenti u matematičkom modelu nazivaju se *parametrima modela* ili *parametrima sustava*, a u općem slučaju mogu se označiti kao jedinstvena skupina parametara A .

Optimalno rješenje x^* optimizacijskog zadatka je ono za koje vrijedi:

$$f(x^*) \geq f(x), \quad x \in D \quad (3.5)$$

Vrijednost kriterija $f^* = f(x^*)$ koja odgovara optimalnom rješenju naziva se *optimalna vrijednost* ili *optimum*. Ovakva definicija optimuma naziva se i *globalni optimum*, a postavljeni zadatak naziva se *zadatak globalne optimizacije*. Osnovna zadaća teorije optimizacije je rješavanje zadatka globalne optimizacije, čije rješavanje ovisi o kriterijskoj funkciji, tipovima ograničenja i primijenjene metode. Pri ovome postoji rizik da se primjenom određene metode kao rješenje dobije *lokalni optimum*, kao što je prikazano na slici 3.1 [27].



Slika 3.1. Lokalni i globalni optimum

U intervalu $0 \leq x \leq x_1$ maksimalna vrijednost funkcije se dostiže u točki x_1^m i iznosi $y_1^m = f(x_1^m)$. Ukoliko se promatra samo interval $x_1 \leq x \leq x_2$ maksimalna vrijednost funkcije se dostiže u točki x_2^m i iznosi $y_2^m = f(x_2^m)$, dok je za interval $0 \leq x \leq x_2$ maksimalna vrijednost funkcije u točki x_1^m . Međutim, kada se promatra cijeli interval $0 \leq x \leq x_3^m$ maksimalna vrijednost funkcije je u točki x_3^m koja se nalazi na granici intervala. Tako se može reći da u točkama x_1^m i x_2^m funkcija ima lokalne maksimume, dok se globalni maksimum funkcije dostiže u točki $x^* = x_3^m$. U općem slučaju može se reći da funkcija $f(x)$ ima lokalni maksimum u točki x^m ukoliko za sve točke definirane δ -okoline, $|x - x^m| < \delta$, vrijedi $f(x^*) \geq f(x)$.

3.1.2. Klasificiranje optimizacijskih problema

Za potrebe klasificiranja optimizacijskih problema mogu se koristiti različiti kriteriji. Ovdje će biti navedene samo neke od temeljnih klasifikacija [28].

Ovisno o tome da li postoje ograničenja na promjenjivim veličinama razlikuju se problemi:

- *uvjetne optimizacije*, odnosno optimizacije u ovisnosti o zadanim ograničenjima,
- *bezuvjetne optimizacije*, kada promjenjive veličine nisu međusobno uvjetovane jednadžbama i/ili nejednadžbama.

Ovisno o tome da li su parametri u optimizacijskom problemu poznati, slučajnog karaktera ili su neodređeni, razlikuju se:

- *deterministički zadaci*,
- *zadaci stohastičke optimizacije*,
- *zadaci optimizacije u uvjetima neodređenosti*.

U stohastičkim sustavima parametri sustava ili promatrani proces imaju slučajan karakter koji je opisan metodama iz teorije vjerojatnosti i statistike. Postoje dvije velike skupine metoda stohastičke optimizacije, a to su:

- *Implicitne metode*;
- *Eksplisitne metode*.

Implicitne metode mogu se primjenjivati samo za diskretne stohastičke probleme u kojima je broj mogućih rješenja relativno malen, odnosno takav da se svako rješenje može analizirati. U primjeni ovih metoda razlikuju se tri temeljna koraka:

1. Određivanje svih mogućih realizacija slučajnih veličina;
2. Izvršavanje determinističkih optimizacija za svaku realizaciju;
3. Analiziranje rezultata i odabir rješenja.

Eksplicitne metode stohastičkog programiranja primjenjuju se za diskretne i kontinuirane stohastičke probleme. Pri tome se može dogoditi da kriterijska i/ili funkcija ograničenja ima stohastičku prirodu.

Kada su parametri u kriterijskoj funkciji stohastičke prirode uobičajena su slijedeća dva pristupa:

1. Potrebno je odrediti x tako da se dobije maksimum kriterijske funkcije,

$$\max_{x \in D} E [f(x)] \quad (3.6)$$

2. Potrebno je odrediti x tako da se dobije maksimum vjerojatnosti da je kriterijska funkcija veća od neke zadane vrijednosti,

$$\max_{x \in D} P_r [f(x) \geq f_0] \quad (3.7)$$

U slučaju da parametri u funkcijama ograničenja imaju slučajan karakter nije izvjesno da se odabirom upravljačkih varijabli može osigurati da ona uvijek bude zadovoljena. Zato se formulira novi zadatak optimizacije u kojem se traži da je vjerojatnost da će ograničenje biti zadovoljeno veća od neke zadane vrijednosti.

Promatrajmo zadatak linearnog programiranja u kojem su parametri u sustavu ograničenja stohastičke prirode. Potrebno je odrediti $x = (x_1, \dots, x_n)$ tako da se nađe maksimum funkcije:

$$z = \sum_{j=1}^n c_j \cdot x_j \quad (3.8)$$

pri ograničenjima,

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j \leq b_i, \quad i = 1, \dots, m \quad (3.9)$$

$$x_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n$$

U ovom slučaju se originalni zadatak transformira u novi zadatak, pri čemu se nova ograničenja formuliraju temeljem zahtjeva da originalna ograničenja budu zadovoljena sa određenim zadanim vjerojatnostima α_i , $i = 1, \dots, m$. To znači da je potrebno odrediti $x = (x_1, \dots, x_n)$ tako da se nađe maksimum funkcije 3.8, uz ograničenja:

$$P_r \left[\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j \leq b_i \right] \geq \alpha_i, \quad i = 1, \dots, m \quad (3.10)$$

gdje su $\alpha_i \in (0, 1)$ zadane vrijednosti.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Kada su slučajne veličine samo sa desne strane nejednadžbi u sustavu ograničenja, odnosno kada su slučajne prirode samo parametri b_i , $i = 1, \dots, m$, i to tako da su opisani normalnim razdiobama, sa parametrima $\mu_i = E[b_i]$ i $\sigma_i^2 = \text{Var}[b_i]$, tada se uspostavljeni zadatak linearnog programiranja zamjenjuje slijedećim determinističkim zadatkom. Potrebno je odrediti $x = (x_1, \dots, x_n)$ tako da se nađe maksimum funkcije 3.8, uz ograničenja:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j \leq \mu_i + K_{\alpha_i} \cdot \sigma_i, \quad i = 1, \dots, m \quad (3.11)$$

$$x_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n$$

gdje se faktor povjerenja K_{α_i} određuje iz uvjeta,

$$P_r \left\{ K_{\alpha_i} \leq \frac{b_i - \mu_i}{\sigma_i} \right\} = \alpha_i \quad (3.12)$$

Slijedeća podjela optimizacijskih problema je na:

- *Kontinuirane;*
- *Diskretne.*

U kontinuiranim problemima upravljačke varijable uzimaju vrijednosti iz skupa realnih problema.

U diskretnim problemima postoji dodatno ograničenje takvo da upravljačke varijable mogu imati samo određene diskretne vrijednosti iz skupa realnih brojeva. Obično se radi o skupu cijelih brojeva, o skupu prirodnih brojeva ili o binarnom skupu $\{0, 1\}$.

Značajnu klasu zadataka optimizacije predstavljaju problemi optimalnog upravljanja sustavima. To su zadaci upravljanja kao funkcije vremena. Upravljanjem je potrebno promatrani sustav, uz poštivanje određenih uvjeta i ograničenja, u nekom vremenskom intervalu prevesti iz početnog u željeno stanje, a da pri tome odabrani kriterij, tzv. *indeks performanse*, dobije ekstremnu vrijednost. Rješenje zadatka optimalnog upravljanja nisu brojevi nego funkcije. To je bitna razlika u odnosu na do sada promatrane zadatke optimizacije. Nekom upravljanju, odnosno nekoj određenoj vremenskoj funkciji, pridružuje se broj koji označava kvalitetu upravljanja. Drugim riječima, *indeks performanse* je preslikavanje skupa funkcija na skup točaka [29].

Dakle, optimizacija u biti predstavlja postupak maksimiziranja, odnosno minimiziranja nekog cilja (ili ciljeva), uz zadovoljavanje objektivnih ograničenja. Proces optimizacije podrazumijeva sustavno traženje optimalnog rješenja zadanog problema, a u uvjetima zadovoljavanja zadanih kriterija. Procesi optimizacije danas imaju sve veću važnost i sve širu *Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda*

primjenu. Današnja logika kod upravljanja distribucijskim elektroenergetskim sustavom nije samo odrediti rješenje koje zadovoljava sve uvjete, nego i minimiziranje troškova, odnosno maksimiziranje uspostavljenih ciljeva. Optimizacija se stoga istovremeno može shvatiti i kao način uspostavljanja inženjerskog zadatka, ali i kao specijalizirani alat, odnosno način potpore pri odlučivanju u sustavu upravljanja distribucijskim sustavom. Kod optimizacije se tijekom predloženih rješenja sustavno vodi na način da sve bolje ispunjava postavljene kriterije optimalnosti, uz istovremeno zadovoljavanje ograničenja. Optimizacija je iterativni postupak bez obzira da li se sprovodi klasičnim putem (inženjersko naslijeđe, iskustvo, intuicija) ili je potpomognuta numeričkim postupcima. Na slici 3.2 je dat prikaz klasičnog optimizacijskog procesa [30].



Slika 3.2. Opći prikaz optimizacijskog procesa

3.1.3. Pregled optimizacijskih metoda

Raniji optimizacijski postupci bili su temeljeni uglavnom na profesionalnom iskustvu, intuiciji i brojnim pokušajima. Široka primjena numeričkih, a u posljednje vrijeme sve više heurističkih optimizacijskih metoda, u uvjetima sve zahtjevnijeg tržišnog poslovanja, omogućena je razvojem računala, sa velikom mogućnošću obrade podataka koja je potrebna u postupku optimizacije. Uz suvremenu primjenu računala razvijeni su i odgovarajući algoritmi i programski alati. Danas se postupci optimizacije primjenjuju u cijelom nizu linearnih i nelinearnih problema.

Optimizacijske metode mogu se uglavnom klasificirati u tri skupine [31], i to:

- a) *Konvencionalne optimizacijske metode;*
- b) *Metode inteligentnog pretraživanja;*
- c) *Metode rješavanja nezvjesnosti ciljeva i ograničenja.*

a) Konvencionalne optimizacijske metode

Ove metode su se sustavno počele razvijati još u antičkoj Grčkoj, i nastavile su se razvijati kroz čitavu povijest. Ovim metodama se kroz povijest bavio veliki broj matematičara i fizičara kao što su: Euklid, Arhimed, Fibonacci, Lagrange, Fourier, Newton, Gauss, Seidel, Ljapunov itd. Rezultate koje su ovi znanstvenici dobili svojim istraživanjima su kasnije preuzeli matematičari i dalje ih usavršili, dokazali i generalizirali.

Ova skupina uključuje [32], [33], [34]:

- 1) optimizaciju bez ograničenja (*eng. unconstrained optimization*),
- 2) linearno programiranje (*eng. linear programming*),
- 3) nelinearno programiranje (*eng. nonlinear programming*),
- 4) kvadratno programiranje (*eng. quadratic programming*),
- 5) Newtonovu metodu (*eng. Newton method*),
- 6) metodu unutarnje točke (*eng. interior point method*),
- 7) mješovito–cjelobrojno programiranje (*eng. mixed–integer programming*),
- 8) programiranje mrežnih tokova (*eng. network flow programming*).

1) Optimizacija bez ograničenja

Optimizacijski pristup bez ograničenja je temelj optimizacijskih algoritama sa ograničenjima. Većina optimizacijskih problema sa ograničenjima, u distribucijskom elektroenergetskom sustavu, mogu se prevesti u optimizacijske probleme bez ograničenja. Glavne optimizacijske metode bez ograničenja, koje se koriste u optimizaciji distribucijskih elektroenergetskih sustava, su: gradijentna metoda (*eng. gradient method*), linijsko pretraživanje (*eng. line search*), Lagrangeova metoda multipliciranja (*eng. Lagrange multiplier method*), Newton–Raphsonova metoda (*eng. Newton–Raphson method*), kvazi–Newtonova metoda (*eng. quasi–Newton method*) itd.

2) Linearno programiranje

Linearno programiranje se koristi za linearizaciju nelinearnih optimizacijskih problema distribucijskog elektroenergetskog sustava. Funkcija cilja i ograničenja imaju linearnu formu. Najpoznatija metoda za rješavanje linearnih problema je simpleks metoda (*eng. simplex method*).

Ovaj pristup ima nekoliko prednosti, od kojih su neke:

- Pouzdanost, naročito kada su u pitanju svojstva konvergencije;
- Brzo identificiranje neizvodljivosti;
- Pribrajanje velikog izbora ograničenja distribucijskog elektroenergetskog sustava, uključujući veoma važna nepredviđena ograničenja.

Nedostaci ovog pristupa su:

- Netočna procjena gubitaka sustava;
- Nedovoljna preciznost u pronalaženju točnog rješenja.

Međutim, praktična uporaba pokazuje da rezultati dobiveni primjenom linearnog programiranja uglavnom zadovoljavaju zahtjeve inženjerske točnosti. Stoga se linearno programiranje široko primjenjuje u rješavanju problema distribucijskog elektroenergetskog sustava kao što su upravljanje sustavom (dispečing), optimalni tokovi snaga, optimizacija jalove snage itd.

3) Nelinearno programiranje

Problemi distribucijskog sustava uglavnom su nelinearni. Stoga se tehnike nelinearnog programiranja mogu veoma lako primijeniti za rješavanje ovakvih problema, kod kojih i funkcija cilja, kao i ograničenja imaju nelinearan karakter. Prvi korak u primjeni ovih tehnika je odabir smjera pretraživanja u iterativnoj proceduri, koji je određen prvom parcijalnom derivacijom jednadžbi (reducirani gradijent). Zato se ove tehnike mogu klasificirati kao metode prvog reda. Metode nelinearnog programiranja imaju znatno veću točnost nego metode linearnog programiranja i također imaju globalnu konvergenciju, što znači da ovakva konvergencija garantira rješenje koje je neovisno o polaznoj točki. Ipak, u određenim slučajevima konvergiranje ka rješenju može biti sporo radi cik–cak kretanja u prostoru pretraživanja.

4) Kvadratno programiranje

Kvadratno programiranje je specijalna forma nelinearnog programiranja. Funkcija cilja je kvadratna, a ograničenja imaju linearnu formu. I ove metode imaju znatno veću točnost nego metode linearnog programiranja. Najčešće korištena funkcija cilja u optimizaciji elektroenergetskog sustava je cijena troškova generatora, koja je u pravilu kvadratna.

5) Newtonova metoda

Newtonova metoda zahtijeva računanje parcijalnih derivacija drugog reda u jednadžbama tokova snaga i ograničenjima, te se još naziva i metoda drugog reda. Nužni uvjeti optimalnosti uobičajeno su Kuhn–Tuckerovi uvjeti. Newtonova metoda je u širokoj uporabi zbog svojih kvadratnih svojstava konvergencije.

6) Metoda unutarnje točke

Ova metoda je izvorno korištena za rješavanje problema linearnog programiranja. Ona je brža i možda bolja od konvencionalnog simpleks algoritma u linearnom programiranju. Metoda je 1990–tih godina primjenjivana za rješavanje problema optimalnih tokova snaga, a u posljednje vrijeme je proširena i poboljšana kako bi se njom mogli rješavati problemi optimalnih tokova snaga kvadratnih i nelinearnih formi.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

7) Mješovito–cjelobrojno programiranje

Problemi u elektroenergetskom sustavu mogu se formulirati i kao mješovito–cjelobrojni optimizacijski problemi sa cjelobrojnim varijablama, kao što su kut faznog pomaka ili uključen/isključen status uređaja. Mješovito–cjelobrojno programiranje zahtijeva velike računalne resurse, a veliki broj diskretnih varijabli je važan pokazatelj koliko je ova metoda teška za rješavanje. Za razdvajanje problema mješovito–cjelobrojnog programiranja na kontinuirane i cjelobrojne probleme koriste se dekompozicijske tehnike. Ove tehnike mogu u velikoj mjeri reducirati dimenzije pojedinih podproblema. Rezultati pokazuju značajno reduciranje broja iteracija, potrebno vrijeme proračuna i memorijski prostor. Mješovito–cjelobrojno programiranje može se koristiti za rješavanje optimalnih tokova snaga, kao i za optimalnu rekonfiguraciju distribucijske elektroenergetske mreže.

8) Programiranje mrežnih tokova

Ova metoda je specijalizirana metoda linearnog programiranja. Upotrijebljena je prvi put za rješavanje optimizacijskih problema 1980–tih godina. U početku je uglavnom korištena na linearnim modelima. U novije vrijeme se koristi metoda nelinearnog konveksnog programiranja mrežnih tokova u optimizaciji elektroenergetskih sustava. Algoritme temeljene na programiranju mrežnih tokova karakterizira velika brzina i jednostavan proračun.

b) Metode inteligentnog pretraživanja

Ove metode pripadaju heurističkim (iskustvenim) metodama i danas imaju primjenu u rješavanju širokog spektra optimizacijskih problema. Naročito su prikladne za rješavanje problema koji se ne mogu dobro matematički formulirati. Također, prigodne su za rješavanje problema koji bi se mogli rješavati matematičkim metodama, ali zbog nedostatka ili nepouzdanosti raspoloživih podataka nisu prigodne. Ove metode su prigodne za rješavanje problema sa poznatim matematičkim algoritmom, ponekad čak i jednostavnim, ali bi njegova primjena zbog velikog broja nepoznatih veličina zahtijevala nedopustivo mnogo vremena. Metodama umjetne inteligencije nastoji se eliminirati traženje rješenja za koja se približnim rezoniranjem može zaključiti da vjerojatno ne sadrže optimum. Na taj način se rješenja dobivaju relativno brzo, ali se ne može dokazati da su apsolutno najbolja, odnosno ne može se sa sigurnošću tvrditi da su to optimalna rješenja. Za ovakva rješenja se može jedino tvrditi, sa velikom vjerojatnošću, da su ona bolja od rješenja koja bi se dobila bez primjene određene metode. Lista ovih metoda je dosta dugačka, ali neke od najšire upotrebljivanih pri rješavanju optimizacijskih problema su [35], [36]:

- 1) Monte Carlo metoda (*eng. Monte Carlo method*);
- 2) Ekspertni sustavi (*eng. expert systems*);
- 3) Neuronske mreže (*eng. neural networks*);
- 4) Genetski algoritmi (*eng. genetic algorithms*);

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

- 5) Evolucijsko programiranje (*eng. evolutionary programming*);
- 6) Simulirano kaljenje (*eng. simulated annealing*);
- 7) Tabu algoritam (*eng. tabu search algorithm*);
- 8) Rojenje čestica (*eng. particle swarm*).

1) Monte Carlo metoda

Kod ove metode se umjesto pretraživanja cjelokupnog područja mogućih rješenja pretražuju samo slučajno odabrane točke u tom području. Nakon toga se traži optimum među tim točkama. Slučajno pretraživanje u stvari na računalo znači kvazi–slučajno, odnosno postiže se pomoću determinističkih algoritama, odnosno generatorom slučajnih brojeva. Obzirom da generator slučajnih brojeva u biti podsjeća na kockarnicu onda i naziv Monte Carlo proizlazi iz toga. Dobivene točke najčešće se upotrebljavaju za lokalnu optimizaciju. Postoji mnogo varijanti Monte Carlo metode.

2) Ekspertni sustavi

Ovi sustavi se služe iskustvenim (heurističkim) pravilima kojima oponašaju žive eksperte. U principu se pravila utvrđuju u suradnji sa više stručnjaka, a mogu se i automatski određivati drugim metodama. Ovi sustavi su se pokazali djelotvornim u mnogim praktičnim primjenama.

3) Neuronske mreže

Neuronske mreže su prvi put upotrijebljene za rješavanje problema linearne optimizacije 1986 godine. Kasnije su proširene na rješavanje problema nelinearnog programiranja i u cijelosti su drugačije od tradicionalnih optimizacijskih metoda. One mijenjaju rješenje optimizacijskog problema u točku ravnoteže (*eng. equilibrium point*) nelinearnih dinamičkih sustava i mijenjaju optimalni kriterij u energetske funkcije dinamičkih sustava. Ove mreže se sastoje od sustava čvorova i veza između njih tako da pokušavaju simulirati funkcioniranje ljudskog mozga. Većinom su realizirane softverski i predstavljaju u stvari programske pakete. One se ne programiraju nego se uče na primjerima. Kao podaci u njih se unose primjeri sa gotovim rješenjima pa računalo, temeljem toga, automatski generira određena pravila. To znači da se prije uporabe ovakvi programi moraju dobro istrenirati.

4) Genetski algoritmi

Genetski algoritam je pretraživački algoritam temeljen na pretpostavci prirodne selekcije i genetike. U biti predstavlja pokušaj primjene Darwinove (*Darwin*) teorije. Značajke genetskog algoritma su drugačije od drugih pretraživačkih algoritama u nekoliko aspekata:

1. To je više–putni algoritam koji pretražuje mnogo vrhova istovremeno i stoga reducira mogućnost zapadanja u stupicu lokalnog minimuma;

2. Radi sa kodiranjem parametara umjesto sa samim parametrima. Kodiranje parametara potpomaže razvoj trenutnog stanja u slijedeće stanje sa minimumom proračuna;
3. Ocjenjuje funkciju cilja svakog niza kao vodiča svog pretraživanja umjesto optimizacijske funkcije;
4. Istražuje prostor pretraživanja gdje je vjerojatnost pronalaženja najboljeg rješenja najveća.

Kod ovog algoritma se u nultom koraku, pomoću generatora slučajnih brojeva, generira populacija potencijalnih rješenja koja zadovoljavaju propisana ograničenja i koja se nazivaju *genomi*. Između njih se odabere podskup odabranog broja najboljih. Najbolja rješenja se dobiju kao skup rješenja koja imaju najmanju vrijednost funkcije cilja. Svako od tih rješenja je definirano odabranim brojem *gena*. U svakom od narednih koraka se generiraju potomci koji od svakog roditelja nasljeđuju dio *genetskog koda*. U ovom slučaju priroda se ne kopira dosljedno tako da svako dijete može imati i više od dva roditelja. Osim toga, rješenja koja su dovoljno dobra ne stare i ne umiru, nego mogu živjeti vječno. Unija skupa roditelja i skupa potomaka čini novi zajednički skup iz kojeg se ponovno odabire podskup najboljih. Osim križanja predviđene su i mutacije, odnosno slučajne promjene vrijednosti nekog gena, iz razloga što je u konačnom rješenju moguća pojava gena koje nema niti jedan roditelj, a koji mogu dovesti do boljeg rješenja. Radi još veće raznolikosti postoji mogućnost uvođenja *genoma* koji nisu dobiveni modificiranjem starih. To su tzv. *genomi imigranti*. Ovaj algoritam nema definiran kraj, nego se postupak uvijek može nastaviti. Ipak, nakon određenog broja koraka nova poboljšanja su vrlo rijetka i mala, pa se postupak obično prekida po nekom kriteriju. Genetski algoritmi se primjenjuju za mnoge vrste problema, a naročito za rješavanje problema kombinatorne optimizacije. Još bolji rezultati dobivaju se kombiniranjem sa nekom od klasičnih metoda. Svako rješenje dobiveno genetskim algoritmom postaje polazni uvjet za lokalni postupak klasične optimizacije. Lokalni optimumi ponovo ulaze u novi korak genetskog algoritma. Dakle, potomci se generiraju križanjem roditelja i optimizacijom.

5) Evolucijsko programiranje

Evolucijsko programiranje je stohastički proces sličan genetskom algoritmu. Može se primijeniti i na izradu računalnih programa. U tom programu geni su različite programske naredbe, koje se u početku generiraju kao slučajni nizovi naredbi. Bolji je onaj program koji za više setova ulaznih podataka da više ispravnih rezultata. Između programa se provode postupci križanja i mutacije pa se odabire skup najboljih. Istovremeno se provodi slična prirodna selekcija među setovima. Najbolji set ulaznih podataka je onaj koji je najkritičniji, odnosno onaj na kojem najviše programa daje pogrešne rezultate, pa se mogu eliminirati. Ako neki program zadovoljava sve evoluirane setove znači da je prošao test. U toku evolucije programi zadovoljavaju sve više strogih testova, tako da na kraju procesa ostaju samo oni programi koji su zadovoljili sve testove, pa se kao konačni program uzima onaj koji zadovoljava neki drugi kriterij, npr. brzina.

6) Simulirano kaljenje

Algoritam simuliranog kaljenja pripada skupini aproksimacijskih algoritama. Algoritam se temelji na stohastičkoj tehnici, ali uključuje mnoge dijelove algoritma iterativnog poboljšanja. Algoritam je poznat pod nazivom simulirano kaljenje, ali se u literaturi nalazi još i pod nazivima Monte Carlo kaljenje, stohastičko hlađenje, stohastička relaksacija i algoritam slučajne zamjene. Rezultati dobiveni ovim algoritmom su vrlo blizu optimuma, te ne ovise o polaznoj konfiguraciji. Na taj način, metoda simuliranog kaljenja ne pokazuje nedostatke metode iterativnog poboljšanja, te daje bolje rezultate, ali je nešto sporija. U svom originalnom obliku algoritam simuliranog kaljenja se temelji na analogiji između simulacije kaljenja metala i problema kombinatorne optimizacije. U fizici krutih tvari, kaljenje predstavlja proces u kojemu se materijal zagrije do maksimalne temperature (temperatura kaljenja) pri kojoj je unutrašnja struktura stohastički organizirana. Niz postupaka laganog hlađenja uzrokuje da unutrašnji raspored elementarnih jedinica poprima stanje sve manje energije, prilagođavajući se temperaturi (unutrašnja energija proporcionalna je temperaturi). Algoritam polazi od slučajnog ili drugim metodama dobivenog polaznog rješenja i pokušava slučajnim varijacijama određenog rješenja naći bolje. Pri tome je dopušteno i pogoršano rješenje u pojedinim koracima, kako bi se izašlo iz lokalnog minimuma. U tijeku postupka dolazi do postupnog snižavanja temperature. Najnovije varijante algoritma automatski popravljaju parametre optimizacije za vrijeme proračuna temeljem iskustva iz dotadašnjeg tijeka procesa.

7) Tabu algoritam

Jednostavni heuristički algoritmi često ne konvergiraju zbog pojave višestrukog pretraživanja već pretraženih dijelova dopuštenog područja, pa se pojavljuju beskonačni ciklusi. Tabu algoritam čuva podatke o povijesti već obavljenog pretraživanja, pa se ne dozvoljava ponovno pretraživanje istih područja. Na ovaj način se uvijek istražuje novo područje zbog čega se povećava vjerojatnost pronalaženja globalnog optimuma. I ovaj algoritam se često kombinira sa drugim metodama.

8) Rojenje čestica

Ovo je nova metodologija u evolucijskom programiranju koja je na neki način slična genetskom algoritmu. U ovoj metodologiji se sustav pokreće populacijom slučajnih rješenja. Za razliku od ostalih algoritama, svakom potencijalnom rješenju, nazvanom čestica, je dodijeljena nasumična brzina, a zatim se takvo rješenje kreće kroz hiper prostor rješenja. Ova vrsta optimizacije je ekstremno djelotvorna u rješavanju širokog opsega inženjerskih problema. Veoma je jednostavna za primjenu jer algoritam sadrži dva reda računalnog koda i rješava probleme veoma brzo.

c) Metode rješavanja neizvjesnosti ciljeva i ograničenja

U ovu skupinu pripadaju [37], [38], [39]:

- 1) Optimizacija temeljem vjerojatnosti (*eng. probabilistic optimization*);
- 2) Neizrazita logika (*eng. fuzzy logic*);
- 3) Analitički hijerarhijski postupak (*eng. analytic hierarchy process*).

1) Optimizacija temeljem vjerojatnosti

Metode temeljene na teoriji vjerojatnosti su učinkovite tehnike za dokazivanje postojanja kombinatornih problema koji imaju neka specifična svojstva. Temeljene su na teoriji vjerojatnosti, ali se mogu koristiti za dokazivanje teorema koji nemaju ništa sa teorijom vjerojatnosti. Najčešće se koriste pri analizama modela sa neizvjesnostima i promjenjivim parametrima, a mogu se koristiti i za rješavanje stohastičkih optimizacijskih problema.

2) Neizrazita logika

U praksi postoje sustavi sa tzv. “*mutnom*“ logikom. Prema klasičnoj logici neka tvrdnja može biti ili istinita ili lažna. Prema *mutnoj* logici neka tvrdnja nije sasvim istinita, ali ni sasvim lažna, nego joj se može odrediti tzv. *stupanj istinitosti*. Na primjer, za neki predmet možemo reći da nije u cijelosti svijetao, ali niti u cijelosti taman, nego je 30% svijetao i 70% taman. U primjeni neizrazite logike se koriste pravila koja u biti predstavljaju uopćavanje Booleove (*Boole*) algebre. Neizrazita logika može se primijeniti na funkciju cilja, kao i na ograničenja, a posebno na neprobabilističke neizvjesnosti pridružene zahtjevima za reaktivnom snagom sa izvjesnim tehničkim ograničenjima. Uopćeno govoreći, odabirom zadovoljavajućih parametara u ciljevima i ograničenjima postiže se stupanj rješenja veoma blizak optimumu, kao i stupanj izvršenja ograničenja. Maksimiziranjem ovih parametara postiže se cilj optimizacije. Ova metoda se pokazala kao vrlo uspješna i to naročito kod problema automatiziranog upravljanja u realnom vremenu, kada je potrebno vrlo brzo pronaći približno rješenje. Ova metoda se često primjenjuje u kombinaciji sa drugim determinističkim i probabilističkim metodama.

3) Analitički hijerarhijski postupak

Analitički hijerarhijski postupak (AHP) je strukturalna tehnika za organiziranje i analizu kompleksnih odluka koje se temelje na matematici i psihologiji. Razvijen je 70–tih i 80–tih godina prošloga stoljeća od strane sveučilišnog profesora Thomasa L. Saatyja (*Thomas L. Saaty*). Ova metoda, umjesto predočavanja korektno odluke, pomaže donositeljima odluke da pronađu najbolju odluku koja odgovara njihovim ciljevima i njihovom razumijevanju problema. Ona pruža cjelovit i racionalan okvir za strukturiranje problema odlučivanja, za predstavljanje i kvantificiranje svojih elemenata, za usporedbu ovih elemenata sa krajnjim ciljevima i za vrednovanje alternativnih rješenja. Ovom metodom se prvo vrši

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

dekompozicija problema u hijerarhiju koju čine jednostavniji podproblemi, od kojih se svaki može neovisno analizirati. Kada se uspostavi hijerarhija, vrši se usporedba elemenata po parovima pri čemu se mora voditi računa o njihovom utjecaju na elemente koji su iznad njih u hijerarhiji. Pri usporedbi se mogu koristiti konkretni podaci o elementima, ali uobičajeno se koristi ocjena njihovog relativnog značaja i važnosti. Suština ove metode je da u donošenju konačne odluke bitnu komponentu čini i ljudska procjena, odnosno procjena donositelja odluke. Ova metoda pretvara ove procjene u numeričke vrijednosti koje mogu biti procesuirane i uspoređivane tijekom cijelog procesa. Na kraju cijeloga procesa dobivaju se izračunate numeričke vrijednosti prioriteta za svaku alternativnu odluku. Te vrijednosti predstavljaju relativne sposobnosti alternativa za postizanje cilja odluke. Ova metoda je najkorisnija gdje skupina ljudi radi na rješavanju složenih problema, koji uključuju ljudska opažanja i procjene, čija primjena ima dugoročne posljedice i efekte.

3.2. HIJERARHIJSKE METODE OPTIMIZACIJE

Prethodno je dan opći prikaz podjele optimizacijskih metoda. Sve navedene metode mogu se koristiti pri rješavanju širokog spektra optimizacijskih problema. Obzirom na veličinu i kompleksnost problema u distribucijskom elektroenergetskom sustavu, u današnje vrijeme, kao najbolje su se pokazale suvremene metode optimizacije, iako i klasične metode nalaze svoju primjenu, naročito kada su u pitanju proračuni tokova snaga u distribucijskim elektroenergetskim mrežama.

U nastavku su dane temeljne teorijske postavke suvremenih optimizacijskih metoda, koje će biti korištene u predloženom modelu planiranja niskonaponskih distribucijskih mreža. Ovdje su obrađene hijerarhijske metode optimizacije.

3.2.1. Općenito o hijerarhijskim optimizacijskim metodama

Sve što radimo, svjesno ili nesvjesno, rezultat je nekih odluka. Ali nisu sve informacije koje dobivamo korisne za poboljšanje razumijevanja i odluka. Ako samo donosimo odluke intuitivno, skloni smo razmišljanju da su sve informacije korisne i što ih više imamo to je bolje. Ali to nije točno. Veće poznavanje informacija ne garantira nam da ćemo bolje razumjeti [40].

Donošenje odluka danas više predstavlja matematičku znanost. Donošenje odluka uključuje mnoge kriterije i podkriterije koji se koriste za rangiranje alternativa odluka. Kriteriji nemaju mjere da posluže kao vodič u rangiranju alternativa i kreiranju prioriteta samih kriterija kako bi se izvagali prioriteta alternativa i dobio željeni rang svih alternativa.

Obzirom da su psihološka istraživanja pokazala da ljudski mozak funkcionira jednodimenzionalno, odnosno na razini usporedbe dva objekta, pojavio se problem kako dati definitivne (ali subjektivne) ocjene većem broju objekata. Dodatni problem se javlja ukoliko donošenje odluke postane još složenije uvođenjem kriterija, koji ovisno o svom prioritetu, različito utječe na odluku.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Tom problematikom se bave višekriterijske metode odlučivanja. U višekriterijske metode mogu se ubrojiti i hijerarhijske metode kao što su: metoda potencijala (*eng. method of potentials*), Saatyjeva metoda svojstvenog vektora ili analitički hijerarhijski postupak (*eng. analytic hierarchy process*), metoda neizrazitog grupiranja (*eng. fuzzy clustering method*), metoda upravljanja portfeljem (*eng. method of portfolio management*) itd.

3.2.2. Analitički hijerarhijski postupak (AHP)

Analitički hijerarhijski postupak (AHP) je razvio Thomas L. Saaty, sveučilišni profesor Sveučilišta u Pittsburgh–u, 70–tih i 80–tih godina 20–tog stoljeća i često se u literaturi može naći pod nazivom Saatyjeva metoda. Ova metoda omogućuje korisniku da procijeni relativnu težinu višekratnih kriterija ili višekratnih opcija, u odnosu na dani kriterij, na intuitivan način. U slučaju da nisu dostupne kvantitativne ocjene procjenitelj i dalje može prepoznati da li je neki kriterij važniji od drugog. Saaty je uspostavio konzistentan način konvertiranja usporedbi (X je važnije od Y) u set brojeva koji predstavljaju relativne prioritete svakog kriterija [41].

Ideja AHP metode je prvo uspostavljanje cilja, a zatim uspostavljanje kriterija koji mogu zadovoljiti, a utječu na odluku donositelja odluke. Kriteriji se mogu svrstati u jednu ili više razina (prva, druga,...) čime se postiže hijerarhija kriterija, pri čemu kriteriji prve razine najviše utječu na odluku.

Temeljna procedura kojom se provodi AHP metoda može se prikazati u nekoliko koraka [42]:

1. Strukturiranje problema odlučivanja i odabir kriterija

Prvi korak je razlaganje problema odlučivanja na sastavne dijelove. U svom najjednostavnijem obliku, ova struktura sadrži cilj na najvišoj razini, kriterije (i podkriterije) na srednjim razinama, dok najniža razina sadrži opcije (alternative). Uređenje svih komponenti hijerarhijski osigurava cjelokupni prikaz kompleksnih odnosa i pomaže donositelju odluke da procijeni da li su elementi na svakoj razini iste veličine kako bi bili točno uspoređeni. Element na danoj razini ne mora funkcionirati kao kriterij za sve elemente na nižim razinama. Svaka razina može predstavljati različiti prekid problema tako da hijerarhija ne mora biti kompletna. Pri hijerarhijskom konstruiranju bitno je uzeti u obzir okruženje problema i identificirati pitanja ili atribute koji utječu na rješenje kao i identificirati sve sudionike pridružene problemu.

2. Uspostavljanje prioriteta kriterija usporedbom po parovima (vaganje – *eng. weighing*)

Za svaki par kriterija, donositelj odluke mora odgovoriti na pitanje: Kolika je važnost kriterija A u odnosu na kriterij B ? Rangiranje relativnih prioriteta kriterija završava se dodjeljivanjem težine između 1 (jednaka važnost) i 9 (izuzetna važnost) za važnije kriterije, a recipročna vrijednost se odnosi na drugi kriterij u paru. Vaganja su tada normalizirana i uprosječena, sa ciljem dobivanja prosječne težine svakog kriterija.

3. Usporedba parova opcija za svaki kriterij (bodovanje – *eng. scoring*)

Svako uparivanje unutar svakog kriterija, usporedbom važnosti opcija, se boduje, ponovno na skali od 1 (jednako dobro) do 9 (apsolutno bolje), dok se drugoj opciji u uparivanju dodjeljuje ocjena jednaka recipročnoj vrijednosti ove ocjene. Svaki skor pokazuje koliko dobro opcija X zadovoljava kriterij Y. Nakon toga, ocjenjivanje se normalizira i uprosječuje. Usporedba elemenata po parovima zahtijeva njihovu međusobnu homogenost, odnosno bliskost, uz uvažavanje zajedničkih atributa. U suprotnom, u procesu mjerenja, mogu se javiti značajne pogreške.

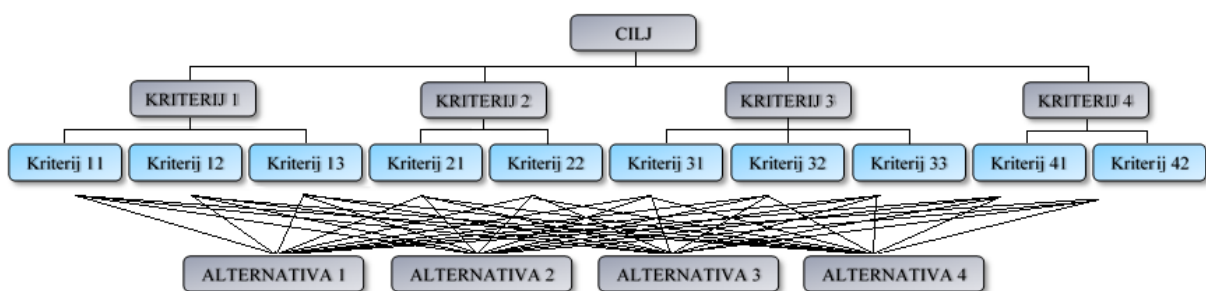
4. Dobivanje pregleda relativnog bodovanja za svaku opciju

U završnom koraku, bodovanje opcija se kombinira sa težinama kriterija kako bi se dobilo ukupno bodovanje za svaku opciju. Obim u kojemu opcije zadovoljavaju kriterije ima težinu sukladno relativnoj važnosti kriterija. Ovo se radi jednostavnim zbrajanjem težina. Na kraju, nakon donošenja odluke o utjecaju svih elemenata i proračunu prioriteta, elementi manje važnosti mogu biti izbačeni iz daljnjeg razmatranja zbog njihovog relativno malog utjecaja na konačni cilj. Nakon toga, prioriteti mogu biti ponovno preračunati, sa ili bez mijenjanja odluke.

U suštini, AHP metoda se može primijeniti u četiri temeljna koraka [43]:

1. Dekompozicija problema u hijerarhiju;
2. Usporedba po parovima i uspostavljanje prioriteta među elementima u hijerarhiji;
3. Sintetiziranje odluka radi dobivanja seta ukupnih odluka ili težina za dostizanje cilja;
4. Evaluacija i provjera konzistentnosti odluka.

Dekompozicija problema za koji treba donijeti odluku u hijerarhiju kriterija i alternativa je prikazana na slici 3.3.



Slika 3.3. Shematski prikaz dekompozicije problema

Prva razina je cilj analize. Druga razina je višekriterijska i sastoji se od nekoliko kriterija. Može se također, dodati i nekoliko drugih razina koje čine podkriteriji. Posljednju razinu čine alternative (varijante).

Kako bi se napravila usporedba, potrebna je skala brojeva koja naznačuje koliko je jedan element važniji od drugog. Stoga je prvi korak AHP procedure napraviti usporedbu među parovima svih kriterija. Svaka odluka može se predočiti brojem na određenoj skali. Jedna uobičajena skala je predočena u tablici 3.1 [40], [44], [45], [46].

Tablica 3.1. *Primjer Saatyjeve skale relativne važnosti*

| Ocjena važnosti | Definicija | Objašnjenje |
|-----------------|----------------------------|---|
| 1 | Jednaka važnost | Dvije aktivnosti doprinose podjednako cilju |
| 2 | Slaba ili neznatna važnost | |
| 3 | Umjerena važnost | Iskustvo i prosudba blago favoriziraju jednu aktivnost u odnosu na drugu |
| 4 | Više umjerena važnost | |
| 5 | Jaka važnost | Iskustvo i prosudba jako favoriziraju jednu aktivnost u odnosu na drugu |
| 6 | Još jača važnost | |
| 7 | Velika važnost | Jedna aktivnost je veoma jako favorizirana u odnosu na drugu. Njena važnost je demonstrirana u praksi |
| 8 | Veoma velika važnost | |
| 9 | Ekstremna važnost | Jedna aktivnost je ekstremno favorizirana u odnosu na drugu |

Rezultati usporedbe (za svaki par) su dani kao cjelobrojne vrijednosti od 1 (jednaka važnost) do 9 (ekstremna važnost), gdje veći broj znači da se odabrana aktivnost promatra kao značajnija u većem stupnju nego druga aktivnost sa kojom se uspoređuje.

Temeljna pretpostavka je da ukoliko je aktivnost A ekstremno važnija od aktivnosti B i ocijenjena sa 9, onda B mora biti apsolutno manje važno od A i ocijenjeno sa 1/9. Ova usporedba se radi za sve faktore koji se razmatraju (obično ne više od 7) i formira se matrica usporedbe.

Težinski omjeri određuju se jednadžbom [43], [47]:

$$w_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \quad (3.13)$$

gdje su w_i , w_j relativne važnosti kriterija.

Težinski omjeri se zapisuju u obliku matrice težinskih omjera koja ima oblik:

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & \cdots & w_{1q} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{q1} & \cdots & w_{qq} \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

gdje je q broj kriterija.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Slijedeća važna stvar je utvrditi konzistentnost matrice, što znači provjeriti vrijedi li:

$$w_{ij} = w_{ji}^{-1} \quad (3.15)$$

Ponekad može vrijediti i relacija:

$$w_{ij} = w_{ik} \cdot w_{kj}, \forall i, j, k \quad (3.16)$$

ali pošto se radi o ljudskoj procjeni navedena relacija ne mora vrijediti.

Za matematičko utvrđivanje konzistentnosti koristi se slijedeći postupak:

- Računanje sume stupaca;
- Normiranje matrice (svaki element stupca se podijeli sa zbrojem elemenata tog stupca);
- Računanje sume redaka (težine) u normiranoj matrici;
- Dijeljenje težine sa vektorom prioriteta prve matrice;
- Računanje prosječne vrijednosti dobivenih veličina λ_{\max} ;
- Računanje indeksa konzistencije CI:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3.17)$$

gdje je n stupanj matrice;

- Računanje omjera konzistencije CR:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3.18)$$

gdje je RI slučajni indeks.

Vrijednost slučajnog indeksa RI određuje se iz tablice 3.2 [43], [44], [48].

Tablica 3.2. Vrijednosti slučajnog indeksa konzistencije RI

| n | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| RI | 0,00 | 0,00 | 0,58 | 0,90 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,49 |

Ukoliko je $CR \leq 0,1$ matrica je konzistentna.

Prioritet pokazuje koliko pojedino svojstvo utječe na odluku. On predstavlja omjer geometrijske sredine jednog retka matrice i zbroja geometrijskih sredina svih redaka:

$$p_i = \frac{m_i}{\sum_{j=1}^s m_j} \quad (3.19)$$

gdje je s broj stupaca.

Nakon što se sve izračuna konačno se dolazi do vektora prioriteta alternativa iz kojeg se iščita najbolja alternativa. Vektor prioriteta alternativa dobije se množenjem matrice prioriteta alternativa po kriterijima sa vektorom prioriteta kriterija:

$$\begin{bmatrix} \text{prioritet 1.alternative za kriterij 1} & \cdots & \text{prioritet 1.alternative za kriterij m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \text{prioritet n.alternative za kriterij 1} & \cdots & \text{prioritet n.alternative za kriterij m} \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

odnosno,

$$\begin{bmatrix} \text{prioritet kriterija 1} \\ \vdots \\ \text{prioritet kriterija m} \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

Praktična primjena AHP postupka može se prikazati u dva koraka [49].

1) Ispitivanje konzistentnosti kriterija

Pretpostavka je da su nekoj tvrtki u poslovanju bitna četiri kriterija (faktora): K_1 , K_2 , K_3 i K_4 .

Postupak ispitivanja konzistentnosti (dosljednosti) kriterija provodi se kako slijedi.

a) Postavljanje kriterija u redove i stupce

Prvo se uspostavlja inicijalna tablica za usporedbu parova u kojoj glavna dijagonala sadrži brojeve 1, obzirom da je svaki kriterij važan sam sebi.

| Kriterij | K_1 | K_2 | K_3 | K_4 |
|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| K_1 | $C_{11} = 1$ | C_{12} | C_{13} | C_{14} |
| K_2 | C_{21} | $C_{22} = 1$ | C_{23} | C_{24} |
| K_3 | C_{31} | C_{32} | $C_{33} = 1$ | C_{34} |
| K_4 | C_{41} | C_{42} | C_{43} | $C_{44} = 1$ |

b) Usporedba parova kriterija u odnosu na cilj

Nakon toga je potrebno napraviti usporedbu parova. Ne postoji standardni način da se napravi ova usporedba. Primjenom AHP metode to se radi uporabom Saatyjeve tablice (Tablica 4.1).

Pretpostavimo da za tvrtku kriterij K_2 ima neznatnu važnosti u odnosu na kriterij K_1 (ocjena 2). To znači da u tablici element C_{21} dobiva vrijednost 2, a element C_{12} vrijednost 1/2.

| Kriterij | K ₁ | K ₂ | K ₃ | K ₄ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| K ₁ | 1 | 1/2 | | |
| K ₂ | 2 | 1 | | |
| K ₃ | | | 1 | |
| K ₄ | | | | 1 |

Također, za tvrtku kriterij K₁ ima jaku važnost u odnosu na kriterij K₃ (ocjena 5). Dakle, u tablici element C₁₃ dobiva vrijednost 5, a element C₃₁ vrijednost 1/5.

| Kriterij | K ₁ | K ₂ | K ₃ | K ₄ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| K ₁ | 1 | 1/2 | 5 | |
| K ₂ | 2 | 1 | | |
| K ₃ | 1/5 | | 1 | |
| K ₄ | | | | 1 |

Nadalje, kriterij K₁ ima jednaku važnost u odnosu na kriterij K₄ (ocjena 1). To znači da u tablici elementi C₁₄ i C₄₁ dobivaju istu vrijednost 1.

| Kriterij | K ₁ | K ₂ | K ₃ | K ₄ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| K ₁ | 1 | 1/2 | 5 | 1 |
| K ₂ | 2 | 1 | | |
| K ₃ | 1/5 | | 1 | |
| K ₄ | 1 | | | 1 |

Za tvrtku kriterij K₂ ima veliku važnost u odnosu na kriterij K₃ (ocjena 7). Dakle, u tablici element C₂₃ dobiva vrijednost 7, a element C₃₂ vrijednost 1/7.

| Kriterij | K ₁ | K ₂ | K ₃ | K ₄ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| K ₁ | 1 | 1/2 | 5 | 1 |
| K ₂ | 2 | 1 | 7 | |
| K ₃ | 1/5 | 1/7 | 1 | |
| K ₄ | 1 | | | 1 |

Isto tako, kriterij K₂ ima jaku važnost u odnosu na kriterij K₄ (ocjena 5). To znači da u tablici element C₂₄ dobiva vrijednost 5, a element C₄₂ dobiva vrijednost 1/5.

| Kriterij | K ₁ | K ₂ | K ₃ | K ₄ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| K ₁ | 1 | 1/2 | 5 | 1 |
| K ₂ | 2 | 1 | 7 | 5 |
| K ₃ | 1/5 | 1/7 | 1 | |
| K ₄ | 1 | 1/5 | | 1 |

I na kraju, kriterij K₄ ima malo umjereniju vrijednost od kriterija K₃ (ocjena 4). Dakle, u tablici element C₄₃ dobiva vrijednost 4, a element C₃₄ vrijednost 1/4.

| Kriterij | K ₁ | K ₂ | K ₃ | K ₄ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| K ₁ | 1 | 1/2 | 5 | 1 |
| K ₂ | 2 | 1 | 7 | 5 |
| K ₃ | 1/5 | 1/7 | 1 | 1/4 |
| K ₄ | 1 | 1/5 | 4 | 1 |

Dakle, inicijalna matrica usporedbe kriterija u promatranom primjeru izgleda ovako:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 5 & 1 \\ 2 & 1 & 7 & 5 \\ 1/5 & 1/7 & 1 & 1/4 \\ 1 & 1/5 & 4 & 1 \end{bmatrix}$$

Nadalje, određuje se težina, odnosno geometrijska sredina svakog retka. Geometrijska sredina prvog retka određuje se prema jednadžbi:

$$m_1 = \sqrt[s]{\prod_{i=1}^s w_{1,i}} \quad (3.22)$$

gdje je s broj stupaca.

Proračunom geometrijskih sredina svakog retka, prema jednadžbi 3.22, dobiva se:

| Kriterij | K ₁ | K ₂ | K ₃ | K ₄ | Geometrijska sredina |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------------|
| K ₁ | 1 | 1/2 | 5 | 1 | 1,257 |
| K ₂ | 2 | 1 | 7 | 5 | 2,893 |
| K ₃ | 1/5 | 1/7 | 1 | 1/4 | 0,291 |
| K ₄ | 1 | 1/5 | 4 | 1 | 0,946 |

Vrijednosti prioriteta kriterija računaju se prema jednadžbi (3.19), tako da se dobiva:

| Kriterij | K ₁ | K ₂ | K ₃ | K ₄ | Geometrijska sredina | Prioritet |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------------|-----------|
| K ₁ | 1 | 1/2 | 5 | 1 | 1,257 | 0,233 |
| K ₂ | 2 | 1 | 7 | 5 | 2,893 | 0,537 |
| K ₃ | 1/5 | 1/7 | 1 | 1/4 | 0,291 | 0,054 |
| K ₄ | 1 | 1/5 | 4 | 1 | 0,946 | 0,176 |

odnosno,

$$\begin{bmatrix} P_{k_1} \\ P_{k_2} \\ P_{k_3} \\ P_{k_4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,233 \\ 0,537 \\ 0,054 \\ 0,176 \end{bmatrix}$$

c) Određivanje vektora svojstvenih vrijednosti matrice usporedbe

Prvo se vrši dijeljenje svakog elementa matrice usporedbe sa zbrojem odgovarajućeg stupca u kojemu se taj element nalazi, prema jednadžbi:

$$X_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sum_{i=1}^n C_{ij}} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & X_{13} & X_{14} \\ X_{21} & X_{22} & X_{23} & X_{24} \\ X_{31} & X_{32} & X_{33} & X_{34} \\ X_{41} & X_{42} & X_{43} & X_{44} \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

odnosno dobiva se,

| Kriterij | K ₁ | K ₂ | K ₃ | K ₄ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| K ₁ | 0,238 | 0,271 | 0,294 | 0,138 |
| K ₂ | 0,476 | 0,543 | 0,412 | 0,690 |
| K ₃ | 0,048 | 0,078 | 0,059 | 0,028 |
| K ₄ | 0,238 | 0,109 | 0,235 | 0,138 |

Na ovaj način se dobiva normalizirana matrica usporedbe.

Nakon toga se vrši zbrajanje redaka:

| Kriterij | K ₁ | K ₂ | K ₃ | K ₄ | Zbroj redaka |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| K ₁ | 0,238 | 0,271 | 0,294 | 0,138 | 0,941 |
| K ₂ | 0,476 | 0,543 | 0,412 | 0,690 | 2,121 |
| K ₃ | 0,048 | 0,078 | 0,059 | 0,028 | 0,213 |
| K ₄ | 0,238 | 0,109 | 0,235 | 0,138 | 0,720 |

Dijeljenjem zbroja redaka normalizirane matrice sa ukupnim brojem redaka dobiva se matrica težinskih vrijednosti, prema jednadžbi:

$$W_{ij} = \frac{\sum_{j=1}^n X_{ij}}{n} = \begin{bmatrix} W_{11} \\ W_{12} \\ W_{13} \\ W_{14} \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

odnosno,

| Kriterij | K ₁ | K ₂ | K ₃ | K ₄ | Zbroj redaka | Težinski vektor |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|-----------------|
| K ₁ | 0,238 | 0,271 | 0,294 | 0,138 | 0,941 | 0,235 |
| K ₂ | 0,476 | 0,543 | 0,412 | 0,690 | 2,121 | 0,530 |
| K ₃ | 0,048 | 0,078 | 0,059 | 0,028 | 0,213 | 0,053 |
| K ₄ | 0,238 | 0,109 | 0,235 | 0,138 | 0,720 | 0,180 |

d) Ispitivanje konzistentnosti procjene kriterija

Prvo se množenjem matrice usporedbe sa težinskim vektorom dobiva vektor konzistencije, prema jednadžbi:

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} W_{11} \\ W_{12} \\ W_{13} \\ W_{14} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{v11} \\ C_{v21} \\ C_{v31} \\ C_{v41} \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

odnosno,

$$\begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 5 & 1 \\ 2 & 1 & 7 & 5 \\ 1/5 & 1/7 & 1 & 1/4 \\ 1 & 1/5 & 4 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0,235 \\ 0,530 \\ 0,053 \\ 0,180 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,945 \\ 2,271 \\ 0,221 \\ 0,733 \end{bmatrix}$$

Nakon toga se vrši dijeljenje vrijednosti vektora konzistencije sa odgovarajućim vrijednostima težinskog vektora:

$$\begin{bmatrix} \frac{C_{v11}}{W_{11}} \\ \frac{C_{v21}}{W_{12}} \\ \frac{C_{v31}}{W_{13}} \\ \frac{C_{v41}}{W_{14}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{0,945}{0,235} \\ \frac{2,271}{0,530} \\ \frac{0,221}{0,053} \\ \frac{0,733}{0,180} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4,021 \\ 4,285 \\ 4,170 \\ 4,072 \end{bmatrix}$$

Prosječna vrijednost dobivenih vrijednosti je:

$$\lambda_{\max} = \frac{4,021 + 4,285 + 4,170 + 4,072}{4} = 4,137$$

Vrijednost indeksa konzistencije dobiva se prema jednadžbi 3.17:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{4,137 - 4}{4 - 1} = 0,046$$

Iz tablice 4.2, za $n = 4$ se dobiva $RI = 0,90$. Stupanj konzistentnosti prema jednadžbi 3.18 je:

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,046}{0,9} = 0,051$$

Obzirom da je $CR = 0,051 < 0,1$ procjene kriterija su konzistentne (dosljedne, dobre).

2) Proračun prioriteta alternativa u odnosu na zadane kriterije

Nakon utvrđivanja konzistentnosti kriterija vrši se proračun prioriteta alternativa u odnosu na zadane kriterije. Postupak se provodi na isti način kao u prethodnom slučaju i to za svaki kriterij posebno. U konačnici se dobivaju prioriteti alternativa u odnosu na kriterije:

$$\begin{bmatrix} p_{a_1, k_1} \\ \vdots \\ p_{a_n, k_1} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} p_{a_1, k_2} \\ \vdots \\ p_{a_n, k_2} \end{bmatrix}, \dots, \begin{bmatrix} p_{a_1, k_i} \\ \vdots \\ p_{a_n, k_i} \end{bmatrix}$$

gdje je n broj alternativa, a i broj kriterija.

Množenjem ovih vrijednosti sa vrijednostima prioriteta iz prethodnog postupka dobiva se konačno rješenje kao:

$$\begin{bmatrix} R_{a_1} \\ \vdots \\ R_{a_n} \end{bmatrix} = p_{k_1} \cdot \begin{bmatrix} p_{a_1, k_1} \\ \vdots \\ p_{a_n, k_1} \end{bmatrix} + p_{k_2} \cdot \begin{bmatrix} p_{a_1, k_2} \\ \vdots \\ p_{a_n, k_2} \end{bmatrix} + \dots + p_{k_i} \cdot \begin{bmatrix} p_{a_1, k_i} \\ \vdots \\ p_{a_n, k_i} \end{bmatrix}$$

Najbolja alternativa je ona kojom se dobiva maksimalno rješenje, odnosno

$$R_{\text{opt}} = \max (R_{a_1}, \dots, R_{a_n})$$

Analitički hijerarhijski postupak najčešće se upotrebljava u:

- cost/benefit analizama,
- strateškom planiranju,
- odabiru tehnologija,

- odabiru investicijskih prioriteta,
- drugim procjenama alternativa.

U planiranju niskonaponskih distribucijskih mreža ova metoda se može primijeniti za odabir najbolje prostorne konfiguracije mreže (alternative), uz uvažavanje određenih kriterija kao što su padovi napona u mreži, gubici snage u vodovima, investicijski troškovi i sl.

3.2.3. Metoda neizrazitog grupiranja

a) Općenito o neizrazitoj logici

U klasičnoj teoriji skupova, skup predstavlja kolekciju objekata koji dijele neko zajedničko svojstvo. Pripadnost objekta klasičnom skupu je egzaktno određena time da je objekt unutar skupa ili izvan njega. Ovakvi skupovi se često nazivaju i izraziti skupovi.

Ako se pripadnost objekta skupu želi izraziti funkcijski, tada pripadnost objekta x skupu A ima samo dvije vrijednosti i definirana je kao [50], [51]:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{za } x \in A \\ 0, & \text{za } x \notin A \end{cases} \quad (3.26)$$

Za razliku od tradicionalnog pristupa, teorija neizrazitih skupova dopušta djelomičnu ili stupnjevanu pripadnost elementa skupu, a funkcijske vrijednosti funkcije pripadnosti se nalaze u intervalu $[0, 1]$. Pri tome vrijednost 0 označava da je objekt potpuno izvan skupa, 1 da je potpuno unutar skupa, a bilo koja vrijednost između označava djelomičnu pripadnost.

Dakle, teorija neizrazitih skupova bavi se neodređenošću i višeznačnošću lingvističkih izraza, koji se mogu preslikati u neizrazite skupove koji mogu biti interpretirani računalnim jezicima. Neizraziti skup bi se na primjer mogao definirati kao:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{za } x \in A \\ \frac{x-3}{5}, & \text{za } 3 \leq x \leq 8 \\ 0, & \text{za } x \notin A \end{cases} \quad (3.27)$$

Neizraziti skup je određen funkcijom pripadnosti. Način zadavanja funkcije pripadnosti najviše ovisi o karakteru objekta ili podataka koji se grupiraju (brojivi ili nebrojivi, diskretni ili kontinuirani), odnosno tipu domene (područje definicije) nad kojom se zadaju.

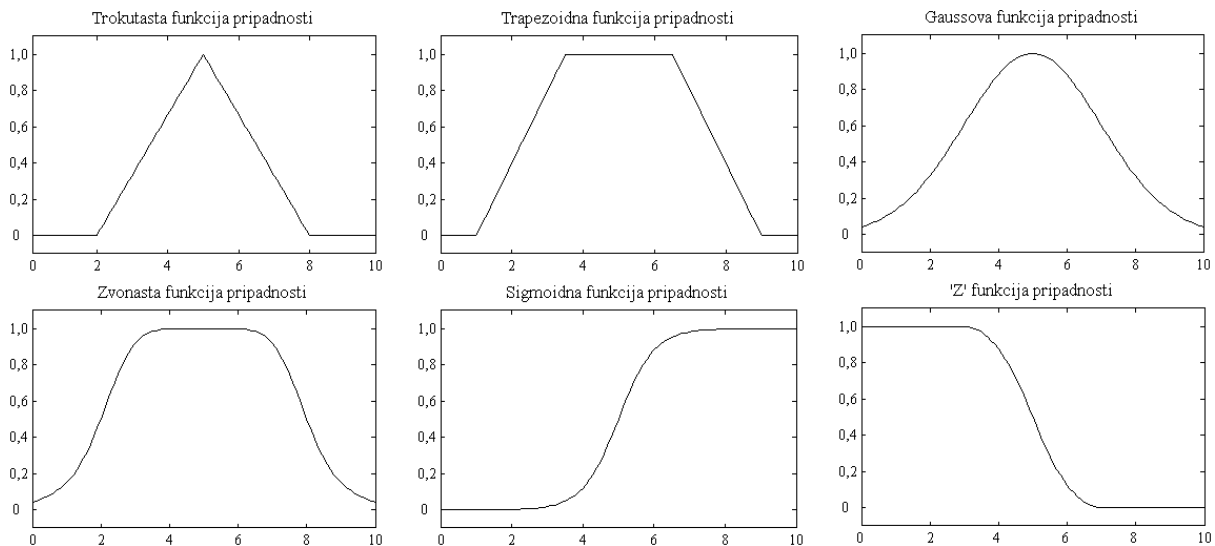
Ako su domene kontinuirane i brojive (npr. podskup ili cijeli skup realnih brojeva \mathbb{R}), tada je najčešći oblik zadavanja funkcije pripadnosti preko funkcijskog izraza, kao na primjer:

$$\mu_A(x) = 1 / (1 + (x - a)^2) \quad (3.28)$$

koji predstavlja neizraziti skup A , sa maksimumom funkcije pripadnosti u točki $x = a$.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Funkcija pripadnosti definira stupanj pripadnosti elementa nekom skupu. Funkcije pripadnosti neizrazitih skupova uvijek su normalizirane, što znači da je maksimalna vrijednost funkcije pripadnosti jednaka 1. Odabir oblika funkcije pripadnosti pojedinih neizrazitih skupova je subjektivan i ovisi o razmatranom problemu. Na slici 3.4 su prikazani neki od oblika funkcije pripadnosti [51], [52].



Slika 3.4. Različiti oblici funkcije pripadnosti

U klasičnoj teoriji temeljne teorijske operacije nad klasičnim skupovima su definirane kao unija, presjek i komplement. Te su operacije ujedno i podloga operacijama disjunkcije, konjunkcije i negacije u binarnoj logici.

Na sličan način je teorija neizrazitih skupova temelj neizrazite logike. Veza je uspostavljena preko definicije temeljnih operacija nad skupovima i njihovih logičkih ekvivalenata. Proširenje skupa funkcijskih vrijednosti sa samo dvije (0 i 1) u klasičnoj, na cijeli interval $[0, 1]$ u neizrazitoj teoriji omogućilo je i znatno veći broj definicija temeljnih operacija nad neizrazitim skupovima. Općenita definicija operacija unije i presjeka nad neizrazitim skupovima izvedena je preko trokutnih normi i konormi [51].

Trokutna norma (t – norma) je binarna operacija na intervalu $[0, 1]$, $T : [0, 1]^2 \rightarrow [0, 1]$ koja ima slijedeća svojstva:

$$T(x, y) = T(y, x) \quad \text{komutativnost} \quad (3.29)$$

$$T(T(x, y), z) = T(x, T(y, z)) \quad \text{asocijativnost} \quad (3.30)$$

$$T(x, y) \leq T(z, w) \text{ ako je } x \leq z \text{ i } y \leq w \quad \text{monotonost} \quad (3.31)$$

te zadovoljava rubni uvjet

$$T(x, 1) = x \quad (3.32)$$

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Odgovarajuća trokutna konorma $S : [0, 1]^2 \rightarrow [0, 1]$ zadana je kao:

$$S(x, y) = 1 - T(1 - x, 1 - y) \quad (3.33)$$

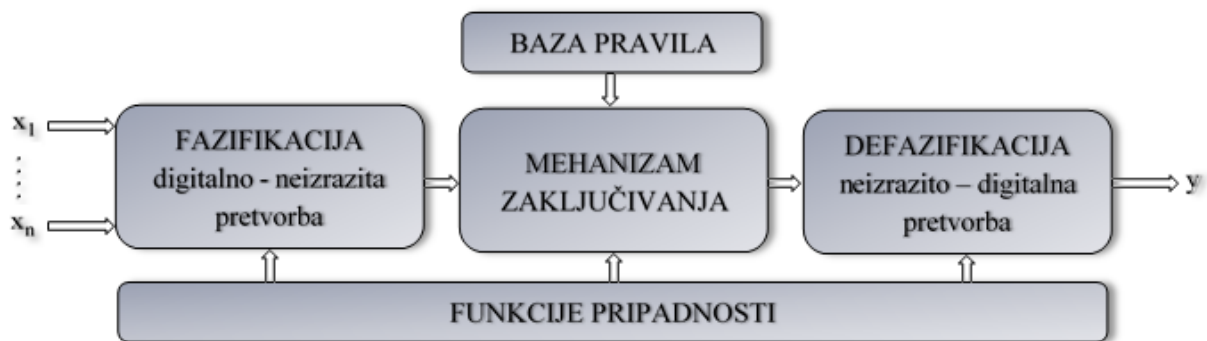
Ako su zadane t – norma, t – konorma i neizraziti skupovi A i B na domeni X , onda su funkcije pripadnosti presjeka, unije i komplementa zadane kao [53]:

$$\mu_{A \cap B}(x) = T(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad \text{presjek} \quad (3.34)$$

$$\mu_{A \cup B}(x) = S(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad \text{unija} \quad (3.35)$$

$$\mu_{A^c}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad \text{komplement} \quad (3.36)$$

Neizraziti sustav je bilo koji statički ili dinamički sustav koji koristi neizrazitu logiku i pripadajući matematički okoliš (teoriju neizrazitih skupova, neizrazita pravila i neizrazito zaključivanje). Ova relativno široka definicija obuhvaća neizrazite sustave koji se primjenjuju u različitim područjima i za koje se mogu koristiti i drugi nazivi kao na primjer: neizraziti ekspertni sustav (*eng. fuzzy expert system*), neizraziti regulator (*eng. fuzzy logic controller*), neizraziti model (*eng. fuzzy model*), sustav neizrazitih pravila (*eng. fuzzy rule based system*) itd. Struktura neizrazitog sustava (*eng. fuzzy system*) je prikazana na slici 3.5 [54], [55].



Slika 3.5. Neizraziti sustav

Bez obzira na naziv ili područje primjene, neizraziti sustavi sadrže tri temeljne komponente: bazu pravila, bazu podataka o funkcijama pripadnosti koje su zadane nad domenama ulaznih i izlaznih varijabli, te mehanizam zaključivanja. Neizraziti sustavi općenito su predviđeni za obradu neizrazitih ulaznih podataka izraženih preko neizrazitog skupa. Izraziti ulazni podaci mogu se promatrati kao poseban oblik neizrazitog skupa (*eng. singleton*) ili se za transformiranje ulaznih podataka koristi poseban blok digitalno–neizrazite pretvorbe (*eng. fuzzification*). Ovisno o primjeni kao i odabranom tipu neizrazitog modela izlaz iz neizrazitog sustava može biti izrazita veličina ili neizraziti skup. Za dobivanje izrazite izlazne veličine u neke sustave je potrebno ugraditi i blok neizrazito–digitalne pretvorbe (*eng. defuzzification*). Obzirom na mehanizam zaključivanja neizraziti sustavi načelno se mogu podijeliti u dvije kategorije: globalni i lokalni pristup. U praktičnim primjenama dominira postupak lokalnog zaključivanja. Razlog je u memorijskim i procesorskim ograničenjima računala. Kod ovog načina zaključivanja izračunavaju se samo ona pravila koja su u promatranom trenutku

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

relevantna, obzirom na vrijednost ulaznih varijabli. Memorijski zahtjevi su niži jer se u memoriju računala spremaju samo parametri funkcija pripadnosti ulaznih i izlaznih varijabli. Najčešće korišteni modeli lokalnog zaključivanja su *Mamdani* i *Sugeno* neizraziti modeli.

b) Mamdani model

Algoritam zaključivanja prema ovom modelu može se ilustrirati na jednom primjeru. Neka je zadan neizraziti sustav sa jednom ulaznom i jednom izlaznom varijablom, te tri pravila oblika *AKO x je A_i ONDA y je B_i*, $i = 1, 2, 3, \dots$ gdje x i y predstavljaju ulazne i izlazne varijable (općenito neizrazite) iz skupova X i Y , nad kojima su zadane particije A_i i B_i .

Neka je ulazna varijabla x definirana neizrazitim skupom A' . Jezična interpretacija skupa A' bi mogla biti „ x je približno 6“. U algoritmu zaključivanja razlikuju se slijedeći koraci [56]:

- Određivanje stupnja prekrivanja (ili stupnja istinitosti premise) β_i između ulaznog skupa i skupova u premisama neizrazitih pravila,

$$\beta_i = \max_x [\mu_{A'}(x) \wedge \mu_{A_i}(x)], \quad i = 1, 2, 3 \quad (3.37)$$

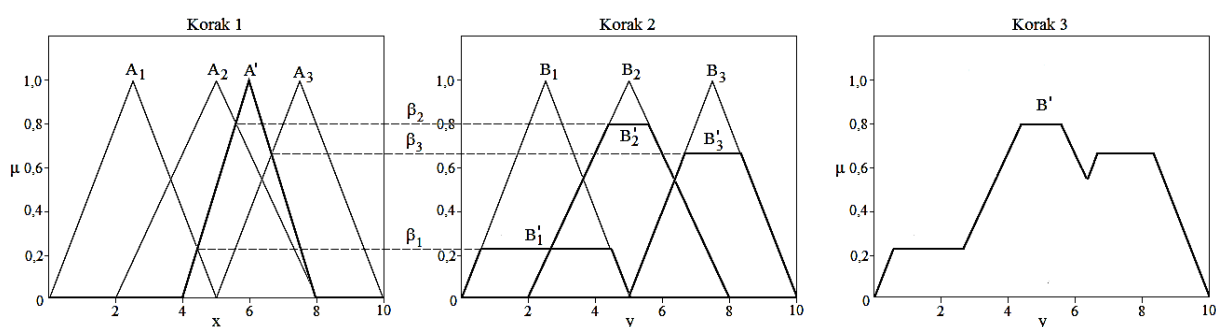
- Određivanje lokalnog izlaznog skupa,

$$\mu_{B'_i}(y) = \beta_i \wedge \mu_{B_i}(y) \quad (3.38)$$

- Akumuliranje lokalnih skupova u jedinstveni neizraziti skup izlazne varijable,

$$\mu_{B'}(y) = \max_{1 \leq i \leq 3} \mu_{B'_i}(y) \quad (3.39)$$

Grafička interpretacija ovog primjera je prikazana na slici 3.6.



Slika 3.6. Grafički prikaz Mamdani algoritma neizrazitog zaključivanja

U ovom primjeru vrijede pravila:

1. ako x je A_1 onda y je B_1
2. ako x je A_2 onda y je B_2
3. ako x je A_3 onda y je B_3

odnosno zaključivanje ako x je A' onda y je B' .

U većini primjena neizrazite logike potrebno je osigurati da izlazni skup ima izrazitu vrijednost (analognu ili digitalnu). Za određivanje izrazite vrijednosti koriste se različite metode neizrazito–izrazite pretvorbe (*eng. defuzzification*), a najpoznatije su [57], [58]:

- Metoda težišta (*eng. Center of gravity*) geometrijskog lika (tijela) definiranog rezultatnim neizrazitim skupom. Može se koristiti i za skupove zadane u više dimenzija. Ova metoda se najčešće koristi u praktičnim primjenama;
- Metoda središta ukupne površine (*eng. Center of area*) u kojem su površine neizrazitog skupa lijevo i desno od izlazne veličine identične;
- Metoda središnje točke maksimuma (*eng. Mean of maximum*), odnosno srednja vrijednost apscisa točaka u kojima funkcija pripadnosti izlaznog neizrazitog skupa ima maksimum.

c) Sugeno model

U usporedbi sa Mamdani modelom Sugeno model (često se naziva i Takagi–Sugeno model) se razlikuje u načinu definiranja zaključka. Umjesto neizrazite propozicije koristi se izrazita funkcija čiji su argumenti ulazne izrazite varijable. Pravilo Sugeno modela se zadaje u obliku *AKO x je A_i I y je B_i ONDA je $z_i = f_i(x, y)$* , gdje su A_i i B_i particije neizrazitih skupova zadane nad domenama ulaznih varijabli X i Y , a $f_i(x, y)$ izrazite funkcije zaključka. Funkcije f_i zadaju se polinomski, najčešće polinomom nultog ili prvog stupnja, a stupanj polinoma određuje naziv modela (Sugeno modeli nultog i prvog reda) [58].

Izlaz iz Sugeno modela uvijek je izrazit i određuje se interpolacijom zaključka prema izrazu:

$$z = \frac{\sum_i \beta_i \cdot z_i}{\sum_i \beta_i} \quad (3.40)$$

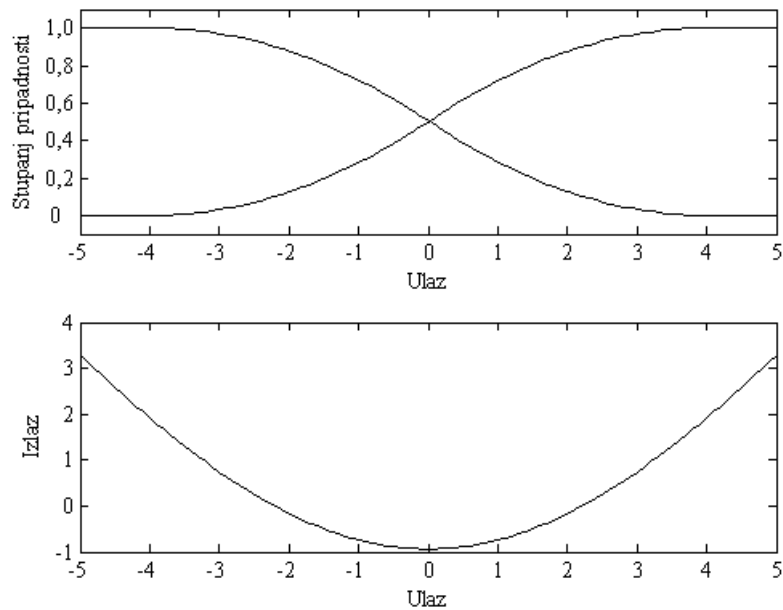
gdje je β_i stupanj istinitosti premise pojedinog pravila, a i broj važećih pravila ili ukupan broj pravila neizrazitog sustava.

Najlakši način za vizualizaciju Sugeno modela prvog reda je razmišljati o svakom pravilu kao načinu za definiranje lokacije pokretnog „singltona“, koji se može kretati uokolo, linearno u izlaznom prostoru, ovisno o tome što je ulaz. Ovo ima tendenciju da zapis sustava učini vrlo kompaktnim i učinkovitim.

Sugeno model je idealan za djelovanje kao interpolacijski nadzor multi-linearnih regulatora, odnosno za različite radne uvjete dinamičkog nelinearnog sustava. Dakle, prigodan je za modeliranje nelinearnih sustava interpolacijom između više linearnih modela.

Jedan takav primjer (tzv. primjer dvije crte) je prikazan na slici 3.7.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda



Slika 3.7. Primjer Sugeno modela dvije crte

U ovom primjeru izlazna varijabla ima dvije funkcije pripadnosti, koje su linearne funkcije ulazne varijable. Ulazna funkcija pripadnosti i pravila definiraju koja će od izlaznih funkcija biti prikazana i kada.

Sugeno sustav daje slobodu inkorporiranja linearnih sustava u neizrazite sustave. Dakle, može se izgraditi neizraziti sustav koji se prebacuje između nekoliko optimalnih linearnih regulatora pošto se nelinearni sustav kreće oko svog radnog prostora. Prednosti Sugeno u odnosu na Mamdani model su [59]:

- Računski je učinkovitiji;
- Radi dobro sa linearnim tehnikama;
- Radi dobro sa optimizacijskim i adaptivnim tehnikama;
- Ima zajamčen kontinuitet izlazne površine;
- Dobro je prilagođen matematičkim analizama.

Prednosti Mamdani u odnosu na Sugeno model su:

- Intuitivan je;
- Ima široku prihvaćenost;
- Dobro je prilagođen ljudskim ulazima.

Temeljni principi neizrazite logike poslužili su za razvoj niza naprednih tehnika koje su svoju primjenu našle u rješavanju širokog spektra praktičnih problema. Jedna od takvih tehnika je i algoritam neizrazitog grupiranja (*eng. fuzzy clustering algorithm*). Ovaj algoritam je vrlo prigodan za primjenu u distribucijskim elektroenergetskim sustavima, prije svega za prostorno grupiranje potrošača, kako će to biti pokazano u predloženom modelu planiranja niskonaponskih distribucijskih mreža.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

d) Algoritam neizrazitog grupiranja

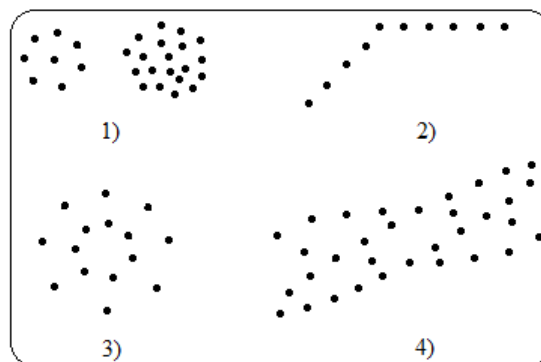
Klaster analiza je naziv za skupinu multivarijacijskih tehnika čija je primarna svrha grupiranje objekata temeljena na karakteristikama koje posjeduju. Izraz klaster dolazi od engleske riječi *cluster*, što u prijevodu znači *skupina istovrsnih stvari, grozd, skupiti u hrpu*. Klaster analiza klasificira objekte (ispitanike, proizvode ili druge objekte) tako da je svaki objekt veoma sličan drugim u klasteru, uz poštivanje nekog unaprijed određenog kriterija selekcije. Nastale skupine objekata bi trebale pokazati visoku internu homogeniziranost (sličnost) unutar skupine i visoku eksternu (između skupina) različitost.

Ovisno o cilju, mogu se formulirati različite definicije grupiranja. Općenito, može se prihvatiti da je klaster skupina objekata koji su sličniji nego objekti neke druge skupine. Pojam sličnosti se mora shvatiti kao matematička sličnost mjerena određenom mjerom.

Podaci se obično promatraju kao neki fizički proces. Svako promatranje se sastoji od n mjerenih varijabli, grupiranih u $n - \text{dimenzionalni}$ vektor stupca $z_k = [z_{1k}, \dots, z_{nk}]^T$, $z_k \in R^n$. Set od N promatranja je označen sa $Z = \{z_k / k=1, 2, \dots, N\}$ i može se predočiti kao matrica $n \times N$ [60]:

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \dots & z_{1N} \\ z_{21} & z_{22} & \dots & z_{2N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ z_{n1} & z_{n2} & \dots & z_{nN} \end{bmatrix} \quad (3.41)$$

Ovisno o prirodi i svrsi podataka koriste se različite mjere za ocjenu sličnosti koje smještaju podatke u skupine. Neki od primjera mjera koje se mogu upotrijebiti pri formiranju skupina su razdaljina, uvezanost ili intenzitet. Na slici 3.8 su prikazane skupine različitih oblika i dimenzija.



Slika 3.8. Skupine različitog oblika i dimenzija

Neizrazito grupiranje (*eng. fuzzy clustering*) je proces dodjeljivanja pripadnih razina, a nakon toga dodjeljivanja elemenata u jednu ili više skupina. U literaturi se može pronaći dosta algoritama neizrazitog grupiranja. Osnovna podjela je na: *hard clustering* i *soft clustering* [61].

Hard clustering je metoda grupiranja određenih podataka u skupine i to tako da elementi mogu pripadati isključivo jednoj skupini. Pripadnost elementa u više skupina nije dozvoljena.

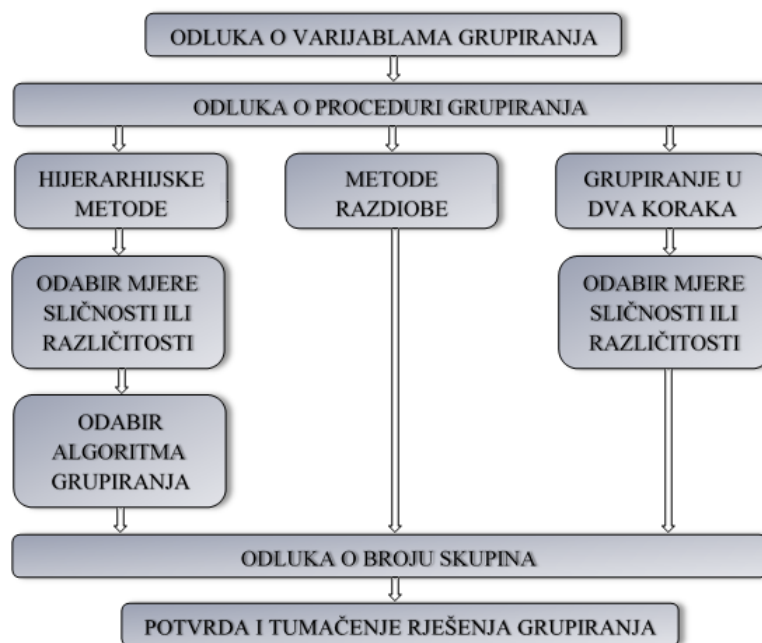
Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Soft clustering je metoda grupiranja određenih podataka gdje elementi mogu pripadati u više od jedne skupine, a pridružen svakom elementu je set pripadnih razina. To pokazuje jačinu veze između određenog elementa i skupine.

Jedna druga klasifikacija je temeljena na različitim tehnikama [62], [63], [64]:

- Aglomerativne hijerarhijske metode (*eng. Agglomerative hierarchical methods*) i metode hijerarhijske podjele (*eng. Splitting hierarchical methods*) formiraju novu skupinu preraspodjelom članova skupine u određenom vremenskom trenutku temeljem prigodne mjere sličnosti;
- Grafičko–teorijske metode (*eng. Graph–theoretic methods*) gdje se Z smatra kao skupina čvorova. Rubne težine među parovima čvorova se temelje na mjeri sličnosti između tih čvorova;
- Kriterijska funkcija (*eng. Objective function methods*) se koristi kao mjera poželjnosti podataka za grupiranje. Za traženje lokalnog optimuma funkcije cilja koriste se nelinearni optimizacijski algoritmi.

Cilj analize neizrazitog grupiranja je identificiranje skupina objekata koji su vrlo slični. Postoje različiti pristupi od kojih su u najširoj primjeni: hijerarhijske metode, metode razdiobe (*eng. partitioning methods*) i grupiranje u dva koraka (*eng. two–step clustering*). Koraci analize neizrazitog grupiranja mogu se prikazati dijagramom danim na slici 3.9 [65].



Slika 3.9. Koraci analize neizrazitog grupiranja

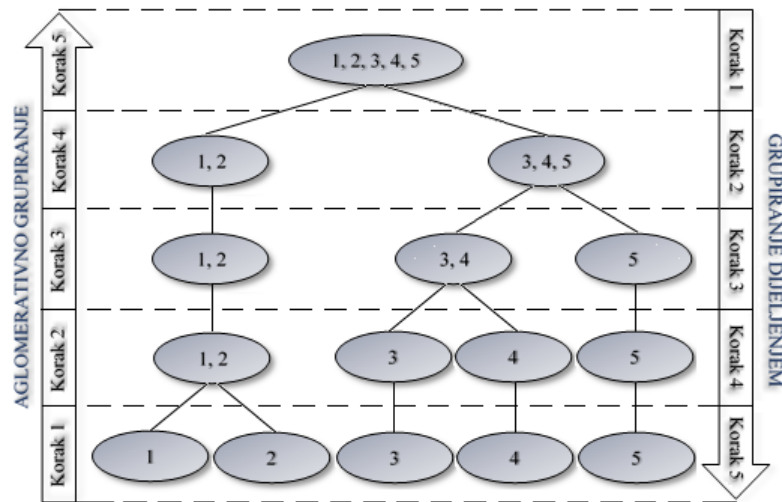
Odluka o varijablama temeljem kojih treba uraditi grupiranje objekata uvijek ovisi o dostupnosti podataka. Odabir varijabli ovisi o kriteriju temeljem kojeg treba izvršiti grupiranje. Pri planiranju distribucijskih mreža, najpogodniji podatak temeljem kojeg se može napraviti grupiranje potrošača su koordinate mjernih mjesta.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Odabirom odgovarajuće procedure grupiranja određuje se izgled skupina. Ovo uvijek uključuje optimiziranje nekog kriterija. Procedura, također, može odgovoriti na pitanje kako odrediti sličnost ili različitost među objektima u novoformljenoj skupini.

Najčešće upotrebljavane su hijerarhijske metode grupiranja. Hijerarhijske metode karakterizira struktura u obliku drveta. Većina hijerarhijskih metoda pripada kategoriji aglomerativnog grupiranja. U ovom tipu grupiranja se skupine formiraju od objekata. Nakon toga se skupine mjere prema njihovoj sličnosti, određenom mjerom. Prvo se dvije slične skupine (npr. one sa najmanjom međusobnom razdaljinom) mjere i formira se nova skupina na dnu hijerarhijske ljestvice. U slijedećem koraku se mjeri drugi par skupina i povezuje sa većom hijerarhijskom razinom itd. Ovo omogućuje uspostavljanje hijerarhije skupina od dna prema vrhu.

Procedura grupiranja može se primijeniti i od vrha prema dnu. Takav oblik grupiranja naziva se grupiranje dijeljenjem. Kod ovakvog grupiranja se svi objekti postupno dijele od vrha prema dnu. Na slici 3.10 je prikazan primjer aglomerativnog grupiranja i grupiranja dijeljenjem [65].



Slika 3.10. Aglomerativno grupiranje i grupiranje dijeljenjem

Postoje različite mjere kojima se izražava sličnost, odnosno različitost parova elemenata [65], [66]. Najčešće upotrebljavana je mjera udaljenosti između elemenata. Direktna način za određivanje bliskosti dva elementa je povlačenje prave crte između njih. Ovaj tip udaljenosti naziva se i *Euclidean udaljenost* (eng. *straight-line distance*) i najčešće se upotrebljava. Ukoliko se želi upotrijebiti procedura hijerarhijskog grupiranja ova udaljenost se mora prikazati matematički. Euclidean udaljenost između elemenata 1 i 2 računa se kao:

$$d_{\text{Euclidean}}(1,2) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (3.42)$$

Ova udaljenost odgovara dužini crte koja povezuje elemente 1 i 2. Na isti način mogu se izračunati udaljenosti između svih parova elemenata. Sve ove udaljenosti obično su predstavljene u obliku matrice udaljenosti. U ovoj matrici nedijagonalni elementi predstavljaju udaljenosti između parova, a dijagonalni elementi su 0 (udaljenost elementa od samog sebe).

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Pošto je udaljenost između elemenata 1 i 2 identična kao i udaljenost između elemenata 2 i 1 matrica udaljenosti je simetrična. Ova matrica je prikazana u tablici 3.3.

Tablica 3.3. *Euclidean matrica udaljenosti*

| Element | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 0 | $d_{1,2}$ | $d_{1,3}$ | $d_{1,4}$ | $d_{1,5}$ | $d_{1,6}$ | $d_{1,7}$ |
| 2 | $d_{2,1}$ | 0 | $d_{2,3}$ | $d_{2,4}$ | $d_{2,5}$ | $d_{2,6}$ | $d_{2,7}$ |
| 3 | $d_{3,1}$ | $d_{3,2}$ | 0 | $d_{3,4}$ | $d_{3,5}$ | $d_{3,6}$ | $d_{3,7}$ |
| 4 | $d_{4,1}$ | $d_{4,2}$ | $d_{4,3}$ | 0 | $d_{4,5}$ | $d_{4,6}$ | $d_{4,7}$ |
| 5 | $d_{5,1}$ | $d_{5,2}$ | $d_{5,3}$ | $d_{5,4}$ | 0 | $d_{5,6}$ | $d_{5,7}$ |
| 6 | $d_{6,1}$ | $d_{6,2}$ | $d_{6,3}$ | $d_{6,4}$ | $d_{6,5}$ | 0 | $d_{6,7}$ |
| 7 | $d_{7,1}$ | $d_{7,2}$ | $d_{7,3}$ | $d_{7,4}$ | $d_{7,5}$ | $d_{7,6}$ | 0 |

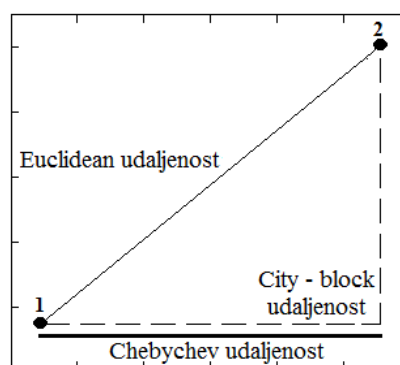
Postoje i alternativne mjere udaljenosti. Jedna je tzv. *City-block udaljenost*, a koja upotrebljava sumu apsolutnih razlika. Često se naziva i *Manhattan metric* jer je srodna sa pješačkom udaljenosti između dvije točke grada kao što je New York, distrikt Manhattan, gdje je udaljenost jednaka broju blokova u pravcu Sjever–Jug i Istok–Zapad. Korištenje *City-block distance* za računanje udaljenosti između elemenata 1 i 2 daje:

$$d_{\text{City-block}}(1,2) = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2| \quad (3.43)$$

U radu sa metričkim podacima istraživači često koriste tzv. *Chebychev udaljenost*, koja predstavlja maksimum apsolutnih razlika:

$$d_{\text{Chebychev}}(1,2) = \max(|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|) \quad (3.44)$$

Slika 3.11 prikazuje korelaciju između ova tri tipa mjera udaljenosti [65].



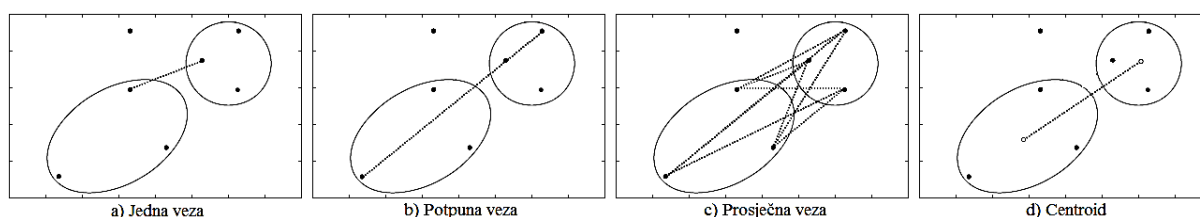
Slika 3.11. *Korelacija između mjera udaljenosti*

Nakon odabira mjera sličnosti, odnosno različitosti, potrebno je odabrati algoritam grupiranja. Postoji nekoliko aglomerativnih procedura koje se razlikuju prema načinu definiranja udaljenosti; od novoformljene skupine do određenog objekta, odnosno do drugih skupina. Najviše korištene aglomerativne procedure grupiranja uključuju slijedeće:

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

- Jedna veza (najbliži susjed) – udaljenost između dvije skupine odgovara najmanjoj udaljenosti između bilo koja dva elementa u dvije skupine;
- Potpuna veza (najdalji susjed) – suprotan pristup pristupu jedne veze koji pretpostavlja da se udaljenost između dvije skupine temelji na najdaljoj udaljenosti između bilo koja dva elementa u dvije skupine;
- Prosječna veza – udaljenost između dvije skupine definirana je kao prosječna udaljenost između svih parova elemenata dvije skupine;
- Centroid – prvo se računa geometrijski centar (centroid) svake skupine. Udaljenost između dvije skupine jednaka je udaljenosti između dva centroida.

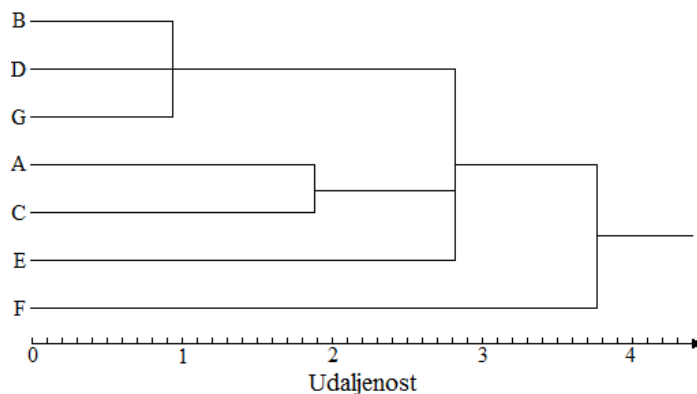
Na slici 3.12 su prikazane procedure vezivanja elemenata dvije slučajne skupine.



Slika 3.12. Aglomerativne procedure vezivanja elemenata skupina

Svaki od ovih algoritama daje različite rezultate ukoliko se upotrebljavaju na istom setu podataka, obzirom da svaki od njih ima svoje posebnosti. Pošto se algoritam jedne veze temelji na minimalnoj udaljenosti, on nastoji da formira jednu veliku skupinu, dok ostale skupine sadrže samo jedan ili nekoliko elemenata, i to svaka od njih. S druge strane, na algoritam potpune veze najveći utjecaj imaju rubni objekti obzirom da se on temelji na maksimalnim udaljenostima. Skupine proizvedene ovom metodom su kompaktnije i uže vezane. Algoritam prosječne veze i centroid algoritam nastoje proizvesti skupine slične veličine. Međutim, i ove procedure ovise o rubnim objektima, mada ne kao algoritam potpune veze.

Uobičajeni način za vizualizaciju napretka analize neizrazitog grupiranja je crtanje dendograma koji prikazuje razinu udaljenosti na kojoj se nalazi kombinacija elemenata i skupina (Slika 3.13).



Slika 3.13. Dendogram

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

U većini slučajeva broj skupina je unaprijed poznat. U ostalim slučajevima podaci se mogu grupirati na više načina, pri čemu je broj skupina svaki put drugačiji. U tim slučajevima postoji potreba pronalazjenja najvjerojatnijeg broja skupina za dane podatke. To je poznato pod nazivom *valjanost skupina*. Ukoliko su podaci označeni i broj skupina je unaprijed zadan, a za neoznačene podatke nema točnog broja skupina.

Za klasificiranje podataka koriste se razni algoritmi [67]. Jedan od njih je HCM (*eng. Hard c-Means*). Koristi se za klasificiranje podataka na način da se svaki podatak dodjeljuje samo jednoj skupini. Tada se skupine mogu nazvati i particije jer jednoznačno dijele podatke. Ako particije definiramo preko obitelji skupova A_i , $i = 1, 2, \dots, c$, može se napisati slijedeće:

$$\bigcup_{i=1}^c A_i = X \quad (3.45)$$

$$A_i \cap A_j = \emptyset \quad (3.46)$$

$$\emptyset \subset A_i \subset X \text{ za } \forall i \quad (3.47)$$

gdje je $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ konačni prostor uzoraka, a c je broj skupina.

Prostor c -particija za skup uzoraka X definira se kao:

$$M_c = \left\{ U \in V_{c \times N} \left| \chi_{ik} \in [0, 1] \forall i, k; \sum_{i=1}^c \chi_{ik} = 1 \forall k; 0 < \sum_{i=1}^c \chi_{ik} < N \forall i \right. \right\} \quad (3.48)$$

U je matrica sa c redaka koji predstavljaju skupine i n stupaca koji predstavljaju uzorke. Broj mogućih c -particija unutar prostora M_c je slijedeći:

$$\eta_{M_c} = \left(\frac{1}{c!} \right) \left[\sum_{i=1}^c \binom{c}{i} (-1)^{c-i} i^n \right] \quad (3.49)$$

Kriterijska funkcija koja služi za grupiranje podataka određuje koja c -particija je najbolja od svih mogućih. Preporučena je slijedeća kriterijska funkcija:

$$J_w(U, V) = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^c \chi_{ik} (d_{ik})^2 \quad (3.50)$$

$$d_{ik} = d(x_k - v_i) = \|x_k - v_i\| = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{kj} - v_{ij})^2} \quad (3.51)$$

$$V = (v_1, v_2, \dots, v_c) \in \mathbb{R}^{n \times c} \quad \forall i \quad (3.52)$$

$$U = [\chi_{ik}] \in M_c \quad (3.53)$$

Vektor V je vektor prototipova centara skupina, a v_i su centri pojedinih skupina. Particija koja najbolje dijeli prostor uzoraka je ona koja daje minimum kriterijske funkcije:

$$\min_{M_c \times \mathbb{R}^{n \times c}} \{ J_w(U, v) \} \quad (3.54)$$

HCM algoritam koji aproksimira minimum kriterijske funkcije može se prikazati u nekoliko koraka:

Korak 1: Izaberi c , $2 \leq c \leq N$

Inicijaliziraj $U^{(0)} \in M_c$

Ponavljaj za svaki $l = 0, 1, 2, \dots$

Korak 2: Izračunaj vektore $\{v_i^{(l)}\}$ koristeći $U^{(l)}$ i formulu:

$$v_i = \frac{\sum_{k=1}^N \chi_{ik} x_k}{\sum_{k=1}^N \chi_{ik}}$$

Korak 3: Ponovo izračunaj $U^{(l)}$. Nove vrijednosti se računaju za $\forall i, k$ kako slijedi:

$$\begin{cases} 1, & d_{ik}^{(l)} = \min_{1 \leq j \leq c} \{ d_{jk}^{(l)} \} \\ 0, & \text{inače} \end{cases}$$

Korak 4: Usporedi $U^{(l)}$ i $U^{(l+1)}$.

Ako je $\|U^{(l+1)} - U^{(l)}\| \leq \epsilon$ zaustavi iteraciju.

Ako nije, nastavi od koraka 2.

Jedan od najšire primjenjivanih algoritama je FCM (*Fuzzy c-Means*) algoritam (Bezdek 1981). I kod ovog algoritma je potrebno pronaći minimum kriterijske funkcije. Kriterijska funkcija ima slijedeći oblik:

$$J_m(U, V) = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^c (\mu_{ik})^m (d_{ik})^2 \quad (3.55)$$

$$d_{ik} = \|x_k - v_i\| \quad (3.56)$$

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

$$V = (v_1, v_2, \dots, v_c) \in \mathbb{R}^{n \times c}, v_i \in \mathbb{R}^n \quad (3.57)$$

Vektor V je vektor prototipova centara skupina, a v_i su centri pojedinih skupina. $U \in M_{fc}$ je neizrazita particija prostora X , a M_{fc} je:

$$M_{fc} = \left\{ U \in V_{c \times N} \mid \mu_{ik} \in [0, 1] \forall i, k; \sum_{i=1}^c \mu_{ik} = 1 \forall k; 0 < \sum_{i=1}^N \mu_{ik} < N \forall i \right\} \quad (3.58)$$

Parametar m se naziva *težinski parametar*. On određuje količinu neizrazitosti u klasifikacijskom procesu. I ovdje je potrebno pronaći minimum kriterijske funkcije:

$$\min_{M_{fc} \times \mathbb{R}^{n \times c}} \{ J_m(U, v) \} \quad (3.59)$$

FCM algoritam može se prikazati u slijedećim koracima:

Korak 1: Izaberi c , $2 \leq c \leq N$
 Izaberi $m \in [1, \infty)$
 Inicijaliziraj $U^{(0)} \in M_{fc}$

Korak 2: Izračunaj centre neizrazitih grupa $\{v_i^{(l)}\}$ koristeći $U^{(l)}$ i formulu:

$$v_i = \frac{\sum_{k=1}^N (\mu_{ik})^m x_k}{\sum_{k=1}^N \chi_{ik}}$$

Korak 3: Ponovo izračunaj $U^{(l)}$ koristeći $\{v_i^{(l)}\}$ i sljedeće izraze:

$$I_k = \emptyset \Rightarrow \mu_{ik} = \frac{1}{\sum_{i=1}^c \left(\frac{d_{ik}}{d_{jk}} \right)^{\frac{2}{m-1}}}$$

$$I_k \neq \emptyset \Rightarrow \mu_{ik} = 0 \quad \forall i \in I_k$$

$$\sum_{i \in I_k} \mu_{ik} = 1$$

gdje je $I_k = \{ i \mid 1 \leq i \leq c; d_{ik} = \|x_k - v_i\| = 0 \}$

Korak 4: Usporedi $U^{(l)}$ i $U^{(l+1)}$.

Ako je $\|U^{(l+1)} - U^{(l)}\| \leq \varepsilon$ zaustavi iteraciju.

Ako nije, nastavi od koraka 2.

Dakle, FCM algoritam nastoji da podijeli skupinu od n elemenata $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ u podskupine uvažavajući određene zadane kriterije. Temeljem danih podataka algoritam daje listu centara skupina $C = \{c_1, \dots, c_c\}$ i matricu podjele $V = v_{i,j} \in [0, 1]$, $i = 1, \dots, n$, $j = 1, \dots, c$ gdje svaki element $v_{i,j}$ označava stupanj pripadnosti elementa x_i skupini c_j . Standardna funkcija je:

$$v_k(x) = \frac{1}{\sum_j \left(\frac{d(\text{center}_{k,x})}{d(\text{center}_{j,x})} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (3.60)$$

gdje k označava k -tu skupinu.

Prije nego što se prihvati rješenje, potrebno je procijeniti stabilnost i valjanost rješenja. Stabilnost se procjenjuje uporabom različitih procedura grupiranja na istim podacima, a onda se promatra da li daju iste rezultate. U hijerarhijskom grupiranju, na primjer, mogu se koristiti različite mjere udaljenosti.

Drugi, uobičajeni, pristup je podjela skupine podataka na dvije polovice i nakon toga odvojena analiza podskupina, uz korištenje istih parametara. Ukoliko se rezultati ne razlikuju značajno može se zaključiti da ukupno rješenje ima visoku razinu stabilnosti.

Također, može se izvršiti promjena redoslijeda elemenata u skupini podataka i izvršiti ponovna provjera stabilnosti. Rezultati ne bi trebali ovisiti o redoslijedu.

Za procjenu valjanosti rješenja potrebno je procijeniti valjanost kriterija. U istraživanjima, može se fokusirati na varijable kriterija koje imaju teorijski temeljenu povezanost sa varijablama skupina, ali nisu uključene u analizu.

Zadnji korak u svakoj analizi grupiranja je predstavljanje skupina. Ono uvijek uključuje istraživanje centara skupina, koje predstavljaju prosječne vrijednosti varijabli svih elemenata u određenoj skupini. Ovo je od velike važnosti obzirom da se analizom utvrđuje da li su segmenti konceptualno različiti. Samo određene skupine pokazuju da li su varijable različite, iz kuta podataka. Ovo se može najlakše utvrditi usporedbom skupina sa neovisnim testnim uzorcima.

Algoritmi neizrazitog grupiranja mogu se svrstati i u skupinu stohastičkih algoritama.

3.3. STOHAŠTIČKE METODE OPTIMIZACIJE

Stohastičke metode optimizacije su metode koje generiraju i upotrebljavaju slučajne varijable. Kod stohastičkih problema slučajne varijable se pojavljuju kod formuliranja optimizacijskog problema, što uključuje slučajne funkcije cilja ili slučajna ograničenja. Ove metode uključuju također i metode sa slučajnim iteracijama. Isto tako, stohastičke metode generaliziraju determinističke metode za determinističke probleme [68].

Stohastička optimizacija je proces maksimiziranja ili minimiziranja vrijednosti matematičke ili statističke funkcije [69]. Stohastički procesi uvijek uključuju vjerojatnost, za razliku od determinističkih procesa koji se temelje na predvidivim i egzaktnim ulaznim vrijednostima.

Stohastička optimizacija razmatra probleme iz stvarnog života obzirom da mnogi problemi u fizičkom svijetu uključuju neizvjesnost, nepreciznost i slučajnost. Stoga stohastička optimizacija igra značajnu ulogu u analizama, dizajniranju i radu modernih sustava.

Metode stohastičke optimizacije rješavaju probleme nelinearnih, predimenzioniranih i drugih neprikladnih problema koji nisu prigodni za rješavanje klasičnim determinističkim postupcima. Ovi algoritmi imaju široku primjenu u statistici, znanosti, inženjerstvu i poslu. Algoritmi koji imaju bilo kakvu stohastičku formu su široko rasprostranjeni.

U ovome poglavlju bit će obrađen stohastički algoritam koji će u predloženom modelu planiranja niskonaponskih distribucijskih mreža biti upotrijebljen za određivanje optimalne konfiguracije distribucijske mreže, u cilju minimiziranja gubitaka radne snage u mreži i padova napona kod krajnjih potrošača. To je algoritam simuliranog kaljenja (*eng. simulated annealing algorithm*).

3.3.1. Općenito o stohastičkim optimizacijskim metodama

U zadnjih nekoliko desetljeća značajno se povećala uloga optimizacije u mnogo različitih područja, kao što su elektrotehnika, operacijska istraživanja, računarstvo i komunikacije. Linearne i nelinearne optimizacije, optimum funkcije kontinuiranih varijabli, doživjeli su značajan napredak tijekom 50-tih i 60-tih godina dvadesetog stoljeća. Bolji rezultati kombinatorne optimizacije, optimumi funkcija diskretnih varijabli, postignuti su kasnije (70-tih godina). Međutim, problemi kombinatorne optimizacije većih razmjera predstavljaju i danas problem, i pored znatno bržih računala. Takvi se problemi rješavaju aproksimacijom, gdje je kvaliteta rješenja proporcionalna vremenu računanja [70].

Kombinatorni optimizacijski problem je problem minimiziranja ili maksimiziranja problema, koji uključuje pronalaženje optimalnog ili najboljeg rješenja iz seta pozitivnih rješenja. Može se u potpunosti okarakterizirati prostorom pretraživanja i funkcijom cilja.

Prostor pretraživanja S je konačan ili izračunljiv set mogućih rješenja, a funkcija cilja $f: S \rightarrow IR$ mapira svaku točku u prostoru pretraživanja u realni broj kako bi se dobila mjera koliko je

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

dobiveno rješenje dobro u usporedbi sa ostalim rješenjima. U slučaju minimiziranja željeno optimalno rješenje x_{opt} je jedno od kojih je [71]:

$$f(x_{opt}) \leq f(x), \text{ za } \forall x \in S \quad (3.61)$$

Problem se može postaviti jednostavno kao:

$$\underset{x \in S}{\text{minimize}} f(x) \quad (3.62)$$

Rješenje x_{opt} naziva se *globalni optimum* i njegova ciljna vrijednost je $f_{opt} = f(x_{opt})$. Pošto može postojati više od jednog rješenja koje zadovoljava uvjete, set globalnih optimalnih rješenja može se prikazati kao S_{opt} .

Pri rješavanju ovakvog problema postoje dva pristupa [70], [72]:

- 1) Traženje globalnog optimuma po svim konfiguracijama, što je nemoguće u prihvatljivom vremenu;
- 2) Aproksimacijski algoritam, koji pokušava dobiti zadovoljavajuće rješenje u prihvatljivom vremenu.

3.3.2. Algoritam simuliranog kaljenja

Algoritam simuliranog kaljenja pripada skupini aproksimacijskih algoritama. Algoritam se temelji na stohastičkoj tehnici, ali uključuje mnoge dijelove algoritma iterativnog poboljšanja.

Algoritam iterativnog poboljšanja pretpostavlja zadanu definiciju konfiguracije, funkcije cilja i mehanizam generiranja slijedeće konfiguracije, malom promjenom. Počevši od polazne konfiguracije, generira se niz iteracija, od kojih se svaka sastoji od mogućeg prijelaza u slijedeću. Ukoliko ta slijedeća konfiguracija daje smanjenje funkcije cilja onda se ona prihvaća, a inače se odbacuje i traži naredna. Algoritam završava kada sve slijedeće konfiguracije daju povećanje funkcije cilja [70].

Nedostaci iterativnog algoritma su slijedeći:

- Prema definiciji, algoritam završava u lokalnom minimumu tako da se ne zna koliko je on udaljen od globalnog minimuma;
- Dostignuti minimum ovisi o polaznoj konfiguraciji.

Prednosti iterativnog algoritma su njegova opća primjenjivost, te relativno kratko vrijeme računanja za jednu polaznu konfiguraciju.

Moguća poboljšanja ovog algoritma su slijedeća:

- Izvođenje algoritma za veliki broj polaznih konfiguracija;
- Uporaba informacija iz prethodnih pokušaja;
- Povećanje skupa susjednih konfiguracija;
- Prihvatanje prijelaza koji uzrokuju povećanje funkcije cilja.

Algoritam koji slijedi zadnji pristup poboljšanja predstavili su neovisno S. Kirkpatrick i V. Černy. Poznat je pod nazivom simulirano kaljenje (*eng. simulated annealing*), ali se u literaturi nalazi još i pod nazivima *Monte Carlo kaljenje*, *stohastičko hlađenje*, *stohastička relaksacija* i *algoritam slučajne zamjene*. Rezultati dobiveni ovim algoritmom su vrlo blizu optimuma, te ne ovise o polaznoj konfiguraciji. Na taj način, metoda simuliranog kaljenja ne pokazuje nedostatke metode iterativnog poboljšanja, te daje bolje rezultate, ali je nešto sporija.

a) Matematička interpretacija algoritma simuliranog kaljenja

U svom originalnom obliku, algoritam simuliranog kaljenja temeljen je na analogiji između simulacije kaljenja metala i problema kombinatorne optimizacije. U fizici krutih tvari, kaljenje predstavlja proces u kojem se materijal zagrije do maksimalne temperature (temperatura kaljenja) pri kojoj je unutarnja struktura stohastički organizirana. Niz postupaka laganog hlađenja uzrokuje da unutrašnji raspored elementarnih jedinica poprima stanje sve manje energije, prilagođavajući se temperaturi (unutarnja energija proporcionalna je temperaturi). Pri svakoj temperaturi T materijal dostiže termičku ravnotežu, koja se može okarakterizirati vjerojatnošću posjedovanja energije E prema Boltzmannovoj (*Boltzmann*) raspodjeli [73], [74]:

$$P(E) = \frac{1}{Z(T)} \cdot e^{-\left(\frac{E}{k_B \cdot T}\right)} \quad (3.63)$$

gdje su: $Z(T)$ – faktor normalizacije
 k_B – Boltzmannova konstanta

Kako se temperatura smanjuje prema nuli, samo stanja minimalne energije imaju vjerojatnost pojavljivanja veću od nule. Također, poznato je da ako je hlađenje prebrzo, odnosno ako se pri svakoj temperaturi ne dostiže termalna ravnoteža, struktura materijala postaje amorfnu, a ne kristalna rešetka niske unutarnje energije.

Evolucija stanja čvrstog materijala ka toplinskoj ravnoteži može se efikasno simulirati jednostavnim algoritmom temeljenim na Monte Carlo tehnici. Ovaj algoritam uzima trenutno stanje x i generira novo stanje y uz primjenu malih perturbacija. Prelazak iz stanja x u stanje y je prihvatljivo sa vjerojatnošću:

$$P_{\text{prihvatljivo}}(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{ako je } E_x - E_y \leq 0 \\ e^{-\left(\frac{E_x - E_y}{k_B \cdot T}\right)}, & \text{ako je } E_x - E_y > 0 \end{cases} \quad (3.64)$$

Ako je prihvatljivo, y postaje trenutno stanje i procedura se ponavlja. Ovo pravilo prihvaćanja se naziva *Metropolis kriterij* [75].

Dani partikularni, kombinatorni optimizacijski problem daje rješenje x koje odgovara trenutnom stanju čvrstog materijala, funkciju cilja $f(x)$ koja odgovara energiji trenutnog stanja i kontrolni parametar T koji odgovara trenutnoj temperaturi čvrstog materijala. Algoritam simuliranog kaljenja jednostavno se sastoji od iteriranja Metropolis algoritma, pri čemu se smanjuje vrijednosti umjetnog parametra temperature T . Algoritam je primjenjiv na problem kombinatorne optimizacije, uz preslikavanje: jedna konfiguracija strukture u jednu konfiguraciju problema, energija u funkciju cilja i temperatura T u kontrolni parametar c .

Neke od analogija između toplinskog procesa fizikalnog kaljenja i umjetnog procesa simuliranog kaljenja u kombinatornom optimizacijskom problemu su dane u tablici 3.4 [76], [77].

Tablica 3.4. Analogija između simuliranog i fizikalnog kaljenja

| OPTIMIZACIJSKI PROBLEM | FIZIKALNI SUSTAV |
|------------------------------|----------------------------|
| Polazno rješenje x | Trenutno stanje materijala |
| Funkcija cilja $f(x)$ | Energija trenutnog stanja |
| Kontrolni parametar T | Temperatura |
| Optimalno rješenje x_{opt} | Temeljno stanje |
| Simulirano kaljenje | Postupno hlađenje |

Vjerojatnost prihvaćanja predloženog rješenja, poznata kao prihvatljiva vjerojatnost, je dana izrazom:

$$P_{\text{prihvatljivo}}(\Delta f, T) = \begin{cases} 1, & \Delta f \leq 0 \\ e^{-\left(\frac{\Delta f}{T}\right)}, & \Delta f > 0 \end{cases} \quad (3.65)$$

ili alternativno,

$$P_{\text{prihvatljivo}}(\Delta f, T) = \min\left(1, e^{-\frac{\Delta f}{T}}\right) \quad (3.66)$$

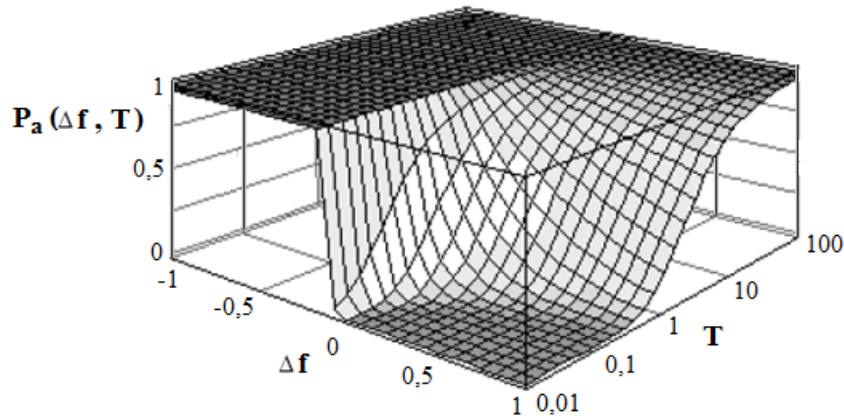
Ovdje je Δf promjena u funkciji cilja koja odgovara predloženoj promjeni stanja, a T je umjetni kontrolni parametar koji predstavlja temperaturu. Činjenica da je prihvatljiva vjerojatnost točno 1 kada je Δf negativno, ukazuje da su potezi koji poboljšavaju funkciju cilja uvijek prihvatljivi. Simulirano kaljenje može prihvatiti i povećanje ciljne funkcije, omogućavajući da algoritam izbjegne lokalni minimum.

U pravilu, algoritam počinje na vrlo visokim temperaturama. Kako se temperatura smanjuje simulirano kaljenje vrlo rijetko prihvaća rješenja koja vode ka povećanju ciljne funkcije. Intuitivno ovo znači da algoritam započinje traženje globalno, bez restrikcije od strane lokalnog

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

okruženja ciljne funkcije, ali kako se temperatura smanjuje algoritam gravitira rješenjima sa nižom ciljnom funkcijom, dok na kraju, na veoma niskoj temperaturi, ne počne vršiti lokalno pretraživanje [77].

$$P_a(\Delta f, T) = \min\left(1, e^{-\frac{\Delta f}{T}}\right) \quad (3.67)$$



Slika 3.14. Prihvatljiva vjerojatnost u odnosu na temperaturu i promjene u funkciji cilja

Dani mehanizam definira generacijsku matricu vjerojatnosti $G(T)$ kao matricu čiji (i, j) ulazi su vjerojatnost generiranja stanja j iz stanja i . Određivanjem ulaza matrice prihvatljive vjerojatnosti $A(T)$ donosi matricu čiji (i, j) ulazi su vjerojatnost prihvaćanja predložene tranzicije iz stanja i u stanje j . Kompletna vjerojatnost pokretanja iz stanja i u stanje j može se okarakterizirati tranzicijskom matricom vjerojatnosti $P(T)$ čiji (i, j) ulazi mogu biti prikazani kao:

$$P_{ij}(T) = \begin{cases} G_{ij}(T) \cdot A_{ij}(T), & \text{ako je } i \neq j \\ 1 - \sum_{k \in S, k \neq i} P_{ik}(T), & \text{ako je } i = j \end{cases} \quad (3.68)$$

Sa sigurnim uvjetima generiranja i matricama prihvatljive vjerojatnosti, algoritam simuliranog kaljenja radi na fiksnoj temperaturi generirajući *Markovljev niz* sa prijelaznom matricom $P(T)$. Sa beskonačnim brojem tranzicija na fiksnoj temperaturi T , ovaj *Markovljev niz* ima stacionarnu razdiobu $q(T)$ čija vjerojatnost da je u i -tom stanju nakon neograničenog broja tranzicija, može biti prikazana kao:

$$q_i(T) = \frac{e^{-\frac{f(i)}{T}}}{\sum_{k \in S} e^{-\frac{f(k)}{T}}} \quad (3.69)$$

Razdioba je ekvivalentna Boltzmannovoj razdiobi. Može se pokazati da stacionarna razdioba daje slijedeći rezultat:

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

$$q_i^* = \lim_{T \rightarrow 0} q_i(T) = \begin{cases} \frac{1}{|S_{\text{opt}}|}, & \text{ako je } i \in S_{\text{opt}} \\ 0, & \text{ako je } i \notin S_{\text{opt}} \end{cases} \quad (3.70)$$

Drugim riječima, davanjem prigodnog mehanizma perturbacije i neograničenog broja tranzicija, simulirano kaljenje će pronaći globalno optimalno rješenje optimizacijskog problema, sa vjerojatnošću 1.

Pošto je jasno da u praksi nije moguće pokretati algoritam u neograničenom broju iteracija, upotrebljava se aproksimacija konačnog vremena. U algoritmu konačnog vremena detalji aproksimacije su specificirani sa nečim što je poznato kao raspored hlađenja. Raspored hlađenja je veoma bitan za konvergenciju i brzinu konvergiranja algoritma simuliranog kaljenja. On specificira polaznu vrijednost temperature, kako i kada se temperatura mijenja tijekom procesa kaljenja, i kada se algoritam treba zaustaviti. Postoji mnogo različitih tipova rasporeda hlađenja, od kojih su neki vrlo jednostavni, a neki više kompleksni.

Jedan od tipova hlađenja može se prikazati u slijedećim koracima [78], [79]:

1. Polazna temperatura;
2. Promjena temperature;
3. Dužina Markovljevog niza;
4. Kriterij završetka hlađenja.

U algoritmu simuliranog kaljenja postoje mnoge varijacije kada se radi o rasporedu hlađenja. Određivanje učinkovitog rasporeda hlađenja je vrlo često slučaj izvođenja probne simulacije i ustanovljavanja greške. Pri ovoj implementaciji, raspored hlađenja se odabire relativno jednostavno i vrši se nekoliko prilagođavanja parametara temeljenih na rezultatima nekoliko probnih simulacija.

Polazna vrijednost toplinskog parametra se pronalazi pokretanjem iteracija Metropolis algoritma na temperaturi 1. Ako je prihvatljiv odnos za prvih 10 iteracija manji od 90%, temperatura se udvostruči i algoritam se pokreće za 10 novih iteracija. Ova procedura se ponavlja sve dok prihvatljiv odnos ne postane veći ili jednak 90%. U toj točki se vrijednost temperature uzima kao polazna temperatura za algoritam simuliranog kaljenja. Ova metoda osigurava da je polazna temperatura dovoljno visoka tako da je većina poteza prihvatljiva na početku procesa kaljenja.

Toplinski parametar se mijenja sukladno veoma jednostavnim, uobičajeno korištenim, pravilom. Nakon određenog broja iteracija određenih procedurom toplinski parametar se množi sa konstantom α koja se nalazi u granicama između 0 i 1.

Cilj određivanja optimalne dužine Markovljevog niza je da se dopusti da algoritam dostigne ravnotežu na danoj temperaturi. Nakon dostizanja ravnoteže, brojanje za generiranje novog stanja nije potrebno.

Algoritam se zaustavlja kada se pronađe rješenje i kada je temperatura dovoljno niska, praktično u stanju zamrznutosti. Ako zadnje stanje Markovljevog niza ostane nepromijenjeno za četiri iteracije, stanje se podrazumijeva zamrznutim i pretraživanje se obustavlja.

Jedan od najčešćih rasporeda hlađenja uključuje postavljanje polazne temperature na neku veliku konstantu vrijednost T_0 (dovoljno veliku da je inicijalni prihvatljivi omjer blizu 1) i nastavlja kako slijedi [79]:

1. Pokretanje Metropolis algoritma za n iteracija, za neko konstantno n , za generiranje dužine n Markovljevog niza;
2. Ako je konačno stanje zadnjeg m Markovljevog niza ostalo nepromijenjeno, gdje je m mala konstanta, onda se algoritam zaustavlja, a u suprotnom se nastavlja;
3. Promjena temperature T njenim množenjem sa konstantom α , gdje je α između 0 i 1;
4. Vraćanje na korak 1.

Konačna vremenska aproksimacija algoritma simuliranog kaljenja ne može garantirati konvergenciju ka optimalnom rješenju. Međutim, u mnogim slučajevima može naći rješenje blizu optimalnog u razumnom vremenskom periodu.

Iako je algoritam simuliranog kaljenja poznat kao alat za neograničenu optimizaciju, može se također koristiti za rješavanje problema sa ograničenjima. Ograničenja se mogu uzeti u proračun u mehanizmu perturbacije za generiranje novog stanja. U stvarnosti, mogu se generirati određeni tipovi nemogućih rješenja, ali se ona odbacuju i ne daju se kao predložena rješenja algoritma simuliranog kaljenja.

b) Opća primjena algoritma simuliranog kaljenja

Jedna od posebnosti algoritma simuliranog kaljenja je njegova jednostavna primjena. U principu, algoritam se može kodirati u samo nekoliko redaka, kako je to prikazano u pseudo C kodu [74], [77], [80].

```

x = Initial_State ;
f = Cost (x) ;
T = Initial_Temperature ( ) ;
do {
  do {
    new_x = Apply_Perturbation_To (x) ;
    Δf = Cost (new_x) – f ;
    if ( (Δf < 0) OR (random [0,1] < exp (-Δf/T)) {
      x = new_x ;
      f = f + Δf ;
    }
  } while Not_At_Equilibrium ( ) ;
} while Exit_Condition_not_Met ( ) ;

```


Postoje četiri temeljne komponente koje se moraju specificirati za svaki pojedinačni optimizacijski problem:

1. Prostor pretraživanja;
2. Minimiziranje funkcije cilja u danom prostoru pretraživanja;
3. Mehanizam perturbacije za generiranje novog rješenja iz trenutnog;
4. Raspored hlađenja koji uključuje polaznu temperaturu, proceduru za promjenu temperature i kriterij za zaustavljanje algoritma.

Prostor pretraživanja i funkcija cilja su specificirani kao dio formulacije problema, dok mehanizam perturbacije i raspored hlađenja rade sa parametrima koji kontroliraju pretraživanje.

U okviru odabira tehnike hlađenja potrebno je [81] , [82]:

- odabrati polaznu vrijednost c_0 ,
- odabrati konačnu vrijednost c_f ,
- odrediti funkciju hlađenja.

Polazna vrijednost c_0 odabire se tako da su u početku gotovo svi prijelazi prihvaćeni, odnosno da budu prihvaćeni sa vjerojatnošću p_0 . Ako sa ΔC^+ označimo prosječno povećanje funkcije cilja, tada vrijedi:

$$p_0 = e^{-\left(\frac{\Delta C^+}{c_0}\right)} \quad (3.71)$$

iz čega slijedi,

$$c_0 = \frac{\Delta C^+}{\ln\left(\frac{1}{p_0}\right)} \quad (3.72)$$

Što se tiče c_f , obično se unaprijed zada određeni broj koraka (10–50). Postoje mnoge funkcije hlađenja predložene u literaturi, ali se najčešće koristi najjednostavnija, množenje sa brojem manjim od 1, tipično u granicama [0,5–0,99].

c) Primjena algoritma na distribucijske sustave

Distribucijski sustav uobičajeno ima prekidače za sekcioniranje čije stanje određuje topološku konfiguraciju mreže. Konfiguracija sustava utječe na njegovu učinkovitost. Proizvođače električne energije, uglavnom, interesira pronalaženje najučinkovitije konfiguracije koja će minimizirati gubitke radne snage distribucijskog sustava.

U biti, rekonfiguracija mreže se može formulirati kao optimizacijski problem sa ograničenjima tipa jednakosti i nejednakosti. Rješenje problema može se temeljiti na općem kombinatornom

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

optimizacijskom algoritmu poznatom kao simulirano kaljenje. Odgovarajuće rješenje mora zadovoljiti Kirchhoffove (*Kirchhoff*) zakone.

U posljednje vrijeme, sa napretkom komunikacijskih i računalnih tehnologija, tvrtke za distribuciju električne energije su sve više zainteresirane za automatiziranje distribucije. Obzirom na povećanje kompleksnosti distribucijskih sustava, postalo je izuzetno važno automatiziranje određenih funkcija koje su uvijek bile izvođene manualno. Proračunato je da tvrtke mogu uštedjeti i više od 10% od svojih godišnjih troškova uporabom ovih tehnologija [83].

Jedno važno područje gdje se automatizacija primjenjuje je područje mrežne rekonfiguracije. Rekonfiguracija mreže u biti se odnosi na otvaranje i zatvaranje prekidača u distribucijskoj mreži u namjeri da se izmijeni topologija mreže, te na taj način i tok snage od transformatorskih stanica do potrošača. Postoje dva primarna razloga za rekonfiguraciju distribucijske mreže tijekom normalnog rada:

1. Eliminiranje preopterećenja komponenti sustava (transformatori, vodovi);
2. Reduciranje gubitaka radne snage.

Ovisno o tokovima struja, rekonfiguracija može postati neophodna da bi se eliminirala preopterećenja komponenti sustava. U ovom slučaju to se naziva balansiranje opterećenja.

Pošto se uvjeti opterećenja u mreži mijenjaju to, također, može postati isplativo jer se mogu reducirati gubici radne snage. Ovo se uglavnom odnosi na reduciranje gubitaka.

Rekonfiguracija mreže u oba slučaja se može klasificirati kao nelinearni optimizacijski problem. Metoda koja će riješiti ovaj problem mora brzo pronaći konfiguraciju mreže koja će minimizirati ukupne gubitke uz istovremeno zadovoljavanje sustavnih ograničenja. Za pronalaženje optimalnog rješenja može se koristiti metoda simuliranog kaljenja [77].

➤ Formuliranje problema

Sa ciljem da ostanu konkurentne na tržištu, za distribucijske tvrtke postaje sve važnije da osiguraju što kvalitetnije napajanje svojih kupaca. To znači da je jedan od primarnih ciljeva pronalaženje radnog stanja za velike, trofazne, nebalansirane distribucijske mreže, koje će osigurati minimum troškova snabdijevanja, uz zadovoljavanje zahtjeva potrošača.

Ako se pretpostavi da postoji neka trenutna konfiguracija distribucijskog sustava koja je definirana određenim radnim troškovima, kako bi ona predstavljala rješenja problema moraju se zadovoljiti određena topološka ograničenja, električna ograničenja u smislu poštivanja Kirchhoffovih zakona, radna ograničenja, kao i fizikalna ograničenja svih komponenti sustava.

Osim ovoga, jedno ovakvo rješenje mora zadovoljiti i zahtjeve potrošača za radnom snagom, ali i ograničenja vezana za održavanje napona na sabirnicama u zadanim granicama.

Dakle, cilj je pronalaženje odgovarajuće konfiguracije distribucijske mreže koja će dati minimum funkcije cilja, ali uz zadovoljavanje svih navedenih ograničenja. Svako rješenje koje zadovoljava ograničenja naziva se *moгуća konfiguracija*.

➤ Funkcija cilja

Cilj problema rekonfiguracije mreže je minimiziranje ukupnih gubitaka radne snage distribucijskog sustava. Gubici radne snage uključuju gubitke u prijenosnim vodovima, toplinske gubitke u transformatorima i gubitke naponske regulacije. Ovi individualni gubici mogu se proračunati iz analize tokova snaga i mogu se prikazati kao:

$$f(x, u) = \left(\sum_{i=1}^{n_v} P_i^{\text{vodova}} \right) + \left(\sum_{j=1}^{n_t} P_j^{\text{transformatora}} \right) + \left(\sum_{k=1}^{n_r} P_k^{\text{regulatora}} \right) \quad (3.73)$$

gdje su: P_i^{vodova} , $P_j^{\text{transformatora}}$, $P_k^{\text{regulatora}}$ – gubici radne snage u vodu i , transformatoru j i naponskom regulatoru k
 n_v , n_t , n_r – brojevi vodova, transformatora i naponskih regulatora sustava

U funkciju cilja se jednostavno može uključiti i cijena prijelaza sa jedne konfiguracije na drugu.

➤ Prostor pretraživanja

Kako bi se mogla provjeriti postavljena ograničenja, u svakom trenutku mora postojati informacija o amplitudama i kutovima napona na svakoj sabirnici. Ukoliko na bilo kojoj sabirnici amplituda napona ili njegov kut ne odgovaraju zadanim granicama, dobivena konfiguracija mreže ne može se uzeti kao jedno od rješenja.

Pošto je ova informacija uključena u varijablu stanja x , ona se može prikazati kao:

$$x = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n, |V_1|, |V_2|, \dots, |V_n|]^T \quad (3.74)$$

a prostor stanja $\mathbb{R}^{6(n-1)}$.

➤ Ograničenja

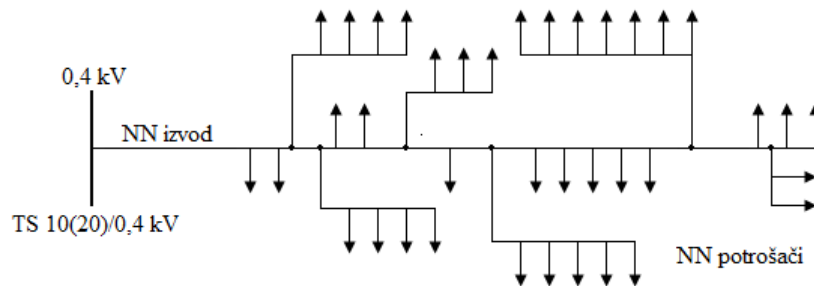
Bilo koja dobivena konfiguracija u setu mogućih konfiguracija ne znači da je ona nužno rješenje problema rekonfiguracije. Može se dogoditi da u set mogućih rješenja uđe i konfiguracija u kojima su gubici radne snage nula. To će se dogoditi ako sve prekidače isključimo. Na taj način je zadovoljen kriterij minimiziranja funkcije cilja, ali je rad sustava na ovaj način praktički nemoguć, niti je u praksi izvodljiv, a posebno nije prihvatljiv jer se na taj način uzrokuju gubici kod potrošača. Zato se mora točno odrediti koja su stanja prihvatljiva, a koja nisu. Kako bi se ovo uzelo u obzir, moraju se zadovoljiti već spomenuta četiri tipa ograničenja [84]:

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

1. Topološka ograničenja;
2. Električna ograničenja;
3. Radna ograničenja;
4. Ograničenja u napajanju.

1. Topološka ograničenja

Pošto skoro sve distribucijske mreže imaju topologiju radijalnog karaktera (Slika 3.15), odnosno u mreži ne postoje zatvorene petlje, prilikom primjene bilo kakve optimizacijske metode mora se voditi računa da se kao moguća rješenja ne prihvaćaju ona u kojima postoji ijedna zatvorena petlja. Druga karakteristika topologije je da svaka sabirnica mora biti povezana sa izvorom sa najmanje jednim vodom. Kada se zadovolje ova dva zahtjeva, njihova kombinacija određuje moguću topologiju distribucijskog sustava.



Slika 3.15. Primjer radijalne distribucijske mreže

Topološka ograničenja predstavljaju restrikciju vektora položaja prekidača. Pretpostavimo da u sustavu postoji ukupno $n_s = n_{\text{otvoren}} + n_{\text{zatvoren}}$ prekidača, gdje je n_{otvoren} broj normalno otvorenih prekidača, a n_{zatvoren} broj normalno zatvorenih prekidača. Pošto je mreža radijalna, pri čemu je svaka sabirnica povezana na neki način sa sabirnicom podstanice, nikad ne smije biti više od n_{otvoren} otvorenih prekidača. Otvaranje još jednog prekidača će podijeliti mrežu na dva nepovezana dijela. Zatvaranje još jednog prekidača će proizvesti petlju koja će narušiti radijalni karakter mreže. Stoga, u mreži nikada ne može biti manje od n_{otvoren} otvorenih prekidača.

Drugim riječima, broj otvorenih prekidača u svakom trenutku mora biti točno n_{otvoren} , a broj zatvorenih točno n_{zatvoren} . S ovom restrikcijom ukupan broj mogućih konfiguracija bi bio:

$$\binom{n_s}{n_{\text{otvoren}}} = \binom{n_s}{n_{\text{zatvoren}}} = \frac{n_s!}{n_{\text{otvoren}}! \cdot (n_s - n_{\text{otvoren}})!} \quad (3.75)$$

Predstavljanjem jedne radijalne konfiguracije, nova radijalna konfiguracija može se pronaći primjenom dva jednostavna koraka u implementiranoj proceduri:

- Zatvori točno jedan otvoreni prekidač, nasumice odabran iz seta svih otvorenih prekidača. Ovo će stvoriti petlju u sustavu pošto je ona radijalnog karaktera;

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

- Otvori točno jedan zatvoreni prekidač, nasumice odabran iz seta svih zatvorenih prekidača, a koji je lociran u petlji stvorenoj u prvome koraku.

U cilju pronalaženja potencijalnog prekidača za razbijanje petlje, neophodno je spremiti veći broj povezanih informacija u podacima strukture mreže. Podaci se spremaju u dvije skupine; jedni za sabirnice, a drugi za vodove. Svaki element u sabirničkoj skupini sadrži polje kojim se specificira dolazni vod i polje sa listom odlaznih vodova. U grupi vodova, svaki element sadrži dva polja kojima se specificiraju sabirnice na krajevima vodova.

Ovakva elementarna promjena u konfiguraciji rezultira novom, validnom konfiguracijom koja je na neki način blizu prethodne konfiguracije i može se promatrati kao mala perturbacija prethodnog rješenja. Ova metoda generiranja nove vrijednosti osigurava da će samo moguća konfiguracija biti usvojena. Iako se mogu upotrebljavati i druge metode za generiranje nove moguće točke, ova na jednostavan način osigurava da svako rješenje generirano algoritmom simuliranog kaljenja bude dostupno kroz sekvencu promjene prekidača, što će sve rezultirati konfiguracijama koje zadovoljavaju topološka ograničenja.

2. Električna ograničenja

Obzirom da kroz distribucijski sustav teku struje, ovaj tip ograničenja je isključivo vezan za poštivanje Kirchhoffovih zakona. Ovo je vrlo važno ograničenje koje se mora uzeti u obzir obzirom da distribucijski sustav može biti izuzetno velik, sa tisućama sabirnica.

3. Radna ograničenja

Može se dogoditi da se jedna ili više dobivenih konfiguracija, kojima se dobiva minimum zadane funkcije cilja, odnosno koje daju optimalno rješenje problema, ipak ne mogu uzeti u obzir kao moguća rješenja. Naime, obzirom da svaki element sustava ima svoje fizikalno ograničenje vezano za termička naprezanja, ne može se dozvoliti da bilo koji element sustava radi iznad dopuštenih granica. Stoga, iako neko rješenje daje optimalnu vrijednost funkcije cilja, ukoliko nisu zadovoljena i ova radna ograničenja, takvo rješenje ne može se uzeti u razmatranje. Ova ograničenja mogu se uvrstiti u proračun ograničavanjem struje i napona u odgovarajuće granice.

4. Ograničenja u napajanju

Prilikom odabira optimalnog rješenja mora se voditi računa o činjenici da i potrošači imaju svoje zahtjeve vezane za kvalitetu električne energije kojom su snabdjeveni. To se u prvome redu odnosi na kontinuitet i kvalitetu energije koju primaju. Najčešće je to vezano za kontinuiranu isporuku i postojan napon i frekvenciju. S toga, svaki proizvođač električne energije mora voditi računa da osigura stabilan napon na svakoj sabirnici, za svakog potrošača, tako da se i ova ograničenja moraju uzeti u obzir prilikom određivanja optimalne konfiguracije mreže.

➤ Matematička interpretacija

Svaka sabirnica u sustavu može se klasificirati u jednu od tri kategorije:

1. PQ sabirnica – poznate su injektirana radna i jalova snaga, a nepoznate magnituda (veličina, vrijednost) i kut napona;
2. PV sabirnica – poznate su injektirana radna snaga i magnituda napona, a nepoznate injektirana jalova snaga i kut napona;
3. Referentni čvor – poznata je magnituda i kut napona, a nepoznata injektirana radna i jalova snaga.

U tipičnim distribucijskim sustavima sve sabirnice su PQ sabirnice, osim jedne koja se uzima kao referentni čvor.

U trofaznoj distribucijskoj mreži koja ima ukupno n sabirnica, gdje je sabirnica 1 referentni čvor, vektor nepoznanica je [85]:

$$x = [\theta_2, \dots, \theta_i, |V_2|, \dots, |V_i|]^T \quad (3.76)$$

pri čemu je,

$$\theta_i = [\theta_i^a, \theta_i^b, \theta_i^c]^T \quad (3.77)$$

$$|V_i| = [|V_i^a|, |V_i^b|, |V_i^c|]^T \quad (3.78)$$

gdje je i broj čvora, a a, b, c su oznake faza.

Tada se problem tokova snaga može definirati kao problem pronalaženja x tako da su $\Delta P(x)$ i $\Delta Q(x)$ nula na svakoj PQ sabirnici. Drugim riječima, treba pronaći x tako da je:

$$\Delta P_i^p(x) = 0 \quad (3.79)$$

$$\Delta Q_i^p(x) = 0 \quad (3.80)$$

za $i = 1, 2, 3, \dots$ i $p = a, b, c$ gdje je neslaganje snage dano kao:

$$\Delta P_i^p(x) = P_i^p - |V_i^p| \sum_{k=1}^n \sum_{m=a}^c |V_k^m| \cdot [G_{ik}^{pm} \cdot \cos \theta_{ik}^{pm} + B_{ik}^{pm} \cdot \sin \theta_{ik}^{pm}] \quad (3.81)$$

$$\Delta Q_i^p(x) = Q_i^p - |V_i^p| \sum_{k=1}^n \sum_{m=a}^c |V_k^m| \cdot [G_{ik}^{pm} \cdot \sin \theta_{ik}^{pm} - B_{ik}^{pm} \cdot \cos \theta_{ik}^{pm}] \quad (3.82)$$

Imajući na umu da je matrica admitancija sustava funkcija trenutne konfiguracije mreže u , posljednje jednadžbe mogu biti prikazane u kompaktnoj formi kao ograničenja tipa jednakosti na x i u ,

$$F(x, u) = 0 \quad (3.83)$$

Nakon rješavanja ovog sustava od $(6n - 6)$ nelinearnih algebarskih jednadžbi, injektirana radna i jalova snaga na referentnom čvoru mogu se naći korištenjem jednadžbi:

$$P_i^p = |V_i^p| \sum_{k=1}^n \sum_{m=a}^c |V_k^m| \cdot [G_{ik}^{pm} \cdot \cos \theta_{ik}^{pm} + B_{ik}^{pm} \cdot \sin \theta_{ik}^{pm}] \quad (3.84)$$

$$Q_i^p = |V_i^p| \sum_{k=1}^n \sum_{m=a}^c |V_k^m| \cdot [G_{ik}^{pm} \cdot \sin \theta_{ik}^{pm} - B_{ik}^{pm} \cdot \cos \theta_{ik}^{pm}] \quad (3.85)$$

➤ Algoritam

Pošto je problem tokova snaga sustav nelinearnih algebarskih jednadžbi, ne postoji zatvorena forma rješenja. Stoga su algoritmi koji se koriste za rješavanje ovog problema iterativni. Neslaganja radne i jalove snage se računa uporabom polazne vrijednosti za x , kao trenutna radna točka ili *flat start* konfiguracija. Nakon toga se dobivene vrijednosti koriste za *update* vrijednosti x . Ako je polazno stanje dovoljno blizu rješenju i ako je korištena dobra metoda za *update* x , algoritam će konvergirati u validno rješenje. Ovaj tip algoritma može se prikazati u slijedećim koracima:

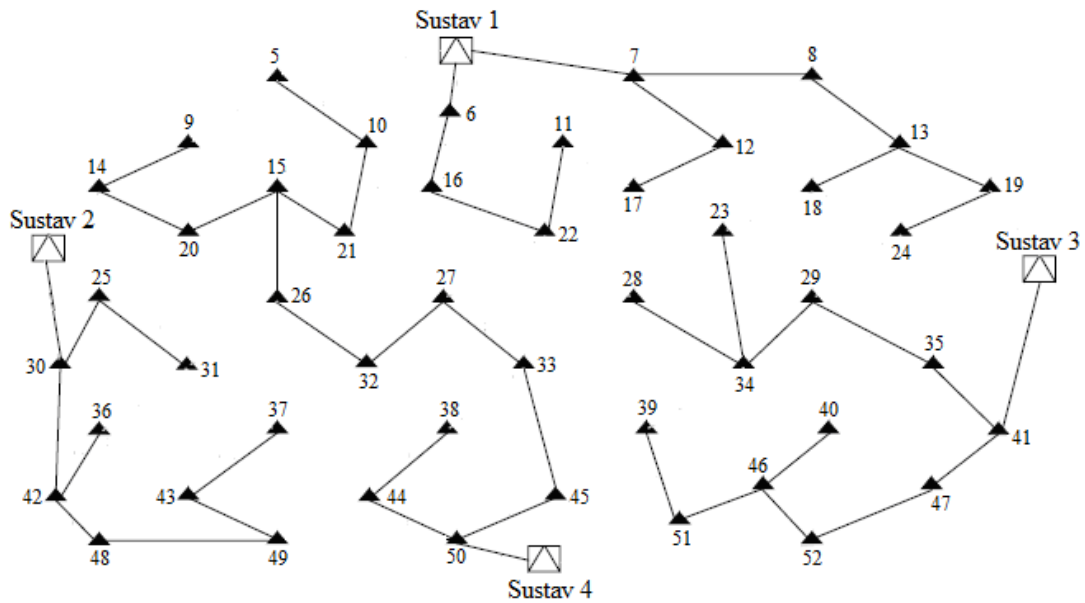
1. Pretpostaviti polaznu vrijednost za x ;
2. Izračunati ΔP i ΔQ ;
3. Upotrijebiti ΔP i ΔQ u narednoj iteraciji za x ;
4. Ponavljati korake 2 i 3 sve dok ΔP i ΔQ ne budu manji od neke tolerancije.

Prikazano rješavanje jednadžbi tokova snaga odnosi se na Newton–Raphsonovu metodu. Osim ove, koristi se i jednostavnija (za manje sustave) Gauss–Seidelova metoda. Ona zahtijeva manje računanja po koraku, dok Newton–Raphsonova metoda zahtijeva računanje matrice Jacobijana. Ipak, Newton–Raphsonova metoda ima bržu kvadratnu konvergenciju i upotrebljava se za proračune kod velikih sustava, dok se Gauss–Seidelova metoda kod velikih sustava često koristi za određivanje prvog, aproksimativnog rješenja, koje zatim postaje polazna vrijednost za Newton–Raphsonovu metodu.

➤ Primjer primjene algoritma

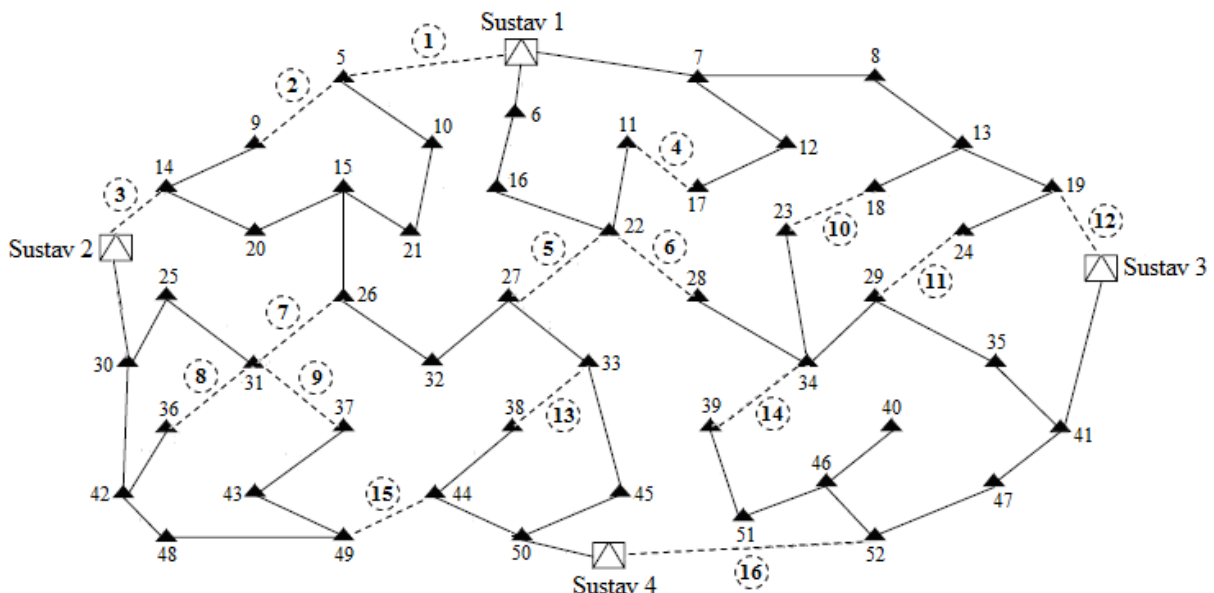
Metoda simuliranog kaljenja može se uspješno primijeniti u širokom spektru optimizacijskih problema. Jedan od primjera gdje se ova metoda može primijeniti je prikazan na slici 3.16.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda



Slika 3.16. Primjer četiri nepovezana distribucijska sustava

Ukoliko se ova četiri nepovezana distribucijska sustava žele električki povezati, te dobiti optimalna konfiguracija, u prvom koraku između ovih sustava se može postaviti proizvoljan broj interkonekcija. Na taj način će odvojeni sustavi međusobno biti povezani, pri čemu se u ovom koraku ne mora voditi računa o tome hoće li nove interkonekcije prouzročiti pojavu zatvorenih petlji ili ne (Slika 3.17).



Slika 3.17. Povezani distribucijski sustav

Odabranim interkonekcijama od četiri nepovezana dobiva se jedan povezan distribucijski sustav. Pošto su interkonekcije nasumice odabrane novoformirani sustav nije radijalnog karaktera, nego u njemu egzistira veći broj petlji.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Ukoliko se, u drugom koraku, dodane interkonekcije promatraju kao prekidači, na novoformirani sustav se može primijeniti metoda simuliranog kaljenja. Primjenom ove metode može se dobiti optimalna konfiguracija, pri čemu će mreža sigurno biti radijalnog karaktera, što je i stvarni cilj.

Ova metoda je naročito prigodna za primjenu kod projektiranja u cijelosti novih distribucijskih sustava. Naime, prostorno se mogu projektirati odvojeni, manji sustavi koje kasnije treba međusobno povezati i napojiti iz jedne točke. Primjenom metode simuliranog kaljenja se, kako je to prikazano, mogu jednostavno odrediti međusobne interkonekcije između sustava i izvora, uz zadovoljavanje svih uvjeta i postizanje optimalnih ciljeva.

U predloženom modelu planiranja niskonaponskih distribucijskih mreža ova metoda se upotrebljava za određivanje optimalne konfiguracije najboljeg prostornog rješenja mreže, a koje se dobiva primjenom hijerarhijskih optimizacijskih metoda.

4. MODEL PLANIRANJA NISKONAPONSKIH DISTRIBUCIJSKIH MREŽA

4.1. OPĆENITO O MODELIMA PLANIRANJA

Sustavnim planiranjem niskonaponskih distribucijskih mreža nastoji se odrediti optimalna konfiguracija niskonaponske distribucijske mreže, za snabdijevanje električnom energijom potrošača raspoređenih na određenom zemljopisnom području. U biti se sastoji od određivanja instalirane, odnosno nazivne snage i lokacije transformatorske stanice, tipova vodiča koje je potrebno upotrijebiti, te prostorne konfiguracije (topologije) niskonaponske distribucijske mreže.

Niskonaponsku distribucijsku mrežu karakteriziraju mala opterećenja potrošača, česta uporaba zračnih vodova i uglavnom veća dužina niskonaponskih izvoda. Temeljni problem kod planiranja niskonaponskih distribucijskih mreža u biti je pronalaženje radijalne konfiguracije mreže sa najnižim ukupnim troškovima, pri čemu se mora voditi računa o nazivnoj snazi i lokaciji transformatorske stanice, smjerovima rasprostiranja i prijenosnoj moći niskonaponskih vodova kojima se snabdijevaju prostorno raspoređeni potrošači sa određenim prognoziranim opterećenjima, toplinskim ograničenjima (transformatori i niskonaponski vodovi), te naponskim razinama.

U uvjetima tržišnog poslovanja, kada kvaliteta električne energije koja se isporučuje krajnjim potrošačima ima jednu od najvažnijih uloga, kao primarni cilj kod planiranja niskonaponskih distribucijskih mreža postavlja se kvaliteta, odnosno razina napona koja kod svakog potrošača mora biti sukladna propisanoj normi.

Nakon toga, gledano iz kuta distribucijske tvrtke, kao naredni cilj se postavlja dovođenje na što nižu razinu gubitaka u mreži, što se može postići pravilnim odabirom vrste vodiča, odnosno kabela mreže i optimalnom prostornom razdiobom niskonaponske distribucijske mreže.

Naravno, od značaja za distribucijsku tvrtku su i troškovi izgradnje jedne ovakve mreže, ali u tržišnim uvjetima zahtjevi kupaca su prioritetni tako da ovi troškovi nisu u prvome planu.

Na kraju, od značaja je i kapacitet, odnosno propusna moć niskonaponskih vodova, koji limitiraju iznose opterećenja koja se moraju prenijeti do krajnjih potrošača. Ovakav problem se može riješiti adekvatnim odabirom tipova i presjeka vodiča.

Dakle, radi se o kompleksnom problemu gdje je istovremeno potrebno riješiti pitanje optimalne lokacije transformatorske stanice i konfiguracije niskonaponske mreže, ali uz uvažavanje spomenutih kriterija.

Pregledom dostupne literature može se konstatirati da se većina istraživanja, kada se radi o modelima planiranja elektroenergetskih mreža, temelji na analizama i softverskim rješenjima vezanim za sredjenaponske distribucijske mreže. Ipak, postoje i određena istraživanja kada su u pitanju niskonaponske distribucijske mreže, iako u manjem obimu. Skoro svi ponuđeni algoritmi koji bi trebali riješiti pitanje planiranja niskonaponskih distribucijskih mreža temelje se na evolucijskom programiranju, korištenju genetskih algoritama, dinamičkoj optimizaciji, stohastičkim pristupima itd. [86], [87], [88], [89].

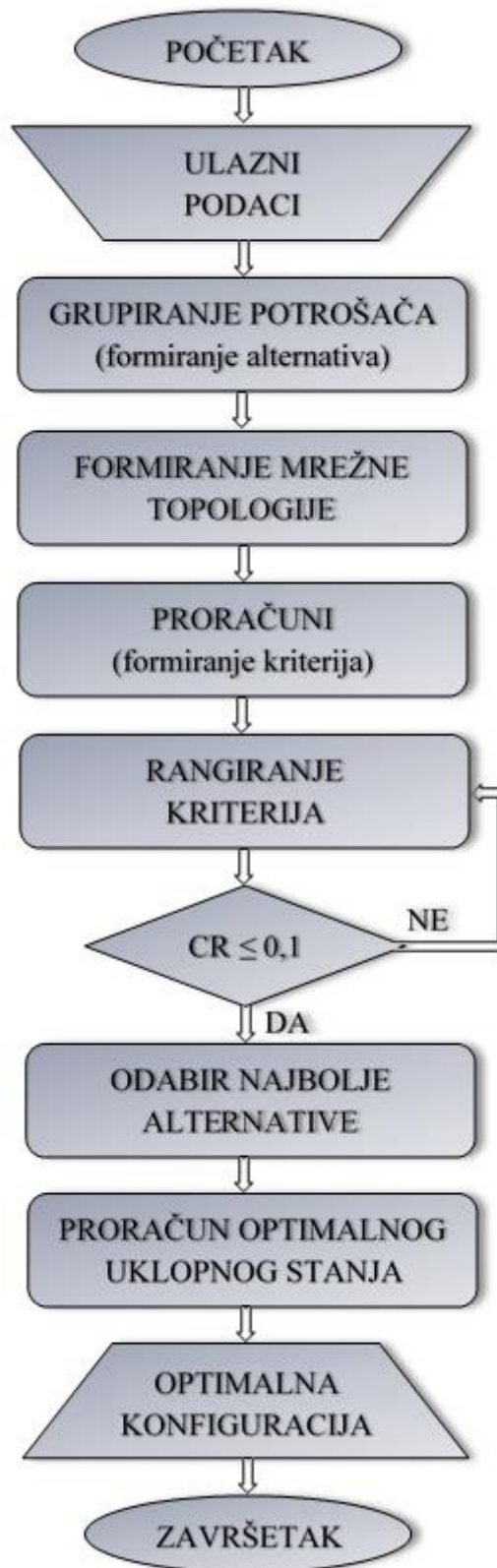
Sve su to veoma dobri i korisni pokušaji rješavanja ovog bitnog pitanja, ali sa jednim važnim nedostatkom. Naime, pregledom dostupnih modela može se doći do zaključka da je većina njih pravljenjena da zadovolji potrebe distribucijskih tvrtki jer su nekako uvijek u prvome planu investicijski troškovi izgradnje i održavanja ovakvih elektroenergetskih objekata. To je razumljivo u jednom monopolističkom sustavu poslovanja kada distribucijske tvrtke imaju monopol na tržištu i kada su praktički svi troškovi tvrtki pokriveni cijenom električne energije koju plaćaju kupci. Međutim, uvođenjem tržišnih uvjeta poslovanja u elektroenergetski sektor situacija se bitno mijenja. Sada potrošači imaju mogućnost izbora vlastitog opskrbljivača električne energije i njihovi zahtjevi dolaze u prvi plan, a to su prije svega opskrba kvalitetnom električnom energijom sa, po mogućnosti, što nižom cijenom. Dakle, ukoliko želi zadržati kupca distribucijska tvrtka mora prvo zadovoljiti uvjete potrošača pa tek onda voditi računa o vlastitim troškovima.

U ovome poglavlju će biti predstavljen jedan novi model planiranja niskonaponskih distribucijskih mreža koji upravo zahtjeve potrošača stavlja u prvi plan. To ni u kom slučaju ne znači da se interesi tvrtke stavljaju u drugi plan jer se sam model temelji na vrednovanju određenih kriterija, koji su opet subjektivna stvar inženjera–planera uposlenih u distribucijskim tvrtkama. Ipak, prijedlog je da kvaliteta isporučene električne energije, prije svega naponska razina, igra najvažniju ulogu, pa tek onda svi kriteriji neophodni za donošenje konačne odluke, odnosno rješenja.

Predloženi model temelji se na uporabi suvremenih hijerarhijskih i stohastičkih algoritama opisanim u poglavlju 3. Svi algoritmi su specijalno programirani i prilagođeni modelu. Vrlo su jednostavni za primjenu i iskusnim inženjerima mogu biti veoma koristan alat pri rješavanju problema planiranja niskonaponskih distribucijskih mreža. Ovaj model se bez ikakvih problema može primijeniti i u planiranju sredjenaponskih distribucijskih mreža.

4.2. DIJAGRAM TOKA

Model planiranja niskonaponskih distribucijskih mreža, korištenjem spomenutih hijerarhijskih i stohastičkih metoda, može se jednostavno prikazati kao na dijagramu toka prikazanom na slici 4.1.



Slika 4.1. Dijagram toka predloženog modela planiranja niskonaponskih distribucijskih mreža

4.3. KORACI PREDLOŽENOG MODELA PREMA DIJAGRAMU TOKA

Predloženi model planiranja niskonaponskih distribucijskih mreža u konačnici treba ponuditi optimalnu konfiguraciju niskonaponske distribucijske mreže, koja daje najmanje vrijednosti padova napona na niskonaponskim izvodima, odnosno u zadanim granicama, kao i minimalne gubitke snage cjelokupne distribucijske mreže. To su dva temeljna uvjeta koja moraju biti zadovoljena kada su u pitanju zahtjevi potrošača za kvalitetnom opskrbom električnom energijom (padovi napona), te temeljni kriterij koji će zadovoljiti potrebe distribucijske tvrtke (gubici snage).

Dakle, ako sa x_{opt} označimo optimalnu konfiguraciju distribucijske mreže, a sa $f(x)$ funkciju cilja primjenom modela treba se dobiti funkcija za koju vrijedi,

$$f(x_{opt}) \leq f(x), \quad \forall x \in S \quad (4.1)$$

gdje je S set svih mogućih rješenja x , uz uvjet minimiziranja gubitaka u mreži i održavanje padova napona u unaprijed zadanim granicama, odnosno

$$\begin{aligned} & \underset{x \in S}{\text{minimize}} P_{gub} \\ & \underset{x \in S}{\text{minimize}} Q_{gub} \end{aligned} \quad (4.2)$$

$$-10\% (U_n) \leq \Delta u \leq +10\% (U_n)$$

Cjeloviti model može se definirati i objasniti u nekoliko koraka koji su prikazani dijagramom toka na slici 4.1.

4.3.1. Ulazni podaci

Za proračune tokova snaga u distribucijskoj mreži potrebno je poznavati pojedinačna opterećenja potrošača koji se napajaju preko niskonaponske distribucijske mreže, te je stoga potrebno imati odgovarajuće podatke o samim potrošačima kako bi se došlo do podataka o opterećenjima. Za to je potrebno imati podatke o ukupnoj godišnjoj utrošenoj energiji svakog potrošača, kao i jednostavno, satno mjerenje opterećenja svakog od niskonaponskih izvoda, kao i same transformatorske stanice. Temeljem ovih podataka je metodom vršnih opterećenja moguće odrediti vršno opterećenje svakog od potrošača, kako je to opisano u poglavlju 2.3.1.

Ukoliko se radi o planiranju, odnosno projektiranju u cijelosti nove niskonaponske distribucijske mreže onda ovi podaci, naravno, nemaju smisla, te se vrši približna procjena opterećenja potrošača primjenom procijenjenog faktora istodobnosti potrošnje, uz uvažavanje određenih posebnosti, odnosno karakteristika samih potrošača (Poglavlje 2.3.1).

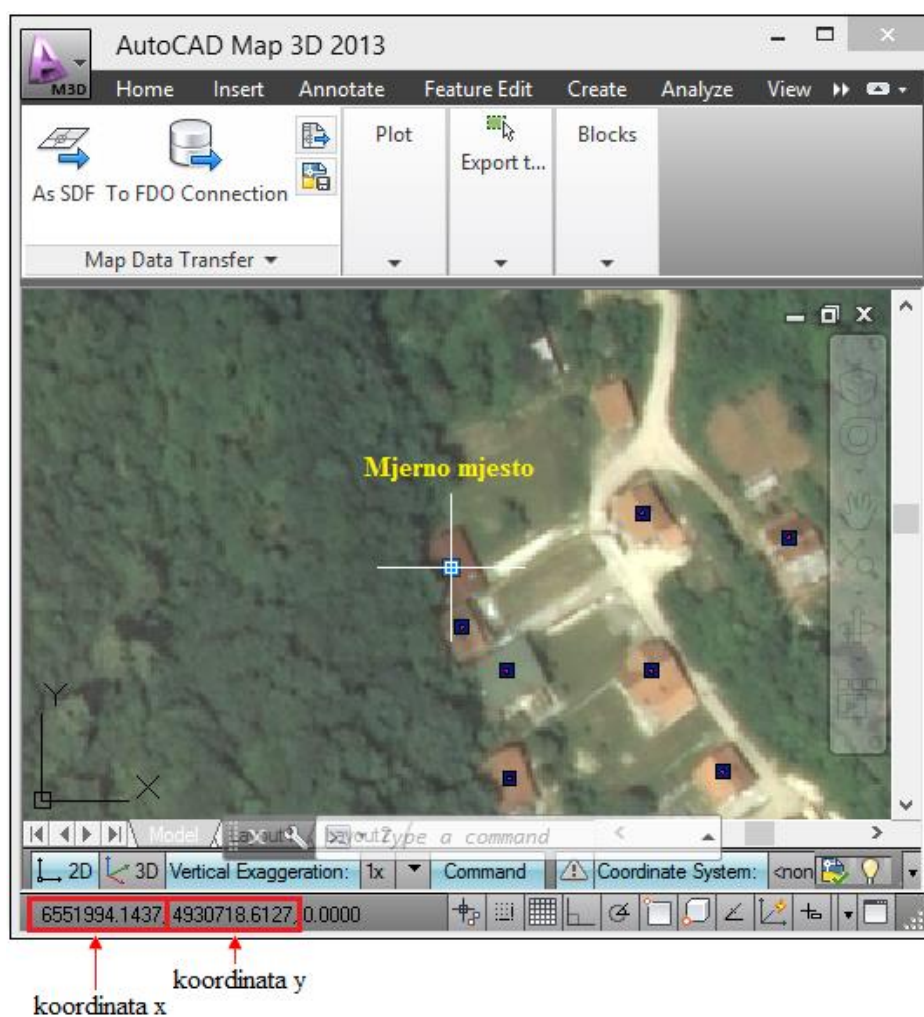
Za bilo kakve proračune u dobivenoj niskonaponskoj distribucijskoj mreži je potrebno poznavati i parametre mreže. Tu se prvenstveno misli na karakteristike transformatorske stanice

Poboljšani model planiranja niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

koju je potrebno ugraditi, kao i na temeljne parametre vodova i to prije svega na presjeke vodova koji će se upotrebljavati u topološkoj konfiguraciji mreže, odnosno na otpornosti (R i X) svakog predloženog tipa voda.

Kada su vodovi u pitanju, potrebno je poznavati i njihove dužine kako bi se mogli vršiti proračuni, ali one ne spadaju u polazne ulazne podatke jer se ti podaci dobivaju kasnijim crtanjem mreže, te se određuju na georeferenciranim zemljopisnim kartama (podlogama).

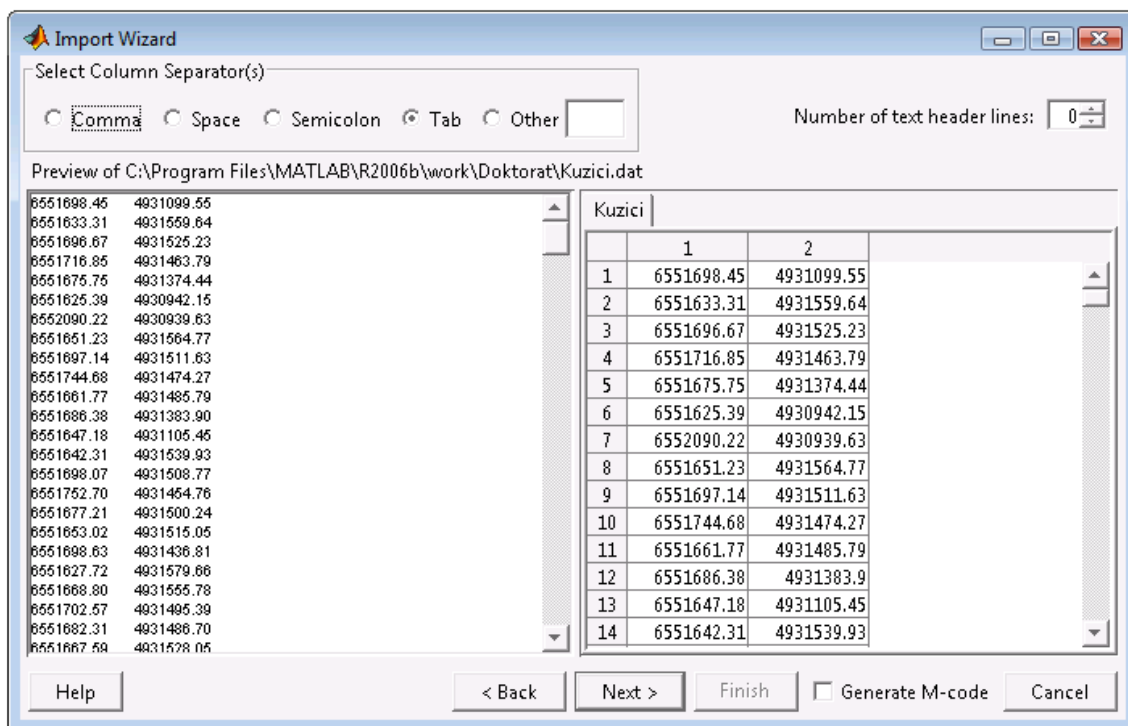
Cjelovita grafička interpretacija predloženog modela temelji se na georeferenciranim zemljopisnim kartama (podlogama). Na tim kartama je vrlo jednostavno doći do *zemljopisnih koordinata mjernih mjesta* svakoga potrošača kojeg je putem isplanirane distribucijske mreže potrebno opskrbiti električnom energijom, kako je to prikazano na slici 4.2.



Slika 4.2. Zemljopisne koordinate mjernog mjesta

Dakle, označavanjem mjernih mjesta i čitanjem zemljopisnih koordinata za svako od njih, sa georeferencirane podloge, u prigodnom programskom alatu (AutoCAD i sl.) dobiva se set podataka neophodnih za daljnji tijek primjene modela. Ovi podaci se u Matlab-u smještaju u jednu *.dat* datoteku (Slika 4.3) i koriste se kao ulazni podaci algoritma grupiranja potrošača.

Poboljšani model planiranja niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda



Slika 4.3. Zemljopisne koordinate mjernih mjesta u .dat datoteci

U ovom modelu ovi podaci se koriste za grupiranje budućih potrošača, odnosno u konačnici dobivanje alternativa (varijanti) čijom prigodnom procjenom se dobiva optimalno rješenje.

4.3.2. Formiranje alternativa

Nakon što se definiraju koordinate mjernih mjesta svih potrošača koje je potrebno priključiti na distribucijsku mrežu, prije svega je nužno odrediti veličinu (tip) transformatorske stanice preko koje će potrošači biti opskrbljeni električnom energijom. Veličina transformatorske stanice, a samim tim i njen tip, može se odrediti temeljem proračuna danim u poglavlju 2.3 ovisno da li se radi o postojećem konzumu ili je potrebno izvršiti planiranje za u cijelosti novi konzum.

Ukoliko se radi o postojećem konzumu onda se veličina transformatorske stanice određuje temeljem zbirnog opterećenja svih potrošača. Pojedinačna opterećenje potrošača mogu se dobiti metodom vršnih opterećenja temeljem godišnje ostvarene energije svakog potrošača i jednodnevnog satnog očitavanja opterećenja svih niskonaponskih izvoda transformatorske stanice. Zbrajanjem ovih opterećenja dobiva se minimalna potrebna snaga transformatorske stanice.

Ukoliko se vrši planiranje u cijelosti novoga konzuma onda se opterećenje svakog potrošača može procijeniti uzimajući u obzir faktor istodobnosti opterećenja, pri čemu se moraju poznavati i određene individualne posebnosti i navike potrošača. Zbrajanjem pojedinačnih opterećenja potrošača dobiva se minimalno potrebna snaga transformatorske stanice (na primjer, $115 \text{ kupaca} \times 1,1 \text{ kW/kupcu} = 126,5 \text{ kW}$, odnosno odabire se tipska transformatorska stanica instalirane snage 160 kVA).

Poboljšani model planiranja niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

U oba ova slučaja mora se voditi računa da odabrani tip transformatorske stanice zadovolji potrebe potrošača, ali da istovremeno ne smije dolaziti do preopterećenja same transformatorske stanice. Stoga uvijek treba odabrati snagu transformatorske stanice makar za jedan stupanj (tipski) veću nego što to pokaže proračun.

Pri odabiru veličine transformatorske stanice poželjno je poznavati i perspektivu razvoja transformatorskog područja, odnosno prognozu potrošnje područja, kako bi se i ovaj faktor mogao uzeti u obzir. Na taj način bi se osiguralo da transformatorska stanica može sigurno raditi u određenom budućem vremenskom periodu, bez pojave preopterećenja i eventualnih kvarova zbog preopterećenja. To je jako bitno jer je osim opskrbe kvalitetnom električnom energijom sigurnost u napajanju potrošača veoma važan faktor u tržišnim uvjetima poslovanja.

Isto tako, treba imati na umu da se transformatorske stanice do 250 kVA izgrađuju kao stupne, dok se transformatorske stanice veće snage izgrađuju kao zasebni građevinski objekti za koje je potrebno osigurati znatno veće građevinsko zemljište. Ovo dolazi do izražaja kod određivanja lokacije transformatorske stanice, jer je za stupne izvedbe potrebno znatno manje prostora i puno je lakše rješavanje imovinsko–pravnih odnosa. U slučaju nemogućnosti rješavanja imovinsko–pravnih odnosa pomicanje lokacije transformatorske stanice dovodi do njenog dislociranja iz centra konzuma, što nije dobro.

Dakle, kada se donosi odluka o veličini i tipu transformatorske stanice sve navedene činjenice je potrebno razmotriti i donijeti odluku koja će sve zadovoljiti, pri čemu se ipak najviše mora voditi računa o rezervi snage kako bi potrošači imali stabilno i sigurno napajanje.

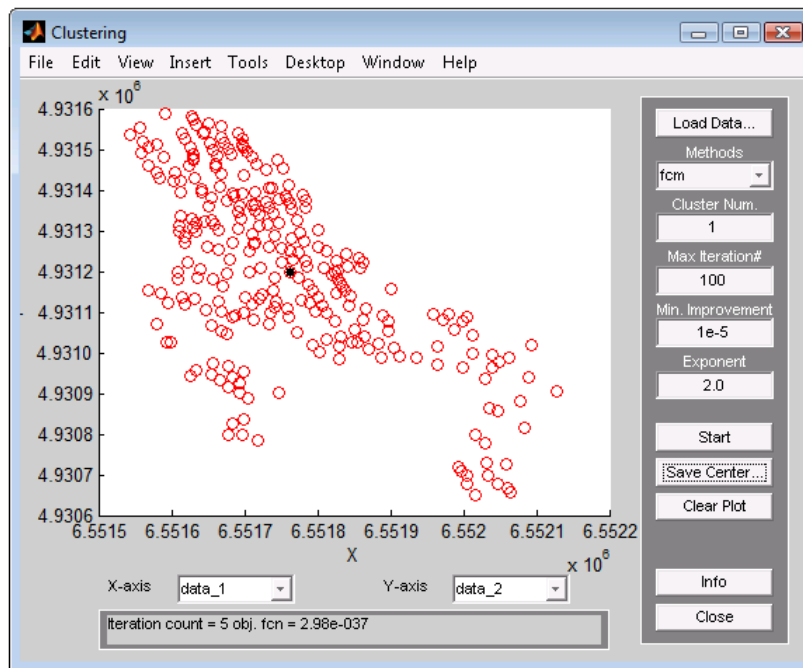
Nakon određivanja veličine i tipa transformatorske stanice potrebno je odrediti i njenu lokaciju. Prirodno je da transformatorska stanica bude smještena u prostornom centru potrošnje jer prevelika dislociranost znači duže niskonaponske izvode, a samim time i veće padove napona kod krajnjih potrošača, što se ne smije dozvoliti.

Za određivanje lokacije transformatorske stanice kao vrlo prigodan se pokazuje algoritam neizrazitog grupiranja (*eng. fuzzy clustering*). Korištenjem *Matlab Fuzzy Toolbox-a* i promatranjem svih potrošača kao jedne jedinstvene skupine, specijaliziranim algoritmom se dobivaju zemljopisne koordinate centra potrošnje. Pokretanjem dijela programskog koda

```
%Ucitavanje podataka
    load Kuzici.dat

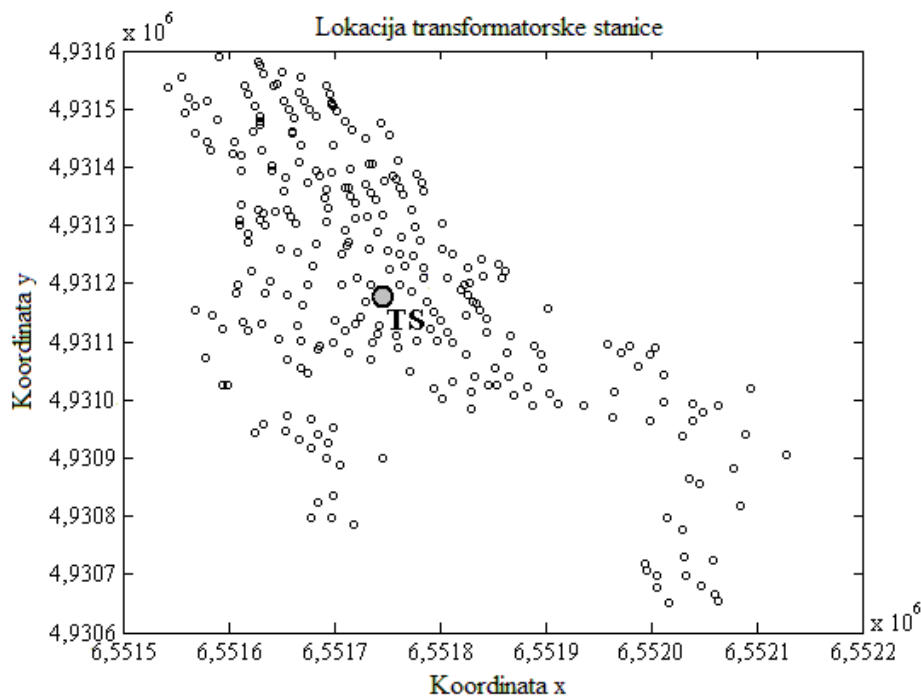
%Pronalazenje centra konzuma
    findcluster
    pause;
```

dobiva se dijaloški okvir (Slika 4.4) pomoću kojeg se dobivaju koordinate prostornog centra konzuma, odnosno lokacije transformatorske stanice, koje se snimaju u novu *.dat* datoteku radi daljnje uporabe.



Slika 4.4. Dijaloški okvir za pronalaženje centra konzuma

Transformatorska stanica treba biti smještena u centru konzuma. U ovisnosti o koncentraciji drugih građevinskih objekata je moguće njeno blago prostorno pomicanje, koje ne bi trebalo biti preveliko. Prihvatljivo je blago pomicanje u koncentričnom krugu oko centra potrošnje. Tako se znatno ne mijenja topologija buduće mreže kao ni rezultati proračuna bitnih za odabir konačnog rješenja. Jedan primjer je prikazan na slici 4.5.



Slika 4.5. Lokacija transformatorske stanice – prostorni centar konzuma

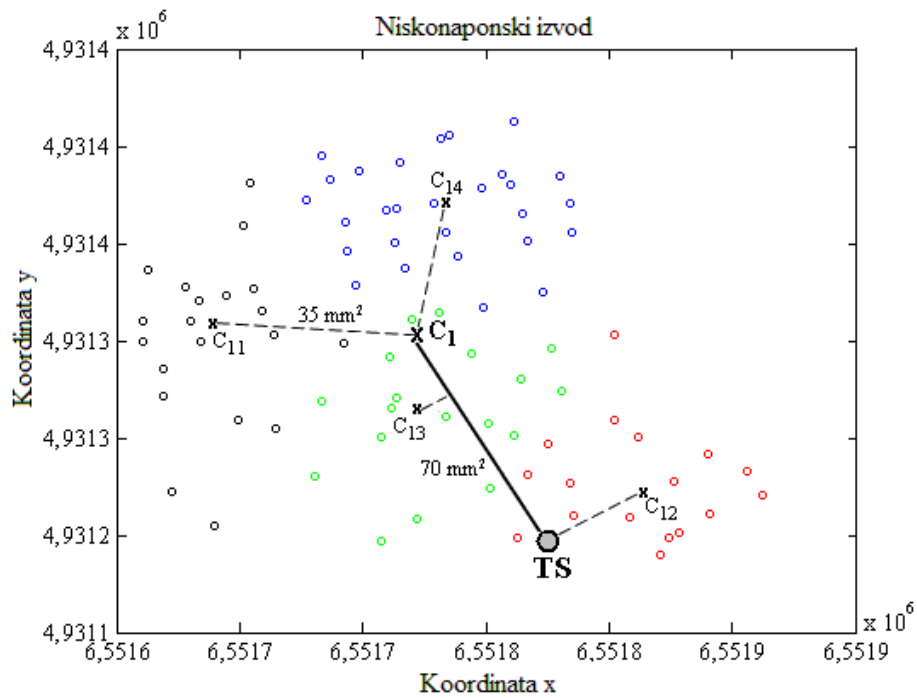
Nakon što se odredi veličina i lokacija transformatorske stanice, uporabom istog algoritma moguće je izvršiti prostorno grupiranje potrošača u određeni broj skupina:

```
%Pronalazenje clustera
n=input('Unesi broj clustera:');
figure
[center,U]=fcm(Kuzici,n);
maxU=max(U);
l=0;
for i=1:n
    indexi=find(U(i,)==maxU);
    [X]=Kuzici(indexi,1);
    [Y]=Kuzici(indexi,2);
    Clusteri=[X Y];
    A=['Cluster',num2str(i),'.dat'];
    save(A,'Clusteri','-ascii','-tabs');
    l=l+1;
end
```

Broj dobivenih skupina praktički definira broj niskonaponskih izvoda transformatorske stanice. Na isti način, ukoliko je to potrebno, moguće je unutar jedne skupine definirati i podskupine:

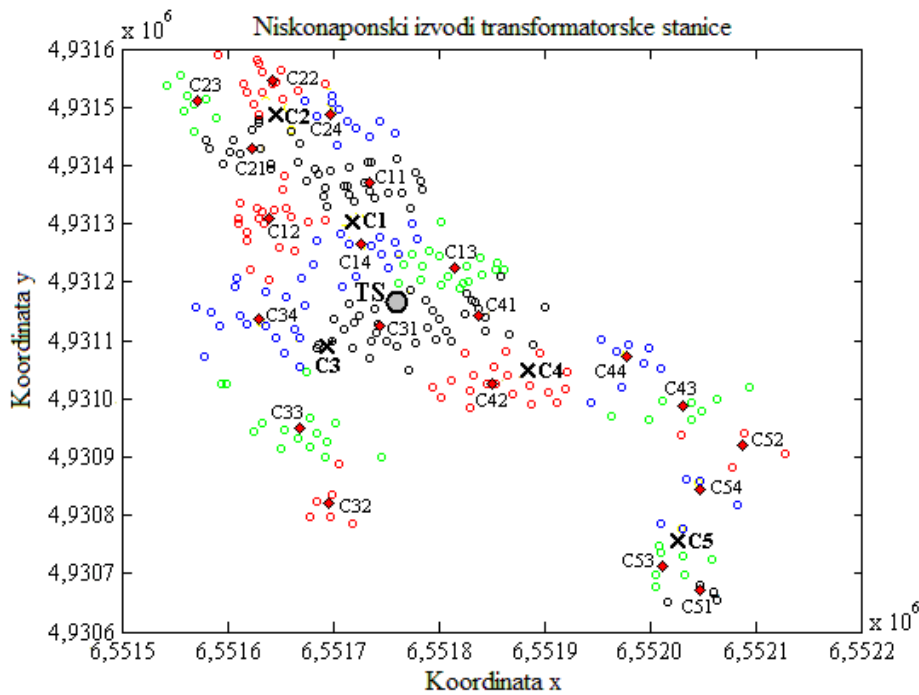
```
%Pronalazenje podclusterera
k=input('Unesi broj podclusterera:');
for m=1:l
    A=['Cluster',num2str(m),'.dat'];
    load(A,'-ascii')
    B=['Centar',num2str(m),'.dat'];
    load(B,'-ascii')
    D=Cluster(m)
    [center,U]=fcm(D,k);
    maxU=max(U);
    figure
    for i=1:k
        indexi=find(U(i,)==maxU);
        [X]=D(indexi,1);
        [Y]=D(indexi,2);
        Podclusteri=[X Y];
        C=['Podcluster',num2str(i),'.dat'];
        save(C,'Podclusteri','-ascii','-tabs');
    end
end
end
```

Definiranjem skupina moguće je definirati i njihove prostorne centre. Unutar jedne skupine mogu se definirati i prostorni centri podskupina. Sve ovo služi kao orijentacija u kom smjeru je potrebno vršiti izgradnju mreže, odnosno koje tipove vodiča je potrebno odabrati. Na slici 4.6 je prikazan primjer razdiobe jedne skupine na podskupine sa danim prostornim centrima, kako same skupine tako i definiranih podskupina unutar nje. U biti, u ovom modelu, skupina definira jedan niskonaponski izvod kojeg je potrebno izgraditi iz transformatorske stanice do krajnjih potrošača, a podskupine su bliži orijentiri za izgradnju mreže.



Slika 4.6. Niskonaponski izvod sa podskupinama potrošača

Ponovi li se postupak za odabrani broj niskonaponskih izvoda, u konačnici se dobiva prostorno locirana transformatorska stanica, u centru konzuma, te prostorno grupirane skupine potrošača koje određuju broj niskonaponskih izvoda i smjernice prostornog rasprostiranja mreže, kao što je to prikazano na slici 4.7.



Slika 4.7. Prostorni raspored skupina i podskupina potrošača i njihovih centara i podcentara

Primjenom algoritma neizrazitog grupiranja može se predložiti niz rješenja jer čak ni najiskusniji inženjeri ne mogu precizno i točno odrediti topološki izgled niskonaponske distribucijske mreže, niti broj niskonaponskih izvoda kojima je potrebno električnu energiju dovesti do krajnjih potrošača.

Dakle, ovim algoritmom može se dati niz rješenja od kojih je potrebno odabrati najbolje. Ova rješenja u daljnjem tumačenju modela će se nazivati *alternative* ili *varijante*.

Alternative ili varijante u stvari predstavljaju niskonaponske mreže transformatorske stanice sa dva, tri ili više niskonaponskih izvoda. Određene su brojem skupina potrošača koje se dobivaju algoritmom neizrazitog grupiranja.

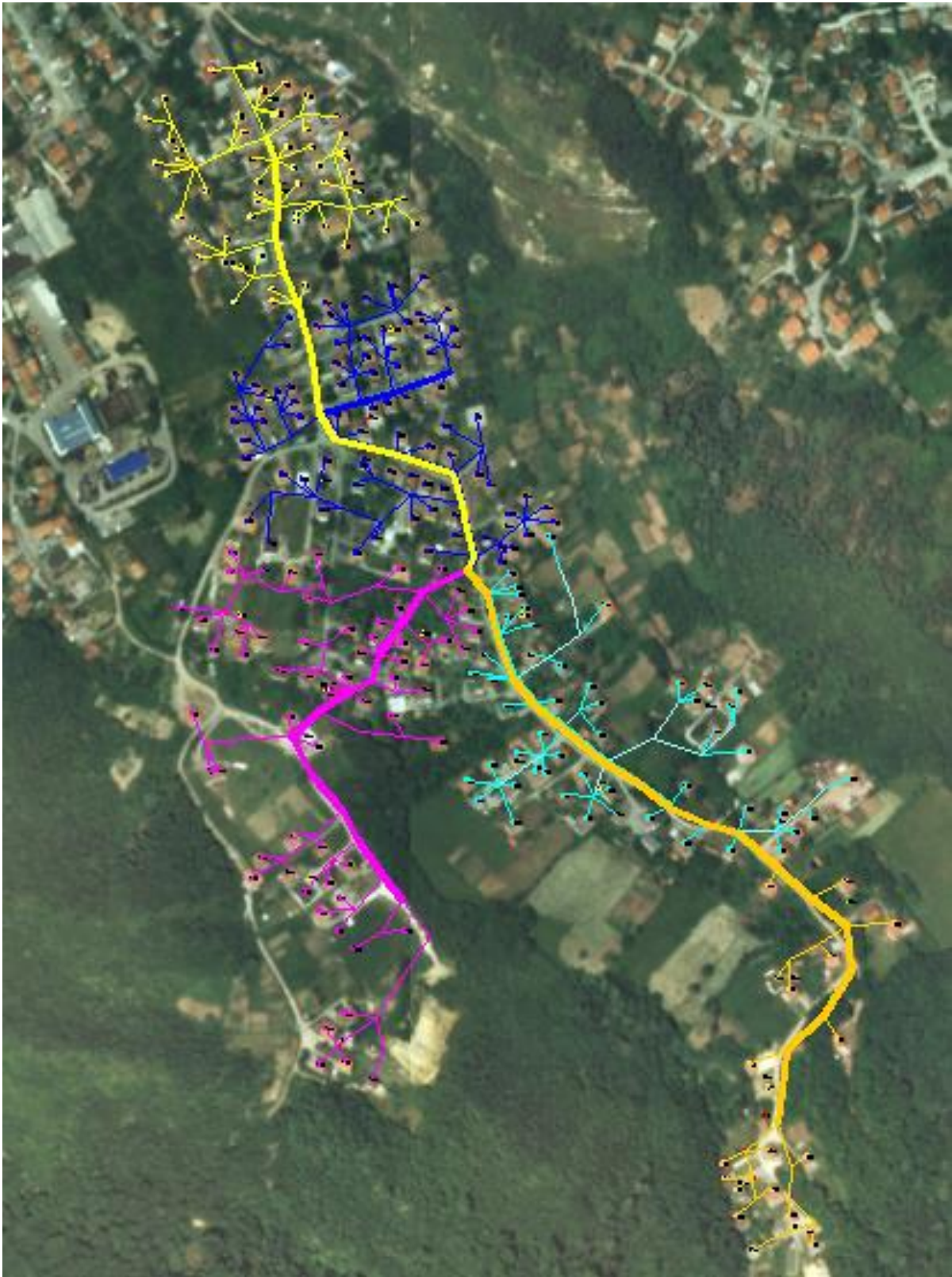
U biti, može se napraviti onoliko alternativa koliko inženjer–planer smatra da treba, ali tu postoji ograničenje koje je povezano sa veličinom i tipom transformatorske stanice. Naime, stupne transformatorske stanice su manjih snaga i u pravilu se grade sa manjim brojem niskonaponskih izvoda (obično do četiri). Stoga se kod ovakvih transformatorskih stanica obično prave alternative sa jednim, dva, tri ili četiri izvoda. Kod transformatorskih stanica većih snaga, sa većim brojem niskonaponskih izvoda obično se prave alternative sa pet, šest, sedam i više niskonaponskih izvoda.

Iskusan inženjer samim pogledom na prostorni raspored potrošača može približno odrediti broj potrebnih niskonaponskih izvoda, ali to ne mora uvijek biti dobra procjena jer za odabir najboljeg rješenja nije dovoljna samo dobra prostorna razdioba. Algoritam neizrazitog grupiranja će dati dobru prostornu razdiobu, ali ona ne znači i najbolje rješenje jer se u obzir mora uzeti i niz drugih faktora kako bi se dobilo najbolje rješenje. Dobro prostorno rješenje ne znači i optimalno, pogotovo kada su u pitanju energetske pokazatelji, prije svih padovi napona kod krajnjih potrošača i gubici radne snage u niskonaponskim vodovima.

U ovome koraku je potrebno samo odabrati određeni broj alternativa, a pitanje najboljih će se rješavati u narednim koracima. Bez obzira koliki se broj alternativa odabere, temeljni cilj cijelog modela je odabrati najbolju, a zatim odrediti njenu optimalnu topologiju, odnosno optimalno uklopno stanje niskonaponske distribucijske mreže.

4.3.3. Formiranje mrežne topologije

Određivanjem lokacije transformatorske stanice i grupiranjem potrošača stvaraju se uvjeti za formiranje topologije niskonaponske distribucijske mreže. Vodeći računa o prostornom rasporedu objekata, putova i sl. temeljem dobivenih podataka algoritmom neizrazitog grupiranja, iskusan inženjer je u mogućnosti da na georeferenciranim kartama iscrta distribucijsku mrežu. U ovome koraku inženjersko iskustvo je od iznimno važnog značaja jer se pravilnim crtanjem mreže dobivaju vrlo važni podaci za daljnji tijek procesa planiranja. Što su ovi podaci točniji, konačno rješenje je preciznije. Jedan od najpogodnijih softverskih paketa za iscrtavanje mreže je AutoCAD. Primjer jedne iscrtane mreže je prikazan na slici 4.8.

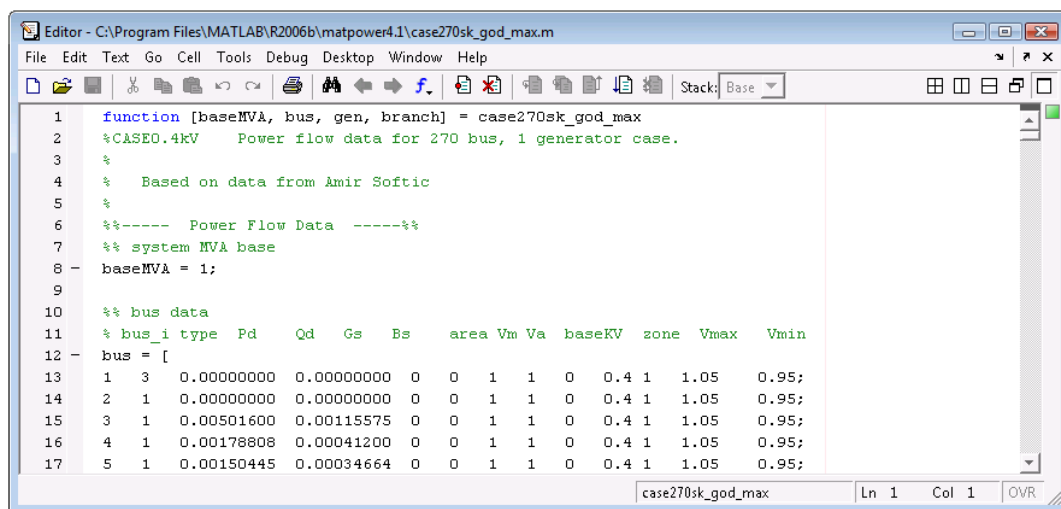


Slika 4.8. *Primjer niskonaponske distribucijske mreže*

4.3.4. Proračuni – formiranje kriterija

Isertavanjem niskonaponskih mreža dobiva se topološki izgled svih alternativa. Temeljem toga se, međutim, ne može donijeti odluka koja od ponuđenih alternativa je najbolja za dano područje. Kako bi se mogla donijeti kvantitativna ocjena ponuđenih rješenja nužno je uspostaviti određene kriterije temeljem kojih će se izvršiti vrednovanje ponuđenih alternativa. Zato je potrebno izvršiti određene proračune koji će ponuditi kriterije za ocjenu alternativa. Crtanjem niskonaponske distribucijske mreže na georeferenciranim kartama se osim topologije mreže dobivaju i podaci o karakteristikama i dužinama niskonaponskih vodova.

Temeljni proračun koji se primjenjuje kod svih elektroenergetskih mreža je *proračun tokova snaga*. Ulazni podaci za ovaj proračun su: opterećenje potrošača koje se dobiva ranije prezentiranim proračunom, parametri transformatorske stanice, te parametri niskonaponskih vodova R i X (Slike 4.9 i 4.10).

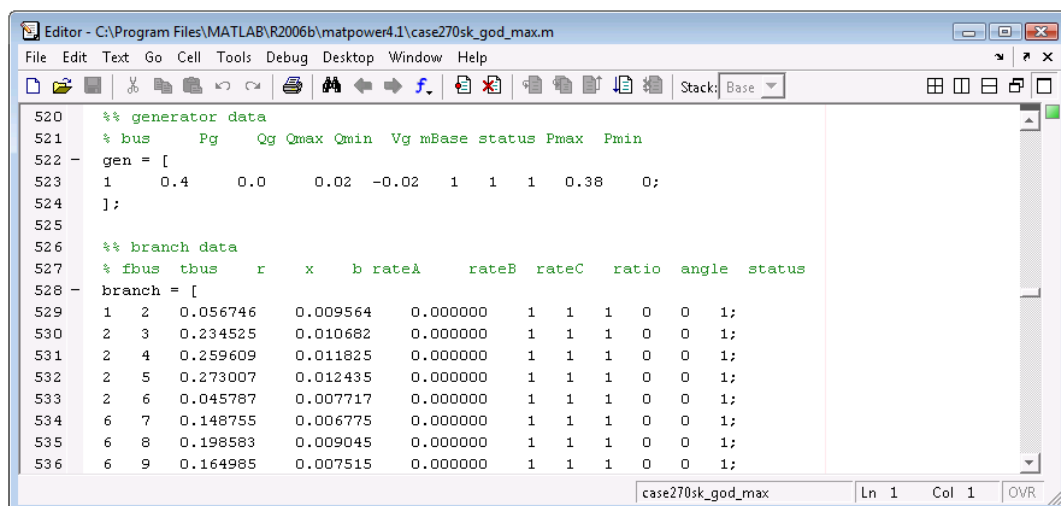


```

1 function [baseMVA, bus, gen, branch] = case270sk_god_max
2 %CASE0.4kV Power flow data for 270 bus, 1 generator case.
3
4 % Based on data from Amir Softic
5
6 %%----- Power Flow Data -----%
7 %% system MVA base
8 baseMVA = 1;
9
10 %% bus data
11 % bus_i type Pd Qd Gs Bs area Vm Va baseKV zone Vmax Vmin
12 bus = [
13 1 3 0.00000000 0.00000000 0 0 1 1 0 0.4 1 1.05 0.95;
14 2 1 0.00000000 0.00000000 0 0 1 1 0 0.4 1 1.05 0.95;
15 3 1 0.00501600 0.00115575 0 0 1 1 0 0.4 1 1.05 0.95;
16 4 1 0.00178808 0.00041200 0 0 1 1 0 0.4 1 1.05 0.95;
17 5 1 0.00150445 0.00034664 0 0 1 1 0 0.4 1 1.05 0.95;

```

Slika 4.9. Podaci o opterećenju sabirnica za proračun tokova snaga



```

520 %% generator data
521 % bus Pg Qg Qmax Qmin Vg mBase status Pmax Pmin
522 gen = [
523 1 0.4 0.0 0.02 -0.02 1 1 1 0.38 0;
524 ];
525
526 %% branch data
527 % fbus tbus r x b rateA rateB rateC ratio angle status
528 branch = [
529 1 2 0.056746 0.009564 0.000000 1 1 1 0 0 1;
530 2 3 0.234525 0.010682 0.000000 1 1 1 0 0 1;
531 2 4 0.259609 0.011825 0.000000 1 1 1 0 0 1;
532 2 5 0.273007 0.012435 0.000000 1 1 1 0 0 1;
533 2 6 0.045787 0.007717 0.000000 1 1 1 0 0 1;
534 6 7 0.148755 0.006775 0.000000 1 1 1 0 0 1;
535 6 8 0.198583 0.009045 0.000000 1 1 1 0 0 1;
536 6 9 0.164985 0.007515 0.000000 1 1 1 0 0 1;

```

Slika 4.10. Podaci o transformatorskoj stanici i vodovima za proračun tokova snaga

Poboljšani model planiranja niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Ovim proračunom dobivaju se podaci o padovima napona i gubicima snage u svakome dijelu distribucijske mreže. Ovaj proračun može se provesti primjenom bilo kojeg softverskog paketa za proračun tokova snaga, kao što su Matpower, PowerCAD i sl. Rezultati jednog takvog proračuna su prikazani na slici 4.11.

```

MATLAB 7.3.0 (R2006b)
File Edit Debug Desktop Window Help
C:\Program Files\MATLAB\R2006b\matpower4.1
Shortcuts How to Add What's New

To get started, select MATLAB Help or Demos from the Help menu.

>> runpf 'case270postojeece_god_max'

MATPOWER Version 4.1, 14-Dec-2011 -- AC Power Flow (Newton)

Newton's method power flow converged in 4 iterations.

Converged in 0.31 seconds

=====
| System Summary |
=====

How many?          How much?          P (MW)          Q (MVar)
-----
Buses              365              Total Gen Capacity  0.4              -0.0 to 0.0
Generators         1                On-line Capacity   0.4              -0.0 to 0.0
Committed Gens    1                Generation (actual) 0.4              0.1
Loads             265              Load              0.4              0.1
  Fixed           265              Fixed              0.4              0.1
  Dispatchable   0                Dispatchable      0.0 of 0.0      0.0
Shunts            0                Shunt (inj)       0.0              0.0
Branches         364              Losses (I^2 * Z)  0.02             0.00
Transformers     0                Branch Charging (inj) -                0.0
Inter-ties       0                Total Inter-tie Flow 0.0              0.0
Areas            1

                               Minimum          Maximum
-----
Voltage Magnitude  0.855 p.u. @ bus 269  1.000 p.u. @ bus 999
Voltage Angle      0.00 deg @ bus 999   0.48 deg @ bus 269
P Losses (I^2*R)   -                    0.018183 MW @ line 108-1063
Q Losses (I^2*X)   -                    0.003124 MVar @ line 108-1063

```

Slika 4.11. Rezultati proračuna tokova snaga u Matlab-u (Matpower)

Dakle, proračunom tokova snaga dobivaju se prva dva kriterija temeljem kojih će se vrednovati alternative, a to su:

- Padovi napona kod krajnjih potrošača;
- Gubici snage u niskonaponskim vodovima.

Padovi napona su vrlo važni gledano iz kuta potrošača jer svaki kupac želi imati stabilne naponske prilike, dok su gubici snage značajni za distribucijske tvrtke jer o njima ovisi i njihova dobit. Pravilnim odabirom trasa vodova i presjeka vodiča prilikom crtanja niskonaponske distribucijske mreže padovi napona i gubici se mogu svesti na što nižu razinu.

Ova dva kriterija bi trebala biti najvažniji kriteriji za ocjenu ponuđenih rješenja i u svakom slučaju bi trebali biti uključeni u model planiranja jer su na određeni način glavni pokazatelji interesa potrošača s jedne strane i interesa distribucijske tvrtke s druge strane.

Poboljšani model planiranja niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Broj kriterija, kao ni broj alternativa nije precizno definiran. Što više, veći broj kriterija znači kvalitetniji i pouzdaniji odabir alternative. Zato, za dobivanje najbolje ocjene ponuđenih rješenja nije dovoljno poznavati samo padove napona i gubitke snage u niskonaponskoj distribucijskoj mreži. Ovi podaci mogu poslužiti kao određeni kriteriji temeljem kojih će se donositi odluka, ali nisu dovoljni. Kako bi odluka bila što preciznija i kvalitetnija potrebno je uvesti i neke druge kriterije koji isključivo ovise o interesima distribucijske tvrtke, potrošača električne energije ili osobne procjene inženjera. Neki od njih su investicijski troškovi, troškovi održavanja, pouzdanost i sigurnost isporuke, isplativost investicije, opterećenost vodova i sl.

4.3.5. Rangiranje kriterija i alternativa

Za donošenje konačne odluke, odnosno odabir najpovoljnijeg rješenja, potrebno je usuglasiti sve kriterije i izvršiti rangiranje svih ponuđenih rješenja. Kao vrlo prigodan alat za takav proračun je AHP metoda (*eng. Analytic Hierarchy Process*). Ova metoda se u biti temelji na odabiru najboljeg rješenja (alternative, varijante) vrednovanjem svakog rješenja sa određenim zadanim kriterijima.

Cjelokupan postupak proračuna se provodi u Microsoft Excel-u i za njega nije potrebno imati posebna softverska rješenja. Potrebno je samo dosljedno provesti postupak opisan u poglavlju 3.2.2.

Prvi korak za primjenu ove metode je formiranje određenog broja alternativa od kojih treba odabrati najbolju. To se kod predloženog modela postiže u koraku neizrazitog grupiranja kada se mogu formirati varijante niskonaponske mreže sa pet, šest, sedam ili više niskonaponskih izvoda. U koraku crtanja topologije mreže potrebno je iscrtati sve ove mreže, te se na taj način dobiva potreban broj varijanti niskonaponske distribucijske mreže od kojih je potrebno odabrati najbolju.

U drugom koraku je potrebno formirati kriterije temeljem kojih će se izvršiti rangiranje alternativa. Što se tiče niskonaponskih distribucijskih mreža ti kriteriji mogu biti, na primjer:

- Padovi napona kod krajnjih potrošača;
- Gubici snage u vodovima;
- Opterećenje vodova;
- Investicijski troškovi itd.

Svi kriteriji, međutim, nemaju podjednak utjecaj na donošenje konačne odluke. Neki imaju znatno veći utjecaj, dok drugi i nisu toliko značajni kada se radi o donošenju konačne odluke. Zbog toga je potrebno prvo izvršiti tzv. međusobno rangiranje, odnosno međusobnu usporedbu kriterija. Na taj način će svaki kriterij imati različit utjecaj na donošenje konačne ocjene svake alternative.

Na primjer, padovi napona kod krajnjih kupaca bi trebali imati najveći utjecaj na donošenje odluke, gubici snage u vodovima nešto manji, dok investicijski troškovi i opterećenje vodova bi trebali imati najmanji utjecaj na odluku. Pri rangiranju kriterija mora se voditi računa i o

interesima potrošača kao i o interesima tvrtke. Ove interese inženjer–planer mora imati na umu kada vrši rangiranje kriterija.

Svakom kriteriju se daje ocjena prema Saatyjevoj skali danoj u poglavlju 3.2.2 (Tablica 3.1) kako bi se mogla izvršiti međusobna usporedba kriterija. Pretpostavimo da od četiri predočena kriterija padovi napona imaju najveću važnost, gubici snage nešto manju, opterećenje vodova još manju, a investicijski troškovi najmanju važnost. Temeljem ovog dobiva se inicijalna tablica usporedbe parova kriterija (Tablica 4.1).

Tablica 4.1. *Tablica usporedbe kriterija po parovima*

| Kriterij | Pad napona | Gubici snage | Opterećenje vodova | Investicijski troškovi |
|------------------------|------------|--------------|--------------------|------------------------|
| Pad napona | 1 | 2 | 6 | 7 |
| Gubici snage | 1/2 | 1 | 5 | 6 |
| Opterećenje vodova | 1/6 | 1/5 | 1 | 2 |
| Investicijski troškovi | 1/7 | 1/6 | 1/2 | 1 |

Dosljednim provođenjem postupka u konačnici se dobivaju vrijednosti kao u tablici 4.2.

Tablica 4.2. *Vrijednosti prioriteta i težinskog vektora nakon provođenja AHP metode*

| Kriterij | Pad napona | Gubici snage | Opterećenje vodova | Investicijski troškovi | Prioritet | Težinski vektor |
|------------------------|------------|--------------|--------------------|------------------------|-----------|-----------------|
| Pad napona | 0,55263 | 0,59406 | 0,48000 | 0,43750 | 0,51894 | 0,51605 |
| Gubici snage | 0,27632 | 0,29703 | 0,40000 | 0,37500 | 0,33734 | 0,33709 |
| Opterećenje vodova | 0,09211 | 0,05941 | 0,08000 | 0,12500 | 0,08710 | 0,08913 |
| Investicijski troškovi | 0,07895 | 0,04950 | 0,04000 | 0,06250 | 0,05662 | 0,05774 |

Dobivene vrijednosti prioriteta se koriste za kasnije rangiranje alternativa, dok se vrijednosti težinskog vektora koriste za provjeru rezultata dobivenih rangiranjem kriterija. Naime, nakon izvršenog rangiranja kriterija potrebno je utvrditi da li je to izvršeno na adekvatan način, obzirom da je to subjektivno pitanje inženjerske procjene. Prema AHP metodu potrebno je utvrditi konzistentnost i ukoliko su rezultati konzistentni (dosljedni) onda je rangiranje izvršeno korektno, a ukoliko nisu onda je potrebno izvršiti ponovno rangiranje. Takav postupak se ponavlja dok se ne dobije zadovoljavajuće (konzistentno) rješenje.

Postupak se provodi na način da se inicijalna matrica usporedbe kriterija po parovima množi sa vrijednostima težinskog vektora, a zatim se te dobivene vrijednosti dijele sa vrijednostima težinskih vektora, što daje vrijednosti:

$$\begin{bmatrix} 4,12589 \\ 4,11520 \\ 4,01703 \\ 4,02168 \end{bmatrix}$$

Temeljem ovih vrijednosti se dobiva njihova prosječna vrijednost:

$$\lambda_{\max} = \frac{4,12589 + 4,11520 + 4,01703 + 4,02168}{4} = 4,06995$$

Temeljem ovog *indeks konzistencije* iznosi:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{4,06995 - 4}{4 - 1} = 0,02332$$

Iz tablice 3.2, za $n = 4$ je $RI = 0,90$. Tada je *stupanj konzistentnosti*:

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,02959}{0,9} = 0,02591$$

Obzirom da je $CR = 0,02591 < 0,1$ procjene kriterija su *konzistentne (dobre)*.

Nakon što se izvrši pravilno rangiranje zadanih kriterija potrebno je izvršiti rangiranje alternativa (varijanti). Postupak je isti kao i kod rangiranja kriterija osim što se vrši za svaki kriterij zasebno. Na ovaj način se dobiva ocjena koliko koji kriterij utječe na svaku alternativu zasebno. Zbrajanjem ovih ocjena dobivaju se ocjene prioriteta svake alternative. *Alternativa sa najvećom ocjenom se smatra najboljom*. Na ovaj način se dobiva najbolje prostorno topološko rješenje niskonaponske distribucijske mreže.

$$\begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,22965 \\ 0,24758 \\ 0,25210 \\ 0,27067 \end{bmatrix}$$

Cjelokupna procedura i proračun koji se sprovodi primjenom AHP metode opisana je u poglavlju 3.2.2.

4.3.6. Optimalno rješenje

Prethodnim koracima modela dobiva se najbolje prostorno topološko rješenje niskonaponske distribucijske mreže. Međutim, obzirom da izgled topološkog rješenja ovisi isključivo o subjektivnoj inženjerskoj procjeni ne može se reći da je jedno takvo rješenje u stvari optimalno. Iako bi se moglo reći da ovo rješenje predstavlja dobar prostorni izgled mreže, koji je najbliži optimalnom, ne može se reći da to sigurno i je optimalno rješenje. S druge strane, to isto važi i za energetske parametre (padovi napona, gubici). Zbog toga je za najbolju prostornu varijantu potrebno odrediti i optimalno uklopno stanje koje će dati optimalnu konfiguraciju niskonaponske distribucijske mreže, što je u biti i konačni cilj planiranja prema danom modelu.

Za rješenje ovoga problema kao jedan od najpogodnijih pokazuje se algoritam simuliranog kaljenja (*eng. simulated annealing*).

Poboljšani model planiranja niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Za dobivanje optimalnog uklopnog stanja mreže ovim algoritmom potrebno je uspostaviti niz međuveza između potrošača unutar jednog niskonaponskog izvoda i/ili potrošača između više niskonaponskih izvoda. Na ovaj način se unutar mreže stvaraju zatvorene petlje, što nije dozvoljeno, ali će one programskim rješenjem biti “razbijene” tako da će se u konačnici dobiti optimalna konfiguracija niskonaponske mreže koja će biti radijalnog karaktera. Primjena ovog algoritma daje zasigurno najbolju prostornu topologiju mreže uz minimalne gubitke snage i padove napona na krajevima niskonaponskih izvoda.

Algoritam se može predočiti u nekoliko koraka kako slijedi.

- Učitavanje podataka polaznog stanja;

```
%% Read data
baseMVA=pr_baseMVA;
bus=pr_bus;
gen=pr_gen;
branch=pr_branch;
    if isim>1
        if korak>0
            for ii=1:korak
                branch(uklj(ii),11)=1;
                branch(isklj(ii),11)=0;
            end
        end
        n_branch=size(branch,1);
        n_bus=size(bus,1);
    end
```

- Određivanje polazne temperature kaljenja ($T = 1000$);

```
%% Polazna temperatura kaljenja
T=1000;
```

- Određivanje funkcije cilja;

```
function[gubici,uklj,isklj,cv_uklj,cv_isklj,isim,branch,broj_pokusaja,
vrijeme]=Softic(casename,n_prek,n_uklj)
```

- Formiranje matrice za pronalazjenje puta;

```
%% Formiranje matrice za pronalazjenje puta
matrica_put=zeros(n_bus);
    for ii=1:n_bus
        for jj=1:n_bus
            matrica_put(ii,jj)=inf;
        end
    end
    for ii=1:n_bus
        matrica_put(ii,ii)=0;
    end
```

```

for kk=1:n_branch
    if branch(kk,11)==1
        matrica_put(branch(kk,1),branch(kk,2))=1;
        matrica_put(branch(kk,2),branch(kk,1))=1;
    end
end

```

- Pronalaženje grane (prekidača) koja će se uključiti između dva čvora (zatvaranje petlje);

```

%% Pronalazenje grane koja ce se ukljuciti: grana1 izmedju cvor1 i cvor2
nadji=ceil((n_prek-n_uklj)*rand);
brojacp=0;
nasao=0;
for ii=(n_branch - n_prek + 1):n_branch
    if branch(ii,11)==0
        brojacp=brojacp+1;
        if brojacp==nadji
            nasao=1;
            cvor1=branch(ii,1);
            cvor2=branch(ii,2);
            grana1=ii;
        end
    end
end
end

```

- Pronalaženje puta i broja prekidača između zadanih čvorova preko uključenih grana;

```

%% Pronalazenje puta izmedju cvor1 i cvor2 preko ukljucenih grana
[sp, spcost] = dijkstra(matrica_put, cvor1, cvor2);

% Broj prekidaca u nadjenom putu
brojac=0;
put=size(sp,2)-1;
for ii=(n_branch-n_prek+1):n_branch
    if branch(ii,11)==1
        for jj=1:put
            if(branch(ii,1)==sp(jj) && (branch(ii,2)==sp(jj+1)))
                brojac=brojac+1;
            end
            if(branch(ii,1)==sp(jj+1) && (branch(ii,2)==sp(jj)))
                brojac=brojac+1;
            end
        end
    end
end
end

```

- Pronalaženje grane (prekidača) u nađenom putu koja će se isključiti (razbijanje petlje);

```

%% Pronalazenje grane koja ce se iskljuciti: grana2 izmedju cvor3 i cvor4
nadji=ceil(brojac*rand);
brojac=0;
for ii=(n_branch-n_prek+1):n_branch

```

```

    if branch(ii,11)==1
        for jj=1:put
            if(branch(ii,1)==sp(jj)) && (branch(ii,2)==sp(jj+1))
                brojac=brojac+1;
                if brojac==nadji
                    cvor3=branch(ii,1);
                    cvor4=branch(ii,2);
                    grana2=ii;
                end
            end
            if(branch(ii,1)==sp(jj+1)) && (branch(ii,2)==sp(jj))
                brojac=brojac+1;
                if brojac==nadji
                    cvor3=branch(ii,1);
                    cvor4=branch(ii,2);
                    grana2=ii;
                end
            end
        end
    end
end
end
end
end

```

- Proračun tokova snaga formirane konfiguracije (određivanje gubitaka i padova napona);

```

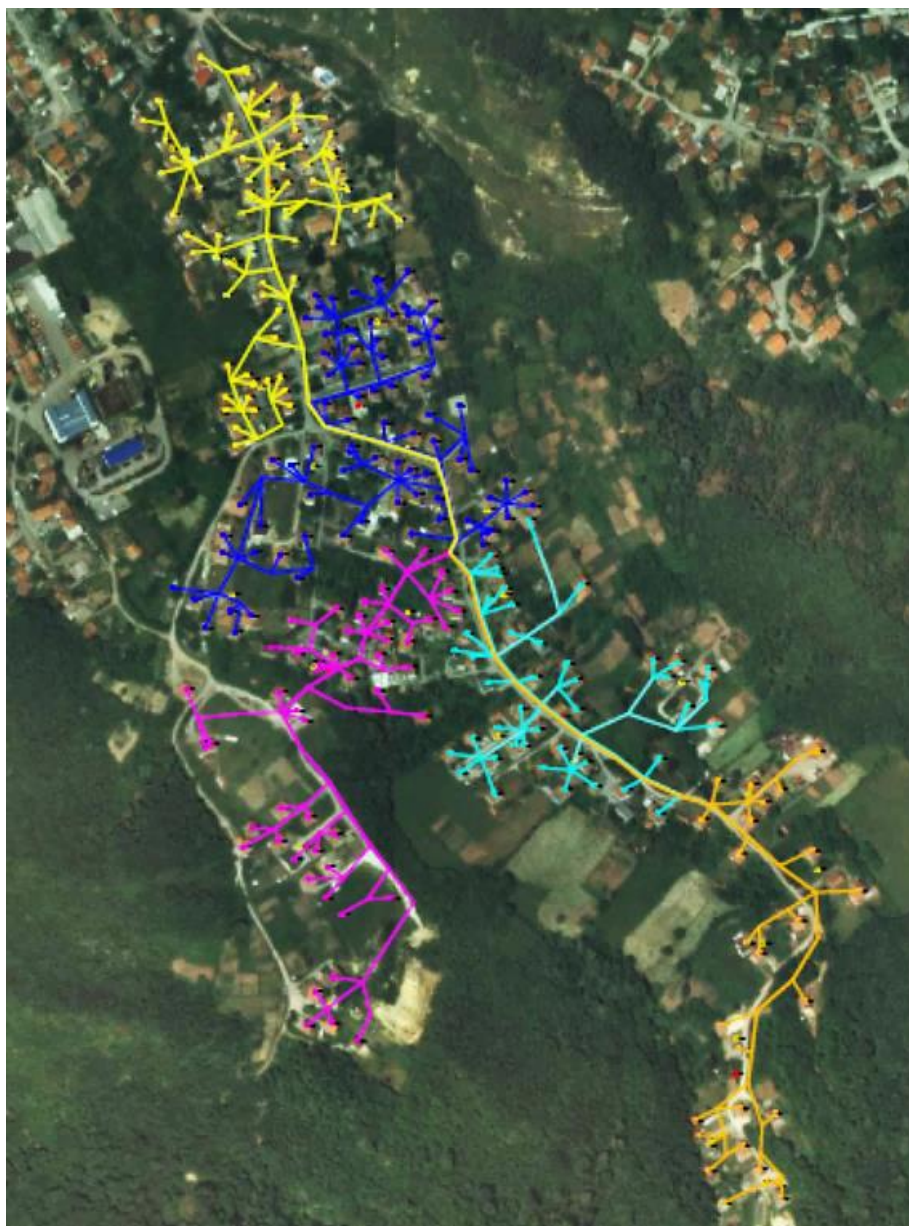
%% Proracun tokova snaga
[MVAbase, bus, gen, branch, success, et]=runpf(baseMVA, bus, gen, branch);
if success==1
    uspj_korak=uspj_korak+1;
    gubici(uspj_korak)=sum(abs(branch(:,12)+branch(:,14))));
    if uspj_korak>1
        pokusaj=pokusaj+1;
        razlika=gubici(uspj_korak)-gubici(uspj_korak-1);
        if razlika>0
            prihvatanje=exp(-razlika/T);
            granica_prihv=rand;
            if prihvatanje<granica_prihv
                korak=korak-1;
                uspj_korak=uspj_korak-1;
            else
                broj_pokusaja(uspj_korak-1)=pokusaj;
                vrijeme(uspj_korak-1)=etime(clock,t0);
                pokusaj=0;
            end
        else
            broj_pokusaja(uspj_korak-1)=pokusaj;
            vrijeme(uspj_korak-1)=etime(clock,t0);
            pokusaj=0;
        end
    end
end
else
    korak=korak-1;
end
end

```

- Primjena postupka hlađenja ($T_{\text{novi}} = 0,95 \times T_{\text{stari}}$);
- Formiranje nove konfiguracije;
- Zaustavljanje postupka nakon dostignute funkcije cilja i odgovarajuće zadane temperature ($T < 10^{-6}$);

```
if T<1.e-06  
    break  
end
```

Ovim algoritmom u konačnici se dobiva radijalna konfiguracija niskonaponske distribucijske mreže koja daje najmanje iznose gubitaka u mreži, odnosno najmanje padove napona na niskonaponskim izvodima. U biti, to predstavlja optimalnu konfiguraciju mreže. Primjenom ovog algoritma, optimalna konfiguracija mreže sa slike 4.8 bi izgledala kao na slici 4.12.



Slika 4.12. *Optimalno uklopno stanje niskonaponske distribucijske mreže*

Poboljšani model planiranja niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

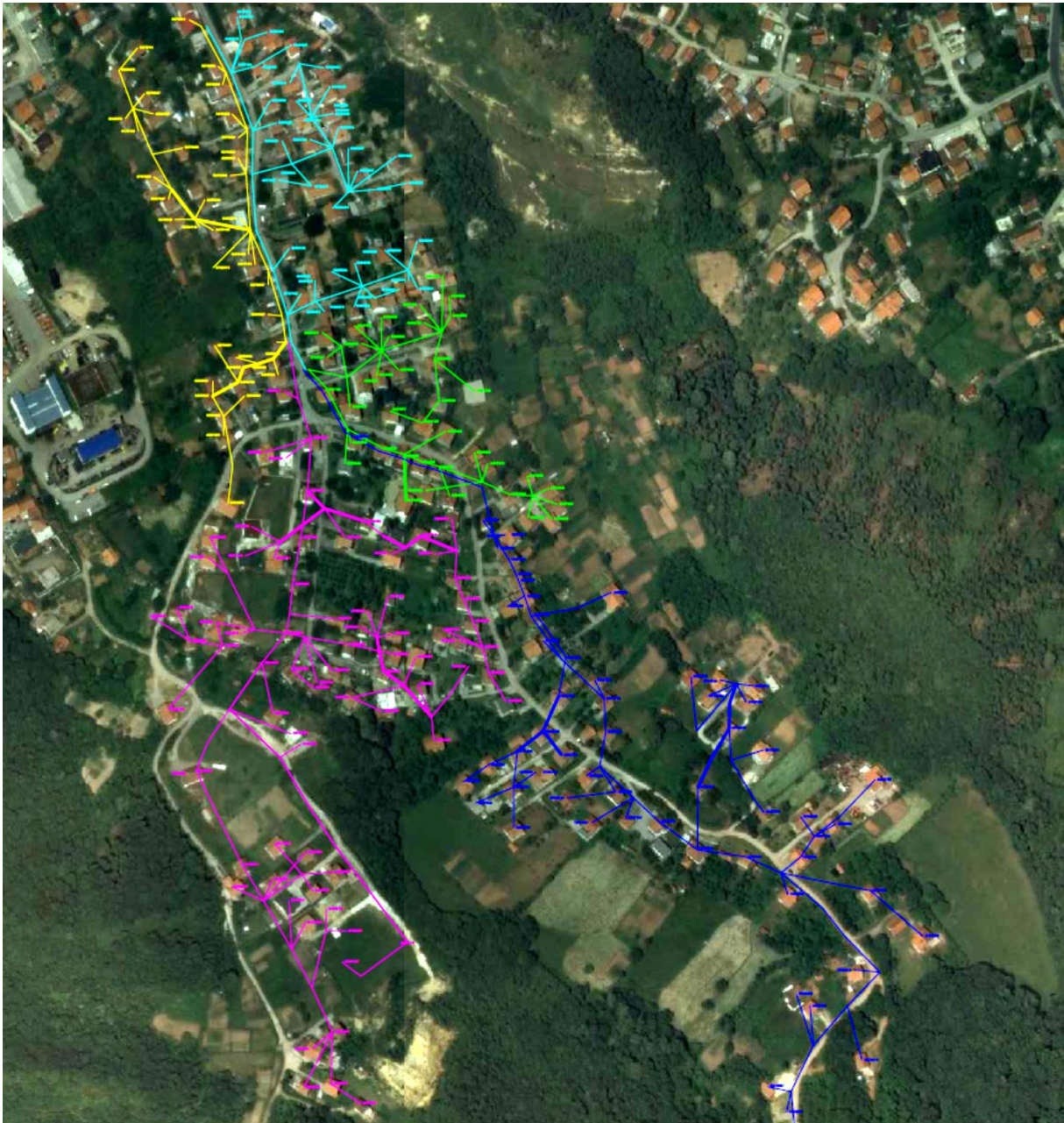
5. PRAKTIČNI PRIMJER PRIMJENE MODELA PLANIRANJA

Predloženi model planiranja prikazan u prethodnom poglavlju je primijenjen na praktičnom primjeru jedne realne niskonaponske distribucijske mreže. U ovom poglavlju će biti predloženi dobiveni rezultati koji će dati potvrdu funkcionalnosti ovakvog pristupa pri planiranju, projektiranju i izgradnji elektroenergetskih distribucijskih mreža.

Dakle, funkcionalnost predloženog modela je provjerena na primjeru realne niskonaponske distribucijske mreže preko koje je napojeno 270 kupaca električne energije, uglavnom iz kategorije kućanstava. Mreža je napojena iz transformatorske stanice 10(20)/0,4 kV, nazivne snage 400 kVA, preko 5 niskonaponskih izvoda. Prostorni raspored potrošača je prikazan na slici 5.1, a na slici 5.2 izgled postojeće niskonaponske distribucijske mreže.



Slika 5.1. Prostorni raspored niskonaponskih potrošača



Slika 5.2. Postojeća niskonaponska distribucijska mreža

5.1. ULAZNI PODACI

Kako je to već opisano u prethodnom poglavlju kao prvi ulazni podatak za predloženi model koriste se koordinate objekata koje treba opskrbiti električnom energijom, a koje se vrlo jednostavno mogu dobiti sa georeferenciranih zemljopisnih podloga, kako je to prikazano na slici 5.3 za jedan dio razmatranog područja. Koordinate svih mjernih mjesta razmatranog područja dane su u prilogu 1.



Slika 5.3. *Određivanje zemljopisnih koordinata dijela potrošača razmatranog područja*

Drugi ulazni podatak je godišnja utrošena energija svakog potrošača. Ovi podaci su dani u prilogu 2. Osim ovoga, za proračun prosječnog vršnog opterećenja svakog potrošača potrebni su podaci o jednodnevnom, satnom mjerenju opterećenja svakog niskonaponskog izvoda i transformatorske stanice u periodu vršnih opterećenja. Ovi podaci su dani u prilogu 3.

Za proračune tokova snaga potrebno je poznavati i karakteristike vodova kojima su potrošači povezani sa transformatorskom stanicom. To se prije svega odnosi na tipove vodova (nadzemni ili podzemni), presjeke vodiča, R i X za različite tipove, kao i dužine vodova. Podaci koji se odnose na karakteristike vodova su dani u tablici 5.1.

Tablica 5.1. Karakteristike niskonaponskih vodova

| Tip | Naziv | I_{\max} (A) | R (Ω/km) | X (Ω/km) |
|-------------------------|---|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Kabel za podzemnu mrežu | PP00 4×16 mm ² - jednožilni (Cu) | 110 | 1,340 | 0,110 |
| | PP00 4×25 mm ² - jednožilni (Cu) | 140 | 0,847 | 0,107 |
| | PP00 4×35 mm ² - jednožilni (Cu) | 170 | 0,615 | 0,097 |
| | PP00 4×50 mm ² - jednožilni (Cu) | 200 | 0,454 | 0,096 |
| | PP00-A 2×35 mm ² - jednožilni (Al) | 130 | 1,032 | 0,097 |
| | PP00-A 2×50 mm ² - jednožilni (Al) | 155 | 0,775 | 0,096 |
| Nadzemni vod | Al-Fe 2×16 mm ² | 101 | 2,108 | 0,366 |
| | Al-Fe 2×25 mm ² | 135 | 1,350 | 0,345 |
| | Al-Fe 2×35 mm ² | 170 | 0,937 | 0,322 |
| | Al-Fe 4×16 mm ² | 101 | 2,108 | 0,366 |
| | Al-Fe 4×25 mm ² | 135 | 1,350 | 0,345 |
| | Al-Fe 4×35 mm ² | 170 | 0,937 | 0,322 |
| Kabel za nadzemnu mrežu | SKS 2×16 mm ² | 81 | 2,140 | 0,087 |
| | SKS 4×16 mm ² | 81 | 2,140 | 0,087 |
| | SKS 3×35+71,5 mm ² | 131 | 0,972 | 0,083 |
| | SKS 3×70+71,5 mm ² | 198 | 0,496 | 0,077 |

Obzirom da se dužine vodova mogu odrediti tek kada je poznata konfiguracija niskonaponske mreže ovi podaci se ne mogu pribrojiti ulaznim podacima jer se dobivaju u kasnijem tijeku provedbe modela planiranja.

Karakteristike distribucijskih transformatora dane su u tablici 5.2.

Tablica 5.2. Karakteristike tipskih SN/NN distribucijskih transformatora

| Tip | S_n (kVA) | P_{ks} (kW) | U_{ks} (%) | P_0 (kW) | I_0 (%) | Grupa spoja |
|--------------------------------|----------------|------------------|-----------------|---------------|--------------|-------------|
| Transformator 10(20)/0,4 kV | 50 | 1,05 | 4,0 | 0,19 | 8,0 | Yz5 |
| | 100 | 1,75 | 4,0 | 0,32 | 7,0 | Yz5 |
| | 160 | 2,35 | 4,0 | 0,46 | 6,7 | Yz5 |
| | 250 | 3,25 | 4,0 | 0,65 | 6,4 | Dy5 |
| | 400 | 4,60 | 4,0 | 0,93 | 6,0 | Dy5 |
| | 630 | 6,50 | 4,0 | 1,30 | 5,7 | Dy5 |
| | 1000 | 13,50 | 6,0 | 1,75 | 5,0 | Dy5 |
| | 1600 | 19,80 | 6,0 | 2,56 | 5,0 | Dy5 |

U disertaciji će biti prikazani proračuni koji se odnose na uporabu nekoliko tipova vodova, kako je to uobičajeno danas u praksi, mada to ništa ne mijenja u slučaju da se inženjer–projektant (planer) odluči za druge tipove (samo se mijenjaju karakteristike vodova, a proračun ostaje isti).

5.2. PRORAČUN OPTEREĆENJA POTROŠAČA

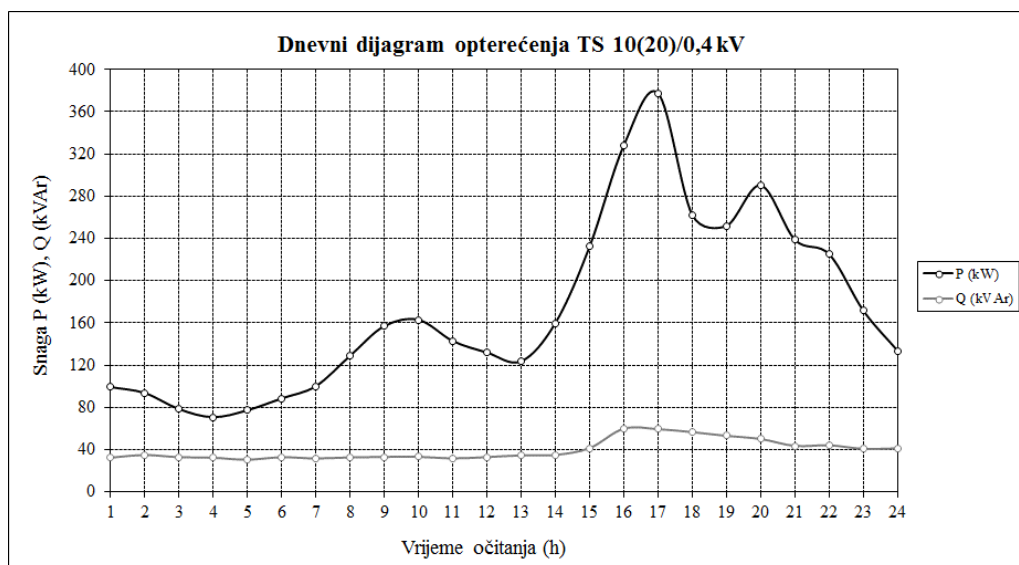
Obzirom na sve energetske proračune koje je potrebno provesti u predloženom modelu mora se izvršiti proračun pojedinačnih opterećenja potrošača. To je potrebno uraditi na samom početku obzirom da se temeljem toga određuje veličina (snaga) transformatorske stanice koja će napajati predmetni konzum. Proračun se može provesti na dva načina, i to:

- pomoću faktora istodobnosti,
- metodom vršnih opterećenja.

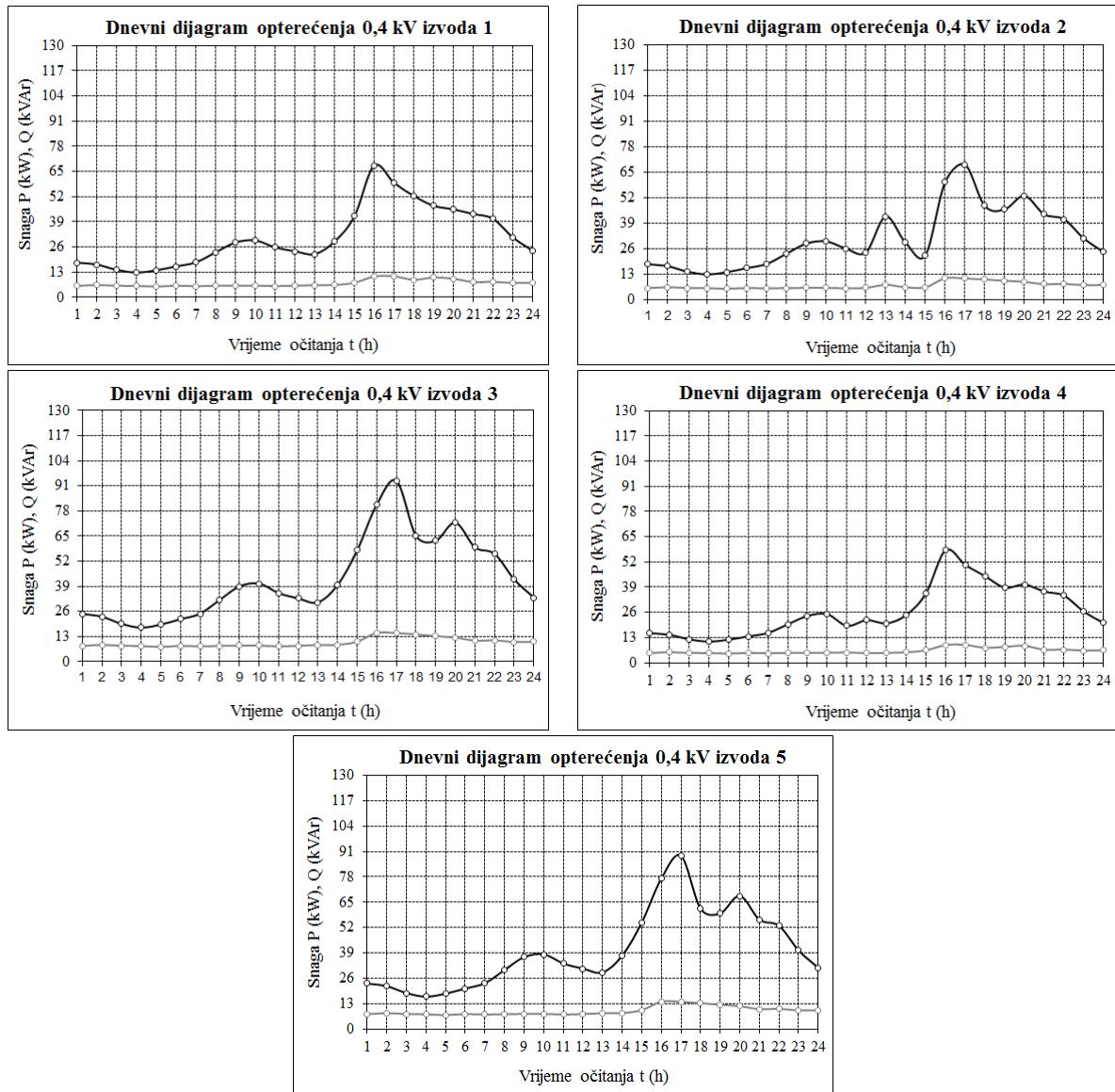
Iz iskustva je poznato da kod potrošača koji pretežito pripadaju kategoriji kućanstava, kakvi su i odabrani potrošači sa slike 5.2, istodobni udio jednog potrošača je $0,8 \text{ kW} - 1,4 \text{ kW}$ u ukupnom opterećenju cijeloga područja. Dakle, cijelo područje u određenome vremenskom trenutku može biti opterećeno sa $0,8 \text{ kW} \cdot 270 \leq P_{\text{opt}} \leq 1,4 \text{ kW} \cdot 270$, odnosno $216 \text{ kW} \leq P_{\text{opt}} \leq 378 \text{ kW}$. Ako uzmemo da je prosječno ukupno opterećenje između ovih granica, odnosno $P_{\text{opt}} \approx 300 \text{ kW}$ onda se može reći da je za napajanje jednog ovakvog zemljopisnog područja potrebno instalirati tipsku transformatorsku stanicu, nominalne snage $S_n = 400 \text{ kVA}$.

Ukoliko je potrebno izvršiti proračun opterećenja potrošača već izgrađenog transformatorskog područja, točniji proračun se dobiva temeljem utrošene godišnje energije potrošača i jednodnevnog, satnog mjerenja opterećenja niskonaponskih izvoda i transformatorske stanice u periodu vršnog opterećenja. Tim proračunom dobiva se vršno opterećenje svakoga potrošača pojedinačno, koje ovisi o utrošenoj godišnjoj energiji svakoga potrošača posebno.

Temeljem jednodnevnog, satnog očitavanja opterećenja niskonaponskih izvoda i transformatorske stanice (Prilog 3) dobivaju se dnevni dijagrami opterećenja (Slike 5.4 i 5.5).



Slika 5.4. Dnevni dijagram opterećenja transformatorske stanice



Slika 5.5. Dnevni dijagram opterećenja niskonaponskih izvoda

Temeljem ovih dijagrama, u prvom koraku dobivaju se maksimalne radne snage pojedinih niskonaponskih izvoda, kako je to prikazano u tablici 5.3.

Tablica 5.3. Maksimalne radne snage niskonaponskih izvoda

| P_{\max} (kW) | | | | |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|
| Izvod 1 | Izvod 2 | Izvod 3 | Izvod 4 | Izvod 5 |
| 68,04 | 69,03 | 93,61 | 58,07 | 88,78 |

Temeljem satnih očitavanja radne energije dobivaju se ukupne dnevne radne energije pojedinih niskonaponskih izvoda (kWh), kao zbroj pojedinih satnih očitavanja i dane su u tablici 5.4.

Tablica 5.4. Ukupne dnevne radne energije niskonaponskih izvoda

| $W_{uk. dnevno} = \sum W_{satno}$ (kWh) | | | | |
|---|---------|----------|---------|---------|
| Izvod 1 | Izvod 2 | Izvod 3 | Izvod 4 | Izvod 5 |
| 743,76 | 754,58 | 1.023,23 | 634,72 | 970,39 |

Ukupne godišnje radne energije pojedinih niskonaponskih izvoda dobivaju se množenjem ukupnih dnevnih radnih energija sa brojem dana u godini (Tablica 5.5).

Tablica 5.5. Ukupne godišnje radne energije niskonaponskih izvoda

| $W_{uk. godišnje} = W_{uk. dnevno} \cdot 365$ (kWh) | | | | |
|---|------------|------------|------------|------------|
| Izvod 1 | Izvod 2 | Izvod 3 | Izvod 4 | Izvod 5 |
| 271.471,20 | 275.423,36 | 373.479,29 | 231.672,96 | 354.192,22 |

Dijeljenjem ukupnih godišnjih radnih energija za svaki niskonaponski izvod sa maksimalnom postignutom snagom pojedinog izvoda dobivaju se polazne minimalne vrijednosti upotrebnih vremena, koje su u ovome slučaju jednake za sve izvode, kao u tablici 5.6.

Tablica 5.6. Minimalne vrijednosti upotrebnih vremena pojedinih izvoda

| $T_{up. min} = W_{uk. godišnje} / P_{max}$ (h) | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|
| Izvod 1 | Izvod 2 | Izvod 3 | Izvod 4 | Izvod 5 |
| 3.990 | 3.990 | 3.990 | 3.990 | 3.990 |

Vršna radna snaga svakoga potrošača dobiva se dijeljenjem ukupne godišnje utrošene energije pojedinih potrošača sa dobivenim upotrebnim vremenom. Uz poznati $\cos\phi$ niskonaponskog izvoda dobiva se i vršna jalova snaga potrošača.

U drugom koraku, kako bi se dobilo konačno opterećenje potrošača, potrebno je korigirati vrijednosti ukupnih godišnjih radnih energija niskonaponskih izvoda kako bi se uskladila ukupna godišnja utrošena radna energija potrošača sa godišnjom radnom energijom dobivenom temeljem jednodnevnog očitavanja. Na taj način se mijenjaju i vrijednosti upotrebnih vremena za sve niskonaponske izvode čime se dobivaju konačna opterećenja potrošača.

U tu svrhu je potrebno za vrijednosti opterećenja potrošača dobivene u prvome koraku izvršiti proračun tokova snaga u nekome od dostupnih softverskih paketa (u ovome primjeru je korišten PowerCAD, tvrtke Fractal d.o.o Split). Na ovaj način dobivaju se iznosi gubitaka u prijenosu električne energije za svaki niskonaponski izvod kao u tablici 5.7.

Tablica 5.7. Vrijednosti gubitaka radne snage niskonaponskih izvoda

| P_{gub} (kW) | | | | |
|----------------|---------|---------|---------|---------|
| Izvod 1 | Izvod 2 | Izvod 3 | Izvod 4 | Izvod 5 |
| 0,60 | 0,69 | 3,40 | 0,48 | 6,48 |

Vrijednosti potrebnih snaga koje treba injektirati u svaki niskonaponski izvod radi zadovoljenja potreba potrošača i pokrivanja gubitaka u prijenosu električne energije dane su u tablici 5.8.

Tablica 5.8. Vrijednosti potrebnih injektiranih snaga niskonaponskih izvoda

| $P_{inj} = P_{potrošača} + P_{gubitaka}$ (kW) | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|
| Izvod 1 | Izvod 2 | Izvod 3 | Izvod 4 | Izvod 5 |
| 52,81 | 53,68 | 75,23 | 45,05 | 74,61 |

Nadalje, potrebno je izvršiti aproksimiranje godišnjih radnih energija svakog izvoda temeljem dnevnih radnih energija, pri čemu se dobivaju tzv. *korekcijski faktori c* (Tablica 5.9).

Tablica 5.9. Vrijednosti korekcijskih faktora *c* niskonaponskih izvoda

| $c = (W_{uk. godišnje} \cdot P_{inj}) / (365 \cdot W_{uk. dnevno} \cdot P_{potrošača})$ | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|
| Izvod 1 | Izvod 2 | Izvod 3 | Izvod 4 | Izvod 5 |
| 0,768381 | 0,768946 | 0,801217 | 0,768558 | 0,838320 |

Zatim se vrši korigiranje godišnjih radnih energija niskonaponskih izvoda (Tablica 5.10).

Tablica 5.10. Korigirane vrijednosti godišnjih radnih energija niskonaponskih izvoda

| $W_{uk. godišnje} = W_{uk. dnevno} \cdot 365 \cdot c$ (kWh) | | | | |
|---|------------|------------|------------|------------|
| Izvod 1 | Izvod 2 | Izvod 3 | Izvod 4 | Izvod 5 |
| 208.593,37 | 211.785,67 | 299.238,02 | 178.054,07 | 296.926,46 |

Korigiranjem godišnjih radnih energija mijenjaju se i vrijednosti upotrebnih vremena svih niskonaponskih izvoda (Tablica 5.11).

Tablica 5.11. Korigirane vrijednosti upotrebnih vremena pojedinih izvoda

| $T_{up. min} = W_{uk. godišnje} / P_{max}$ (h) | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|
| Izvod 1 | Izvod 2 | Izvod 3 | Izvod 4 | Izvod 5 |
| 3.066 | 3.068 | 3.197 | 3.066 | 3.345 |

Korigirana (konačna) vrijednost vršne radne snage svakog potrošača dobiva se dijeljenjem ukupne godišnje utrošene energije pojedinačnih potrošača sa novodobivenim, korigiranim upotrebnim vremenom. Uz poznavanje vrijednosti $\cos\phi$ dobiva se i vršna jalova snaga potrošača (Prilog 4).

Konačne vrijednosti opterećenja pojedinih niskonaponskih izvoda su dane u tablici 5.12.

Tablica 5.12. Konačne vrijednosti opterećenja niskonaponskih izvoda

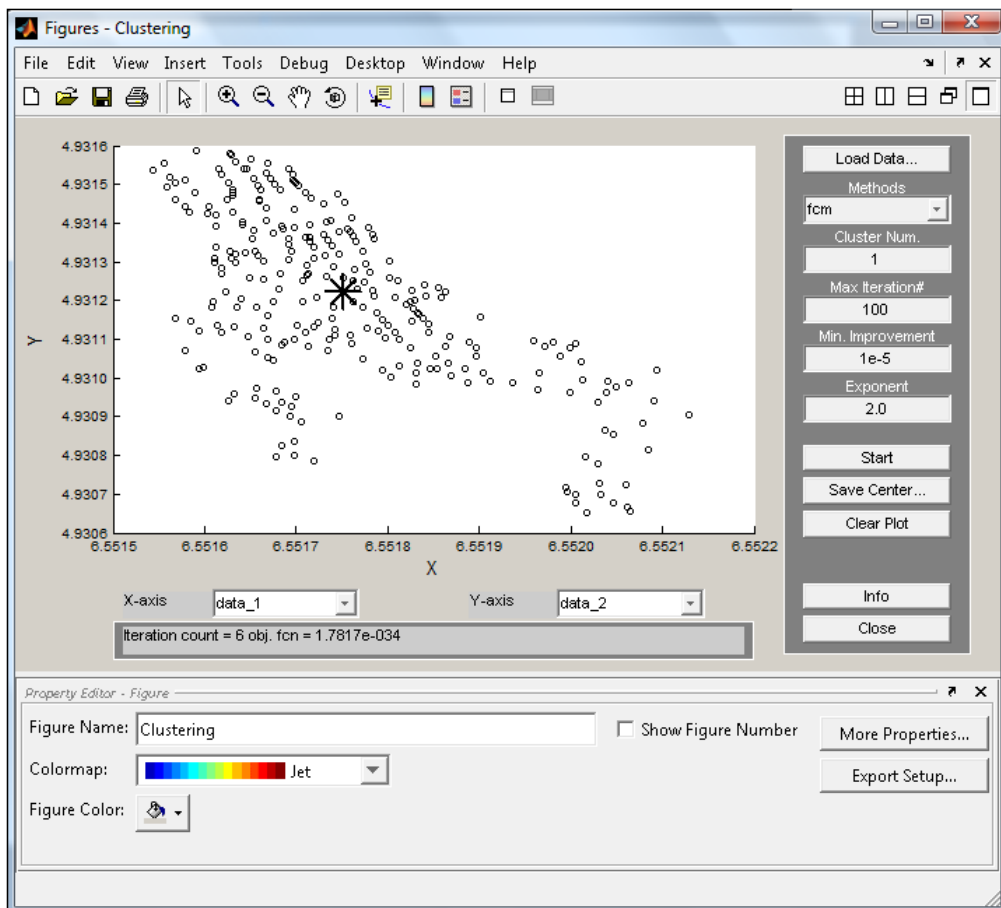
| P_{opt} (kW) | | | | | |
|----------------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| Izvod 1 | Izvod 2 | Izvod 3 | Izvod 4 | Izvod 5 | Ukupno TS |
| 68,96 | 70,06 | 95,09 | 58,85 | 90,56 | 383,52 |

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Dakle, temeljem dobivenih rezultata očito je da za ovo zemljopisno područje treba odabrati tipsku transformatorsku stanicu, najmanje nominalne snage $S_n = 400$ kVA.

5.3. ODREĐIVANJE LOKACIJE TRANSFORMATORSKE STANICE

Nakon određivanja veličine i tipa transformatorske stanice potrebno je odrediti i njenu lokaciju. Za određivanje lokacije transformatorske stanice predloženi model koristi algoritam neizrazitog grupiranja (*eng. fuzzy clustering*) i to *Matlab Fuzzy Toolbox* (Slika 5.6).

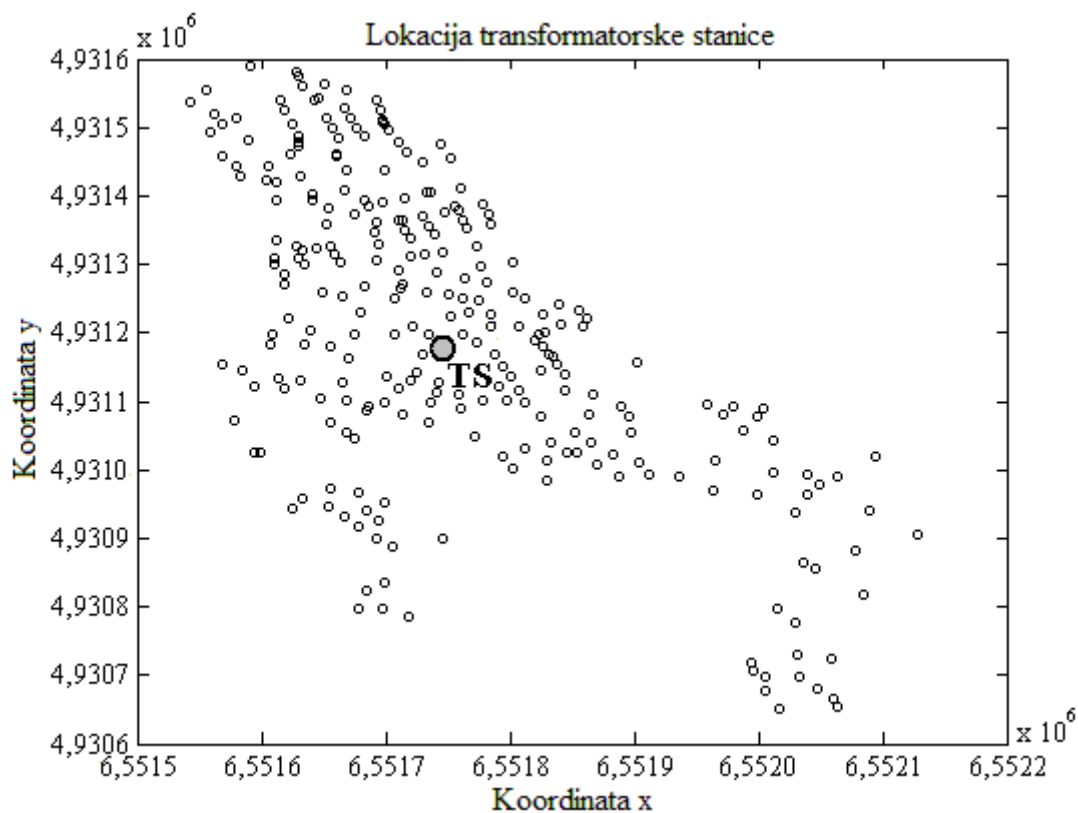


Slika 5.6. *Matlab Fuzzy Toolbox* za određivanje centra skupine

Naime, kao ulazni podaci u *Matlab Fuzzy Toolbox* koriste se zemljopisne koordinate mjernih mjesta svih potrošača kojim je definiran položaj svakog potrošača u dvodimenzionalnoj koordinatnoj ravnini. Prirodno je da se transformatorska stanica smješta u prostorni centar potrošnje kako je to prikazano na slici 5.6.

Obzirom da zemljopisne koordinate centra, u koji bi trebalo locirati transformatorsku stanicu, mogu „pasti“ na lokaciju nekog objekta, puta i slično, na georeferenciranoj karti, sa prostornim prikazom je moguće izvršiti malo pomicanje centra na neku prigodnu lokaciju, odnosno izvršiti korigiranje njegove prostorne lokacije (relociranje).

S novim, točnim koordinatama centra, dobiva se i konačni grafički prikaz centra konzuma, odnosno lokacije buduće transformatorske stanice u dvodimenzionalnoj ravnini kako je to prikazano na slici 5.7.



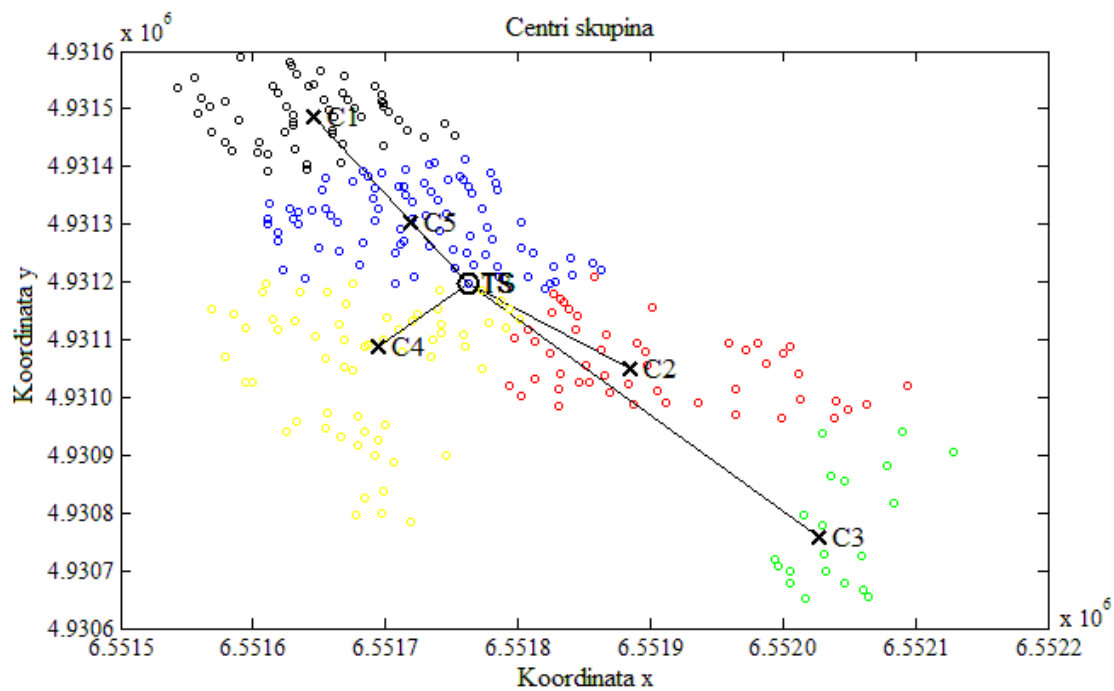
5.7. Lokacija transformatorske stanice

5.4. ODREĐIVANJE NISKONAPONSKIH IZVODA

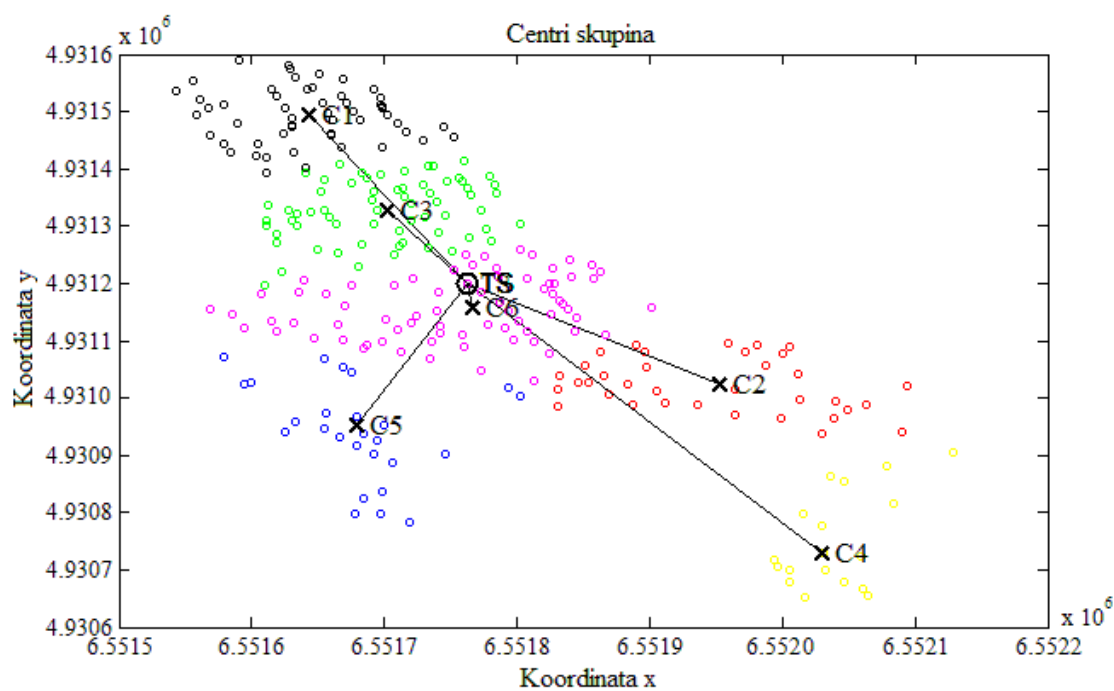
Nakon određivanja veličine i lokacije transformatorske stanice vrši se prostorno grupiranje potrošača. Broj dobivenih skupina praktički definira broj niskonaponskih izvoda transformatorske stanice. Nakon što se definiraju skupine, mogu se definirati i prostorni centri svake od njih.

Grupiranje potrošača kao i definiranja njihovih prostornih centara postiže se primjenom specijaliziranog algoritma, posebno priređenog u Matlab-u, temeljenog na metodi neizrazitog grupiranja.

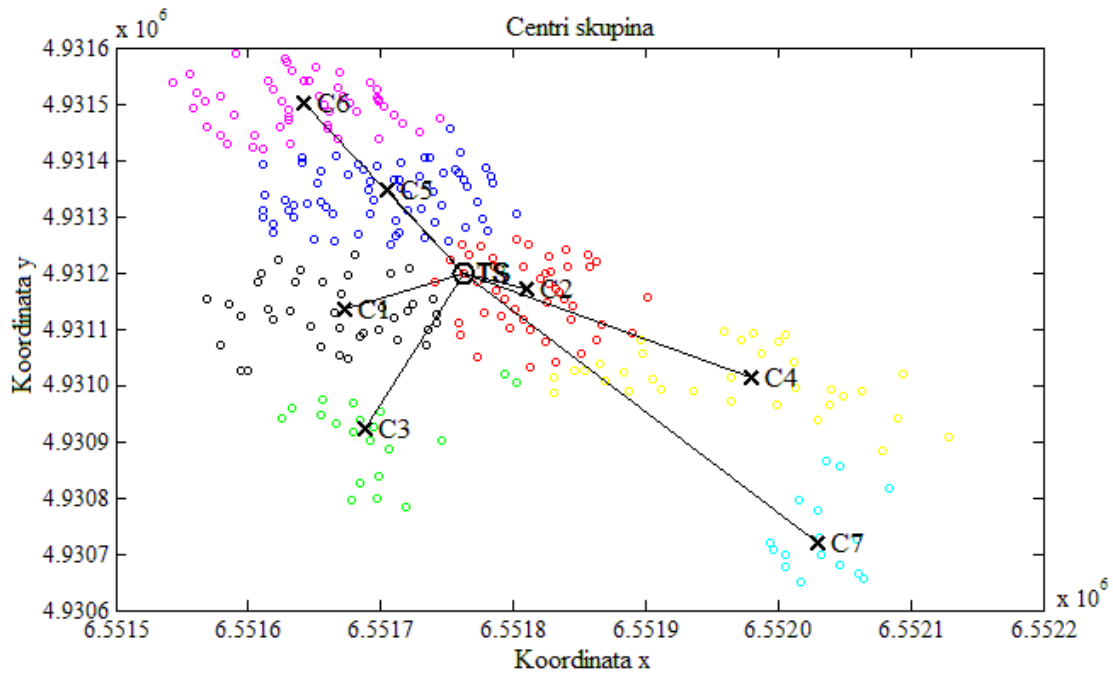
Obzirom da se predloženi model planiranja temelji na rangiranju različitih alternativa (varijanti), odnosno odabiru najbolje od njih, ovim rješenjem se formiraju alternative sa različitim brojem niskonaponskih izvoda. Na slikama 5.8–5.11 predstavljen je predmetni konzum sa različitim brojem skupina (5, 6, 7 i 8) i njihovi centri.



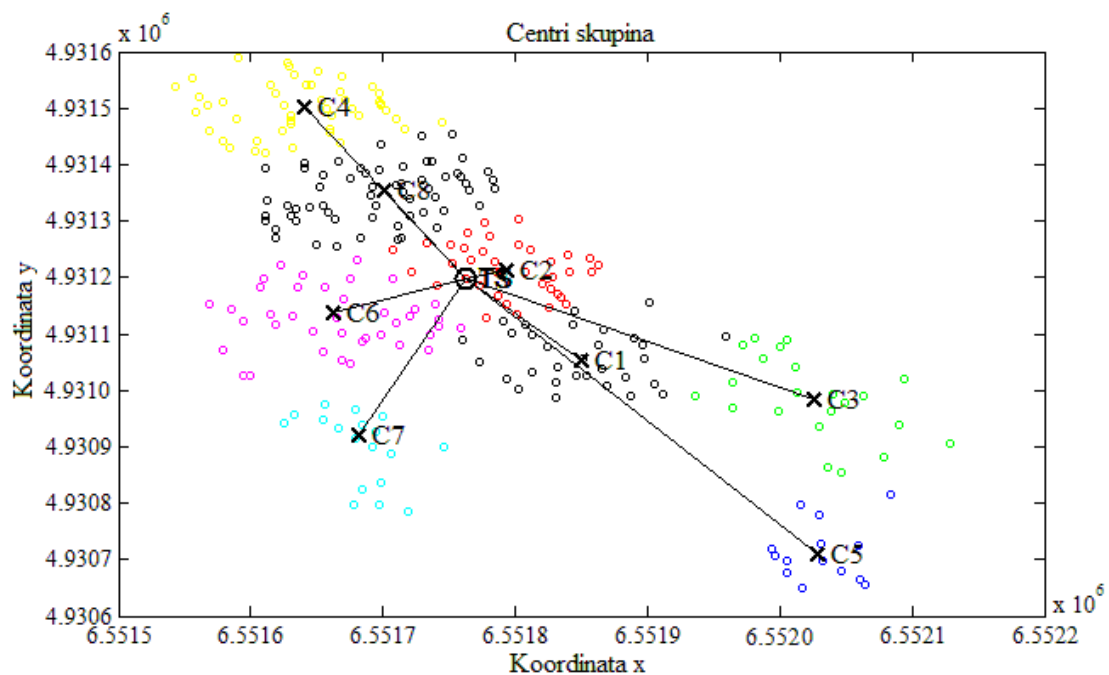
Slika 5.8. Razdioba konzuma na 5 skupina



Slika 5.9. Razdioba konzuma na 6 skupina



Slika 5.10. Razdioba konzuma na 7 skupina



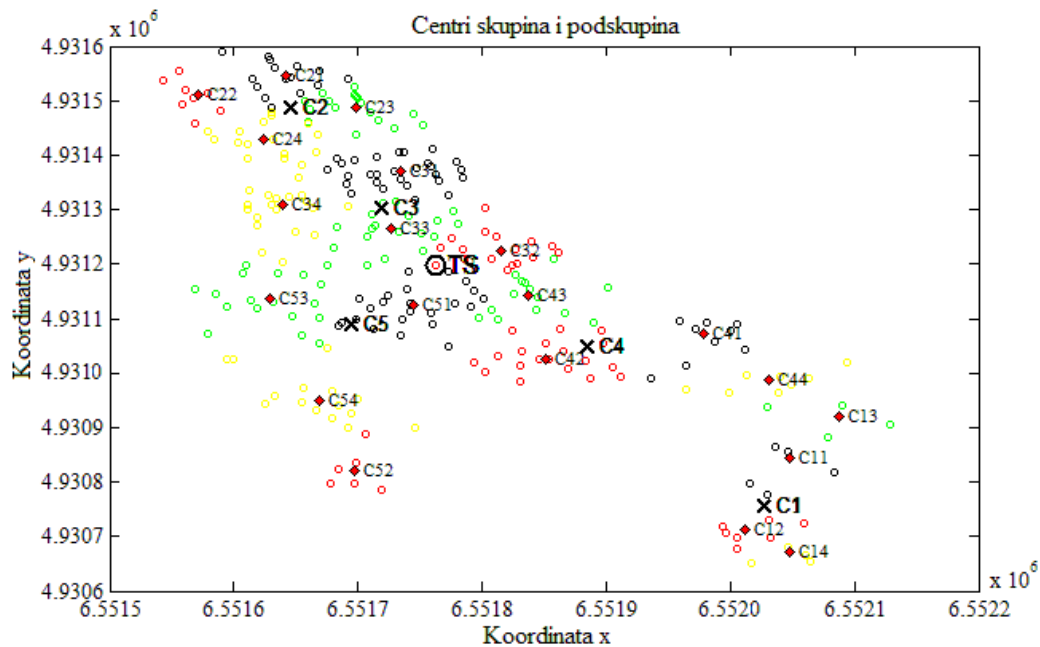
Slika 5.11. Razdioba konzuma na 8 skupina

Ukoliko je potrebno, unutar jedne skupine mogu se definirati i podskupine sa svojim prostornim podcentrima. Sve ovo zajedno služi kao orijentacija u kom smjeru je potrebno vršiti izgradnju mreže, odnosno koje tipove vodiča je potrebno odabrati.

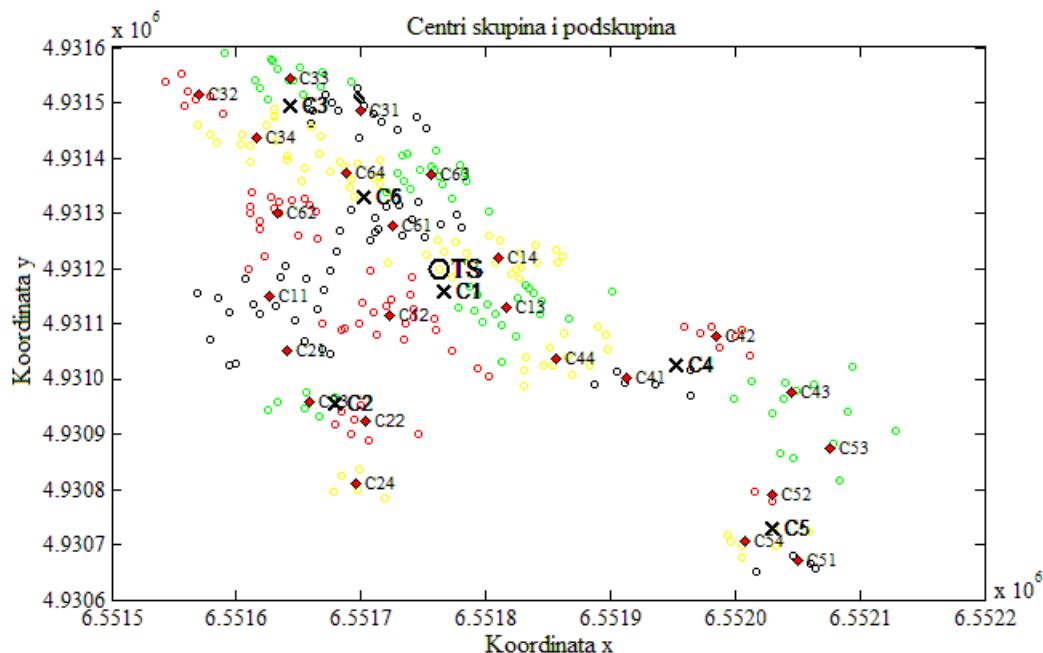
I ovo se može definirati istim softverskim rješenjem.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

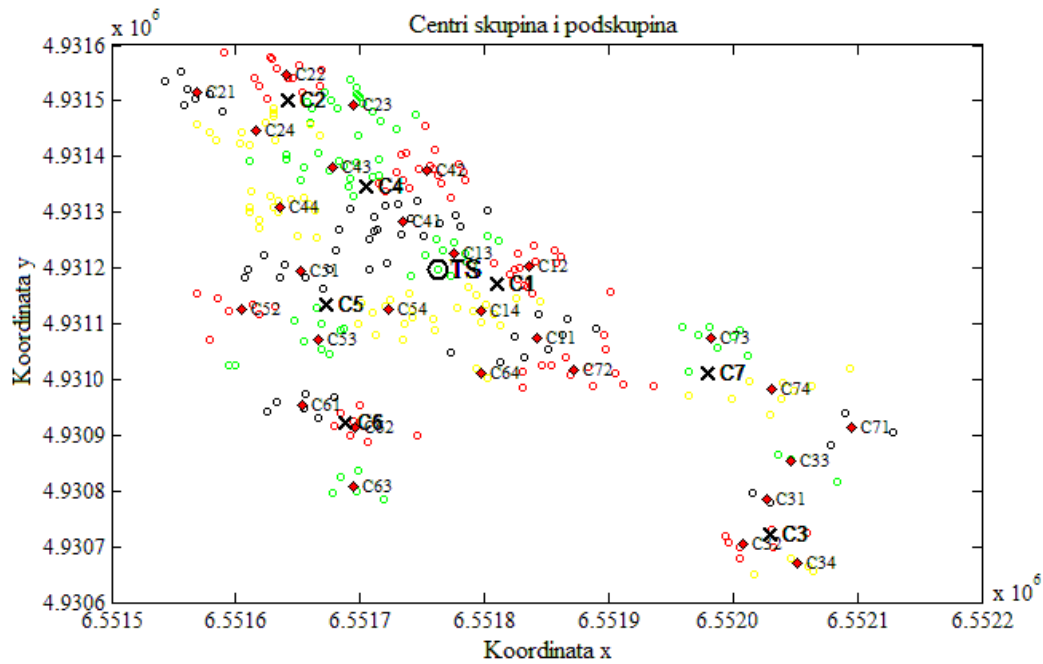
U konačnici se dobivaju grupirani potrošači, sa različitim brojem skupina i njihovim centrima, te podskupinama unutar svake skupine i njihovim podcentrima. Na slikama 5.12–5.15 su prikazani konačni izgledi skupina i podskupina, te njihovi centri i podcentri. Broj skupina ujedno definira i broj niskonaponskih izvoda, dok centri i podcentri daju smjernica rasprostiranja niskonaponske distribucijske mreže.



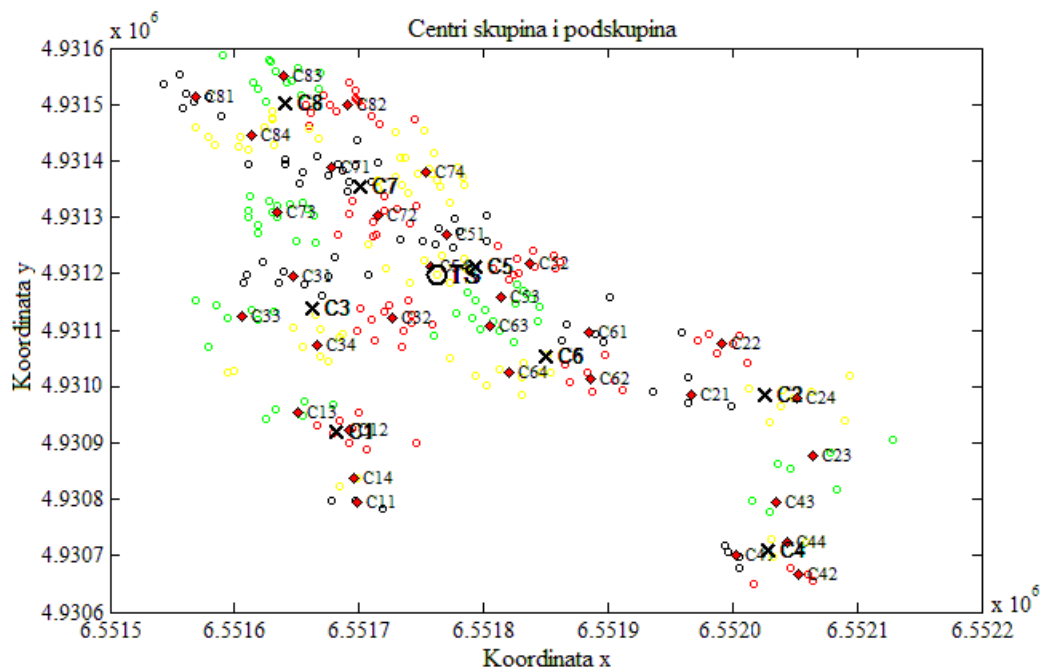
Slika 5.12. Razdioba konzuma na 5 skupina i 4 podskupine



Slika 5.13. Razdioba konzuma na 6 skupina i 4 podskupine



Slika 5.14. Razdioba konzuma na 7 skupina i 4 podskupine



Slika 5.15. Razdioba konzuma na 8 skupina i 4 podskupine

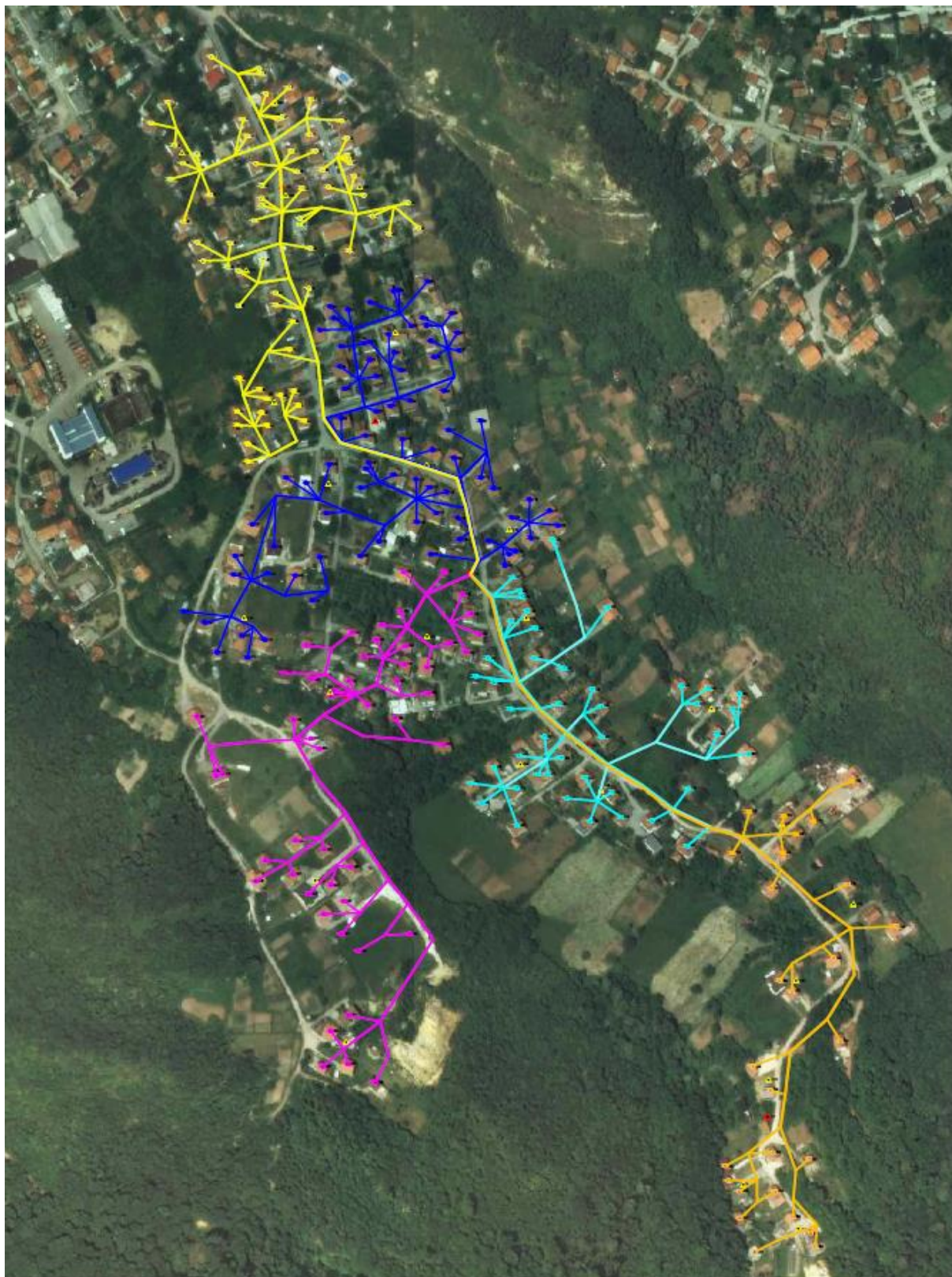
Ovime se stvaraju smjernice za formiranje 4 alternative temeljem kojih je u narednom koraku potrebno formirati niskonaponsku distribucijsku mrežu. Broj skupina, odnosno podskupina ovisi isključivo o procjeni inženjera-planera. Za mreže s manjim brojem potrošača, jednostavnijom prostornom razdiobom i sl. potrebno je formirati manji broj alternativa, dok je za složenije mreže, s koncentriranim potrošačima, potreban veći broj alternativa kako bi se dobilo kvalitetnije rješenje.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

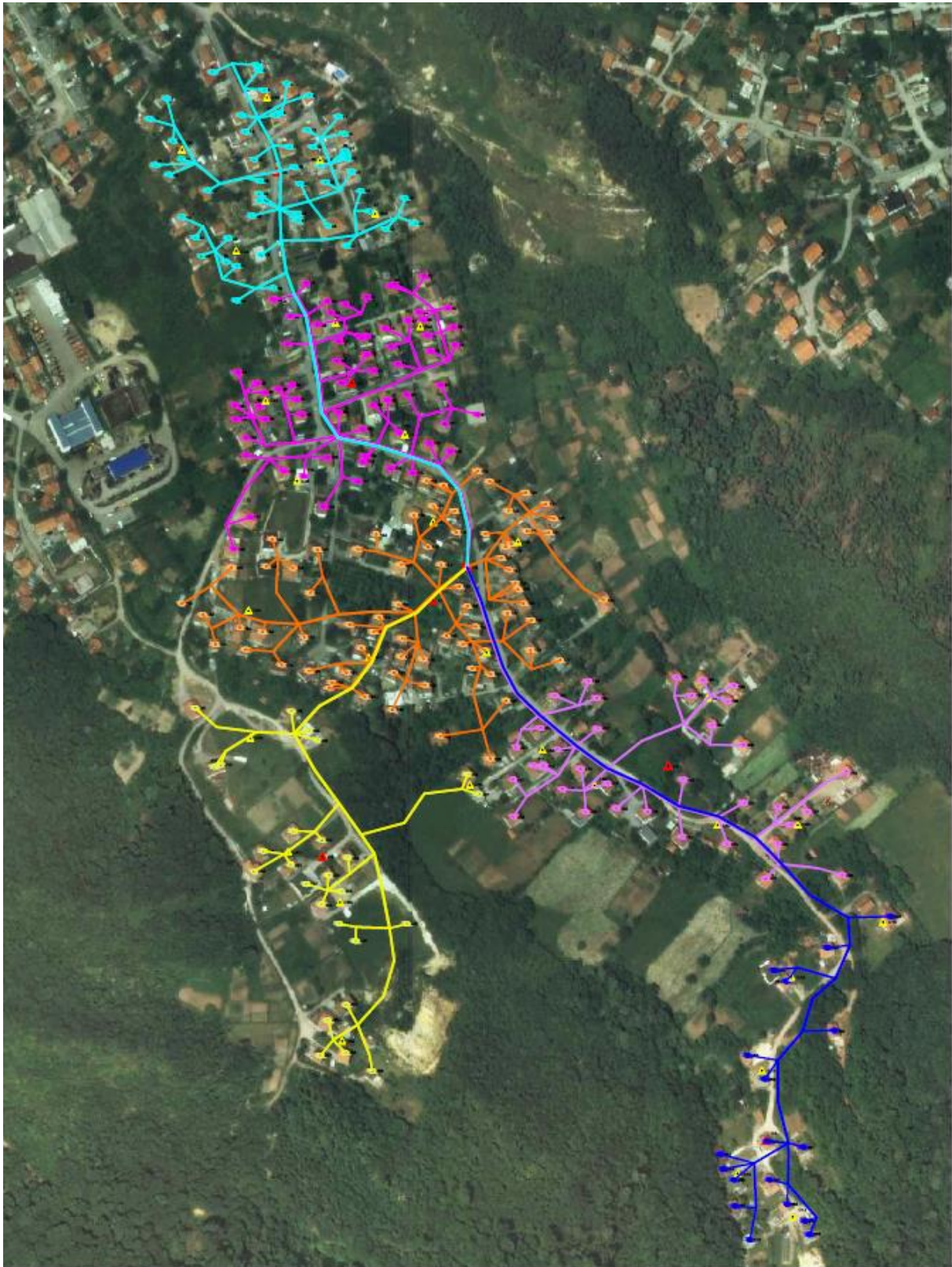
5.5. FORMIRANJE MREŽNE TOPOLOGIJE

Ovaj korak u biti predstavlja korak u kojem je inženjersko iskustvo jako bitno. Naime, pravilnim i što preciznijim formiranjem mrežne topologije iskusan inženjer stvara dobar temelj (u biti bazu podataka) za dobivanje podataka vrlo bitnih za daljnji tijek planiranja. Što su podaci točniji, konačno rješenje je preciznije.

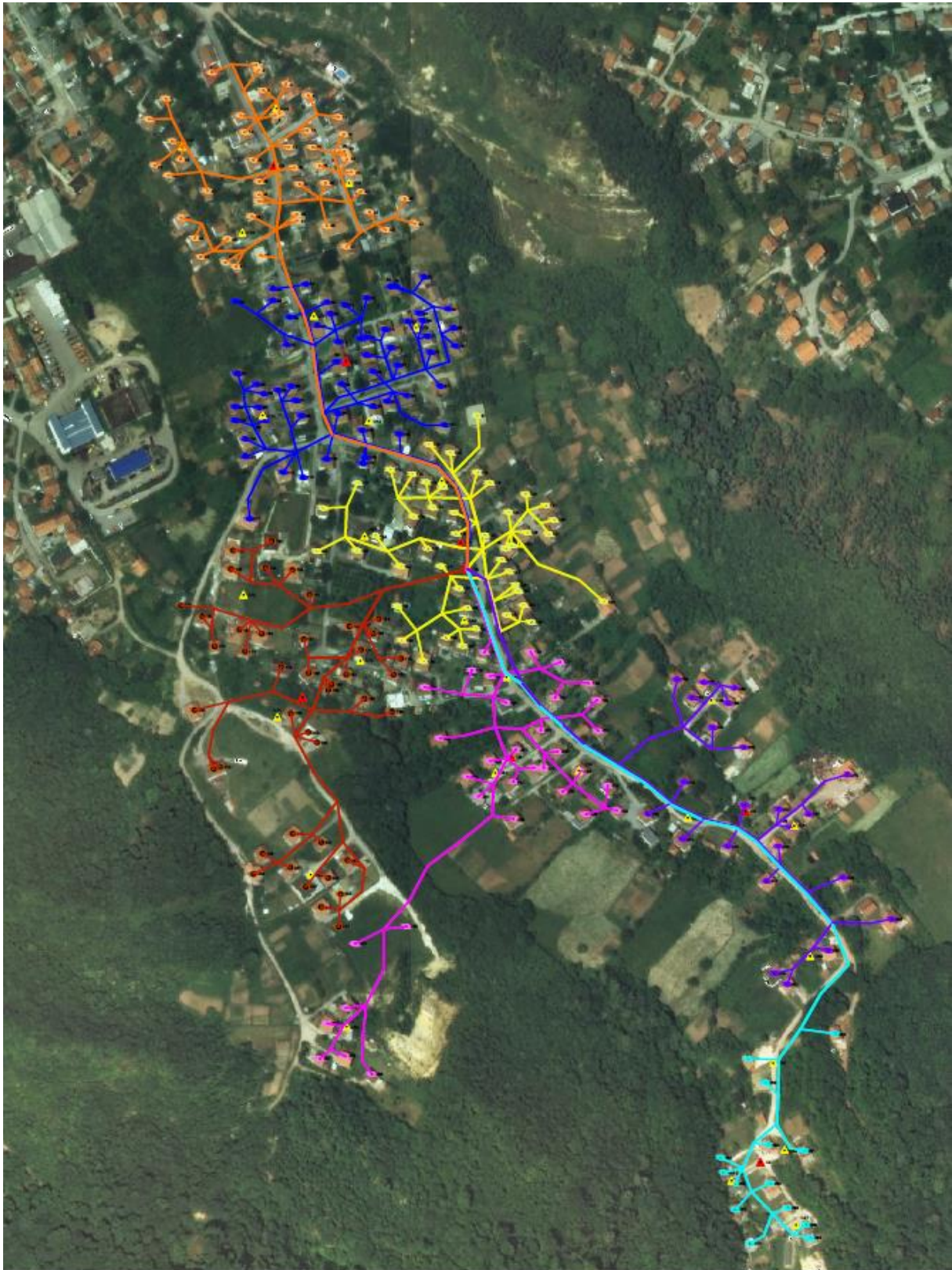
Mrežne topologije svih alternativa formiraju se na georeferenciranim podlogama sa prostornim pogledom na kojem se može vidjeti prostorni raspored objekata, putova, šuma, rijeka i sl. Formiraju se crtanjem mreža u softverskim paketima prigodnim za crtanje. U ovoj disertaciji koristi se AutoCAD. U prvom koraku vrši se bojenje (označavanje) skupina, podskupina i njihovih centara, odnosno podcentara, a zatim se crtaju mreže, prema smjernicama rasprostiranja koje su dobivene u prvom koraku. Idejna rješenja niskonaponskih distribucijskih mreža svih alternativa, koja se dobivaju metodom neizrazitog grupiranja prikazana su na slikama 5.16–5.19.



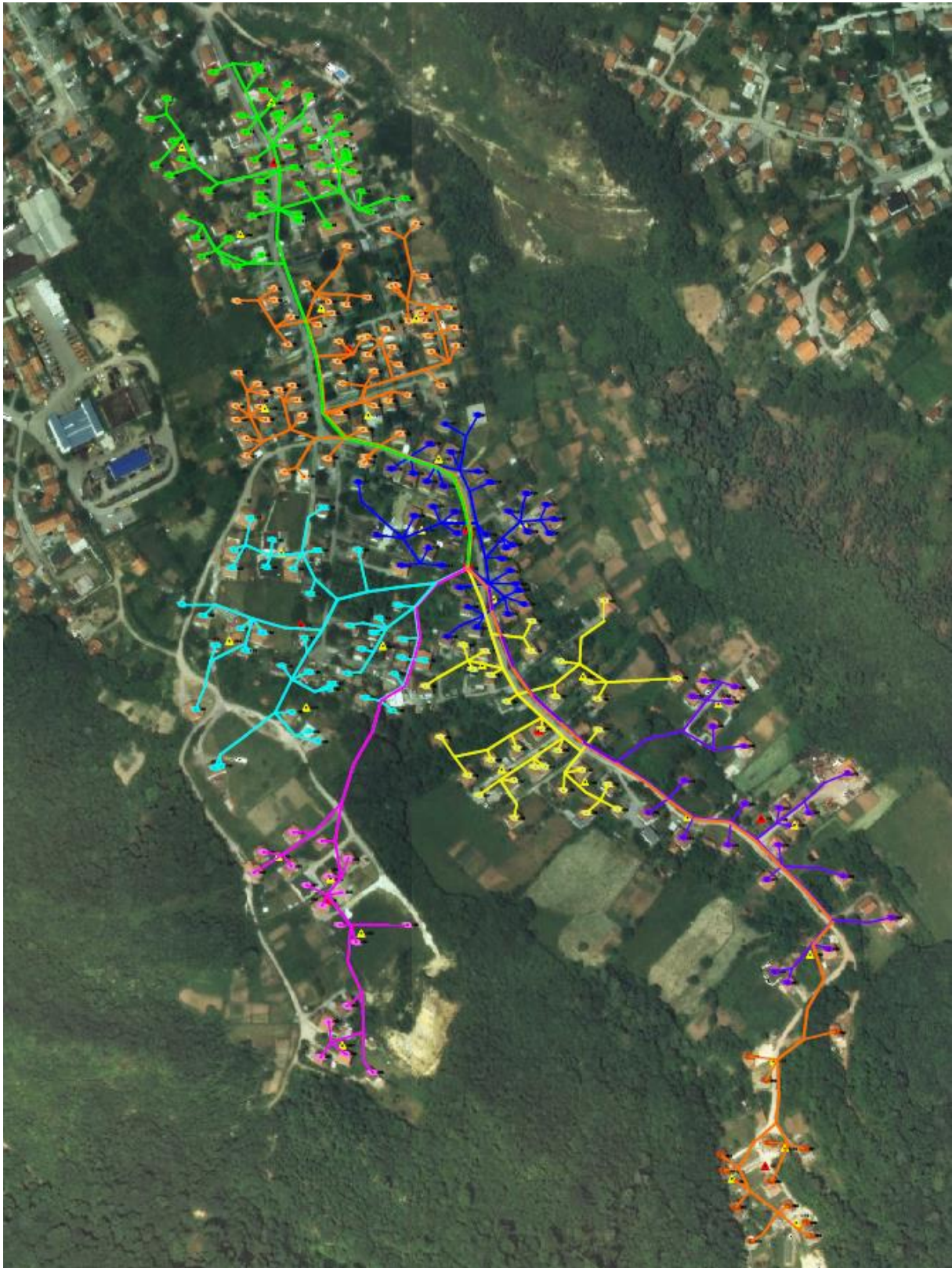
Slika 5.16. Idejno rješenje distribucijske mreže sa 5 niskonaponskih izvoda



Slika 5.17. Idejno rješenje distribucijske mreže sa 6 niskonaponskih izvoda



Slika 5.18. Idejno rješenje distribucijske mreže sa 7 niskonaponskih izvoda



Slika 5.19. Idejno rješenje distribucijske mreže sa 8 niskonaponskih izvoda

Sa slika se može uočiti da u svakom ponuđenom rješenju egzistira određeni broj stupnih mjesta. Koordinate stupnih mjesta za svaku alternativu su dane u priložima 5–8.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

5.6. FORMIRANJE KRITERIJA

U prethodnom koraku se dobivaju prostorni izgledi niskonaponskih distribucijskih mreža svih predviđenih alternativa. Ovo, međutim, ne daje odgovor na pitanje koja je od ponuđenih alternativa najbolja. Za to je, na neki način, potrebno ocijeniti svako od ponuđenih rješenja i zatim izvršiti usporedbu jednog sa drugim. Stoga se uspostavljaju kriteriji temeljem kojih će se izvršiti vrednovanje ponuđenih alternativa.

Broj kriterija nije precizno definiran i ovisi isključivo od onoga tko vrši planiranje mreže. Pri odabiru kriterija mora se voditi računa kako o interesima potrošača tako i o interesima elektroenergetske tvrtke. Veći broj kriterija znači odabir kvalitetnije alternative, ali nije uvijek neophodan. Nekada se i s manjim brojem kriterija može dobiti zadovoljavajuće rješenje.

Isertavanjem niskonaponskih distribucijskih mreža, za svaku alternativu, dobivaju se podaci o dužinama i presjecima niskonaponskih vodova koji su potrebni za kasnije proračune tokova snaga (Prilozi 9–12).

Kriteriji za vrednovanje alternativa mogu biti različiti. U konkretnom primjeru odabrana su četiri kriterija temeljem kojih će se vrednovati ponuđene alternative, a to su:

1. Padovi napona kod krajnjih potrošača;
2. Gubici snage u niskonaponskim vodovima;
3. Opterećenje niskonaponskih vodova;
4. Investicijski troškovi.

Kvantitativna ocjena prva tri kriterija dobiva se proračunom tokova snaga koji se može provesti bilo kojim softverskim paketom namijenjenim za takvu vrstu proračuna. Predloženi model koristi softverski paket Matpower, koji u biti predstavlja dodatak Matlab-u. Ulazni podaci za proračun tokova snaga svih varijanti su dani u prilogima 13–17.

Podaci o transformatorskoj stanici, odnosno stupnim mjestima su dani u tablicama 5.13 i 5.14.

Tablica 5.13. Podaci za Matpower o transformatorskoj stanici

| Bus number | P_g (MW) | Q_g (MVar) | Q_{max} (MVar) | Q_{min} (MVar) | V_g (p.u.) | mBase (MVA) | Status | P_{max} (MW) | P_{min} (MW) |
|------------|------------|--------------|------------------|------------------|--------------|-------------|--------|----------------|----------------|
| 999 | 0.4 | 0.0 | 0.02 | -0.02 | 1 | 1 | 1 | 0.38 | 0 |

Tablica 5.14. Podaci za Matpower o jednom stupnom mjestu

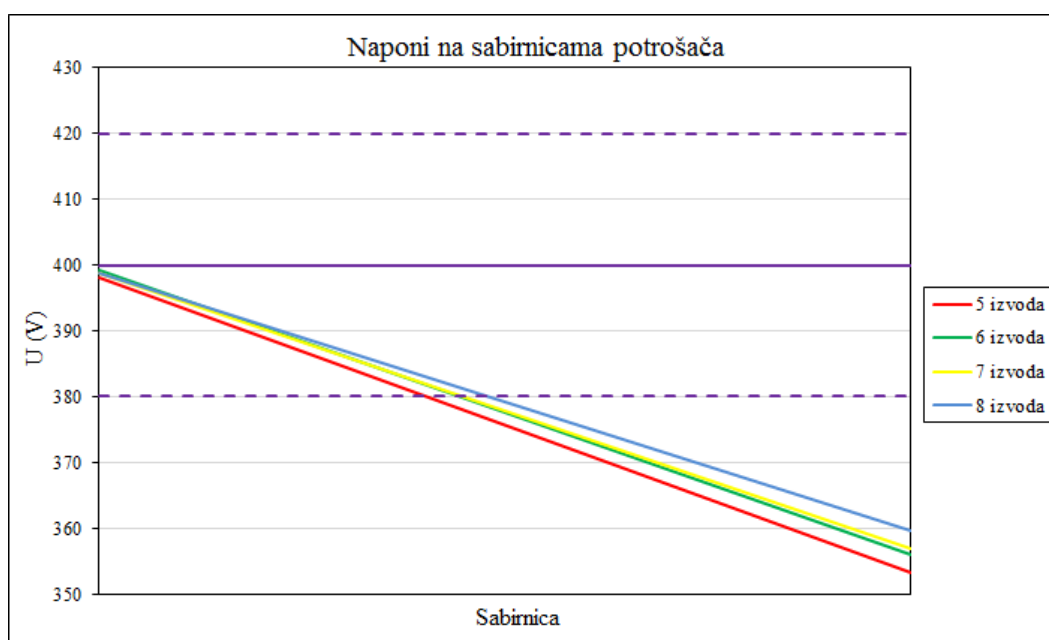
| Bus number | Type | P_d (MW) | Q_d (MVar) | G_s (MW) | B_s (MVar) | Area number | V_m (p.u.) | V_a (°) | Base (kV) | Zone | V_{max} (p.u.) | V_{min} (p.u.) |
|------------|------|------------|--------------|------------|--------------|-------------|--------------|-----------|-----------|------|------------------|------------------|
| 1000 | 1 | 0.000000 | 0.000000 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0.4 | 1 | 1.05 | 0.95 |

Dakle, u podatke o opterećenju sabirnica (Prilog 13) potrebno je za svaku alternativu dodati podatke o svim stupnim mjestima koliko ih ima pojedina alternativa.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

5.13.1. Padovi napona kod krajnjih potrošača

Uvođenjem tržišnog poslovanja u elektroenergetski sektor u prvi plan su došli zahtjevi potrošača u vezi s kvalitetom isporučene električne energije. Stoga se kao prvi kriterij u predloženom modelu planiranja uspostavlja veličina pada napona kod krajnjih potrošača. Na dijagramu sa slike 5.18, odnosno u tablici 5.15 predstavljene su vrijednosti napona na sabirnicama potrošača za sve uspostavljene alternative.



Slika 5.20. Naponi na sabirnicama potrošača svih alternativa

Tablica 5.15. Padovi napona kod krajnjih potrošača

| Broj NN izvoda | Proračunate vrijednosti | | | |
|----------------|-------------------------|-------|----------------|----------------|
| | ΔU (p.u.) | U (V) | ΔU (V) | ΔU (%) |
| 5 | 0,883 | 353,2 | -46,8 | -11,7 |
| 6 | 0,890 | 356,0 | -44,0 | -11,0 |
| 7 | 0,892 | 356,8 | -43,2 | -10,8 |
| 8 | 0,899 | 359,6 | -40,4 | -10,1 |

Temeljem dobivenih vrijednosti vrši se rangiranje pojedinih alternativa u odnosu na dani kriterij. Ovom kriteriju se daje najveći značaj u odnosu na ostale kriterije obzirom da je cilj svake elektrodistributivne tvrtke što veći broj kupaca električne energije, ali koje je moguće osigurati samo isporukom kvalitetne električne energije. Naravno, ukoliko neka tvrtka posluje u monopolističkom sustavu onda su njeni prioriteti drugačiji, te vrednovanje ovog kriterija ne mora biti na prvom mjestu, odnosno nekim drugim kriterijima, koji za tvrtku mogu biti izuzetno bitni, može se dati određena prednost.

5.6.2. Gubici snage

Gubici radne snage u niskonaponskim vodovima su drugi kriterij za vrednovanje alternativa. Ovaj kriterij ima značaj za elektrodistributivnu tvrtku i u predloženom modelu planiranja se svrstava na drugo mjesto po važnosti. Ukupni gubici u niskonaponskim vodovima, za sve ponuđene alternative, su prikazani u tablici 5.16.

Tablica 5.16. Gubici aktivne snage u niskonaponskim vodovima

| Broj NN izvoda | P_{pot} (kW) | Gubici | |
|----------------|----------------|--------|------|
| | | (kW) | (%) |
| 5 | 365,74 | 20,92 | 5,41 |
| 6 | | 18,71 | 4,87 |
| 7 | | 18,68 | 4,86 |
| 8 | | 17,38 | 4,54 |

5.6.3. Opterećenje vodova

Slijedeći kriterij koji se odabire za ocjenu alternativa je opterećenje niskonaponskih vodova. Jasno je da se niskonaponskim vodovima mora prenijeti sva zahtijevana snaga do krajnjih kupaca, ali se vodovi ne smiju preopteretiti. Ovaj kriterij nema toliki značaj kao prethodni kriteriji i daje mu se znatno manja važnost. U tablicama 5.17–5.20 je dan pregled prosječne opterećenosti niskonaponskih vodova svih ponuđenih alternativa.

Tablica 5.17. Prosječno opterećenje vodova alternative s 5 niskonaponskih izvoda

| Izvod | P_{pot} (kW) | Q_{pot} (kVAr) | P_{gub} (kW) | Q_{gub} (kVAr) | P_{uk} (kW) | Q_{uk} (kVAr) | $\cos\varphi$ | U_n (kV) | I_n (A) | I_{opt} | |
|------------------------|----------------|------------------|----------------|------------------|---------------|-----------------|---------------|------------|-----------|-----------|-------|
| | | | | | | | | | | (A) | (%) |
| 1 | 118,7 | 27,35 | 6,01 | 0,96 | 124,7 | 28,31 | 0,975 | 0,4 | 198 | 184,58 | 93,22 |
| 2 | 18,48 | 4,260 | 0,55 | 0,09 | 19,03 | 4,350 | 0,975 | 0,4 | 198 | 28,180 | 14,23 |
| 3 | 72,90 | 16,80 | 1,87 | 0,29 | 74,78 | 17,09 | 0,975 | 0,4 | 198 | 110,71 | 55,91 |
| 4 | 68,85 | 15,87 | 1,75 | 0,28 | 70,60 | 16,14 | 0,975 | 0,4 | 198 | 104,53 | 52,79 |
| 5 | 86,80 | 20,00 | 10,7 | 1,77 | 97,54 | 21,77 | 0,976 | 0,4 | 198 | 144,25 | 72,85 |
| Prosječno opterećenje: | | | | | | | | | | 114,45 | 57,80 |

Tablica 5.18. Prosječno opterećenje vodova alternative s 6 niskonaponskih izvoda

| Izvod | P_{pot} (kW) | Q_{pot} (kVAr) | P_{gub} (kW) | Q_{gub} (kVAr) | P_{uk} (kW) | Q_{uk} (kVAr) | $\cos\varphi$ | U_n (kV) | I_n (A) | I_{opt} | |
|------------------------|----------------|------------------|----------------|------------------|---------------|-----------------|---------------|------------|-----------|-----------|-------|
| | | | | | | | | | | (A) | (%) |
| 1 | 94,66 | 21,81 | 0,95 | 0,13 | 95,62 | 21,94 | 0,975 | 0,4 | 198 | 141,60 | 71,51 |
| 2 | 97,49 | 22,46 | 5,72 | 0,91 | 103,2 | 23,37 | 0,975 | 0,4 | 198 | 152,74 | 77,14 |
| 3 | 84,78 | 19,53 | 9,67 | 1,60 | 94,45 | 21,13 | 0,976 | 0,4 | 198 | 139,70 | 70,56 |
| 4 | 30,35 | 6,990 | 0,79 | 0,13 | 31,13 | 7,120 | 0,975 | 0,4 | 198 | 46,100 | 23,28 |
| 5 | 41,40 | 9,540 | 1,06 | 0,17 | 42,46 | 9,710 | 0,975 | 0,4 | 198 | 62,870 | 31,75 |
| 6 | 17,06 | 3,930 | 0,51 | 0,08 | 17,57 | 4,010 | 0,975 | 0,4 | 198 | 26,010 | 13,14 |
| Prosječno opterećenje: | | | | | | | | | | 94,840 | 47,90 |

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Tablica 5.19. Prosječno opterećenje vodova alternative s 7 niskonaponskih izvoda

| Izvod | P _{pot} (kW) | Q _{pot} (kVAr) | P _{gub} (kW) | Q _{gub} (kVAr) | P _{uk} (kW) | Q _{uk} (kVAr) | cosφ | U _n (kV) | I _n (A) | I _{opt} | |
|------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|-------|------------------------|-----------------------|------------------|-------|
| | | | | | | | | | | (A) | (%) |
| 1 | 55,76 | 12,85 | 0,45 | 0,06 | 56,21 | 12,91 | 0,975 | 0,4 | 198 | 83,250 | 42,04 |
| 2 | 92,06 | 21,21 | 5,87 | 0,93 | 97,93 | 22,14 | 0,975 | 0,4 | 198 | 144,92 | 73,19 |
| 3 | 82,21 | 18,94 | 9,52 | 1,57 | 91,73 | 20,51 | 0,976 | 0,4 | 198 | 135,67 | 68,52 |
| 4 | 50,72 | 11,69 | 1,05 | 0,16 | 51,77 | 11,85 | 0,975 | 0,4 | 198 | 76,650 | 38,71 |
| 5 | 44,26 | 10,20 | 0,82 | 0,13 | 45,09 | 10,32 | 0,975 | 0,4 | 198 | 66,760 | 33,72 |
| 6 | 27,65 | 6,370 | 0,64 | 0,10 | 28,28 | 6,470 | 0,975 | 0,4 | 198 | 41,880 | 21,15 |
| 7 | 13,07 | 3,010 | 0,34 | 0,06 | 13,41 | 3,070 | 0,975 | 0,4 | 198 | 19,850 | 10,03 |
| Prosječno opterećenje: | | | | | | | | | | 81,280 | 41,05 |

Tablica 5.20. Prosječno opterećenje vodova alternative s 8 niskonaponskih izvoda

| Izvod | P _{pot} (kW) | Q _{pot} (kVAr) | P _{gub} (kW) | Q _{gub} (kVAr) | P _{uk} (kW) | Q _{uk} (kVAr) | cosφ | U _n (kV) | I _n (A) | I _{opt} | |
|------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|-------|------------------------|-----------------------|------------------|-------|
| | | | | | | | | | | (A) | (%) |
| 1 | 50,68 | 11,68 | 0,38 | 0,06 | 51,07 | 11,73 | 0,975 | 0,4 | 198 | 75,630 | 38,20 |
| 2 | 93,91 | 21,64 | 6,36 | 0,99 | 100,3 | 22,63 | 0,975 | 0,4 | 198 | 148,36 | 74,93 |
| 3 | 77,85 | 17,94 | 8,23 | 1,36 | 86,08 | 19,29 | 0,976 | 0,4 | 198 | 127,33 | 64,31 |
| 4 | 41,46 | 9,550 | 0,49 | 0,07 | 41,95 | 9,630 | 0,975 | 0,4 | 198 | 62,130 | 31,38 |
| 5 | 21,72 | 5,010 | 0,43 | 0,07 | 22,15 | 5,070 | 0,975 | 0,4 | 198 | 32,800 | 16,56 |
| 6 | 39,55 | 9,110 | 0,54 | 0,08 | 40,10 | 9,200 | 0,975 | 0,4 | 198 | 59,380 | 29,99 |
| 7 | 27,49 | 6,330 | 0,62 | 0,10 | 28,11 | 6,430 | 0,975 | 0,4 | 198 | 41,610 | 21,02 |
| 8 | 13,07 | 3,010 | 0,33 | 0,06 | 13,40 | 3,070 | 0,975 | 0,4 | 198 | 19,840 | 10,02 |
| Prosječno opterećenje: | | | | | | | | | | 70,880 | 35,80 |

5.6.4. Investicijski troškovi

Ovim kriterijem se definiraju investicijski troškovi izgradnje niskonaponske distribucijske mreže. Kao i prethodni kriterij, u uvjetima tržišnog poslovanja, nema toliku važnost u odnosu na prva dva kriterija i na razini je prethodnog kriterija.

Za definiranje ovog kriterija potrebno je uspostaviti određeni cjenik elemenata mreže, opreme i potrebnih radova. U tablicama u nastavku su dani cjenici temeljem kojih je moguće procijeniti investicijske troškove izgradnje predloženih mreža.

Tablica 5.21. Cjenik nabavke i montaže transformatorske stanice

| Vrsta usluge | Cijena (€) |
|--|---------------|
| Građevinski radovi | 5.700,26 |
| Elektromontažni radovi + transformator | 24.818,41 |
| Ukupno: | 30.518,67 |

Tablica 5.22. Cjenik nabavke i montaže stupova

| Tip stupa | Cijena (nabavka, transport i montaža) (€/kom) |
|---|--|
| Nosni | 360,61 |
| Nosni | 387,21 |
| Zatezni–kutni | 555,50 |
| Zatezni–kutni | 723,79 |
| Zatezni–kutni | 774,42 |
| Kutni | 883,38 |
| Kutno–zatezni | 997,44 |
| Kutno–zatezni | 1.058,82 |
| Prosječna cijena po stupu: | 717,65 |
| Ovješnja i odvodnici prenapona (po stupu) | 153,45 |
| Ukupno po stupu: | 871,10 |

Tablica 5.23. Cjenik kabela

| Tip i presjek kabela | Cijena (nabavka, transport i montaža) (€/m) |
|--------------------------|---|
| SKS 4×70 mm ² | 10,23 |
| SKS 4×35 mm ² | 8,18 |
| SKS 4×16 mm ² | 4,09 |

Temeljem danih cjenika i podataka koje je moguće dobiti iz idejnih rješenja procjenjuju se investicijski troškovi svih alternativa (Tablice 5.24–5.27).

Tablica 5.24. Procijenjeni investicijski troškovi idejnog rješenja s 5 niskonaponskih izvoda

| Izvod | TS (€) | Broj stupova | Ukupno stupovi (€) | SKS 70 mm ² (m) | Ukupno SKS (€) | SKS 35 mm ² (m) | Ukupno SKS (€) | SKS 16 mm ² (m) | Ukupno SKS (€) | Ukupno (€) |
|---------|-----------|-----------------|--------------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|---------------|
| 1 | 30.519 | 32 | 27.875 | 305 | 3.117 | 610 | 4.994 | 1.482 | 6.065 | 48.154 |
| 2 | | 17 | 14.809 | 598 | 6.119 | 243 | 1.993 | 382 | 1.565 | 30.589 |
| 3 | | 38 | 33.102 | 354 | 3.625 | 796 | 6.513 | 1.223 | 5.003 | 54.346 |
| 4 | | 25 | 21.777 | 252 | 2.582 | 528 | 4.324 | 999 | 4.087 | 38.875 |
| 5 | | 20 | 17.422 | 423 | 4.323 | 396 | 3.238 | 1.062 | 4.345 | 35.431 |
| Ukupno: | 30.519 | 132 | 114.985 | 1.932 | 19.765 | 2.573 | 21.062 | 5.148 | 21.064 | 207.395 |

Tablica 5.25. Procijenjeni investicijski troškovi idejnog rješenja s 6 niskonaponskih izvoda

| Izvod | TS (€) | Broj stupova | Ukupno stupovi (€) | SKS 70 mm ² (m) | Ukupno SKS (€) | SKS 35 mm ² (m) | Ukupno SKS (€) | SKS 16 mm ² (m) | Ukupno SKS (€) | Ukupno (€) |
|---------|--------|--------------|--------------------|----------------------------|----------------|----------------------------|----------------|----------------------------|----------------|------------|
| 1 | 30.519 | 32 | 27.875 | 148 | 1.510 | 883 | 7.230 | 1.186 | 4.853 | 46.554 |
| 2 | | 37 | 32.231 | 247 | 2.528 | 693 | 5.675 | 1.009 | 4.129 | 49.649 |
| 3 | | 36 | 31.360 | 410 | 4.198 | 512 | 4.192 | 837 | 3.427 | 48.263 |
| 4 | | 19 | 16.551 | 371 | 3.791 | 450 | 3.687 | 384 | 1.569 | 30.684 |
| 5 | | 26 | 22.649 | 298 | 3.044 | 446 | 3.652 | 628 | 2.571 | 37.002 |
| 6 | | 14 | 12.195 | 627 | 6.410 | 166 | 1.355 | 350 | 1.432 | 26.479 |
| Ukupno: | 30.519 | 164 | 142.860 | 2.100 | 21.481 | 3.151 | 25.791 | 4.394 | 17.980 | 238.631 |

Tablica 5.26. Procijenjeni investicijski troškovi idejnog rješenja s 7 niskonaponskih izvoda

| Izvod | TS (€) | Broj stupova | Ukupno stupovi (€) | SKS 70 mm ² (m) | Ukupno SKS (€) | SKS 35 mm ² (m) | Ukupno SKS (€) | SKS 16 mm ² (m) | Ukupno SKS (€) | Ukupno (€) |
|---------|--------|--------------|--------------------|----------------------------|----------------|----------------------------|----------------|----------------------------|----------------|------------|
| 1 | 30.519 | 25 | 21.777 | 103 | 1.053 | 520 | 4.252 | 769 | 3.146 | 34.588 |
| 2 | | 39 | 33.973 | 247 | 2.530 | 676 | 5.531 | 839 | 3.432 | 49.825 |
| 3 | | 25 | 21.777 | 410 | 4.190 | 476 | 3.896 | 792 | 3.241 | 37.464 |
| 4 | | 33 | 28.746 | 205 | 2.096 | 729 | 5.964 | 635 | 2.598 | 43.764 |
| 5 | | 29 | 25.262 | 206 | 2.111 | 552 | 4.517 | 508 | 2.080 | 38.329 |
| 6 | | 26 | 22.649 | 389 | 3.975 | 335 | 2.745 | 375 | 1.534 | 35.262 |
| 7 | | 13 | 11.324 | 641 | 6.553 | 107 | 878 | 224 | 917 | 24.033 |
| Ukupno: | 30.519 | 190 | 165.509 | 2.200 | 22.507 | 3.395 | 27.782 | 4.142 | 16.948 | 263.265 |

Tablica 5.27. Procijenjeni investicijski troškovi idejnog rješenja s 8 niskonaponskih izvoda

| Izvod | TS (€) | Broj stupova | Ukupno stupovi (€) | SKS 70 mm ² (m) | Ukupno SKS (€) | SKS 35 mm ² (m) | Ukupno SKS (€) | SKS 16 mm ² (m) | Ukupno SKS (€) | Ukupno (€) |
|---------|--------|--------------|--------------------|----------------------------|----------------|----------------------------|----------------|----------------------------|----------------|------------|
| 1 | 30.519 | 20 | 17.422 | 111 | 1.134 | 329 | 2.690 | 569 | 2.327 | 27.388 |
| 2 | | 35 | 30.488 | 237 | 2.428 | 675 | 5.522 | 821 | 3.360 | 45.613 |
| 3 | | 26 | 22.649 | 409 | 4.184 | 469 | 3.835 | 706 | 2.888 | 37.371 |
| 4 | | 33 | 28.746 | 155 | 1.588 | 654 | 5.355 | 506 | 2.069 | 41.573 |
| 5 | | 15 | 13.066 | 334 | 3.421 | 230 | 1.881 | 253 | 1.037 | 23.220 |
| 6 | | 25 | 21.777 | 157 | 1.608 | 475 | 3.885 | 419 | 1.714 | 32.800 |
| 7 | | 28 | 24.391 | 359 | 3.672 | 374 | 3.060 | 351 | 1.436 | 36.374 |
| 8 | | 14 | 12.195 | 664 | 6.794 | 113 | 927 | 205 | 841 | 24.572 |
| Ukupno: | 30.519 | 196 | 170.736 | 2.427 | 24.829 | 3.318 | 27.155 | 3.830 | 15.673 | 268.912 |

5.7. RANGIRANJE

Nakon uspostavljanja kvantitativnih vrijednosti pojedinih kriterija potrebno je izvršiti:

- rangiranje kriterija,
- rangiranje alternativa (varijanti).

Ovi koraci se provode primjenom AHP metode.

5.7.1. Rangiranje kriterija

Primjenom AHP metode prvo se vrši ocjena važnosti svakog kriterija. Ova ocjena je subjektivna i ovisi o onome tko vrši planiranje. U danom primjeru mreže ocjena važnosti odabranih kriterija se vrši kako je to prikazano u tablici 5.28.

Tablica 5.28. Ocjena važnosti kriterija

| Kriterij | Ocjena | Objašnjenje |
|--------------------|--------|--------------------|
| Pad napona | 1 | Najveća važnost |
| Gubici snage | 2 | Malo manja važnost |
| Opterećenje vodova | 4 | Mala važnost |
| Investicija | 5 | Najmanja važnost |

Temeljem ovih ocjena formira se matrica za usporedbu kriterija (Tablica 5.29).

Tablica 5.29. Matrica usporedbe kriterija

| Kriterij | Pad napona | Gubici | Opterećenje vodova | Investicija |
|--------------------|------------|--------|--------------------|-------------|
| Pad napona | 1 | 2 | 4 | 5 |
| Gubici | 0,50 | 1 | 4 | 5 |
| Opterećenje vodova | 0,25 | 0,25 | 1 | 2 |
| Investicija | 0,20 | 0,20 | 0,50 | 1 |

Težine redaka matrice usporedbe kriterija, odnosno njihove geometrijske sredine, dobivaju se prema jednadžbi 3.22:

$$m_1 = 2,51487$$

$$m_2 = 1,77828$$

$$m_3 = 0,59460$$

$$m_4 = 0,37606$$

Prema jednadžbi 3.19 dobivaju se vrijednosti prioriteta za matricu usporedbe kriterija koje pokazuju koliki je utjecaj kriterija na odluku, odnosno:

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

$$p_1 = 0,47777$$

$$p_2 = 0,33783$$

$$p_3 = 0,11296$$

$$p_4 = 0,07144$$

Nakon ovoga se određuje vektor svojstvenih vrijednosti matrice usporedbe, odnosno radi se normaliziranje matrice usporedbe, prema jednadžbi 3.23. Dobiva se tablica 5.30.

Tablica 5.30. Normalizirana matrica usporedbe kriterija

| Kriterij | Pad napona | Gubici | Opterećenje vodova | Investicija | Zbroj redaka |
|--------------------|------------|---------|--------------------|-------------|--------------|
| Pad napona | 0,51282 | 0,57971 | 0,42105 | 0,38462 | 1,89820 |
| Gubici | 0,25641 | 0,28986 | 0,42105 | 0,38462 | 1,35193 |
| Opterećenje vodova | 0,12821 | 0,07246 | 0,10526 | 0,15385 | 0,45978 |
| Investicija | 0,10256 | 0,05797 | 0,05263 | 0,07692 | 0,29009 |

Dijeljenjem zbroja redaka normalizirane matrice s ukupnim brojem redaka dobivaju se težinske vrijednosti kriterija. Dakle, prema jednadžbi 3.24 dobiva se zadnji stupac tablice 5.31.

Tablica 5.31. Vektor težinskih vrijednosti

| Kriterij | Pad napona | Gubici | Opterećenje vodova | Investicija | Zbroj redaka | Vektor težinskih vrijednosti |
|--------------------|------------|---------|--------------------|-------------|--------------|------------------------------|
| Pad napona | 0,51282 | 0,57971 | 0,42105 | 0,38462 | 1,89820 | 0,47455 |
| Gubici | 0,25641 | 0,28986 | 0,42105 | 0,38462 | 1,35193 | 0,33798 |
| Opterećenje vodova | 0,12821 | 0,07246 | 0,10526 | 0,15385 | 0,45978 | 0,11494 |
| Investicija | 0,10256 | 0,05797 | 0,05263 | 0,07692 | 0,29009 | 0,07252 |

Na kraju ovoga koraka je potrebno provjeriti da li je ocjena važnosti kriterija izvršena na pravilan način, odnosno da li postoji konzistentnost u procjeni kriterija.

Prvo se, množenjem matrice usporedbe kriterija s vektorom težinskih vrijednosti prema jednadžbi 3.25, dobivaju vrijednosti vektora konzistencije:

$$C_{v1} = 1,97291$$

$$C_{v2} = 1,39765$$

$$C_{v3} = 0,46312$$

$$C_{v4} = 0,29250$$

Dijeljenjem ovih vrijednosti s odgovarajućim vrijednostima vektora težinskih vrijednosti dobiva se:

$$\lambda_1 = \frac{1,97291}{0,47455} = 4,15743$$

$$\lambda_2 = \frac{1,39765}{0,33798} = 4,13526$$

$$\lambda_3 = \frac{0,46312}{0,11494} = 4,02910$$

$$\lambda_4 = \frac{0,29250}{0,07252} = 4,03325$$

Prosječna vrijednost dobivenih vrijednosti je:

$$\lambda_{\max} = \frac{4,15743 + 4,13526 + 4,02910 + 4,03325}{4} = 4,08876$$

Vrijednost indeksa konzistencije se dobiva prema jednadžbi 3.17 i iznosi:

$$CI = 0,02959$$

Prema tablici 3.2 za $n = 4$ je slučajni indeks $RI = 0,9$, pa je prema jednadžbi 3.18 omjer konzistencije:

$$CR = \frac{0,02959}{0,9} = 0,0329$$

Obzirom da je $CR = 0,0329 < 0,1$ može se konstatirati da su ocjene važnosti kriterija konzistentne (dosljedne), odnosno da je izvršeno pravilno rangiranje kriterija.

5.7.2. Rangiranje alternativa

Utvrđivanje konzistentnosti kriterija omogućuje proračun prioriteta alternativa u odnosu na zadane kriterije, odnosno rangiranje alternativa. Postupak se provodi za svaki kriterij posebno. Postupak je sličan postupku rangiranja kriterija.

Kriterij 1: Pad napona

Vrijednosti padova napona, koje se dobivaju proračunom tokova snaga za svako idejno rješenje, dane su u tablici 5.32.

Tablica 5.32. Vrijednosti padova napona pojedinih alternativa

| Broj alternative | Alternativa | ΔU (V) |
|------------------|-------------|----------------------|
| 1 | 5 NN izvoda | $\Delta U_1 = -46,8$ |
| 2 | 6 NN izvoda | $\Delta U_2 = -44,0$ |
| 3 | 7 NN izvoda | $\Delta U_3 = -43,2$ |
| 4 | 8 NN izvoda | $\Delta U_4 = -40,4$ |

Prvo se uspostavlja matrica usporedbe alternativa kao u tablici 5.33.

Tablica 5.33. Matrica usporedbe alternativa za kriterij 1

| Pad napona | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | Alternativa 4 |
|---------------|---|---|---|---|
| Alternativa 1 | $\frac{\Delta U_1}{\Delta U_1} = 1$ | $\frac{\Delta U_2}{\Delta U_1} = 0,94017$ | $\frac{\Delta U_3}{\Delta U_1} = 0,92308$ | $\frac{\Delta U_4}{\Delta U_1} = 0,86325$ |
| Alternativa 2 | $\frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} = 1,06364$ | $\frac{\Delta U_2}{\Delta U_2} = 1$ | $\frac{\Delta U_3}{\Delta U_2} = 0,98182$ | $\frac{\Delta U_4}{\Delta U_2} = 0,91818$ |
| Alternativa 3 | $\frac{\Delta U_1}{\Delta U_3} = 1,08333$ | $\frac{\Delta U_2}{\Delta U_3} = 1,01852$ | $\frac{\Delta U_3}{\Delta U_3} = 1$ | $\frac{\Delta U_4}{\Delta U_3} = 0,93519$ |
| Alternativa 4 | $\frac{\Delta U_1}{\Delta U_4} = 1,15842$ | $\frac{\Delta U_2}{\Delta U_4} = 1,08911$ | $\frac{\Delta U_3}{\Delta U_4} = 1,06931$ | $\frac{\Delta U_4}{\Delta U_4} = 1$ |

Prema jednadžbi 3.22 težine redaka matrice usporedbe alternativa su:

$$m_1 = 0,93035$$

$$m_2 = 0,98955$$

$$m_3 = 1,00788$$

$$m_4 = 1,07773$$

Prema jednadžbi 3.19 vrijednosti prioriteta za matricu usporedbe alternativa su kako je to prikazano u tablici 5.34.

Tablica 5.34. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 1

| Pad napona | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k1}$ |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,94017 | 0,92308 | 0,86325 | 0,23227 |
| Altern. 2 | 1,06364 | 1 | 0,98182 | 0,91818 | 0,24705 |
| Altern. 3 | 1,08333 | 1,01852 | 1 | 0,93519 | 0,25162 |
| Altern. 4 | 1,15842 | 1,08911 | 1,06931 | 1 | 0,26906 |

Kriterij 2: Gubici snage

Vrijednosti gubitaka radne snage, koje se dobivaju proračunom tokova snaga za svako idejno rješenje, dane su u tablici 5.35.

Tablica 5.35. Vrijednosti gubitaka radne snage pojedinih alternativa

| Broj alternative | Alternativa | P_{gub} (kW) |
|------------------|-------------|--------------------|
| 1 | 5 NN izvoda | $P_{gub1} = 20,92$ |
| 2 | 6 NN izvoda | $P_{gub2} = 18,71$ |
| 3 | 7 NN izvoda | $P_{gub3} = 18,68$ |
| 4 | 8 NN izvoda | $P_{gub4} = 17,38$ |

Prema jednadžbi 3.22 težine redaka matrice usporedbe alternativa su:

$$m_1 = 0,90251$$

$$m_2 = 1,00912$$

$$m_3 = 1,01074$$

$$m_4 = 1,08634$$

Matrica usporedbe alternativa i vrijednosti prioriteta za kriterij 2 dani su u tablici 5.36.

Tablica 5.36. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 2

| Gubici snage | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k2}$ |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,89436 | 0,89293 | 0,83078 | 0,22514 |
| Altern. 2 | 1,11812 | 1 | 0,99840 | 0,92892 | 0,25173 |
| Altern. 3 | 1,11991 | 1,00161 | 1 | 0,93041 | 0,25214 |
| Altern. 4 | 1,20368 | 1,07652 | 1,07480 | 1 | 0,27099 |

Kriterij 3: Opterećenje vodova

Vrijednosti prosječnog opterećenja niskonaponskih vodova, koje se dobivaju proračunom tokova snaga za svako idejno rješenje, dane su u tablici 5.37.

Tablica 5.37. Vrijednosti prosječnog opterećenja vodova pojedinih alternativa

| Broj alternative | Alternativa | $I_{\text{prosječno}}$ (%) |
|------------------|-------------|---------------------------------|
| 1 | 5 NN izvoda | $I_{\text{prosječno1}} = 57,80$ |
| 2 | 6 NN izvoda | $I_{\text{prosječno2}} = 47,90$ |
| 3 | 7 NN izvoda | $I_{\text{prosječno3}} = 41,05$ |
| 4 | 8 NN izvoda | $I_{\text{prosječno4}} = 35,80$ |

Prema jednadžbi 3.22 težine redaka matrice usporedbe alternativa su:

$$m_1 = 0,77700$$

$$m_2 = 0,93769$$

$$m_3 = 1,09405$$

$$m_4 = 1,25453$$

Matrica usporedbe alternativa i vrijednosti prioriteta za kriterij 3 dani su u tablici 5.38.

Tablica 5.38. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 3

| Opterećenje vodova | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k3}$ |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,82863 | 0,71021 | 0,61935 | 0,19123 |
| Altern. 2 | 1,20681 | 1 | 0,85708 | 0,74744 | 0,23077 |
| Altern. 3 | 1,40804 | 1,16675 | 1 | 0,87208 | 0,26925 |
| Altern. 4 | 1,61459 | 1,33790 | 1,14669 | 1 | 0,30875 |

Kriterij 4: Investicije

Ukupne procijenjene vrijednosti investicija za svako idejno rješenje dane su u tablici 5.39.

Tablica 5.39. Vrijednosti investicija pojedinih alternativa

| Broj alternative | Alternativa | T_{inv} (€) |
|------------------|-------------|----------------------|
| 1 | 5 NN izvoda | $T_{inv1} = 207.395$ |
| 2 | 6 NN izvoda | $T_{inv2} = 238.631$ |
| 3 | 7 NN izvoda | $T_{inv3} = 263.265$ |
| 4 | 8 NN izvoda | $T_{inv4} = 268.912$ |

Prema jednadžbi 3.22 težine redaka matrice usporedbe alternativa su:

$$m_1 = 1,17310$$

$$m_2 = 1,01954$$

$$m_3 = 0,92414$$

$$m_4 = 0,90474$$

Matrica usporedbe alternativa i vrijednosti prioriteta za kriterij 4 dani su u tablici 5.40.

Tablica 5.40. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 4

| Investicije | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k4}$ |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 1,15061 | 1,26939 | 1,29662 | 0,29170 |
| Altern. 2 | 0,86910 | 1 | 1,10323 | 1,12689 | 0,25352 |
| Altern. 3 | 0,78778 | 0,90643 | 1 | 1,02145 | 0,22980 |
| Altern. 4 | 0,77124 | 0,88740 | 0,97900 | 1 | 0,22497 |

Prethodnim postupkom su dobivene vrijednosti prioriteta alternativa u odnosu na kriterije. Množenjem ovih vrijednosti sa vrijednostima prioriteta matrice usporedbe kriterija dobiva se:

$$0,47777 \cdot \begin{bmatrix} 0,23227 \\ 0,24705 \\ 0,25162 \\ 0,26906 \end{bmatrix} + 0,33783 \cdot \begin{bmatrix} 0,22514 \\ 0,25173 \\ 0,25214 \\ 0,27099 \end{bmatrix} + 0,11296 \cdot \begin{bmatrix} 0,19123 \\ 0,23077 \\ 0,26925 \\ 0,30875 \end{bmatrix} + 0,07144 \cdot \begin{bmatrix} 0,29170 \\ 0,25352 \\ 0,22980 \\ 0,22497 \end{bmatrix}$$

odnosno,

$$\begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,22947 \\ 0,24725 \\ 0,25223 \\ 0,27105 \end{bmatrix}$$

Očito je da rješenje 4 daje najbolje rezultate. Dakle, alternativa s 8 niskonaponskih izvoda, prema danim kriterijima, predstavlja najbolje prostorno rješenje niskonaponske distribucijske mreže.

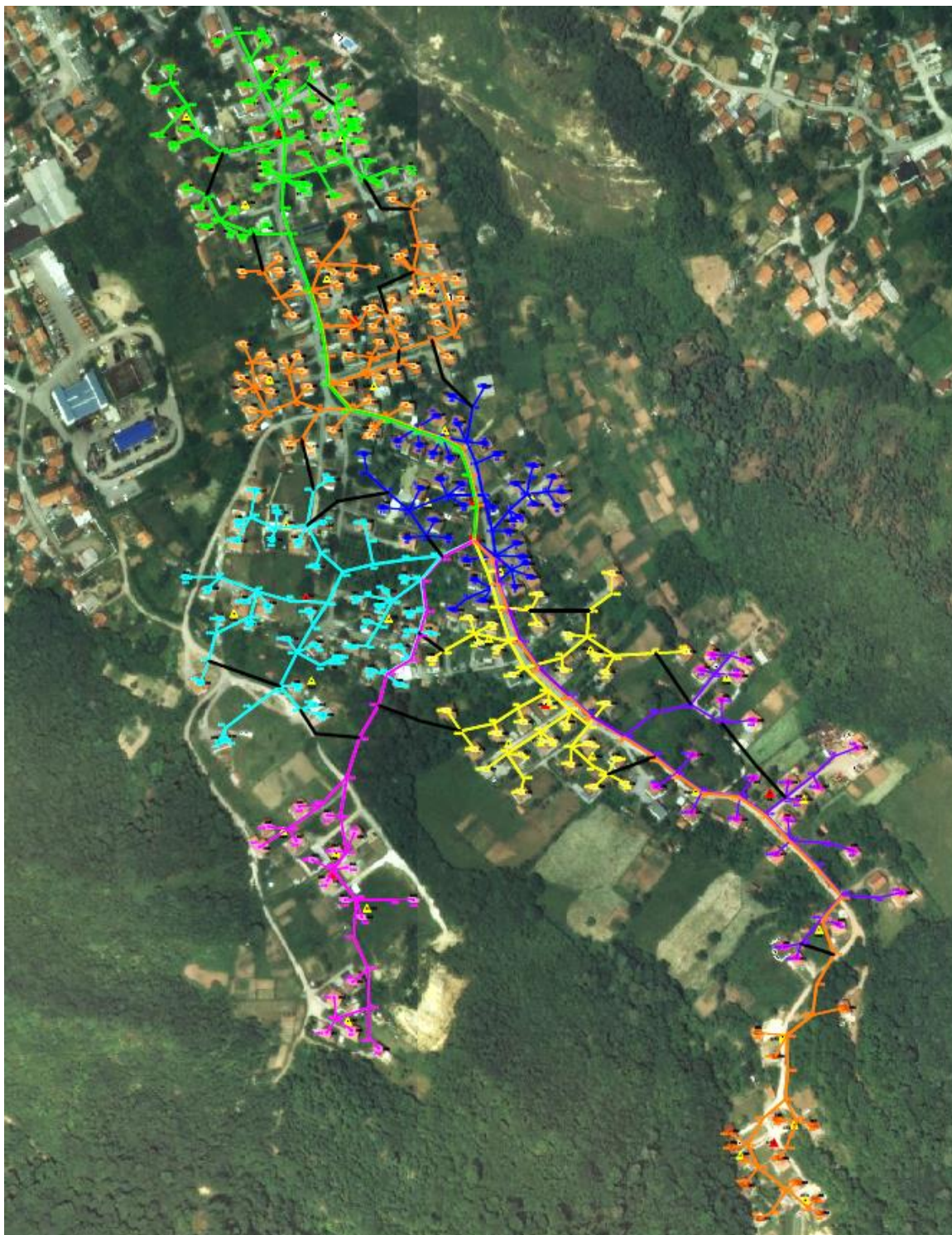
Može se zaključiti da rješenja ovise o bodovanju kriterija, kao i o formiranju idejnih rješenja. To znači da će iskusni inženjeri–planeri postizati bolje rezultate, budući da imaju više iskustva sa planiranjem mreža i mogu ponuditi najbolja prostorna rješenja u ovisnosti o broju niskonaponskih izvoda.

I pored toga, i manje iskusni inženjeri mogu postići zadovoljavajuće rezultate obzirom da se na kraju ipak pokazuje da dobivanje najboljeg prostornog rješenja nije upitno. Najvažnije je izvršiti pravilan odabir i vrednovanje kriterija, te formirati idejna rješenja s najmanjom mogućom dužinom mreže, uvažavajući topološka ograničenja u rasprostiranju mreže, odnosno pravilno odabrati presjke vodiča pri njenom formiranju.

5.8. OPTIMALNO RJEŠENJE

Prethodnim postupkom odabire se najbolje prostorno rješenje za niskonaponsku distribucijsku mrežu koja treba napajati potrošače na danom zemljopisnom području. To, međutim, ne znači da je ono i najbolje kada se promatraju padovi napona kod krajnjih potrošača, gubici snage i sl. U biti, ovakvo rješenje nije uvijek optimalno, iako to može biti.

Za dobivanje optimalnog rješenja u predloženom modelu planiranja koristi se algoritam simuliranog kaljenja. Prema ovom algoritmu je za dobivanje optimalnog uklopnog stanja mreže neophodno samo, na odabranom prostornom rješenju, dodati određeni broj međuveza između potrošača, odnosno stvoriti međuveze kao na slici 5.21 (dijelovi mreže, odnosno vodovi označeni crnom bojom).



Slika 5.21. Uspostavljanje međuveza u niskonaponskoj distribucijskoj mreži

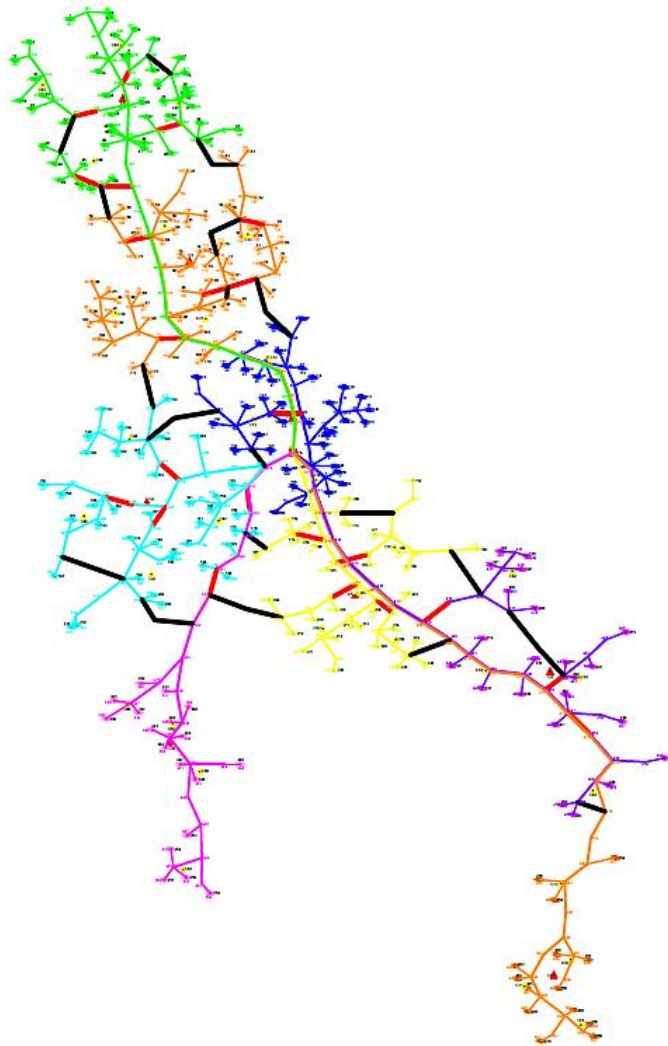
Broj međuveza koje je potrebno uspostaviti nije ograničen. Što više, veći broj međuveza znači dobivanje najboljeg mogućeg rješenja. U tom slučaju vrijeme proračuna se nešto produžava, ali ono nije presudno za primjenu modela. Bitno je samo voditi računa da se i međuveze uspostavljaju prema topološkim mogućnostima, s pravilnim odabirom vodiča, kao i njihovih dužina.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Pošto algoritam simuliranog kaljenja radi na principu otvaranja i zatvaranja mrežnih prekidača, u biti se može smatrati da svaka od novoformiranih međuveza predstavlja prekidač koji je potrebno uključiti ili isključiti, u ovisnosti o optimalnoj konfiguraciji mreže.

Što se tiče ostatka mreže svaka dionica, na isti način, može se promatrati kao prekidač čije stanje (uključen/isključen) definira optimalna konfiguracija. Međutim, to bi vrijeme proračuna produžilo do u nedogled, bez ikakvih značajnijih učinaka. Stoga se, osim novoformiranih, mora definirati i određeni broj postojećih dionica koje će biti predstavljene kao prekidači. Potrebno je odabrati samo dionice koje u biti služe za razbijanje petlji koje se stvaraju uključivanjem novoformiranih dionica. Njihovim uključivanjem, odnosno isključivanjem ponovno se uspostavlja radijalna konfiguracija mreže.

U danom primjeru definirana su ukupno 42 prekidača, od kojih je 19 isključenih (novoformirane dionice označene podebljanim crnom bojom) i 23 uključena (postojeće dionice najboljeg idejnog rješenja označene podebljanim crvenom bojom) kao na slici 5.22.

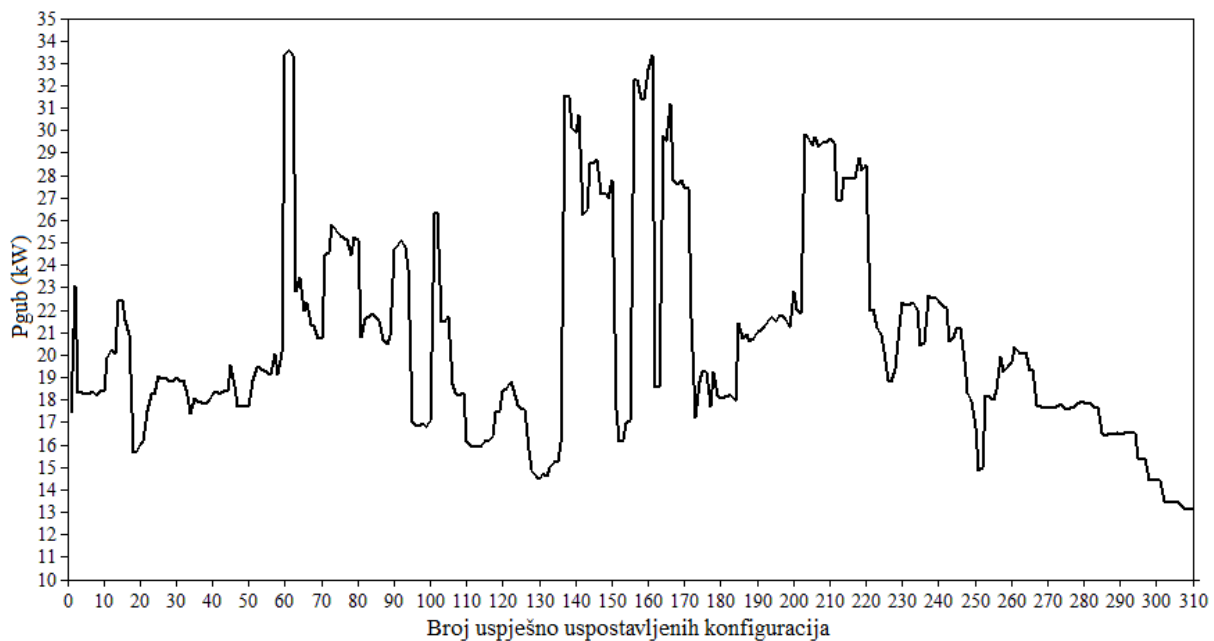


Slika 5.22. Definiranje mrežnih prekidača

Nakon definiranja dionica (prekidača) definiraju se i ulazni podaci za algoritam simuliranog kaljenja. Ulazni podaci su dani u priložima 18 i 19. Za dobivanje optimalnog uklopnog stanja upotrebljava se specijalizirani algoritam, posebno priređen u Matlab-u, temeljen na metodi simuliranog kaljenja.

Odabrana polazna temperatura simuliranja je $T = 1000$, a krajnja $T = 0,000001$. Odabrani faktor hlađenja je 0,95. Ukupno je provedeno 405 simulacija pri čemu je uspješno uspostavljeno 310 mogućih konfiguracija. Ukupno vrijeme trajanja simulacija je 7,4 minute. Iznos gubitaka radne snage je $P_{\text{gub}} = 13,09 \text{ kW}$, a maksimalni pad napona kod krajnjih potrošača je $\Delta U = -7,5\%$.

Na slici 5.23 je prikazano kretanje gubitaka radne snage pri procesu simuliranja.



Slika 5.23. Kretanje gubitaka radne snage pri procesu simuliranog kaljenja

U tablici 5.41 je prikazana usporedba između vrijednosti padova napona kod krajnjih potrošača i gubitaka radne snage najboljeg prostornog i optimalnog rješenja.

Tablica 5.41. Usporedni rezultati padova napona i gubitaka radne snage

| Najbolje rješenje | ΔU (%) | P_{gub} (kW) |
|-------------------|----------------|-----------------------|
| Prostorno | -10,1 | 17,38 |
| Optimalno | -7,5 | 13,09 |
| Razlika: | 2,6 | 4,29 |

Rezultati o stanju definiranih prekidača pokazuju da je potrebno promijeniti status dionica (prekidača) danih u tablici 5.42.

Tablica 5.42. Status dionica (uključen/isključen) nakon provedenog simuliranog kaljenja

| Iz čvora | U čvor | Status prije simuliranog kaljenja | Status nakon simuliranog kaljenja |
|----------|--------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 36 | 114 | 0 | 1 |
| 73 | 276 | 0 | 1 |
| 147 | 172 | 0 | 1 |
| 179 | 213 | 0 | 1 |
| 316 | 53 | 0 | 1 |
| 323 | 309 | 0 | 1 |
| 357 | 379 | 0 | 1 |
| 421 | 440 | 0 | 1 |
| 469 | 407 | 0 | 1 |
| 29 | 46 | 1 | 0 |
| 69 | 72 | 1 | 0 |
| 106 | 114 | 1 | 0 |
| 171 | 172 | 1 | 0 |
| 212 | 213 | 1 | 0 |
| 285 | 299 | 1 | 0 |
| 368 | 370 | 1 | 0 |
| 391 | 401 | 1 | 0 |
| 439 | 440 | 1 | 0 |

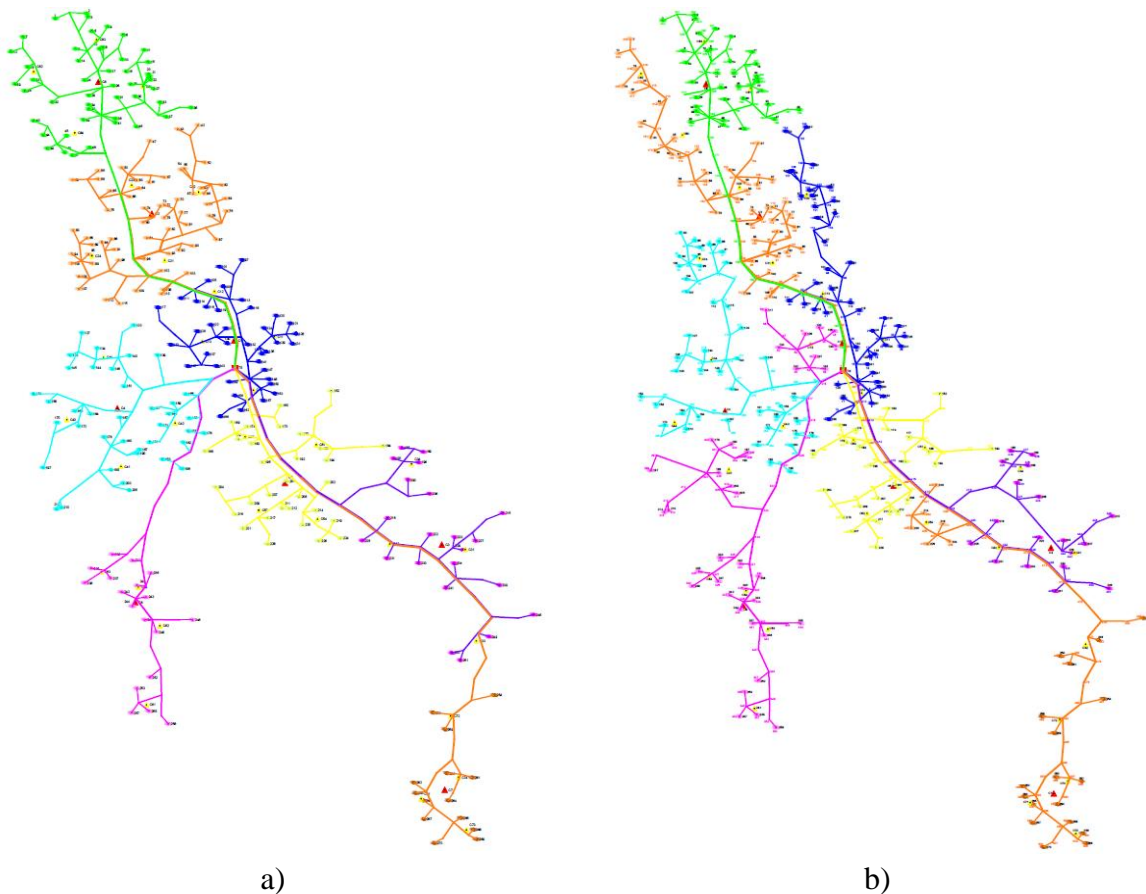
Iz tablice 5.41 može se uočiti da, u odnosu na najbolje prostorno rješenje, optimalno rješenje daje bolje rezultate. Dobivaju se bolji rezultati i kada se radi o naponskim prilikama kao i o gubicima radne snage. Dakle, primjenom predloženog modela planiranja u konačnici se dobivaju najbolji mogući rezultati.

Kao zaključak provedenog procesa simuliranja može se reći da dobiveni rezultati ne ovise o izboru polazne temperature kaljenja. Naime, isti rezultati se dobivaju i kada proces simuliranog kaljenja započne na visokoj temperaturi ($T = 1000$), kao i na niskoj temperaturi ($T = 100$). Isto tako, dobiveni rezultati ne ovise o brzini hlađenja. Isti rezultati se dobivaju i kada se uspostavi brzo hlađenje (faktor 0,95), kao i sporo hlađenje (faktor 0,99).

Uvijek, međutim, kada vrijeme nije odlučujući faktor, je bolje simuliranje vršiti sa visokom polaznom temperaturom i sporim hlađenjem, jer ponekad preniska polazna temperatura (ispod $T = 100$) i prebrzo hlađenje (0,90), kod mreža sa znatno većim brojem sabirnica i puno većim brojem prekidača, mogu dovesti do toga da se ne postigne optimalno rješenje. U takvim slučajevima naprosto nedostaje potreban broj simulacija kako bi se dostiglo optimalno rješenje. Također, povećavanje krajnje temperature uzrokuje smanjenje broja simulacija što može dovesti do istoga problema. Visoka polazna temperatura i sporo hlađenje, uz dovoljno nisku krajnju temperaturu hlađenja garantiraju sigurno dobivanje optimalnog rješenja.

Na slici 5.24 je dan usporedni prikaz najboljeg prostornog i optimalnog rješenja.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda



Slika 5.24. Usporedni prikaz najboljeg prostornog i optimalnog rješenja

Dakle, primjenom predloženog modela planiranja dobiveno je novo, optimalno uklopno stanje postojeće niskonaponske distribucijske mreže. Temeljem ovoga se može vršiti planiranje rekonstrukcije postojeće mreže u cilju smanjenja padova napona kod krajnjih potrošača, kao i ukupnih gubitaka radne snage. Isto tako, jedno ovakvo rješenje daje mogućnost procjene potrebnih investicijskih ulaganja što daje mogućnost planiranja i osiguravanja potrebnih financijskih sredstava.

5.9. UTJECAJ OPTEREĆENJA POTROŠAČA NA PROSTORNO RJEŠENJE

Najbolje prostorno rješenje je dobiveno korištenjem podataka o opterećenju potrošača dobivenih proračunom temeljem jednodnevnog, satnog, vršnog opterećenja niskonaponskih izvoda (dan sa godišnjim vršnim opterećenjem transformatorske stanice) i ukupne utrošene godišnje energije svakog potrošača. Na taj način su u biti dobivena vršna opterećenja potrošača na godišnjoj razini. Postavljaju se pitanja da li ovo rješenje ovisi o vrijednostima opterećenja potrošača i kako dobiti ove podatke ukoliko ne postoje podaci o opterećenosti niskonaponskih izvoda, odnosno transformatorske stanice za svaki dan u godini. Obzirom da su dostupni svi ovi podaci u nastavku su prezentirani proračuni koji se temelje na različitim iznosima dnevnih opterećenja transformatorske stanice.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

5.9.1. Minimalno opterećenje transformatorske stanice

Minimalna opterećenja potrošača se dobivaju na isti način kao u prethodnome slučaju, s tim da se odabire dan sa najnižim opterećenjem transformatorske stanice. Podaci o opterećenju potrošača dani su u prilogu 20. U cijelosti je primijenjen identičan pristup kao u prethodnom slučaju.

Obzirom da su kriteriji rangirani kao u prethodnom slučaju, vrijednosti prioriteta kriterija su:

$$p_1 = 0,47777$$

$$p_2 = 0,33783$$

$$p_3 = 0,11296$$

$$p_4 = 0,07144$$

Padova napona, vrijednosti gubitaka i opterećenja vodova izračunati su u Matpower-u. Obzirom da se radi o istim alternativama investicijski troškovi su isti kao u prethodnom slučaju. Dobiveni rezultati su prikazani u tablici 5.43.

Tablica 5.43. Vrijednosti kriterija pri minimalnom opterećenju potrošača

| Broj clustera | ΔU (V) | P_{gub} (kW) | I_{opt} (%) | Investicije (€) |
|---------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|
| 5 | -25,2 | 6,29 | 32,28 | 207.395 |
| 6 | -23,6 | 5,64 | 26,82 | 238.631 |
| 7 | -23,2 | 5,33 | 22,96 | 263.265 |
| 8 | -22,0 | 5,26 | 20,08 | 268.912 |

Provođenjem AHP metode dobivaju se rezultati kao u tablicama 5.44–5.47.

Tablica 5.44. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 1 (min. opter.)

| Pad napona | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k1}$ |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,93651 | 0,92063 | 0,87302 | 0,23259 |
| Altern. 2 | 1,06780 | 1 | 0,98305 | 0,93220 | 0,24836 |
| Altern. 3 | 1,08621 | 1,01724 | 1 | 0,94828 | 0,25264 |
| Altern. 4 | 1,14545 | 1,07273 | 1,05455 | 1 | 0,26642 |

Tablica 5.45. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 2 (min. opter.)

| Gubici snage | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k2}$ |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,89666 | 0,84738 | 0,83625 | 0,22266 |
| Altern. 2 | 1,11525 | 1 | 0,94504 | 0,93262 | 0,24832 |
| Altern. 3 | 1,18011 | 1,05816 | 1 | 0,98687 | 0,26276 |
| Altern. 4 | 1,19582 | 1,07224 | 1,01331 | 1 | 0,26626 |

Tablica 5.46. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 3 (min. opter.)

| Opterećenje vodova | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k3}$ |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,83087 | 0,71115 | 0,62207 | 0,19167 |
| Altern. 2 | 1,20355 | 1 | 0,85591 | 0,74869 | 0,23069 |
| Altern. 3 | 1,40618 | 1,16835 | 1 | 0,87474 | 0,26952 |
| Altern. 4 | 1,60754 | 1,33566 | 1,14320 | 1 | 0,30812 |

Tablica 5.47. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 4 (min. opter.)

| Investicije | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k4}$ |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 1,15061 | 1,26939 | 1,29662 | 0,29170 |
| Altern. 2 | 0,86910 | 1 | 1,10323 | 1,12689 | 0,25352 |
| Altern. 3 | 0,78778 | 0,90643 | 1 | 1,02145 | 0,22980 |
| Altern. 4 | 0,77124 | 0,88740 | 0,97900 | 1 | 0,22497 |

Množenjem prioriteta kriterija sa prioritetima alternativa dobiva se:

$$0,47777 \cdot \begin{bmatrix} 0,23259 \\ 0,24836 \\ 0,25264 \\ 0,26642 \end{bmatrix} + 0,33783 \cdot \begin{bmatrix} 0,22266 \\ 0,24832 \\ 0,26276 \\ 0,26626 \end{bmatrix} + 0,11296 \cdot \begin{bmatrix} 0,19167 \\ 0,23069 \\ 0,26952 \\ 0,30812 \end{bmatrix} + 0,07144 \cdot \begin{bmatrix} 0,29170 \\ 0,25352 \\ 0,22980 \\ 0,22497 \end{bmatrix}$$

odnosno,

$$\begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,22883 \\ 0,24672 \\ 0,25633 \\ 0,26811 \end{bmatrix}$$

I u ovome slučaju rješenje 4 daje najbolje rezultate, odnosno alternativa s 8 niskonaponskih izvoda, prema danim kriterijima, predstavlja najbolje prostorno rješenje niskonaponske distribucijske mreže.

5.9.2. Opterećenje transformatorske stanice u proljetnom periodu

I ova opterećenja potrošača se dobivaju na isti način kao u prethodnim slučajevima, s tim da je odabran dan s vršnim opterećenjem transformatorske stanice u tromjesečnom periodu. U ovom slučaju radi se o periodu proljeća, s tim da se za proračun koriste podaci o tromjesečnoj utrošenoj energiji svakog potrošača i jednodnevnom, satnom očitavanju opterećenja niskonaponskih izvoda i transformatorske stanice na dan vršnog opterećenja tog perioda. Podaci o opterećenju potrošača dani su u prilogu 21. I u ovome slučaju u cijelosti je primijenjen identičan pristup kao u prethodnim slučajevima.

Obzirom da su kriteriji rangirani na isti način, vrijednosti prioriteta kriterija su:

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

$$p_1 = 0,47777$$

$$p_2 = 0,33783$$

$$p_3 = 0,11296$$

$$p_4 = 0,07144$$

Padova napona, vrijednosti gubitaka i opterećenja vodova izračunati su u Matpower-u. Obzirom da se radi o istim alternativama, investicijski troškovi su isti kao u prethodnim slučajevima. Dobiveni rezultati su prikazani u tablici 5.48.

Tablica 5.48. Vrijednosti kriterija pri opterećenju potrošača u periodu proljeća

| Broj clustera | ΔU (V) | P_{gub} (kW) | I_{opt} (%) | Investicije (€) |
|---------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|
| 5 | -39,6 | 14,32 | 47,77 | 207.395 |
| 6 | -37,6 | 12,80 | 39,62 | 238.631 |
| 7 | -37,2 | 12,77 | 33,96 | 263.265 |
| 8 | -35,2 | 11,81 | 29,63 | 268.912 |

Provođenjem AHP metode dobivaju se rezultati kao u tablicama 5.49–5.52.

Tablica 5.49. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 1 (proljeće)

| Pad napona | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k1}$ |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,94949 | 0,93939 | 0,88889 | 0,23570 |
| Altern. 2 | 1,05319 | 1 | 0,98936 | 0,93617 | 0,24824 |
| Altern. 3 | 1,06452 | 1,01075 | 1 | 0,94624 | 0,25090 |
| Altern. 4 | 1,12500 | 1,06818 | 1,05682 | 1 | 0,26516 |

Tablica 5.50. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 2 (proljeće)

| Gubici snage | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k2}$ |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,89385 | 0,89176 | 0,82472 | 0,22458 |
| Altern. 2 | 1,11875 | 1 | 0,99766 | 0,92266 | 0,25125 |
| Altern. 3 | 1,12138 | 1,00235 | 1 | 0,92482 | 0,25184 |
| Altern. 4 | 1,21253 | 1,08383 | 1,08129 | 1 | 0,27232 |

Tablica 5.51. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 3 (proljeće)

| Opterećenje vodova | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k3}$ |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,82943 | 0,71086 | 0,62015 | 0,19139 |
| Altern. 2 | 1,20564 | 1 | 0,85704 | 0,74768 | 0,23075 |
| Altern. 3 | 1,40675 | 1,16680 | 1 | 0,87239 | 0,26924 |
| Altern. 4 | 1,61252 | 1,33748 | 1,14628 | 1 | 0,30862 |

Tablica 5.52. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 4 (proljeće)

| Investicije | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k4}$ |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------------|
| Altern. 1 | 1 | 1,15061 | 1,26939 | 1,29662 | 0,29170 |
| Altern. 2 | 0,86910 | 1 | 1,10323 | 1,12689 | 0,25352 |
| Altern. 3 | 0,78778 | 0,90643 | 1 | 1,02145 | 0,22980 |
| Altern. 4 | 0,77124 | 0,88740 | 0,97900 | 1 | 0,22497 |

Množenjem prioriteta kriterija sa prioritetima alternativa dobiva se:

$$0,47777 \cdot \begin{bmatrix} 0,23570 \\ 0,24824 \\ 0,25090 \\ 0,26516 \end{bmatrix} + 0,33783 \cdot \begin{bmatrix} 0,22458 \\ 0,25125 \\ 0,25184 \\ 0,27232 \end{bmatrix} + 0,11296 \cdot \begin{bmatrix} 0,19139 \\ 0,23075 \\ 0,26924 \\ 0,30862 \end{bmatrix} + 0,07144 \cdot \begin{bmatrix} 0,29170 \\ 0,25352 \\ 0,22980 \\ 0,22497 \end{bmatrix}$$

odnosno,

$$\begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,23094 \\ 0,24766 \\ 0,25179 \\ 0,26962 \end{bmatrix}$$

Dakle, rješenje 4 daje najbolje rezultate, odnosno i u ovom slučaju alternativa s 8 niskonaponskih izvoda, prema danim kriterijima, predstavlja najbolje prostorno rješenje niskonaponske distribucijske mreže.

5.9.3. Opterećenje transformatorske stanice u ljetnom periodu

Kao i u prethodnim slučajevima odabran je dan sa vršnim opterećenjem transformatorske stanice i to u periodu ljeta i tromjesečnom utrošenom energijom potrošača za taj period. Podaci o opterećenju potrošača dani su u prilogu 22. I u ovom slučaju u cijelosti je primijenjen identičan pristup kao u prethodnim slučajevima.

Obzirom da su kriteriji rangirani na isti način vrijednosti prioriteta kriterija su:

$$p_1 = 0,47777$$

$$p_2 = 0,33783$$

$$p_3 = 0,11296$$

$$p_4 = 0,07144$$

Padova napona, vrijednosti gubitaka i opterećenja vodova izračunati su u Matpower-u. Obzirom da se radi o istim alternativama, investicijski troškovi su isti kao u prethodnim slučajevima.

Dobiveni rezultati su prikazani u tablici 5.53.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Tablica 5.53. Vrijednosti kriterija pri opterećenju potrošača u periodu ljeta

| Broj clustera | ΔU (V) | P_{gub} (kW) | I_{opt} (%) | Investicije (€) |
|---------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|
| 5 | -44,0 | 19,94 | 57,47 | 207.395 |
| 6 | -41,2 | 17,95 | 47,65 | 238.631 |
| 7 | -40,8 | 17,89 | 40,84 | 263.265 |
| 8 | -38,0 | 16,67 | 35,62 | 268.912 |

Provođenjem AHP metode dobivaju se rezultati kao u tablicama 5.54–5.57.

Tablica 5.54. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 1 (ljetno)

| Pad napona | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k1}$ |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,93636 | 0,92727 | 0,86364 | 0,23233 |
| Altern. 2 | 1,06796 | 1 | 0,99029 | 0,92233 | 0,24812 |
| Altern. 3 | 1,07843 | 1,00980 | 1 | 0,93137 | 0,25055 |
| Altern. 4 | 1,15789 | 1,08421 | 1,07368 | 1 | 0,26901 |

Tablica 5.55. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 2 (ljetno)

| Gubici snage | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k2}$ |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,90020 | 0,89719 | 0,83601 | 0,22616 |
| Altern. 2 | 1,11086 | 1 | 0,99666 | 0,92869 | 0,25123 |
| Altern. 3 | 1,11459 | 1,00335 | 1 | 0,93181 | 0,25208 |
| Altern. 4 | 1,19616 | 1,07678 | 1,07319 | 1 | 0,27053 |

Tablica 5.56. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 3 (ljetno)

| Opterećenje vodova | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k3}$ |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,82907 | 0,71051 | 0,61975 | 0,19131 |
| Altern. 2 | 1,20618 | 1 | 0,85699 | 0,74753 | 0,23075 |
| Altern. 3 | 1,40745 | 1,16687 | 1 | 0,87226 | 0,26926 |
| Altern. 4 | 1,61356 | 1,33775 | 1,14644 | 1 | 0,30869 |

Tablica 5.57. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 4 (ljetno)

| Investicije | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k4}$ |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 1,15061 | 1,26939 | 1,29662 | 0,29170 |
| Altern. 2 | 0,86910 | 1 | 1,10323 | 1,12689 | 0,25352 |
| Altern. 3 | 0,78778 | 0,90643 | 1 | 1,02145 | 0,22980 |
| Altern. 4 | 0,77124 | 0,88740 | 0,97900 | 1 | 0,22497 |

Množenjem prioriteta kriterija sa prioritetima alternativa dobiva se:

$$0,47777 \cdot \begin{bmatrix} 0,23233 \\ 0,24812 \\ 0,25055 \\ 0,26901 \end{bmatrix} + 0,33783 \cdot \begin{bmatrix} 0,22616 \\ 0,25123 \\ 0,25208 \\ 0,27053 \end{bmatrix} + 0,11296 \cdot \begin{bmatrix} 0,19131 \\ 0,23075 \\ 0,26926 \\ 0,30869 \end{bmatrix} + 0,07144 \cdot \begin{bmatrix} 0,29170 \\ 0,25352 \\ 0,22980 \\ 0,22497 \end{bmatrix}$$

odnosno,

$$\begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,22985 \\ 0,24759 \\ 0,25170 \\ 0,27086 \end{bmatrix}$$

Alternativa s 8 niskonaponskih izvoda, prema danim kriterijima, predstavlja najbolje prostorno rješenje niskonaponske distribucijske mreže i u ovom slučaju.

5.9.4. Opterećenje transformatorske stanice u jesenskom periodu

U ovome primjeru je odabran dan sa vršnim opterećenjem transformatorske stanice i to u periodu jeseni i tromjesečnom utrošenom energijom potrošača za taj period. Podaci o opterećenju potrošača dani su u prilogu 23. I u ovome slučaju je u cijelosti primijenjen identičan pristup kao u prethodnim slučajevima.

Obzirom da su kriteriji rangirani na isti način, vrijednosti prioriteta kriterija su:

$$p_1 = 0,47777$$

$$p_2 = 0,33783$$

$$p_3 = 0,11296$$

$$p_4 = 0,07144$$

Padova napona, vrijednosti gubitaka i opterećenja vodova izračunati su u Matpower-u. Obzirom da se radi o istim alternativama, investicijski troškovi su isti kao u prethodnim slučajevima.

Dobiveni rezultati su prikazani u tablici 5.58.

Tablica 5.58. Vrijednosti kriterija pri opterećenju potrošača u periodu jeseni

| Broj clustera | ΔU (V) | P_{gub} (kW) | I_{opt} (%) | Investicije (€) |
|---------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|
| 5 | - 36,8 | 13,90 | 47,85 | 207.395 |
| 6 | - 34,4 | 12,45 | 39,70 | 238.631 |
| 7 | - 34,0 | 12,46 | 34,03 | 263.265 |
| 8 | - 30,8 | 11,64 | 29,70 | 268.912 |

Provođenjem AHP metode dobivaju se rezultati kao u tablicama 5.59–5.62.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Tablica 5.59. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 1 (jesen)

| Pad napona | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k1}$ |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,93478 | 0,92391 | 0,83696 | 0,23005 |
| Altern. 2 | 1,06977 | 1 | 0,98837 | 0,89535 | 0,24610 |
| Altern. 3 | 1,08235 | 1,01176 | 1 | 0,90588 | 0,24899 |
| Altern. 4 | 1,19481 | 1,11688 | 1,10390 | 1 | 0,27486 |

Tablica 5.60. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 2 (jesen)

| Gubici snage | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k2}$ |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,89568 | 0,89640 | 0,83741 | 0,22593 |
| Altern. 2 | 1,11647 | 1 | 1,00080 | 0,93494 | 0,25224 |
| Altern. 3 | 1,11557 | 0,99920 | 1 | 0,93419 | 0,25204 |
| Altern. 4 | 1,19416 | 1,06959 | 1,07045 | 1 | 0,26979 |

Tablica 5.61. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 3 (jesen)

| Opterećenje vodova | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k3}$ |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,82958 | 0,71110 | 0,62062 | 0,19146 |
| Altern. 2 | 1,20542 | 1 | 0,85718 | 0,74811 | 0,23079 |
| Altern. 3 | 1,40627 | 1,16662 | 1 | 0,87276 | 0,26925 |
| Altern. 4 | 1,61130 | 1,33671 | 1,14580 | 1 | 0,30850 |

Tablica 5.62. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 4 (jesen)

| Investicije | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k4}$ |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 1,15061 | 1,26939 | 1,29662 | 0,29170 |
| Altern. 2 | 0,86910 | 1 | 1,10323 | 1,12689 | 0,25352 |
| Altern. 3 | 0,78778 | 0,90643 | 1 | 1,02145 | 0,22980 |
| Altern. 4 | 0,77124 | 0,88740 | 0,97900 | 1 | 0,22497 |

Množenjem prioriteta kriterija sa prioritetima alternativa dobiva se:

$$0,47777 \cdot \begin{bmatrix} 0,23005 \\ 0,24610 \\ 0,24899 \\ 0,27486 \end{bmatrix} + 0,33783 \cdot \begin{bmatrix} 0,22593 \\ 0,25224 \\ 0,25204 \\ 0,26979 \end{bmatrix} + 0,11296 \cdot \begin{bmatrix} 0,19146 \\ 0,23079 \\ 0,26925 \\ 0,30850 \end{bmatrix} + 0,07144 \cdot \begin{bmatrix} 0,29170 \\ 0,25352 \\ 0,22980 \\ 0,22497 \end{bmatrix}$$

odnosno,

$$\begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,22870 \\ 0,24697 \\ 0,25094 \\ 0,27339 \end{bmatrix}$$

I ovdje, alternativa s 8 niskonaponskih izvoda, prema danim kriterijima, predstavlja najbolje prostorno rješenje niskonaponske distribucijske mreže.

5.9.5. Opterećenje transformatorske stanice u zimskom periodu

U ovome primjeru je odabran dan sa vršnim opterećenjem transformatorske stanice i to u periodu zime i tromjesečnom utrošenom energijom potrošača za taj period. Podaci o opterećenju potrošača dani u prilogu 24. I u ovome slučaju je u cijelosti primijenjen identičan pristup kao u prethodnim slučajevima.

Obzirom da su kriteriji rangirani na isti način, vrijednosti prioriteta kriterija su:

$$p_1 = 0,47777$$

$$p_2 = 0,33783$$

$$p_3 = 0,11296$$

$$p_4 = 0,07144$$

Padova napona, vrijednosti gubitaka i opterećenja vodova izračunati su u Matpower-u. Obzirom da se radi o istim alternativama, investicijski troškovi su isti kao u prethodnim slučajevima.

Dobiveni rezultati su prikazani u tablici 5.63.

Tablica 5.63. Vrijednosti kriterija pri opterećenju potrošača u periodu zime

| Broj clustera | ΔU (V) | P_{gub} (kW) | I_{opt} (%) | Investicije (€) |
|---------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|
| 5 | - 42,8 | 16,87 | 51,95 | 207.395 |
| 6 | - 39,6 | 15,06 | 43,07 | 238.631 |
| 7 | - 39,2 | 15,00 | 36,91 | 263.265 |
| 8 | - 36,8 | 14,01 | 32,20 | 268.912 |

Provođenjem AHP metode dobivaju se rezultati kao u tablicama 5.64–5.67.

Tablica 5.64. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 1 (zima)

| Pad napona | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k1}$ |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,92523 | 0,91589 | 0,85981 | 0,23064 |
| Altern. 2 | 1,08081 | 1 | 0,98990 | 0,92929 | 0,24928 |
| Altern. 3 | 1,09184 | 1,01020 | 1 | 0,93878 | 0,25183 |
| Altern. 4 | 1,16304 | 1,07609 | 1,06522 | 1 | 0,26825 |

Tablica 5.65. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 2 (zima)

| Gubici snage | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k2}$ |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,89271 | 0,88915 | 0,83047 | 0,22477 |
| Altern. 2 | 1,12019 | 1 | 0,99602 | 0,93028 | 0,25178 |
| Altern. 3 | 1,12467 | 1,00400 | 1 | 0,93400 | 0,25279 |
| Altern. 4 | 1,20414 | 1,07495 | 1,07066 | 1 | 0,27065 |

Tablica 5.66. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 3 (zima)

| Opterećenje vodova | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k3}$ |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,82905 | 0,71049 | 0,61992 | 0,19132 |
| Altern. 2 | 1,20619 | 1 | 0,85698 | 0,74775 | 0,23077 |
| Altern. 3 | 1,40749 | 1,16688 | 1 | 0,87253 | 0,26928 |
| Altern. 4 | 1,61310 | 1,33735 | 1,14609 | 1 | 0,30862 |

Tablica 5.67. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 4 (zima)

| Investicije | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k4}$ |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 1,15061 | 1,26939 | 1,29662 | 0,29170 |
| Altern. 2 | 0,86910 | 1 | 1,10323 | 1,12689 | 0,25352 |
| Altern. 3 | 0,78778 | 0,90643 | 1 | 1,02145 | 0,22980 |
| Altern. 4 | 0,77124 | 0,88740 | 0,97900 | 1 | 0,22497 |

Množenjem prioriteta kriterija sa prioritetima alternativa dobiva se:

$$0,47777 \cdot \begin{bmatrix} 0,23064 \\ 0,24928 \\ 0,25183 \\ 0,26825 \end{bmatrix} + 0,33783 \cdot \begin{bmatrix} 0,22477 \\ 0,25178 \\ 0,25279 \\ 0,27065 \end{bmatrix} + 0,11296 \cdot \begin{bmatrix} 0,19132 \\ 0,23077 \\ 0,26928 \\ 0,30862 \end{bmatrix} + 0,07144 \cdot \begin{bmatrix} 0,29170 \\ 0,25352 \\ 0,22980 \\ 0,22497 \end{bmatrix}$$

odnosno,

$$\begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,22858 \\ 0,24834 \\ 0,25255 \\ 0,27053 \end{bmatrix}$$

I ovo rješenje, alternativa s 8 niskonaponskih izvoda, prema danim kriterijima, predstavlja najbolje prostorno rješenje niskonaponske distribucijske mreže.

5.10. UTJECAJ NESIMETRIJE NA PROSTORNO RJEŠENJE

Pojam nesimetrije podrazumijeva neravnomjeran raspored opterećenja po fazama niskonaponske mreže. Obično je posljedica samih kupaca: nesimetričan raspored trošila po fazama u instalaciji kupca, kao i neravnomjeran faktor istodobnosti trošila priključenih na različite faze [90]. Najviše je ipak izražena nesimetrija koja je posljedica neravnomjernog priključenja jednofaznih potrošača po fazama, tako da u određenom trenutku sve tri faze u mreži nisu podjednako opterećene, te se kao posljedica javljaju nesimetrični naponi.

Nesimetričnost napona napajanja se procjenjuje metodom simetričnih komponenti. Naime, u uvjetima nesimetričnosti osim direktne komponente napona U_d postoji najmanje jedna od dvije komponente: inverzna U_i i/ili nulta U_0 .

Nesimetrija je definirana Europskom normom EN50160. Osnovna komponenta napona se mjeri u 10–minutnom vremenskom intervalu za 50 Hz sustave ili 12–minutnom vremenskom intervalu za 60 Hz sustave. Prema Europskoj normi EN 50160, pri normalnim pogonskim uvjetima 95% 10–minutnih srednjih vrijednosti efektivne vrijednosti inverzne, odnosno nulte komponente napona ne smije, unutar svakog tjednog intervala, prelaziti 2% odgovarajuće direktne komponente. U iznimnim prilikama mogu se dozvoliti i nesimetrije do 3% [91], [92]. Prema ovoj normi vrijedi:

$$u_i(\%) = \frac{U_i}{U_d} \cdot 100\% \quad (5.1)$$

$$u_0(\%) = \frac{U_0}{U_d} \cdot 100\% \quad (5.2)$$

Obzirom da je za postojeću mrežu postojao veći broj 15–minutnih očitavanja napona tijekom perioda od godinu dana primijenjen je proračun nesimetrije prema Standardu IEC 61000–4–30, koji je ranije bio u uporabi. Prema ovom Standardu vrijedi da za trofazni sustav, promatrajući samo osnovne harmonike linijskih napona, vrijedi [92]:

$$u_i(\%) = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} \cdot 100\% \quad (5.3)$$

pri čemu je

$$\beta = \frac{U_{12}^4 + U_{23}^4 + U_{31}^4}{(U_{12}^2 + U_{23}^2 + U_{31}^2)^2} \quad (5.4)$$

gdje su 1, 2, 3 oznake faza, a U_{12} , U_{23} i U_{31} su osnovni harmonici linijskih napona.

Dakle, prema jednadžbama 5.3 i 5.4, izračunate su postotne vrijednosti nesimetrije, odnosno inverzne komponente napona. Temeljem tih vrijednosti određene se maksimalna i minimalna

vrijednost nesimetrije, te vrijednost standardne devijacije. U slučaju razmatrane mreže ove vrijednosti su:

$$u_{\max} = 0,284488$$

$$u_{\min} = 0$$

$$\sigma = 0,039591$$

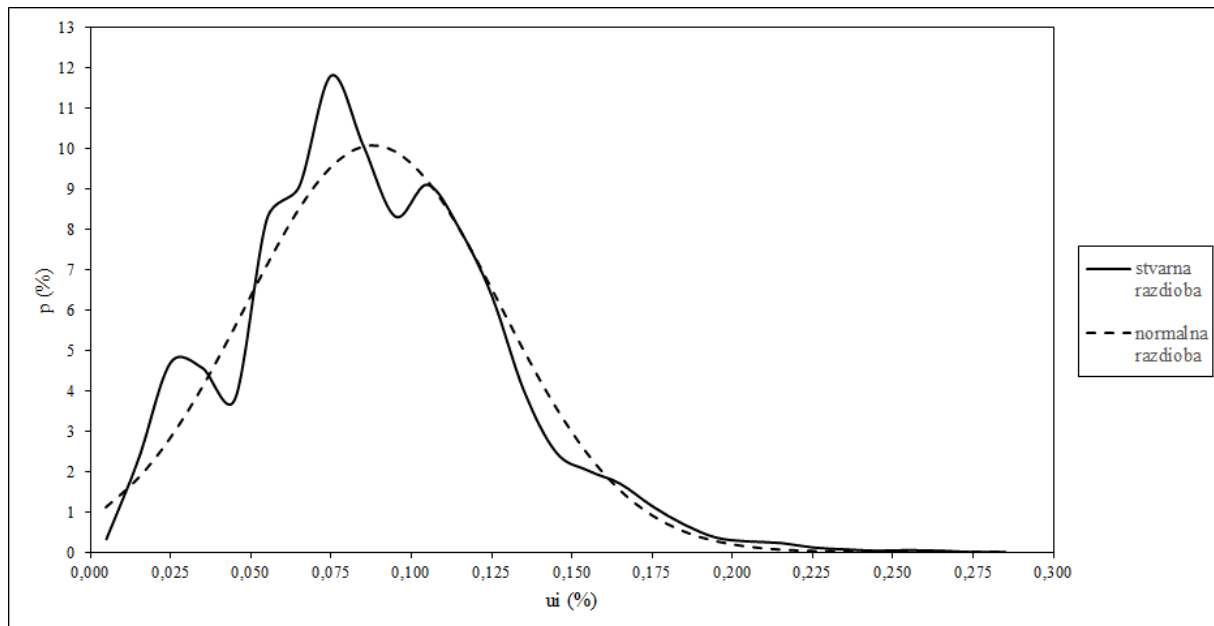
Nadalje, potrebno je odrediti prema kojoj razdiobi su raspoređene proračunate vrijednosti nesimetrije. Temeljem rezultata prikazanih u tablici 5.68 dolazi se do zaključka da su vrijednosti nesimetrije raspoređene približno Gaussovoj razdiobi.

Tablica 5.68. Razdioba proračunatih vrijednosti nesimetrije

| Interval | Broj | p–stvarno | p–gauss |
|----------|------|-----------|-----------|
| 0,005 | 40 | 0,332419 | 1,107567 |
| 0,015 | 278 | 2,310313 | 1,824040 |
| 0,025 | 566 | 4,703731 | 2,818330 |
| 0,035 | 549 | 4,562453 | 4,085474 |
| 0,045 | 456 | 3,789579 | 5,556307 |
| 0,055 | 994 | 8,260617 | 7,089625 |
| 0,065 | 1089 | 9,050112 | 8,486986 |
| 0,075 | 1421 | 11,809191 | 9,531844 |
| 0,085 | 1213 | 10,080612 | 10,043695 |
| 0,095 | 1001 | 8,318790 | 9,928950 |
| 0,105 | 1096 | 9,108286 | 9,208869 |
| 0,115 | 964 | 8,011302 | 8,013135 |
| 0,125 | 766 | 6,365827 | 6,541719 |
| 0,135 | 483 | 4,013962 | 5,010423 |
| 0,145 | 299 | 2,484833 | 3,600395 |
| 0,155 | 244 | 2,027757 | 2,427276 |
| 0,165 | 205 | 1,703648 | 1,535258 |
| 0,175 | 138 | 1,146846 | 0,911038 |
| 0,185 | 83 | 0,689770 | 0,507207 |
| 0,195 | 44 | 0,365661 | 0,264927 |
| 0,205 | 33 | 0,274246 | 0,129826 |
| 0,215 | 28 | 0,232693 | 0,059688 |
| 0,225 | 15 | 0,124657 | 0,025746 |
| 0,235 | 9 | 0,074794 | 0,010419 |
| 0,245 | 5 | 0,041552 | 0,003956 |
| 0,255 | 7 | 0,058173 | 0,001409 |
| 0,265 | 5 | 0,041552 | 0,000471 |
| 0,275 | 1 | 0,008310 | 0,000148 |
| 0,285 | 1 | 0,008310 | 0,000043 |

Ovi rezultati su grafički prikazani na slici 5.25 na kojoj se može uočiti približna podudarnost stvarne razdiobe s normalnom Gaussovom razdiobom.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda



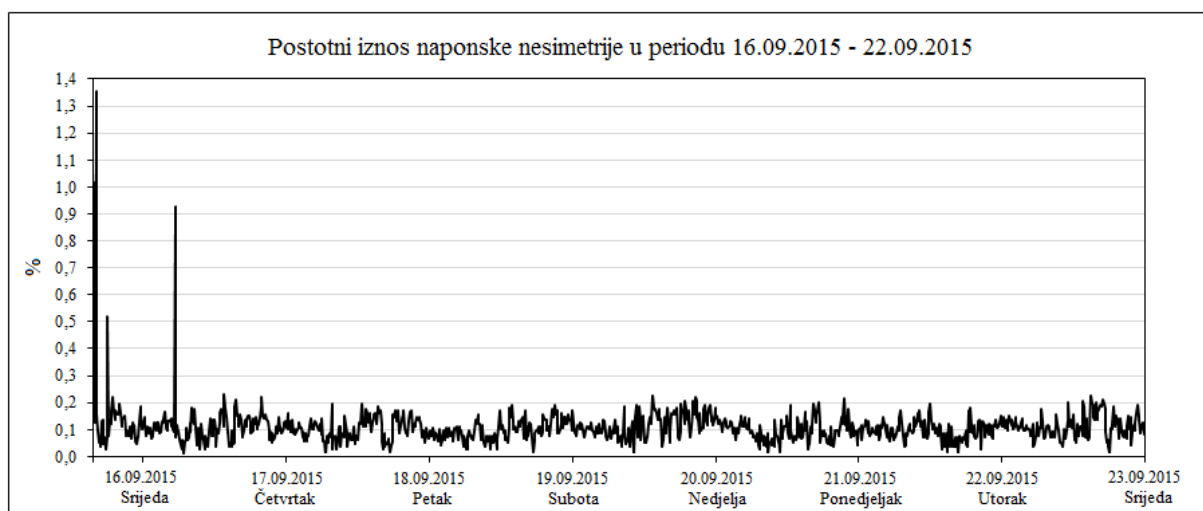
Slika 5.25. Razdioba proračunatih vrijednosti nesimetrije

Temeljem rezultata iz tablice 5.68 dobiva se vrijednost prosječne nesimetrije, a sa slike 5.25 može se uočiti najvjerojatnija vrijednost nesimetrije. Ove vrijednosti u ovom slučaju iznose:

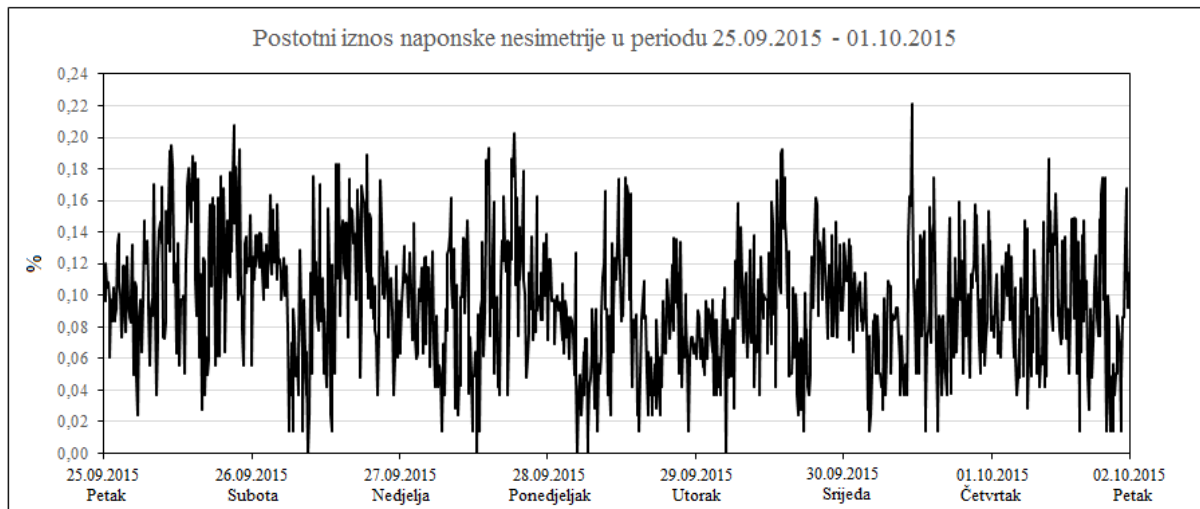
$$u_{\text{prosječno}} = 0,088199$$

$$u_{\text{najvjerojatnije}} = 0,075$$

Kako bi se potvrdila valjanost ovih proračunatih vrijednosti dobivenih temeljem starog Standarda na transformatorskoj stanici je izvršeno mjerenje naponske nesimetrije instrumentom Mavowatt 50 i to u dva sedmodnevna vremenska intervala, u 10–minutnim ciklusima, prema Europskoj normi EN50160. Rezultati dobivenih mjerenja prikazani su na slikama 5.26 i 5.27.



Slika 5.26. Naponska nesimetrija u prvom sedmodnevnom vremenskom intervalu



Slika 5.27. Naponska nesimetrija u drugom sedmodnevnom vremenskom intervalu

Može se zaključiti da su rezultati mjerenja slični proračunatim vrijednostima. Prosječna vrijednost mjerene nesimetrije u prvom intervalu je $u_{\text{prosječno}} = 0,10799$, a u drugom intervalu $u_{\text{prosječno}} = 0,09472$. Dakle, proračunata vrijednost ne odstupa značajno. Osim toga, sve mjerene vrijednosti nesimetrije su 100% unutar granica propisanih normom, odnosno $< 2\%$.

Može se reći da iako je proračunata maksimalna vrijednost nesimetrije $u_{\text{max}} = 0,284488 \ll 2\%$ što implicira zaključak da nesimetrija ne utječe bitno na rezultate, kako bi se to potvrdilo odabrana su očitavanja opterećenja transformatorske stanice u dane kada se pojavljuju karakteristične vrijednosti nesimetrije (maksimalna, minimalna, prosječna i najvjerojatnija), te je temeljem njih izvršen proračun opterećenja svih potrošača. Prema istom modelu kao i ranije proveden je postupak kako bi se utvrdilo da li nesimetrija utječe na odabir prostornog rješenja niskonaponske distribucijske mreže. U nastavku su prikazani dobiveni rezultati.

5.10.1. Prostorno rješenje pri maksimalnoj vrijednosti nesimetrije

U ovome primjeru je odabran dan s opterećenjem transformatorske stanice pri maksimalnoj nesimetriji i utrošenom energijom potrošača za period od godinu dana. Podaci o opterećenju potrošača dani su u prilogu 25.

Rangiranje kriterija je isto kao i ranije pa su vrijednosti prioriteta kriterija:

$$p_1 = 0,47777$$

$$p_2 = 0,33783$$

$$p_3 = 0,11296$$

$$p_4 = 0,07144$$

Padova napona, vrijednosti gubitaka i opterećenja vodova izračunati su u Matpower-u. Obzirom da se radi o istim alternativama, investicijski troškovi su isti kao u prethodnim slučajevima.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Dobiveni rezultati su prikazani u tablici 5.69.

Tablica 5.69. Vrijednosti kriterija pri opterećenju potrošača u periodu maksimalne nesimetrije

| Broj clustera | ΔU (V) | P_{gub} (kW) | I_{opt} (%) | Investicije (€) |
|---------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|
| 5 | -30,8 | 9,41 | 39,45 | 207.395 |
| 6 | -29,2 | 8,44 | 32,76 | 238.631 |
| 7 | -28,8 | 8,41 | 28,08 | 263.265 |
| 8 | -26,6 | 7,84 | 24,51 | 268.912 |

Provođenjem AHP metode dobivaju se rezultati kao u tablicama 5.70–5.73.

Tablica 5.70. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 1 (max. nesim.)

| Pad napona | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k1}$ |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,94805 | 0,93506 | 0,87013 | 0,23400 |
| Altern. 2 | 1,05479 | 1 | 0,98630 | 0,91781 | 0,24682 |
| Altern. 3 | 1,06944 | 1,01389 | 1 | 0,93056 | 0,25025 |
| Altern. 4 | 1,14925 | 1,08955 | 1,07463 | 1 | 0,26893 |

Tablica 5.71. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 2 (max. nesim.)

| Gubici snage | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k2}$ |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,89692 | 0,89373 | 0,83316 | 0,22553 |
| Altern. 2 | 1,11493 | 1 | 0,99645 | 0,92891 | 0,25144 |
| Altern. 3 | 1,11891 | 1,00357 | 1 | 0,93222 | 0,25234 |
| Altern. 4 | 1,20026 | 1,07653 | 1,07270 | 1 | 0,27069 |

Tablica 5.72. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 3 (max. nesim.)

| Opterećenje vodova | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k3}$ |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,83031 | 0,71162 | 0,62132 | 0,19160 |
| Altern. 2 | 1,20437 | 1 | 0,85706 | 0,74831 | 0,23076 |
| Altern. 3 | 1,40524 | 1,16679 | 1 | 0,87311 | 0,26925 |
| Altern. 4 | 1,60947 | 1,33635 | 1,14533 | 1 | 0,30838 |

Tablica 5.73. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 4 (max. nesim.)

| Investicije | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k4}$ |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 1,15061 | 1,26939 | 1,29662 | 0,29170 |
| Altern. 2 | 0,86910 | 1 | 1,10323 | 1,12689 | 0,25352 |
| Altern. 3 | 0,78778 | 0,90643 | 1 | 1,02145 | 0,22980 |
| Altern. 4 | 0,77124 | 0,88740 | 0,97900 | 1 | 0,22497 |

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Množenjem prioriteta kriterija sa prioritetima alternativa dobiva se:

$$0,47777 \cdot \begin{bmatrix} 0,23400 \\ 0,24682 \\ 0,25025 \\ 0,26883 \end{bmatrix} + 0,33783 \cdot \begin{bmatrix} 0,22553 \\ 0,25144 \\ 0,25234 \\ 0,27069 \end{bmatrix} + 0,11296 \cdot \begin{bmatrix} 0,19160 \\ 0,23076 \\ 0,26925 \\ 0,30838 \end{bmatrix} + 0,07144 \cdot \begin{bmatrix} 0,29170 \\ 0,25352 \\ 0,22980 \\ 0,22497 \end{bmatrix}$$

odnosno,

$$\begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,23047 \\ 0,24705 \\ 0,25164 \\ 0,27084 \end{bmatrix}$$

Alternativa s 8 niskonaponskih izvoda, prema danim kriterijima, predstavlja najbolje prostorno rješenje niskonaponske distribucijske mreže pri maksimalnoj nesimetriji.

5.10.2. Prostorno rješenje pri minimalnoj vrijednosti nesimetrije

U ovom primjeru je odabran dan s opterećenjem transformatorske stanice pri minimalnoj nesimetriji i utrošenom energijom potrošača za period od godinu dana (dan bez nesimetrije). Podaci o opterećenju potrošača dani su u prilogu 26.

Rangiranje kriterija je isto kao i ranije pa su vrijednosti prioriteta kriterija:

$$p_1 = 0,47777$$

$$p_2 = 0,33783$$

$$p_3 = 0,11296$$

$$p_4 = 0,07144$$

Padova napona, vrijednosti gubitaka i opterećenja vodova izračunati su u Matpower-u. Obzirom da se radi o istim alternativama, investicijski troškovi su isti kao u prethodnim slučajevima.

Dobiveni rezultati su prikazani u tablici 5.74.

Tablica 5.74. Vrijednosti kriterija pri opterećenju potrošača u periodu minimalne nesimetrije

| Broj clustera | ΔU (V) | P_{gub} (kW) | I_{opt} (%) | Investicije (€) |
|---------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|
| 5 | -32,8 | 10,58 | 41,78 | 207.395 |
| 6 | -30,8 | 9,48 | 34,68 | 238.631 |
| 7 | -30,4 | 9,46 | 29,73 | 263.265 |
| 8 | -28,4 | 8,82 | 25,95 | 268.912 |

Provođenjem AHP metode dobivaju se rezultati kao u tablicama 5.75–5.78.

Tablica 5.75. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 1 (min. nesim.)

| Pad napona | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k1}$ |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,93902 | 0,92683 | 0,86585 | 0,23262 |
| Altern. 2 | 1,06494 | 1 | 0,98701 | 0,92208 | 0,24773 |
| Altern. 3 | 1,07895 | 1,01316 | 1 | 0,93421 | 0,25099 |
| Altern. 4 | 1,15493 | 1,08451 | 1,07042 | 1 | 0,26866 |

Tablica 5.76. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 2 (min. nesim.)

| Gubici snage | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k2}$ |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,89603 | 0,89414 | 0,83365 | 0,22553 |
| Altern. 2 | 1,11603 | 1 | 0,99789 | 0,93038 | 0,25170 |
| Altern. 3 | 1,11839 | 1,00211 | 1 | 0,93235 | 0,25223 |
| Altern. 4 | 1,19955 | 1,07483 | 1,07256 | 1 | 0,27054 |

Tablica 5.77. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 3 (min. nesim.)

| Opterećenje vodova | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k3}$ |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,83010 | 0,71146 | 0,62109 | 0,19156 |
| Altern. 2 | 1,20468 | 1 | 0,85708 | 0,74822 | 0,23077 |
| Altern. 3 | 1,40557 | 1,16676 | 1 | 0,87299 | 0,26925 |
| Altern. 4 | 1,61007 | 1,33651 | 1,14549 | 1 | 0,30842 |

Tablica 5.78. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 4 (min. nesim.)

| Investicije | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k4}$ |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 1,15061 | 1,26939 | 1,29662 | 0,29170 |
| Altern. 2 | 0,86910 | 1 | 1,10323 | 1,12689 | 0,25352 |
| Altern. 3 | 0,78778 | 0,90643 | 1 | 1,02145 | 0,22980 |
| Altern. 4 | 0,77124 | 0,88740 | 0,97900 | 1 | 0,22497 |

Množenjem prioriteta kriterija sa prioritetima alternativa dobiva se:

$$0,47777 \cdot \begin{bmatrix} 0,23262 \\ 0,24773 \\ 0,25099 \\ 0,26866 \end{bmatrix} + 0,33783 \cdot \begin{bmatrix} 0,22553 \\ 0,25170 \\ 0,25223 \\ 0,27054 \end{bmatrix} + 0,11296 \cdot \begin{bmatrix} 0,19156 \\ 0,23077 \\ 0,26925 \\ 0,30842 \end{bmatrix} + 0,07144 \cdot \begin{bmatrix} 0,29170 \\ 0,25352 \\ 0,22980 \\ 0,22497 \end{bmatrix}$$

odnosno,

$$\begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,22981 \\ 0,24757 \\ 0,25196 \\ 0,27067 \end{bmatrix}$$

Alternativa s 8 niskonaponskih izvoda, prema danim kriterijima, predstavlja najbolje prostorno rješenje niskonaponske distribucijske mreže pri minimalnoj nesimetriji.

5.10.3. Prostorno rješenje pri prosječnoj vrijednosti nesimetrije

U ovome primjeru je odabran dan s opterećenjem transformatorske stanice pri prosječnoj vrijednosti nesimetrije i utrošenom energijom potrošača za period od godinu dana. Podaci o opterećenju potrošača dani su u prilogu 27.

Rangiranje kriterija je isto kao i ranije pa su vrijednosti prioriteta kriterija:

$$p_1 = 0,47777$$

$$p_2 = 0,33783$$

$$p_3 = 0,11296$$

$$p_4 = 0,07144$$

Padova napona, vrijednosti gubitaka i opterećenja vodova izračunati su u Matpower-u. Obzirom da se radi o istim alternativama, investicijski troškovi su isti kao u prethodnim slučajevima.

Dobiveni rezultati su prikazani u tablici 5.79.

Tablica 5.79. Vrijednosti kriterija pri opterećenju potrošača u periodu prosječne nesimetrije

| Broj clustera | ΔU (V) | P_{gub} (kW) | I_{opt} (%) | Investicije (€) |
|---------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|
| 5 | -36,0 | 12,65 | 45,59 | 207.395 |
| 6 | -33,6 | 11,33 | 37,83 | 238.631 |
| 7 | -33,2 | 11,30 | 32,42 | 263.265 |
| 8 | -31,2 | 10,52 | 28,30 | 268.912 |

Provođenjem AHP metode dobivaju se rezultati kao u tablicama 5.80–5.83.

Tablica 5.80. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 1 (prosj. nesim.)

| Pad napona | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k1}$ |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,93333 | 0,92222 | 0,86667 | 0,23204 |
| Altern. 2 | 1,07143 | 1 | 0,98810 | 0,92857 | 0,24861 |
| Altern. 3 | 1,08434 | 1,01205 | 1 | 0,93976 | 0,25161 |
| Altern. 4 | 1,15385 | 1,07692 | 1,06410 | 1 | 0,26774 |

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Tablica 5.81. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 2 (prosj. nesim.)

| Gubici snage | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k2}$ |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,89565 | 0,89328 | 0,83162 | 0,22530 |
| Altern. 2 | 1,11650 | 1 | 0,99735 | 0,92851 | 0,25155 |
| Altern. 3 | 1,11947 | 1,00265 | 1 | 0,93097 | 0,25222 |
| Altern. 4 | 1,20247 | 1,07700 | 1,07414 | 1 | 0,27092 |

Tablica 5.82. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 3 (prosj. nesim.)

| Opterećenje vodova | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k3}$ |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,82977 | 0,71116 | 0,62068 | 0,19148 |
| Altern. 2 | 1,20516 | 1 | 0,85706 | 0,74802 | 0,23076 |
| Altern. 3 | 1,40615 | 1,16678 | 1 | 0,87277 | 0,26925 |
| Altern. 4 | 1,61113 | 1,33687 | 1,14578 | 1 | 0,30850 |

Tablica 5.83. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 4 (prosj. nesim.)

| Investicije | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k4}$ |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 1,15061 | 1,26939 | 1,29662 | 0,29170 |
| Altern. 2 | 0,86910 | 1 | 1,10323 | 1,12689 | 0,25352 |
| Altern. 3 | 0,78778 | 0,90643 | 1 | 1,02145 | 0,22980 |
| Altern. 4 | 0,77124 | 0,88740 | 0,97900 | 1 | 0,22497 |

Množenjem prioriteta kriterija sa prioritetima alternativa dobiva se:

$$0,47777 \cdot \begin{bmatrix} 0,23204 \\ 0,24861 \\ 0,25161 \\ 0,26774 \end{bmatrix} + 0,33783 \cdot \begin{bmatrix} 0,22530 \\ 0,25155 \\ 0,25222 \\ 0,27092 \end{bmatrix} + 0,11296 \cdot \begin{bmatrix} 0,19148 \\ 0,23076 \\ 0,26925 \\ 0,30850 \end{bmatrix} + 0,07144 \cdot \begin{bmatrix} 0,29170 \\ 0,25352 \\ 0,22980 \\ 0,22497 \end{bmatrix}$$

odnosno,

$$\begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,22945 \\ 0,24794 \\ 0,25225 \\ 0,27036 \end{bmatrix}$$

Alternativa s 8 niskonaponskih izvoda, prema danim kriterijima, predstavlja najbolje prostorno rješenje niskonaponske distribucijske mreže pri prosječnoj vrijednosti nesimetrije.

5.10.4. Prostorno rješenje pri najvjerojatnijoj vrijednosti nesimetrije

U ovome primjeru je odabran dan s opterećenjem transformatorske stanice pri najvjerojatnijoj vrijednosti nesimetriji i utrošenom energijom potrošača za period od godinu dana. Podaci o opterećenju potrošača dani su u prilogu 28.

Rangiranje kriterija je isto kao i ranije pa su vrijednosti prioriteta kriterija:

$$p_1 = 0,47777$$

$$p_2 = 0,33783$$

$$p_3 = 0,11296$$

$$p_4 = 0,07144$$

Padova napona, vrijednosti gubitaka i opterećenja vodova izračunati su u Matpower-u. Obzirom da se radi o istim alternativama, investicijski troškovi su isti kao u prethodnim slučajevima.

Dobiveni rezultati su prikazani u tablici 5.84.

Tablica 5.84. Vrijednosti kriterija pri opterećenju potrošača u periodu najvjerojatnije nesim.

| Broj clustera | ΔU (V) | P_{gub} (kW) | I_{opt} (%) | Investicije (€) |
|---------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|
| 5 | -29,2 | 8,50 | 37,53 | 207.395 |
| 6 | -27,6 | 7,63 | 31,17 | 238.631 |
| 7 | -27,2 | 7,60 | 26,71 | 263.265 |
| 8 | -25,6 | 7,09 | 23,33 | 268.912 |

Provođenjem AHP metode dobivaju se rezultati kao u tablicama 5.85–5.88.

Tablica 5.85. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 1 (najvjer. nesim.)

| Pad napona | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k1}$ |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,94521 | 0,93151 | 0,87671 | 0,23408 |
| Altern. 2 | 1,05797 | 1 | 0,98551 | 0,92754 | 0,24765 |
| Altern. 3 | 1,07353 | 1,01471 | 1 | 0,94118 | 0,25129 |
| Altern. 4 | 1,14063 | 1,07813 | 1,06250 | 1 | 0,26699 |

Tablica 5.86. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 2 (najvjer. nesim.)

| Gubici snage | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k2}$ |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,89765 | 0,89412 | 0,83412 | 0,22567 |
| Altern. 2 | 1,11402 | 1 | 0,99607 | 0,92923 | 0,25140 |
| Altern. 3 | 1,11842 | 1,00395 | 1 | 0,93289 | 0,25239 |
| Altern. 4 | 1,19887 | 1,07616 | 1,07193 | 1 | 0,27055 |

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Tablica 5.87. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 3 (najvjer. nesim.)

| Opterećenje vodova | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k3}$ |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,83048 | 0,71175 | 0,62152 | 0,19164 |
| Altern. 2 | 1,20412 | 1 | 0,85704 | 0,74839 | 0,23076 |
| Altern. 3 | 1,40498 | 1,16681 | 1 | 0,87323 | 0,26925 |
| Altern. 4 | 1,60895 | 1,33621 | 1,14518 | 1 | 0,30834 |

Tablica 5.88. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 4 (najvjer. nesim.)

| Investicije | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k4}$ |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 1,15061 | 1,26939 | 1,29662 | 0,29170 |
| Altern. 2 | 0,86910 | 1 | 1,10323 | 1,12689 | 0,25352 |
| Altern. 3 | 0,78778 | 0,90643 | 1 | 1,02145 | 0,22980 |
| Altern. 4 | 0,77124 | 0,88740 | 0,97900 | 1 | 0,22497 |

Množenjem prioriteta kriterija sa prioritetima alternativa dobiva se:

$$0,47777 \cdot \begin{bmatrix} 0,23408 \\ 0,24765 \\ 0,25129 \\ 0,26699 \end{bmatrix} + 0,33783 \cdot \begin{bmatrix} 0,22567 \\ 0,25140 \\ 0,25239 \\ 0,27055 \end{bmatrix} + 0,11296 \cdot \begin{bmatrix} 0,19164 \\ 0,23076 \\ 0,26925 \\ 0,30834 \end{bmatrix} + 0,07144 \cdot \begin{bmatrix} 0,29170 \\ 0,25352 \\ 0,22980 \\ 0,22497 \end{bmatrix}$$

odnosno,

$$\begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,23056 \\ 0,24743 \\ 0,25215 \\ 0,26986 \end{bmatrix}$$

Alternativa s 8 niskonaponskih izvoda, prema danim kriterijima, predstavlja najbolje prostorno rješenje niskonaponske distribucijske mreže pri najvjerojatnijoj vrijednosti nesimetrije.

5.11. PROSTORNO RJEŠENJE PRI IZGRADNJI NOVIH MREŽA

Dobiveni rezultati pokazuju da promjena opterećenja potrošača ne utječe na konačno prostorno rješenje niskonaponske distribucijske mreže. Dosadašnja razmatranja, međutim, se mogu primijeniti samo na rekonstrukcije postojećih mreža, kada se prigodnim proračunom mogu izračunati pojedinačna opterećenja potrošača. Postavlja se pitanje kakva se rješenja dobivaju ukoliko je potrebno rezultate iskoristiti za projektiranje u cijelosti novih niskonaponskih mreža, kada nisu poznata pojedinačna opterećenja potrošača, odnosno kada ne postoje podaci o utrošenoj energiji potrošača i dnevnom, satnom očitavanju opterećenja transformatorske stanice.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Već ranije je navedeno (točka 5.2) da se u ovakvim slučajevima mogu primijeniti podaci koji se temelje na dosadašnjem iskustvu. Naime, iskustveno je poznato da se istodobno opterećenje niskonaponskih potrošača nalazi u granicama 0,8 kW–1,4 kW. Naravno, ove granice mogu biti i drugačije, u ovisnosti o tipu potrošača, karakteristikama mreže i potrošača, faktoru istodobnosti, navikama potrošača itd. Najbolju procjenu pojedinačnih opterećenja moguće je izvršiti ukoliko su raspoložive snimljene karakteristike raznih tipova potrošača, te se temeljem njih svakom potrošaču može pridružiti određeni iznos opterećenja. Isto tako, za dobivanje što preciznijih podataka, u procesu dugoročnog planiranja, potrebno je poznavati podatke o širenju konzuma predmetnog područja, karakteristikama novih potrošača, te prognozi potrošnje u promatranom vremenskom periodu (trogodišnji, petogodišnji, desetogodišnji planovi razvoja). Sve ovo je potrebno uzeti u obzir kada se određuju vrijednosti opterećenja potrošača temeljem kojih će se izvršiti odabir najpovoljnijeg rješenja prema predloženom modelu planiranja.

U danom primjeru je potrebno izvršiti odabir najboljeg prostornog rješenja temeljem prosječnog opterećenja potrošača (1,1 kW) promatranog područja i to za sve potrošače podjednako, bez analiziranja pojedinačnih karakteristika potrošača. Isto tako, korisno je izvršiti provjeru dobivenog rješenja za slučaj promjene istodobnog opterećenja, odnosno za slučajeve maksimalnog (1,4 kW) i minimalnog opterećenja (0,8 kW) pojedinog potrošača.

5.11.1. Prosječno istodobno opterećenje potrošača

U ovom primjeru je odabrano prosječno istodobno opterećenje potrošača od 1,1 kW i to za sve potrošače podjednako.

Rangiranje kriterija je isto kao i ranije pa su vrijednosti prioriteta kriterija:

$$p_1 = 0,47777$$

$$p_2 = 0,33783$$

$$p_3 = 0,11296$$

$$p_4 = 0,07144$$

Padova napona, vrijednosti gubitaka i opterećenja vodova izračunati su u Matpower-u. Obzirom da se radi o istim alternativama, investicijski troškovi su isti kao u prethodnim slučajevima.

Dobiveni rezultati su prikazani u tablici 5.89.

Tablica 5.89. Vrijednosti kriterija pri prosječnom istodobnom opterećenju potrošača

| Broj clustera | ΔU (V) | P_{gub} (kW) | I_{opt} (%) | Investicije (€) |
|---------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|
| 5 | -30,8 | 11,75 | 47,28 | 207.395 |
| 6 | -28,0 | 10,38 | 39,23 | 238.631 |
| 7 | -28,0 | 10,03 | 33,59 | 263.265 |
| 8 | -26,0 | 9,22 | 29,32 | 268.912 |

Provođenjem AHP metode dobivaju se rezultati kao u tablicama 5.90–5.93.

Tablica 5.90. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 1 (prosj. istodob.)

| Pad napona | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k1}$ |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,90909 | 0,90909 | 0,84416 | 0,22807 |
| Altern. 2 | 1,10000 | 1 | 1,00000 | 0,92857 | 0,25088 |
| Altern. 3 | 1,10000 | 1,00000 | 1 | 0,92857 | 0,25088 |
| Altern. 4 | 1,18462 | 1,07692 | 1,07692 | 1 | 0,27018 |

Tablica 5.91. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 2 (prosj. istodob.)

| Gubici snage | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k2}$ |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,88340 | 0,85362 | 0,78468 | 0,21844 |
| Altern. 2 | 1,13198 | 1 | 0,96628 | 0,88825 | 0,24727 |
| Altern. 3 | 1,17149 | 1,03490 | 1 | 0,91924 | 0,25590 |
| Altern. 4 | 1,27440 | 1,12581 | 1,08785 | 1 | 0,27838 |

Tablica 5.92. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 3 (prosj. istodob.)

| Opterećenje vodova | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k3}$ |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,82981 | 0,71049 | 0,62010 | 0,19138 |
| Altern. 2 | 1,20509 | 1 | 0,85621 | 0,74728 | 0,23063 |
| Altern. 3 | 1,40747 | 1,16794 | 1 | 0,87277 | 0,26936 |
| Altern. 4 | 1,61265 | 1,33819 | 1,14578 | 1 | 0,30863 |

Tablica 5.93. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 4 (prosj. istodob.)

| Investicije | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k4}$ |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 1,15061 | 1,26939 | 1,29662 | 0,29170 |
| Altern. 2 | 0,86910 | 1 | 1,10323 | 1,12689 | 0,25352 |
| Altern. 3 | 0,78778 | 0,90643 | 1 | 1,02145 | 0,22980 |
| Altern. 4 | 0,77124 | 0,88740 | 0,97900 | 1 | 0,22497 |

Množenjem prioriteta kriterija sa prioritetima alternativa se dobiva:

$$0,47777 \cdot \begin{bmatrix} 0,22807 \\ 0,25088 \\ 0,25088 \\ 0,27018 \end{bmatrix} + 0,33783 \cdot \begin{bmatrix} 0,21844 \\ 0,24727 \\ 0,25590 \\ 0,27838 \end{bmatrix} + 0,11296 \cdot \begin{bmatrix} 0,19138 \\ 0,23063 \\ 0,26936 \\ 0,30863 \end{bmatrix} + 0,07144 \cdot \begin{bmatrix} 0,29170 \\ 0,25352 \\ 0,22980 \\ 0,22497 \end{bmatrix}$$

odnosno,

$$\begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,22522 \\ 0,24756 \\ 0,25316 \\ 0,27406 \end{bmatrix}$$

Alternativa s 8 niskonaponskih izvoda, prema danim kriterijima, predstavlja najbolje prostorno rješenje niskonaponske distribucijske mreže pri prosječnoj istodobnoj vrijednosti opterećenja potrošača.

5.11.2. Maksimalno istodobno opterećenje potrošača

U ovom primjeru je odabrano maksimalno istodobno opterećenje potrošača od 1,4 kW i to za sve potrošače podjednako. Rangiranje kriterija je isto kao i ranije pa su vrijednosti prioriteta kriterija:

$$p_1 = 0,47777$$

$$p_2 = 0,33783$$

$$p_3 = 0,11296$$

$$p_4 = 0,07144$$

Padova napona, vrijednosti gubitaka i opterećenja vodova izračunati su u Matpower-u. Obzirom da se radi o istim alternativama, investicijski troškovi su isti kao u prethodnim slučajevima.

Dobiveni rezultati su prikazani u tablici 5.94.

Tablica 5.94. Vrijednosti kriterija pri maksimalnom istodobnom opterećenju potrošača

| Broj clustera | ΔU (V) | P_{gub} (kW) | I_{opt} (%) | Investicije (€) |
|---------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|
| 5 | -40,4 | 19,73 | 60,89 | 207.395 |
| 6 | -36,4 | 17,38 | 50,46 | 238.631 |
| 7 | -36,4 | 16,79 | 43,19 | 263.265 |
| 8 | -33,6 | 15,38 | 37,66 | 268.912 |

Provođenjem AHP metoda dobivaju se rezultati kao u tablicama 5.95–5.98.

Tablica 5.95. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 1 (max. istodob.)

| Pad napona | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k1}$ |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,90099 | 0,90099 | 0,83168 | 0,22613 |
| Altern. 2 | 1,10989 | 1 | 1,00000 | 0,92308 | 0,25098 |
| Altern. 3 | 1,10989 | 1,00000 | 1 | 0,92308 | 0,25098 |
| Altern. 4 | 1,20238 | 1,08333 | 1,08333 | 1 | 0,27190 |

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Tablica 5.96. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 2 (max. istodob.)

| Gubici snage | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k2}$ |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,88089 | 0,85099 | 0,77952 | 0,21772 |
| Altern. 2 | 1,13521 | 1 | 0,96605 | 0,88493 | 0,24715 |
| Altern. 3 | 1,17510 | 1,03514 | 1 | 0,91602 | 0,25584 |
| Altern. 4 | 1,28283 | 1,13004 | 1,09168 | 1 | 0,27929 |

Tablica 5.97. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 3 (max. istodob.)

| Opterećenje vodova | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k3}$ |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,82865 | 0,70924 | 0,61848 | 0,19107 |
| Altern. 2 | 1,20678 | 1 | 0,85590 | 0,74637 | 0,23058 |
| Altern. 3 | 1,40995 | 1,16836 | 1 | 0,87203 | 0,26940 |
| Altern. 4 | 1,61687 | 1,33981 | 1,14675 | 1 | 0,30894 |

Tablica 5.98. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 4 (max. istodob.)

| Investicije | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k4}$ |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 1,15061 | 1,26939 | 1,29662 | 0,29170 |
| Altern. 2 | 0,86910 | 1 | 1,10323 | 1,12689 | 0,25352 |
| Altern. 3 | 0,78778 | 0,90643 | 1 | 1,02145 | 0,22980 |
| Altern. 4 | 0,77124 | 0,88740 | 0,97900 | 1 | 0,22497 |

Množenjem prioriteta kriterija sa prioritetima alternativa se dobiva:

$$0,47777 \cdot \begin{bmatrix} 0,22613 \\ 0,25098 \\ 0,25098 \\ 0,27190 \end{bmatrix} + 0,33783 \cdot \begin{bmatrix} 0,21772 \\ 0,24715 \\ 0,25584 \\ 0,27929 \end{bmatrix} + 0,11296 \cdot \begin{bmatrix} 0,19107 \\ 0,23058 \\ 0,26940 \\ 0,30894 \end{bmatrix} + 0,07144 \cdot \begin{bmatrix} 0,29170 \\ 0,25352 \\ 0,22980 \\ 0,22497 \end{bmatrix}$$

odnosno,

$$\begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,22401 \\ 0,24757 \\ 0,25319 \\ 0,27523 \end{bmatrix}$$

Alternativa s 8 niskonaponskih izvoda, prema danim kriterijima, predstavlja najbolje prostorno rješenje niskonaponske distribucijske mreže i pri maksimalnoj istodobnoj vrijednosti opterećenja potrošača.

5.11.3. Minimalno istodobno opterećenje potrošača

U ovom primjeru je odabrano minimalno istodobno opterećenje potrošača od 0,8 kW i to za sve potrošače podjednako. Rangiranje kriterija je isto kao i ranije pa su vrijednosti prioriteta kriterija:

$$p_1 = 0,47777$$

$$p_2 = 0,33783$$

$$p_3 = 0,11296$$

$$p_4 = 0,07144$$

Padova napona, vrijednosti gubitaka i opterećenja vodova izračunati su u Matpower-u. Obzirom da se radi o istim alternativama investicijski troškovi su isti kao u prethodnim slučajevima.

Dobiveni rezultati su prikazani u tablici 5.99.

Tablica 5.99. Vrijednosti kriterija pri minimalnom istodobnom opterećenju potrošača

| Broj clustera | ΔU (V) | P_{gub} (kW) | I_{opt} (%) | Investicije (€) |
|---------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|
| 5 | -22,0 | 6,02 | 33,99 | 207.395 |
| 6 | -20,0 | 5,33 | 28,24 | 238.631 |
| 7 | -20,0 | 5,16 | 24,19 | 263.265 |
| 8 | -18,4 | 4,75 | 21,13 | 268.912 |

Provođenjem AHP metode dobivaju se rezultati kao u tablicama 5.100–5.103.

Tablica 5.100. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 1 (min. istodob.)

| Pad napona | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k1}$ |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,90909 | 0,90909 | 0,83636 | 0,22750 |
| Altern. 2 | 1,10000 | 1 | 1,00000 | 0,92000 | 0,25025 |
| Altern. 3 | 1,10000 | 1,00000 | 1 | 0,92000 | 0,25025 |
| Altern. 4 | 1,19565 | 1,08696 | 1,08696 | 1 | 0,27201 |

Tablica 5.101. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 2 (min. istodob.)

| Gubici snage | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k2}$ |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,88538 | 0,85714 | 0,78904 | 0,21913 |
| Altern. 2 | 1,12946 | 1 | 0,96811 | 0,89118 | 0,24750 |
| Altern. 3 | 1,16667 | 1,03295 | 1 | 0,92054 | 0,25565 |
| Altern. 4 | 1,26737 | 1,12211 | 1,08632 | 1 | 0,27772 |

Tablica 5.102. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 3 (min. istodob.)

| Opterećenje vodova | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k3}$ |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 0,83088 | 0,71164 | 0,62160 | 0,19166 |
| Altern. 2 | 1,20354 | 1 | 0,85649 | 0,74811 | 0,23067 |
| Altern. 3 | 1,40520 | 1,16756 | 1 | 0,87346 | 0,26932 |
| Altern. 4 | 1,60876 | 1,33670 | 1,14487 | 1 | 0,30834 |

Tablica 5.103. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 4 (min. istodob.)

| Investicije | Altern. 1 | Altern. 2 | Altern. 3 | Altern. 4 | Prioritet $P_{a,k4}$ |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Altern. 1 | 1 | 1,15061 | 1,26939 | 1,29662 | 0,29170 |
| Altern. 2 | 0,86910 | 1 | 1,10323 | 1,12689 | 0,25352 |
| Altern. 3 | 0,78778 | 0,90643 | 1 | 1,02145 | 0,22980 |
| Altern. 4 | 0,77124 | 0,88740 | 0,97900 | 1 | 0,22497 |

Množenjem prioriteta kriterija sa prioritetima alternativa se dobiva:

$$0,47777 \cdot \begin{bmatrix} 0,22750 \\ 0,25025 \\ 0,25025 \\ 0,27201 \end{bmatrix} + 0,33783 \cdot \begin{bmatrix} 0,21913 \\ 0,24750 \\ 0,25565 \\ 0,27772 \end{bmatrix} + 0,11296 \cdot \begin{bmatrix} 0,19166 \\ 0,23067 \\ 0,26932 \\ 0,30834 \end{bmatrix} + 0,07144 \cdot \begin{bmatrix} 0,29170 \\ 0,25352 \\ 0,22980 \\ 0,22497 \end{bmatrix}$$

odnosno,

$$\begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,22521 \\ 0,24734 \\ 0,25277 \\ 0,27468 \end{bmatrix}$$

Alternativa s 8 niskonaponskih izvoda, prema danim kriterijima, predstavlja najbolje prostorno rješenje niskonaponske distribucijske mreže i pri minimalnoj istodobnoj vrijednosti opterećenja potrošača.

5.12. UTJECAJ PROMJENE OPTEREĆENJA POTROŠAČA NA OPTIMALNO RJEŠENJE

Prethodni rezultati pokazuju da promjena opterećenja potrošača ne utječe na izbor najpovoljnijeg prostornog rješenja. Postavlja se pitanje da li promjena opterećenja utječe na optimalno rješenje. Primjena metode simuliranog kaljenja na sve prezentirane slučajeve opterećenja potrošača pokazuje da se u svim slučajevima dobiva identično optimalno uklopno stanje mreže. To u biti znači da je u svim slučajevima potrebno uključiti/isključiti iste dionice mreže kako je to predočeno u točki 5.8, odnosno u tablici 5.41. Dakle, može se zaključiti da

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

promjena opterećenja ne utječe na optimalnu konfiguraciju, odnosno promjena opterećenja potrošača ne utječe na rezultate koji se dobivaju primjenom predloženog modela. Za dobivanje optimalnog rješenja mogu se iskoristiti bilo koji dostupni podaci o opterećenju potrošača ili ako ni to nije dostupno mogu se odabrati neke prosječne vrijednosti karakteristične za određene tipove mreža.

U svim slučajevima dobivaju se različiti iznosi gubitaka radne snage, te padovi napona kod krajnjih potrošača, jer su ove veličine u direktnoj ovisnosti o iznosu opterećenja. Podaci o padovima napona i gubicima radne snage za sve slučajeve promjene opterećenja su prikazani u tablici 5.104.

Tablica 5.104. Padovi napona i gubici radne snage za različita opterećenja potrošača

| Opterećenje transformatorske stanice i izvoda | Prostorno rješenje | | Optimalno rješenje | | Razlika | |
|---|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | ΔU (%) | P_{gub} (kW) | ΔU (%) | P_{gub} (kW) | ΔU (%) | P_{gub} (kW) |
| Godišnji maksimum | - 10,1 | 17,38 | - 7,5 | 13,09 | 2,6 | 4,29 |
| Godišnji minimum | - 5,5 | 5,26 | - 4,1 | 4,08 | 1,4 | 1,18 |
| Proljećni maksimum | - 8,8 | 11,81 | - 6,5 | 9,07 | 2,3 | 2,74 |
| Ljetni maksimum | - 9,5 | 16,67 | - 7,1 | 12,64 | 2,4 | 4,03 |
| Jesenski maksimum | - 7,7 | 11,64 | - 5,8 | 8,81 | 1,9 | 2,83 |
| Zimski maksimum | - 9,2 | 14,01 | - 6,8 | 10,63 | 2,4 | 3,38 |
| Maksimalna nesimetrija | - 6,7 | 7,84 | - 5,0 | 6,05 | 1,7 | 1,79 |
| Minimalna nesimetrija | - 7,1 | 8,82 | - 5,3 | 6,78 | 1,8 | 2,04 |
| Prosječna nesimetrija | - 7,8 | 10,52 | - 5,8 | 8,07 | 2,0 | 2,45 |
| Vjerojatna nesimetrija | - 6,4 | 7,09 | - 4,8 | 5,48 | 1,6 | 1,61 |
| Izgradnja nove mreže - maksimum | - 8,4 | 15,38 | - 6,4 | 12,93 | 2,0 | 2,45 |
| Izgradnja nove mreže - minimum | - 4,6 | 4,75 | - 3,5 | 4,06 | 1,1 | 0,69 |
| Izgradnja nove mreže - prosjek | - 6,5 | 9,22 | - 4,9 | 7,82 | 1,6 | 1,40 |

Na kraju, može se zaključiti da su ovakvi rezultati i očekivani obzirom da su iznosi istodobnih opterećenja kod niskonaponskih potrošača relativno mali. Obzirom da su na sve to u svim prikazanim slučajevima i promjene opterećenja malene, onda se može reći da takve promjene i ne mogu utjecati na konačno rješenje.

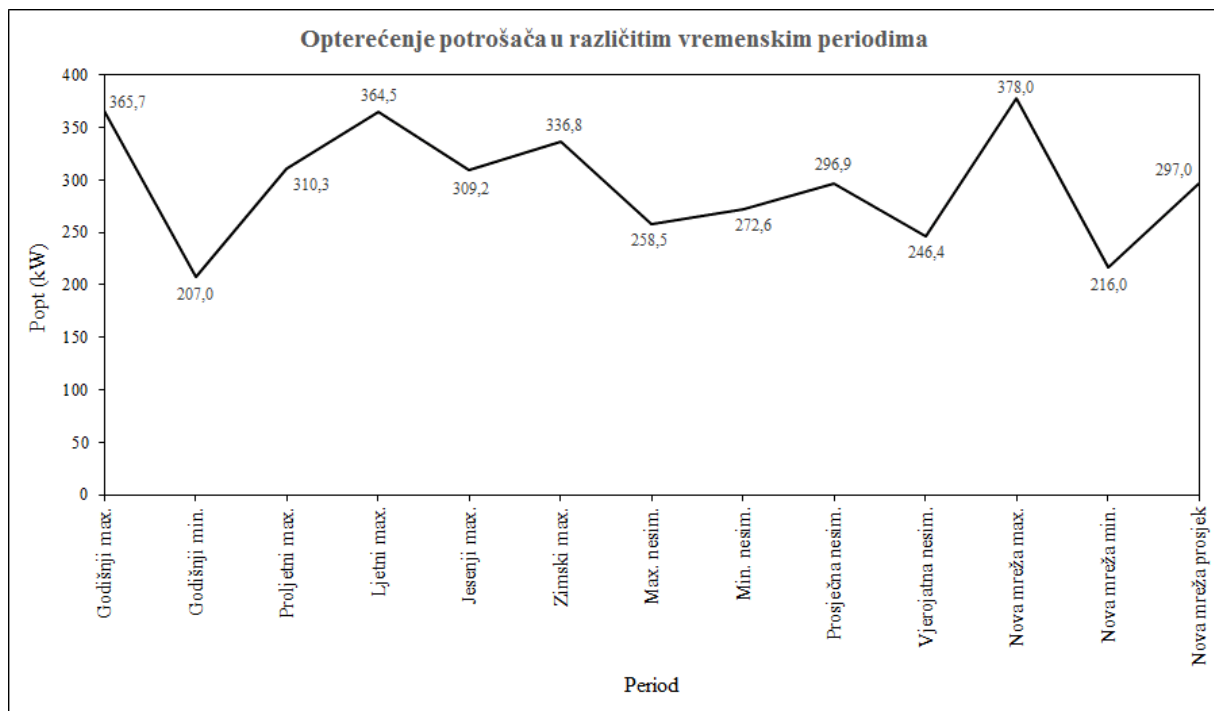
5.13. USPOREDBA REZULTATA SA POSTOJEĆOM MREŽOM – POTVRDA MODELA

U prethodnim točkama su prezentirani rezultati primjene predloženog modela planiranja. Temeljem tih rezultata može se zaključiti da se predloženim modelom mogu dobiti najbolja rješenja prigodna za rekonstrukcije ili izgradnju niskonaponskih distribucijskih mreža. Koliko su ta rješenja dobra ili to nisu, najbolje se može vidjeti ukoliko se izvrši usporedba rezultata za mreže dobivene predloženim modelom i rezultata za postojeću niskonaponsku mrežu.

U ovoj točki su prezentirani rezultati takve usporedbe. Na ovaj način predloženi model planiranja dobiva potvrdu svoje primjenjivosti, čime se ispunjava temeljni cilj istraživanja prezentiranog u ovoj disertaciji, a to je uspostava jednog sasvim novog modela, odnosno pristupa u planiranju niskonaponskih distribucijskih mreža.

Kao što je već ranije rečeno postojeća niskonaponska distribucijska mreža se napaja iz transformatorske stanice 10(20)/0,4 kV, nazivne snage 400 kVA. Preko ove mreže je napojeno 270 kupaca električne energije, uglavnom iz kategorije kućanstava, i to preko 5 niskonaponskih izvoda. Prostorni izgled postojeće mreže prikazan je na slici 5.2.

Kako bi se mogla izvršiti bilo kakva usporedba i za postojeću mrežu je potrebno izvršiti proračune tokova snaga za sve vrijednosti opterećenja potrošača kako je to napravljeno za mreže dobivene primjenom modela (Slika 5.28). Ovo je jako bitno jer se samo na taj način može vršiti usporedba sa rezultatima modela i mogu se vidjeti učinci, odnosno donijeti određeni zaključci u vezi predloženog modela planiranja.



Slika 5.28. Ukupno opterećenje potrošača za različito dnevno opterećenje transformatorske stanice

5.13.1. Usporedba rezultata padova napona

Za kupce električne energije najvažnije je da razina napona bude zadovoljavajuća i vremenski nepromjenjiva. Stoga je jedan od parametara kojeg je potrebno usporediti pad napona kod krajnjih potrošača. Ovom parametru je u predloženom modelu dodijeljen najviši stupanj važnosti. Ako se vrši procjena uspješnosti primjene modela onda se pri usporedbi ovog

parametra trebaju promatrati isključivo apsolutni iznosi, bez razmatranja bilo kakvih financijskih učinaka. Ako je dovođenje naponske razine kod svakog potrošača u propisane granice najvažnije onda za ispunjenje tog cilja financijska ulaganja nemaju presudnu važnost.

Ponudeni model planiranja bi trebao dati rješenje kojim će biti umanjeni padovi napona kod krajnjih potrošača u odnosu na postojeće stanje u mreži. Ukoliko to nije slučaj onda se ne može reći da model daje kvalitetna rješenja jer je jedna od temeljnih zadaća modela dobivanje boljeg stanja od postojećeg. Samo u tom slučaju može se reći da je model kvalitetan i primjenjiv.

Proračunom tokova snaga za postojeću mrežu su dobiveni podaci o padovima napona kod krajnjih potrošača kao u tablici 5.105.

Tablica 5.105. Padovi napona kod krajnjih potrošača za različite vrijednosti opterećenja potrošača postojeće niskonaponske distribucijske mreže

| Opterećenje transformatorske stanice i izvoda | U (p.u) | U (V) | ΔU (V) | ΔU (%) |
|---|---------|-------|----------------|----------------|
| Godišnji maksimum | 0,855 | 342,0 | - 58,0 | - 14,5 |
| Godišnji minimum | 0,921 | 368,4 | - 31,6 | - 7,9 |
| Proljećni maksimum | 0,878 | 351,2 | - 48,8 | - 12,2 |
| Ljetni maksimum | 0,846 | 338,4 | - 61,6 | - 15,4 |
| Jesenski maksimum | 0,874 | 349,6 | - 50,4 | - 12,6 |
| Zimski maksimum | 0,878 | 351,2 | - 48,8 | - 12,2 |
| Maksimalna nesimetrija | 0,900 | 360,0 | - 40,0 | - 10,0 |
| Minimalna nesimetrija | 0,894 | 357,6 | - 42,4 | - 10,6 |
| Prosječna nesimetrija | 0,884 | 353,6 | - 46,4 | - 11,6 |
| Vjerojatna nesimetrija | 0,906 | 362,4 | - 37,6 | - 9,4 |
| Izgradnja nove mreže – maksimum | 0,806 | 322,4 | - 77,6 | - 19,4 |
| Izgradnja nove mreže – minimum | 0,898 | 359,2 | - 40,8 | - 10,2 |
| Izgradnja nove mreže – prosjek | 0,854 | 341,6 | - 58,4 | - 14,6 |

Pređene rezultate postojeće niskonaponske distribucijske mreže je potrebno usporediti sa rezultatima optimalne mreže dobivene primjenom predloženog modela planiranja. Vrijednosti padova napona kod krajnjih potrošača dobiveni proračunom tokova snaga za optimalnu mrežu su prikazani u tablici 5.106.

Tablica 5.106. Padovi napona kod krajnjih potrošača za različite vrijednosti opterećenja potrošača optimalne niskonaponske distribucijske mreže

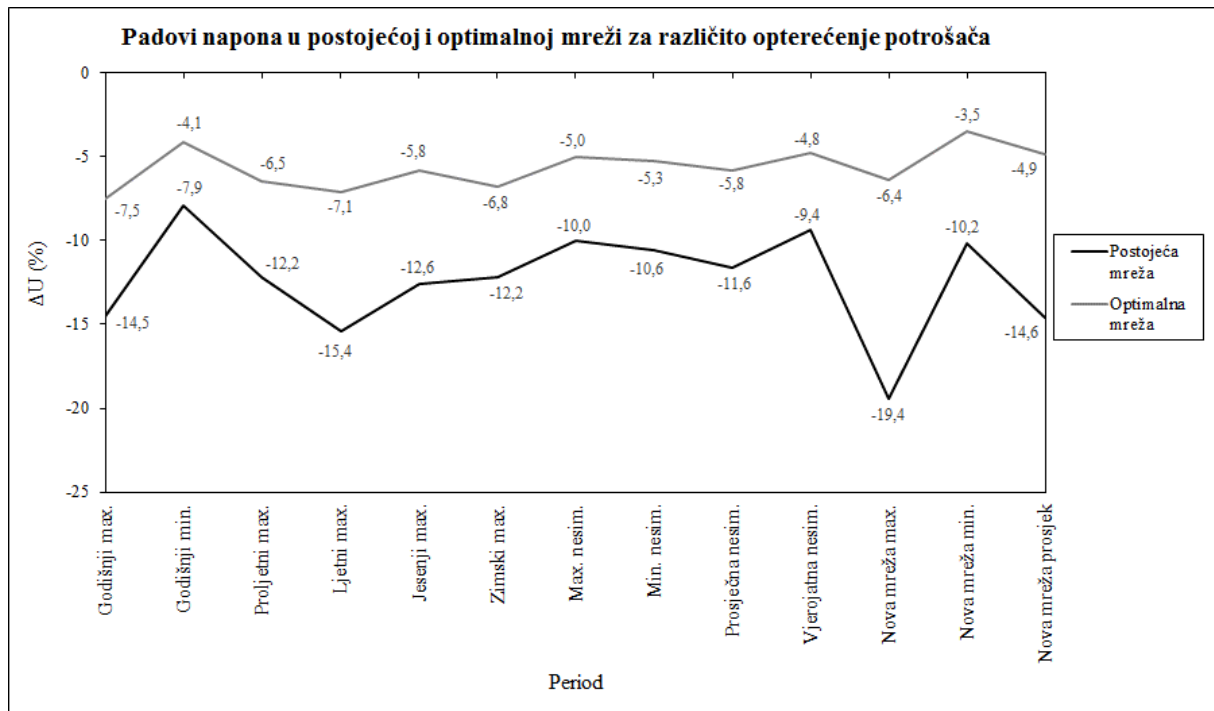
| Opterećenje transformatorske stanice i izvoda | U (p.u) | U (V) | ΔU (V) | ΔU (%) |
|---|---------|-------|----------------|----------------|
| Godišnji maksimum | 0,925 | 370,0 | - 30,0 | - 7,5 |
| Godišnji minimum | 0,959 | 383,6 | - 16,4 | - 4,1 |
| Proljećni maksimum | 0,935 | 374,0 | - 26,0 | - 6,5 |
| Ljetni maksimum | 0,929 | 371,6 | - 28,4 | - 7,1 |
| Jesenski maksimum | 0,942 | 376,8 | - 23,2 | - 5,8 |
| Zimski maksimum | 0,932 | 372,8 | - 27,2 | - 6,8 |
| Maksimalna nesimetrija | 0,950 | 380,0 | - 20,2 | - 5,0 |
| Minimalna nesimetrija | 0,947 | 378,8 | - 21,2 | - 5,3 |
| Prosječna nesimetrija | 0,942 | 376,8 | - 23,2 | - 5,8 |
| Vjerojatna nesimetrija | 0,952 | 380,8 | - 19,2 | - 4,8 |
| Izgradnja nove mreže – maksimum | 0,936 | 374,4 | - 25,6 | - 6,4 |
| Izgradnja nove mreže – minimum | 0,965 | 386,0 | - 14,0 | - 3,5 |
| Izgradnja nove mreže – prosjek | 0,951 | 380,4 | - 19,6 | - 4,9 |

Usporedni rezultati za ove dvije mreže dani su u tablici 5.107, odnosno na slici 5.29.

Tablica 5.107. Usporedba rezultata o padovima napona kod krajnjih potrošača postojeće i optimalne niskonaponske distribucijske mreže

| Opterećenje transformatorske stanice i izvoda | Postojeća mreža | | Optimalna mreža | | Razlika u odnosu na postojeću mrežu | |
|---|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|----------------|
| | ΔU (V) | ΔU (%) | ΔU (V) | ΔU (%) | ΔU (V) | ΔU (%) |
| Godišnji maksimum | - 58,0 | - 14,5 | - 30,0 | - 7,5 | 28,0 | 51,7 |
| Godišnji minimum | - 31,6 | - 7,9 | - 16,4 | - 4,1 | 15,2 | 51,9 |
| Proljećni maksimum | - 48,8 | - 12,2 | - 26,0 | - 6,5 | 22,8 | 53,3 |
| Ljetni maksimum | - 61,6 | - 15,4 | - 28,4 | - 7,1 | 33,2 | 46,1 |
| Jesenski maksimum | - 50,4 | - 12,6 | - 23,2 | - 5,8 | 27,2 | 46,0 |
| Zimski maksimum | - 48,8 | - 12,2 | - 27,2 | - 6,8 | 21,6 | 55,7 |
| Maksimalna nesimetrija | - 40,0 | - 10,0 | - 20,2 | - 5,0 | 20,0 | 50,0 |
| Minimalna nesimetrija | - 42,4 | - 10,6 | - 21,2 | - 5,3 | 21,2 | 50,0 |
| Prosječna nesimetrija | - 46,4 | - 11,6 | - 23,2 | - 5,8 | 23,2 | 50,0 |
| Vjerojatna nesimetrija | - 37,6 | - 9,4 | - 19,2 | - 4,8 | 18,4 | 51,1 |
| Prosjek: | - 49,4 | - 12,4 | - 22,6 | - 5,7 | 26,8 | 50,6 |
| Izgradnja nove mreže – maksimum | - 77,6 | - 19,4 | - 25,6 | - 6,4 | 52,0 | 33,0 |
| Izgradnja nove mreže – minimum | - 40,8 | - 10,2 | - 14,0 | - 3,5 | 26,8 | 34,3 |
| Izgradnja nove mreže – prosjek | - 58,4 | - 14,6 | - 19,6 | - 4,9 | 38,8 | 33,6 |
| Prosjek: | - 58,9 | - 14,7 | - 19,7 | - 4,9 | 39,2 | 33,6 |

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda



Slika 5.29. Padovi napona kod krajnjih potrošača u postojećoj i optimalnoj mreži pri različitim opterećenju potrošača i vremenskim periodima

Iz tablice, kao i sa slike, lako se može uočiti da su padovi napona kod krajnjih potrošača u optimalnoj konfiguraciji dobivenoj primjenom modela znatno niži u odnosu na padove napona u postojećoj mreži. Ukoliko se za proračun koriste podaci o varijacijama stvarnog opterećenja potrošača onda su padovi napona poboljšani u prosjeku za 50,6%, a ukoliko se uzmu identične vrijednosti opterećenja za sve potrošače onda je poboljšanje u prosjeku 33,6%. Dakle, evidentno je da se primjenom ponuđenog modela planiranja, kada je u pitanju ovaj parametar, dobivaju znatno bolji rezultati, odnosno može se zaključiti da je model prihvatljiv.

Mada model daje veoma dobre rezultate, ukoliko se želi postići još veće poboljšanje kada se radi o ovome parametru, prednost modela je što se na jednostavan način može provjeriti učinak eventualnih mjera koje je potrebno provesti kako bi se dobili još bolji rezultati. To je veoma značajno jer se to u praksi može učiniti samo praktičnom primjenom, a učinci se mogu mjeriti tek nakon provođenja mjera. To naravno ne garantira da će provedene mjere biti učinkovite.

Smanjenje padova napona kod krajnjih potrošača može se postići na nekoliko načina i to:

- Smanjenjem dužine niskonaponskih izvoda;
- Prebacivanjem dijela potrošača na drugu transformatorsku stanicu (rasterećenje);
- Povećanjem napona na sabirnicama transformatora („štufanje“);
- Povećanjem presjeka vodiča magistralnih vodova;
- Implementiranjem dodatnog izvora napajanja u dio mreže sa velikim padovima napona.

U prikazanom primjeru je samim dobivanjem optimalnog rješenja sa više niskonaponskih izvoda već izvršeno smanjenje dužina niskonaponskih izvoda. Iskusni inženjeri–planeri će u većini slučajeva formirati izvode sa najkraćim dužinama. I sam model pri procesu grupiranja potrošača, korištenjem algoritma neizrazitog grupiranja koji se temelji na najkraćim udaljenostima, nudi najbolja rješenja.

Rasterećenje niskonaponskih izvoda, odnosno transformatorske stanice izvodi se prebacivanjem određenog broja potrošača na drugu transformatorsku stanicu, ukoliko takva mreža postoji u blizini postojeće mreže. Ukoliko takva mreža ne postoji onda se mora implementirati nova transformatorska stanica što je krajnja mjera koja se primjenjuje kada se iskoriste sve preostale mogućnosti. Ako je postojeća transformatorska stanica preopterećena onda je ova mjera neophodna bez obzira na iznose padova napona kod krajnjih potrošača.

Smanjenje padova napona kod krajnjih potrošača može se postići podizanjem razine napona na niskonaponskim sabirnicama transformatorske stanice ili tzv. *štufanjem*. Štufanjem se u stvari mijenja broj zavoja u primarnom namotaju transformatora (zbog manjih struja), čime se direktno utječe na naponsku razinu. Pri primjeni ovog postupka mora se voditi računa o tome da, u slučaju podizanja razine napona, kod potrošača koji su najbliži transformatorskoj stanici ne smije doći do prekomjernog povišenja razine napona (izvan propisanih vrijednosti) što bi ugrozilo rad i eventualno dovelo do oštećenja njihovih uređaja. Štufanjem se podiže razina napona na svim niskonaponskim izvodima bez obzira da li na njima postoje prekomjerni padovi napona ili ne, što se također mora uzeti u obzir.

U razmatranom primjeru se koristi transformator nazivne snage 400 kVA, kod kojeg se razina napona može mijenjati (štufati) u granicama $\pm 2,5\%$ i to za dva položaja u plus i dva položaja u minus. Dakle, maksimalna promjena razine napona je $\pm 5\%$ u odnosu na nazivnu vrijednost od 400 V, što znači da se razina napona na sabirnicama transformatorske stanice može podići maksimalno do 420 V, odnosno sniziti do 380 V.

U praktičnom slučaju učinci štufanja se mogu provjeriti tek nakon izvršenih mjerenja razine napona kod krajnjih potrošača. Prije provođenja postupka je poželjno izvršiti mjerenje naponske razine kod najbližih kupaca kako ne bi došlo do neželjenih posljedica. Za razliku od ovoga, ponuđenim modelom se na vrlo jednostavan način može provjeriti što će se dešavati sa padovima napona u slučaju podizanja naponske razine. Potrebno je samo u podacima o transformatorskoj stanici promijeniti ograničenje u vezi sa naponskom razinom (stupac V_g u tablici 5.108).

Tablica 5.108. Podaci o transformatorskoj stanici za slučaj maksimalnog štufanja

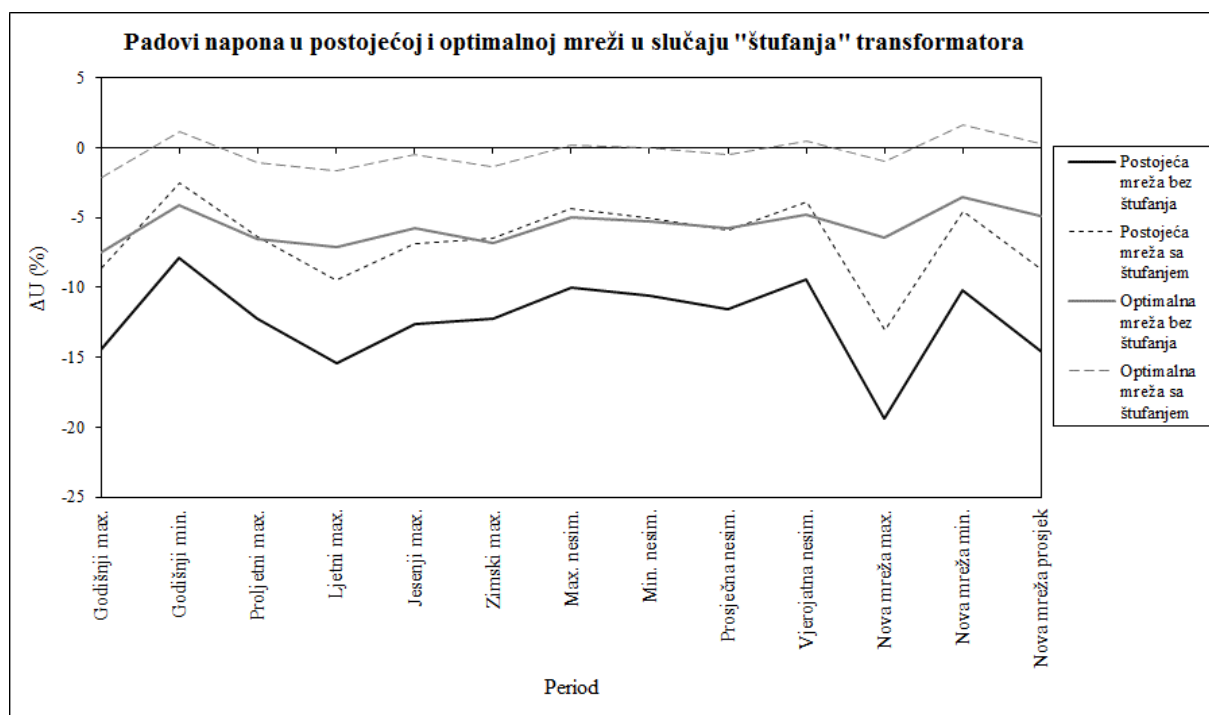
| Bus number | P_g (MW) | Q_g (MVA _r) | Q_{\max} (MVA _r) | Q_{\min} (MVA _r) | V_g (p.u) | mBase (MVA) | Status | P_{\max} (MW) | P_{\min} (MW) |
|------------|------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|-------------|--------|-----------------|-----------------|
| 999 | 0.4 | 0.0 | 0.02 | -0.02 | 1.05 | 1 | 1 | 0.38 | 0 |

Ako se to primijeni na postojeću mrežu i optimalnu mrežu prema modelu dobivaju se usporedni rezultati kao u tablici 5.109, odnosno na slici 5.30.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Tablica 5.109. Padovi napona za različite vrijednosti opterećenja potrošača postojeće i optimalne niskonaponske distribucijske mreže za slučaj „štufanja“ transformatora

| Opterećenje transformatorske stanice i izvoda | Postojeća mreža | | | Optimalna mreža | | |
|---|-----------------|--------------|-----------------------|-----------------|--------------|-----------------------|
| | Bez štufanja | Sa štufanjem | Smanjenje pada napona | Bez štufanja | Sa štufanjem | Smanjenje pada napona |
| | ΔU (%) | | (%) | ΔU (%) | | (%) |
| Godišnji maksimum | -14,5 | -8,6 | 40,7 | -7,5 | -2,1 | 72,0 |
| Godišnji minimum | -7,9 | -2,5 | 68,4 | -4,1 | 1,1 | 126,8 |
| Prolječni maksimum | -12,2 | -6,4 | 47,5 | -6,5 | -1,1 | 83,1 |
| Ljetni maksimum | -15,4 | -9,5 | 38,3 | -7,1 | -1,7 | 76,1 |
| Jesenski maksimum | -12,6 | -6,9 | 45,2 | -5,8 | -0,5 | 91,4 |
| Zimski maksimum | -12,2 | -6,5 | 46,7 | -6,8 | -1,4 | 79,4 |
| Maksimalna nesimetrija | -10,0 | -4,4 | 56,0 | -5,0 | 0,2 | 104,0 |
| Minimalna nesimetrija | -10,6 | -5,0 | 52,8 | -5,3 | 0,0 | 100,0 |
| Prosječna nesimetrija | -11,6 | -5,9 | 49,1 | -5,8 | -0,5 | 91,4 |
| Vjerojatna nesimetrija | -9,4 | -3,9 | 58,5 | -4,8 | 0,5 | 110,4 |
| Prosjek: | -11,6 | -6,0 | 50,3 | -5,9 | -0,6 | 93,5 |
| Izgradnja nove mreže – maksimum | -19,4 | -13,1 | 32,5 | -6,4 | -1,0 | 84,4 |
| Izgradnja nove mreže – minimum | -10,2 | -4,6 | 54,9 | -3,5 | 1,6 | 145,7 |
| Izgradnja nove mreže – prosjek | -14,6 | -8,7 | 40,4 | -4,9 | 0,3 | 106,1 |
| Prosjek: | -14,7 | -8,8 | 42,6 | -4,9 | 0,3 | 112,1 |



Slika 5.30. Padovi napona kod krajnjih potrošača u postojećoj i optimalnoj mreži za slučaj „štufanja“ transformatora, pri različitom opterećenju potrošača i vremenskim periodima

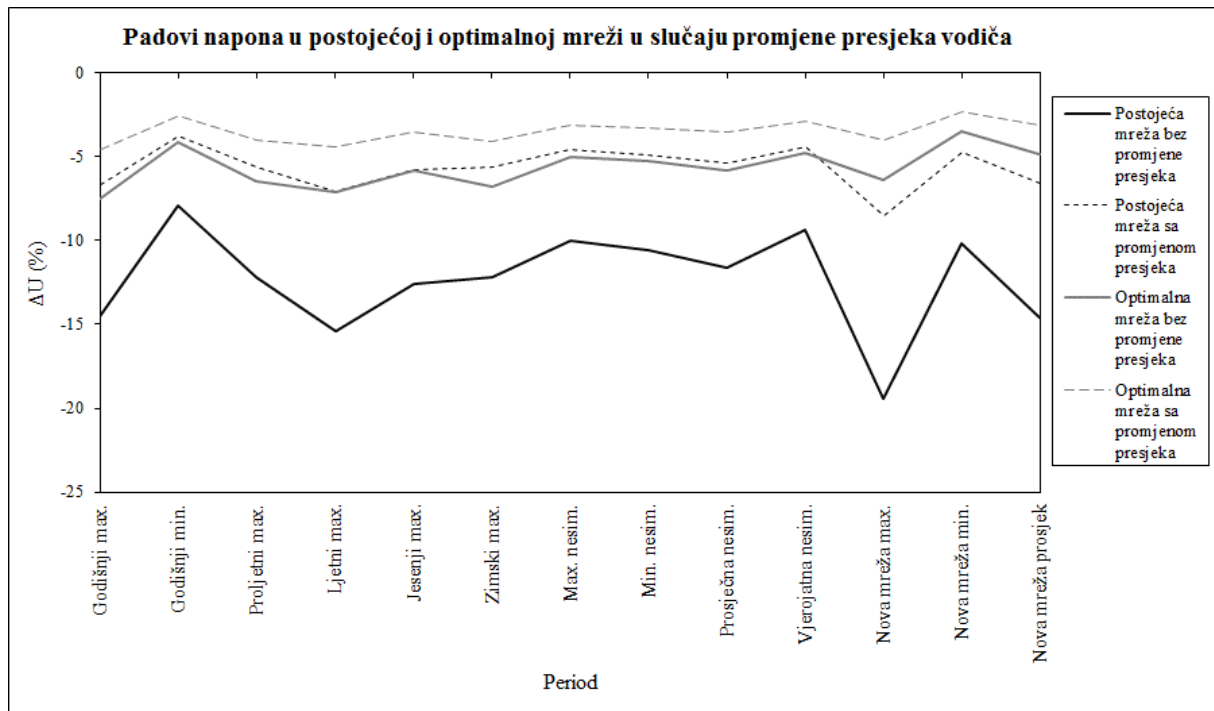
Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Neovisno o dobivenim rezultatima, ovakav jednostavan pristup pri provjeri određenih parametara omogućava sagledavanje budućeg stanja u mreži bez ikakvih mjerenja što je prednost predloženog modela i predstavlja potvrdu njegove primjenjivosti.

Problem padova napona je moguće riješiti i promjenom presjeka vodiča magistralnih dionica niskonaponskog izvoda na kojem su registrirane nedozvoljene vrijednosti. Primjenom takvog postupka na postojeću mrežu i optimalnu mrežu prema modelu dobivaju se usporedni rezultati kao u tablici 5.110, odnosno na slici 5.31.

Tablica 5.110. Padovi napona za različito opterećenje potrošača postojeće i optimalne niskonaponske mreže u slučaju promjene presjeka vodiča magistralnog voda

| Opterećenje transformatorske stanice i izvoda | Postojeća mreža | | | Optimalna mreža | | |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | Bez promjene presjeka | Sa promjenom presjeka | Smanjenje pada napona | Bez promjene presjeka | Sa promjenom presjeka | Smanjenje pada napona |
| | ΔU (%) | | (%) | ΔU (%) | | (%) |
| Godišnji maksimum | - 14,5 | - 6,7 | 53,8 | - 7,5 | - 4,6 | 38,7 |
| Godišnji minimum | - 7,9 | - 3,8 | 51,9 | - 4,1 | - 2,6 | 36,6 |
| Proljećni maksimum | - 12,2 | - 5,6 | 54,1 | - 6,5 | - 4,0 | 38,5 |
| Ljetni maksimum | - 15,4 | - 7,1 | 53,9 | - 7,1 | - 4,4 | 38,0 |
| Jesenski maksimum | - 12,6 | - 5,8 | 54,0 | - 5,8 | - 3,5 | 39,7 |
| Zimski maksimum | - 12,2 | - 5,6 | 54,1 | - 6,8 | - 4,1 | 39,7 |
| Maksimalna nesimetrija | - 10,0 | - 4,6 | 54,0 | - 5,0 | - 3,1 | 38,0 |
| Minimalna nesimetrija | - 10,6 | - 4,9 | 53,8 | - 5,3 | - 3,3 | 37,7 |
| Prosječna nesimetrija | - 11,6 | - 5,4 | 53,4 | - 5,8 | - 3,5 | 39,7 |
| Vjerojatna nesimetrija | - 9,4 | - 4,4 | 53,2 | - 4,8 | - 2,9 | 39,6 |
| Prosjek: | - 11,6 | - 5,4 | 53,6 | - 5,9 | - 3,6 | 38,6 |
| Izgradnja nove mreže – maksimum | - 19,4 | - 8,5 | 56,2 | - 6,4 | - 4,0 | 37,5 |
| Izgradnja nove mreže – minimum | - 10,2 | - 4,7 | 53,9 | - 3,5 | - 2,3 | 34,3 |
| Izgradnja nove mreže – prosjek | - 14,6 | - 6,6 | 54,8 | - 4,9 | - 3,1 | 36,7 |
| Prosjek: | - 14,7 | - 6,6 | 55,0 | - 4,9 | - 3,1 | 36,2 |



Slika 5.31. Padovi napona kod krajnjih potrošača u postojećoj i optimalnoj mreži za slučaj promjene presjeka vodiča, pri različitom opterećenju potrošača i vremenskim periodima

Očito za postojeću mrežu nije dovoljno samo izvršiti zamjenu vodiča magistralnog voda koji ima prekomjerne padove napona. Kako bi se padovi napona doveli u zadovoljavajuće granice osim promjene presjeka potrebno je izvršiti i eventualno štufovanje transformatora. Dio mreže koji je potrebno zamijeniti vodičima većeg presjeka nije moguće precizno odrediti bez odgovarajućih proračuna. Bez toga, sve se u biti svodi na pokus i mjerenje („zamijeni dio mreže i izmjeri padove napona itd.“). Stoga model planiranja i u ovom slučaju ima svoju značajnu primjenu jer omogućava da se učinci mjera koje je potrebno poduzeti vide unaprijed.

Iz tablice i sa slike se može uočiti da se promjenom presjeka vodiča magistralnog voda, kod dobivenog optimalnog rješenja, mogu dobiti još bolji rezultati kada se radi o padovima napona kod krajnjih potrošača. Iskusni inženjeri–planeri bi ovo već ranije uočili i kod crtanja mreža bi vjerojatno iscertali mreže sa većim presjecima vodiča magistralnih vodova niskonaponskih izvoda.

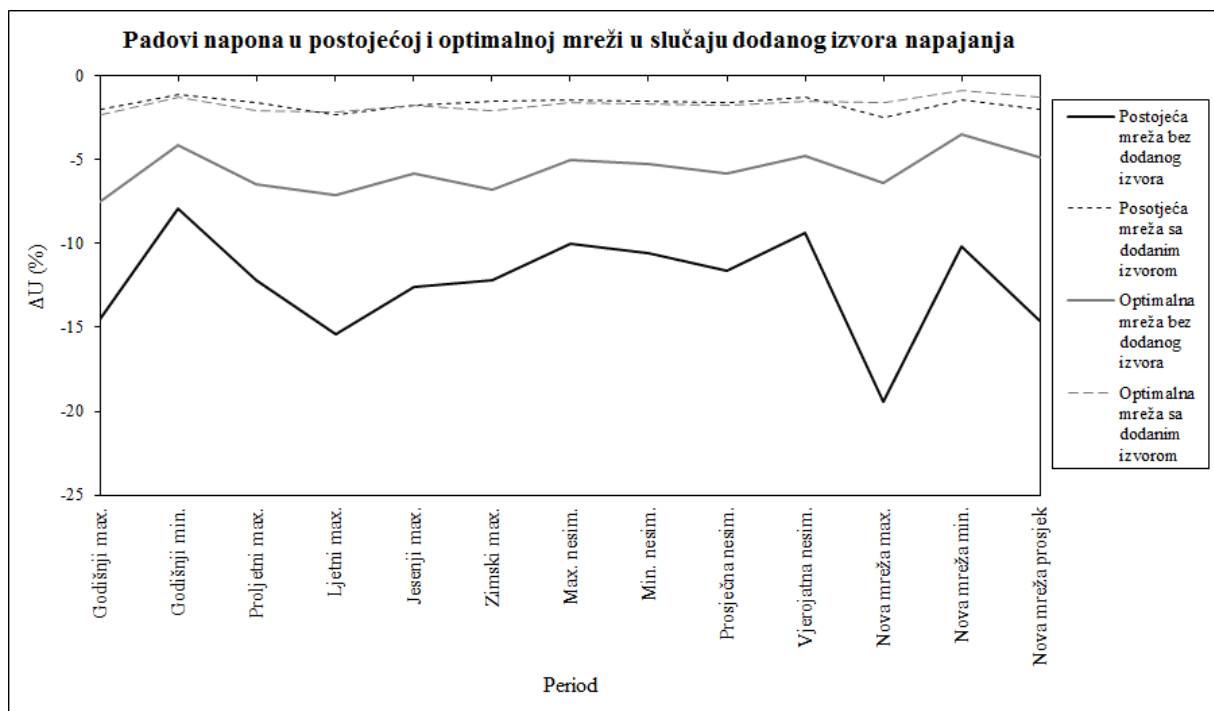
Osim toga, može se uočiti da se promjenom presjeka vodiča u postojećoj mreži pojavljuju znatno veći učinci u odnosu na optimalnu mrežu. To govori da je postojeća mreža izgrađena sa manjim presjecima vodiča nego što je to predviđeno predloženim modelom. To se jasno vidi sa slike i predstavlja značajnu prednost modela u identificiranju problema u postojećoj mreži.

Padovi napona kod krajnjih potrošača mogu se popraviti i eventualnim implementiranjem nekog dodatnog izvora napajanja (obnovljivog izvora) u dio mreže sa prekomjernim padovima napona. Ne ulazeći u problematiku utjecaja ovakvih izvora na kvalitetu električne energije u tablici 5.111, odnosno na slici 5.32 su prezentirani rezultati implementacije 10 kW izvora u jednu točku magistralnog voda sa prekomjernim padovima napona.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Tablica 5.111. Padovi napona za različito opterećenje potrošača postojeće i optimalne niskonaponske mreže u slučaju implementiranja dodatnog izvora napajanja

| Opterećenje transformatorske stanice i izvoda | Postojeća mreža | | | Optimalna mreža | | |
|---|------------------|------------------|-----------------------|------------------|------------------|-----------------------|
| | Bez novog izvora | Sa novim izvorom | Smanjenje pada napona | Bez novog izvora | Sa novim izvorom | Smanjenje pada napona |
| | ΔU (%) | | (%) | ΔU (%) | | (%) |
| Godišnji maksimum | -14,5 | -2,0 | 86,2 | -7,5 | -2,3 | 69,3 |
| Godišnji minimum | -7,9 | -1,1 | 86,1 | -4,1 | -1,3 | 68,3 |
| Proljetni maksimum | -12,2 | -1,6 | 86,9 | -6,5 | -2,1 | 67,7 |
| Ljetni maksimum | -15,4 | -2,3 | 85,1 | -7,1 | -2,2 | 69,0 |
| Jesenski maksimum | -12,6 | -7,4 | 85,7 | -5,8 | -1,8 | 69,0 |
| Zimski maksimum | -12,2 | -1,8 | 87,7 | -6,8 | -2,1 | 69,1 |
| Maksimalna nesimetrija | -10,0 | -1,5 | 86,0 | -5,0 | -1,6 | 68,0 |
| Minimalna nesimetrija | -10,6 | -1,4 | 85,8 | -5,3 | -1,7 | 67,9 |
| Prosječna nesimetrija | -11,6 | -1,5 | 86,2 | -5,8 | -1,8 | 69,0 |
| Vjerojatna nesimetrija | -9,4 | -1,6 | 86,2 | -4,8 | -1,5 | 68,8 |
| Prosjek: | -11,6 | -1,6 | 86,2 | -5,9 | -1,8 | 68,6 |
| Izgradnja nove mreže – maksimum | -19,4 | -2,5 | 87,1 | -6,4 | -1,6 | 75,0 |
| Izgradnja nove mreže – minimum | -10,2 | -1,4 | 86,3 | -3,5 | -0,9 | 74,3 |
| Izgradnja nove mreže – prosjek | -14,6 | -2,0 | 86,3 | -4,9 | -1,3 | 73,5 |
| Prosjek: | -14,7 | -2,0 | 86,6 | -4,9 | -1,3 | 74,3 |



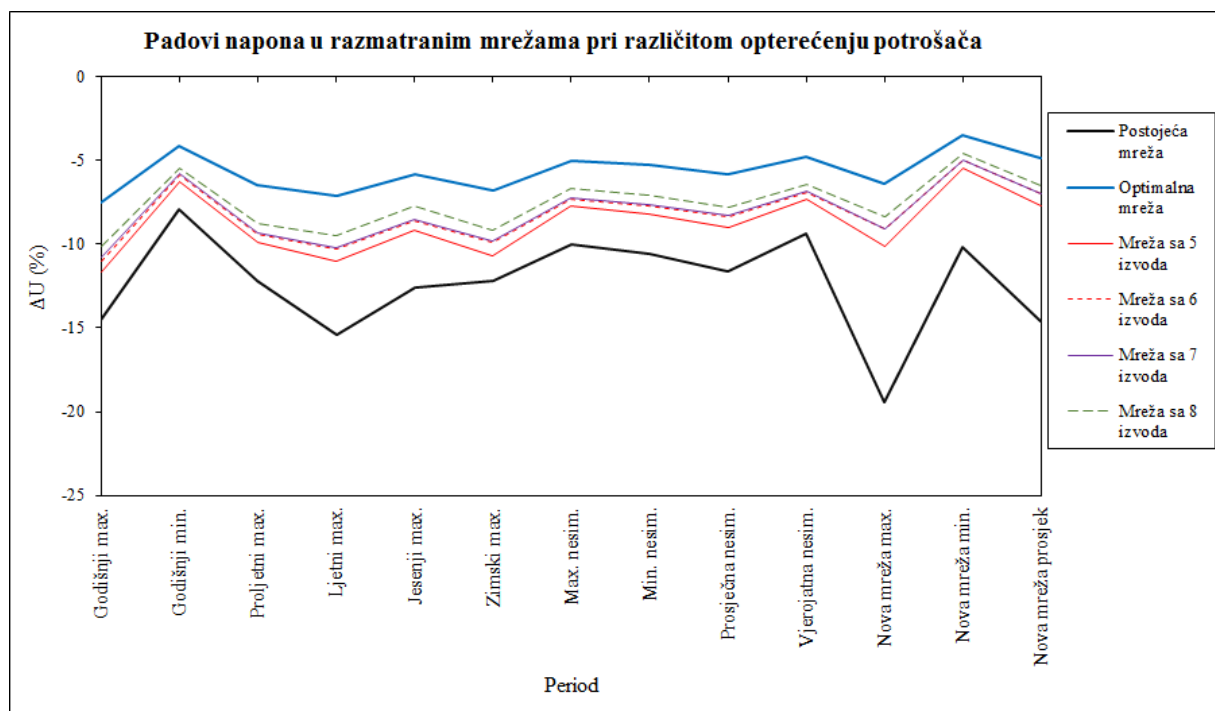
Slika 5.32. Padovi napona kod krajnjih potrošača u postojećoj i optimalnoj mreži za slučaj dodavanja izvora napajanja, pri različitom opterećenju potrošača i vremenskim periodima

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Rezultati dobiveni za slučaj implementiranja novog izvora napajanja ovise o mjestu implementacije izvora u mrežu. Sa slike je uočljivo da se veće poboljšanje postiže kod postojeće mreže jer je novi izvor implementiran bliže potrošaču sa nezadovoljavajućim padom napona. U ovom slučaju je uzet u obzir samo utjecaj implementiranog izvora na razinu napona kod krajnjih potrošača, a zanemaren je utjecaj izvora na ostale parametre kvalitete električne energije. U praktičnoj primjeni o tome se mora posebno voditi računa. Ovdje je samo pokazano da ovakva mjera može dati rezultate koji vode ka poboljšanju naponskih prilika.

U ovom slučaju predloženi model ima apsolutnu prednost u odnosu na bilo kakvu praktičnu mjeru obzirom da i ne postoji mogućnost da se bez modela provjeri bilo kakav utjecaj izvora pošto je za to potrebno prvo izgraditi i priključiti izvor na mrežu pa tek onda vršiti provjere, što je naravno neprihvatljivo. I prema propisima distribucijskih tvrtki prije priključenja novog izvora na distribucijsku mrežu potrebno je prvo, na modeliranoj mreži, provjeriti njegov utjecaj, odnosno određene parametre i tek nakon toga se može izdati suglasnost za priključenje ukoliko se zadovolje traženi uvjeti. Dakle, u praksi je to bez modela neizvodivo.

Na slici 5.33 je prikazana usporedba padova napona kod krajnjih potrošača svih razmatranih mreža (postojeća, optimalna, sa 5, 6, 7 i 8 izvoda) pri različitom opterećenju potrošača.



Slika 5.33. Padovi napona kod krajnjih potrošača u svim razmatranim mrežama pri različitom opterećenju potrošača i vremenskim periodima

Sa slike se jasno vidi kako se primjenom predloženog modela planiranja postupno dolazi do najboljeg rješenja kada su u pitanju padovi napona kod krajnjih potrošača. Isto tako se vidi da su rezultati kod mreža sa 6 i 7 izvoda skoro identični što govori da veći broj izvoda ne znači u pravilu bolje rješenje. Ipak, konačno, optimalno rješenje se sigurno dobiva bez obzira kakvi se rezultati dobivaju u primijenjenim međukoracima.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

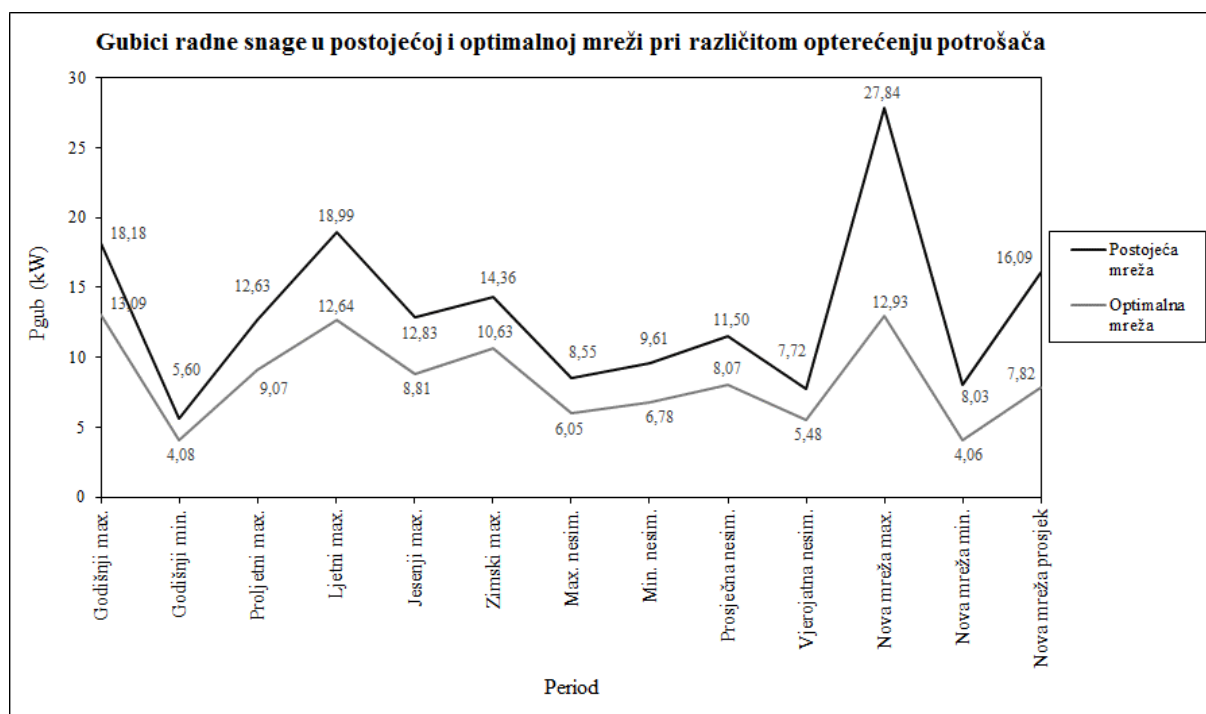
5.13.2. Usporedba rezultata gubitaka radne snage

Drugi bitan faktor koji je potrebno usporediti su gubici radne snage u niskonaponskim vodovima. Ovaj faktor je najbitniji za distribucijsku tvrtku jer manji gubici znače veću dobit i obratno. Ovdje će biti prezentirani rezultati za sve razmatrane slučajeve kao u prethodnom poglavlju.

Proračunom tokova snaga za postojeću i optimalnu mrežu dobiveni su podaci o gubicima radne snage u niskonaponskim vodovima kao u tablici 5.112. Na slici 5.34 je prikazana usporedba ovih rezultata.

Tablica 5.112. Gubici radne snage za različite vrijednosti opterećenja potrošača postojeće i optimalne niskonaponske mreže

| Opterećenje transformatorske stanice i izvoda | Postojeća mreža | Optimalna mreža | Razlika | |
|---|-----------------------|-----------------|---------|-------|
| | P_{gub} (kW) | | (kW) | (%) |
| Godišnji maksimum | 18,18 | 13,09 | 5,09 | 28,00 |
| Godišnji minimum | 5,60 | 4,08 | 1,52 | 27,14 |
| Proljećni maksimum | 12,63 | 9,07 | 3,56 | 28,19 |
| Ljetni maksimum | 18,99 | 12,64 | 6,35 | 33,44 |
| Jesenski maksimum | 12,83 | 8,81 | 4,02 | 31,33 |
| Zimski maksimum | 14,36 | 10,63 | 3,73 | 25,97 |
| Maksimalna nesimetrija | 8,55 | 6,05 | 2,50 | 29,24 |
| Minimalna nesimetrija | 9,61 | 6,78 | 2,83 | 29,45 |
| Prosječna nesimetrija | 11,50 | 8,07 | 3,43 | 29,83 |
| Vjerojatna nesimetrija | 7,72 | 5,48 | 2,24 | 29,02 |
| Prosjek: | 12,00 | 8,47 | 3,53 | 29,16 |
| Izgradnja nove mreže – maksimum | 27,84 | 12,93 | 14,91 | 53,56 |
| Izgradnja nove mreže – minimum | 8,03 | 4,06 | 3,97 | 49,44 |
| Izgradnja nove mreže – prosjek | 16,09 | 7,82 | 8,27 | 51,40 |
| Prosjek: | 17,32 | 8,27 | 9,05 | 51,46 |



Slika 5.34. Gubici radne snage postojeće i optimalne distribucijske mreže pri različitom opterećenju potrošača i vremenskim periodima

Očito je da optimalno rješenje daje niži iznos gubitaka radne snage u usporedbi sa gubicima u postojećoj mreži. Kada se promatra različito pojedinačno opterećenje potrošača onda su ti gubici manji za oko 30 %, a ukoliko se uzme da su svi potrošači opterećeni podjednako onda je to smanjenje za oko 50 %. Iako po apsolutnom iznosu razlika gubitaka postojećeg i optimalnog stanja (u prosjeku 3,5 kW) nije velika mora se imati na umu da u elektrodistributivnim tvrtkama postoji znatan broj transformatorskih područja sa sličnim problemima, tako da se zbrajanjem svih gubitaka dobiva značajan ukupni iznos.

Obzirom da provođenje mjera za reduciranje padova napona kod krajnjih potrošača ima za posljedicu i promjenu iznosa gubitaka interesantno je za vidjeti koliko neka od prikazanih mjera ima utjecaj na gubitke radne snage u niskonaponskim vodovima. Za očekivati je da svaka mjera koja daje smanjenje padova napona direktno utječe i na smanjenje gubitaka radne snage. Kako bi se to i potvrdilo u nastavku su dani rezultati provedenih mjera, ali sada sa osvrtom na iznose gubitaka radne snage u niskonaponskim vodovima.

U tablici 5.113 dan je pregled gubitaka postojeće i optimalne distribucijske mreže za slučaj primjene mjere štufovanja transformatora. Na slici 5.35 dan je grafički prikaz dobivenih rezultata.

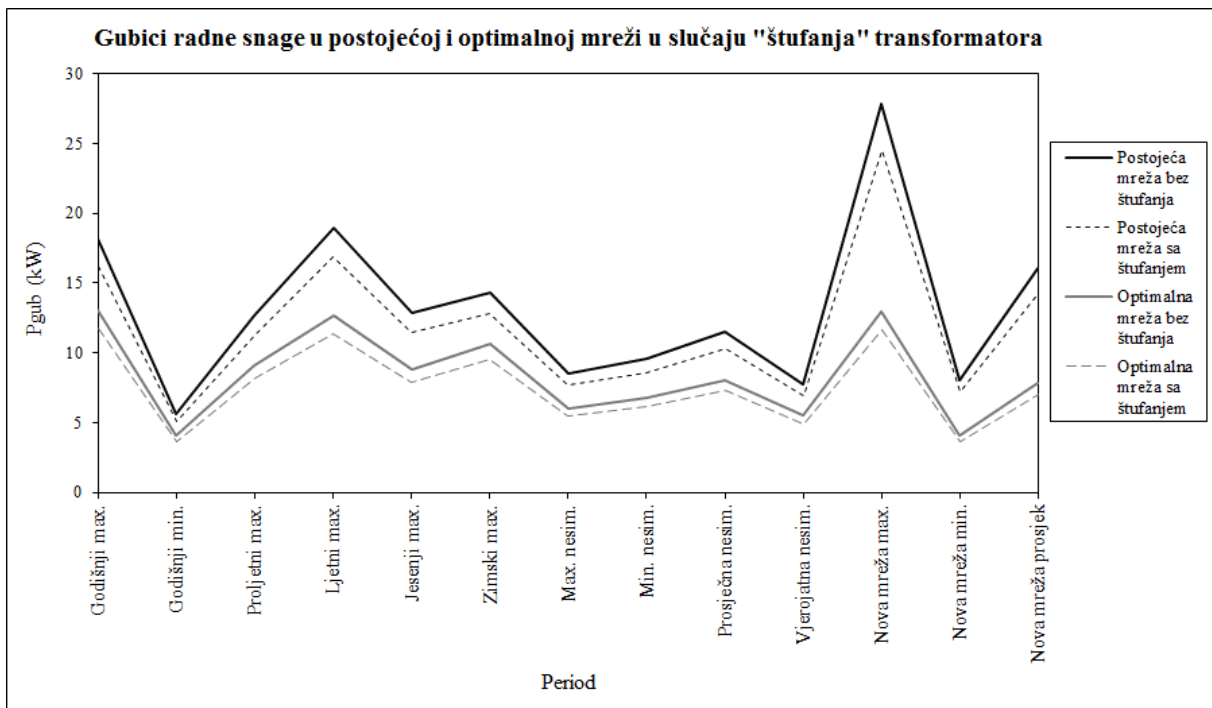
U tablici 5.114 dan je pregled gubitaka postojeće i optimalne distribucijske mreže za slučaj primjene mjere promjene presjeka vodiča. Na slici 5.36 je grafički prikaz dobivenih rezultata.

U tablici 5.115 dan je pregled gubitaka postojeće i optimalne distribucijske mreže za slučaj primjene mjere implementiranja novog izvora. Na slici 5.37 je grafički prikaz dobivenih rezultata.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Tablica 5.113. Gubici radne snage za različito opterećenje potrošača postojeće i optimalne niskonaponske mreže u slučaju „štufanja“ transformatora

| Opterećenje transformatorske stanice i izvoda | Postojeća mreža | | | Optimalna mreža | | |
|---|-----------------|--------------|--------------------|-----------------|--------------|--------------------|
| | Bez štufanja | Sa štufanjem | Smanjenje gubitaka | Bez štufanja | Sa štufanjem | Smanjenje gubitaka |
| | P_{gub} (kW) | | (%) | P_{gub} (kW) | | (%) |
| Godišnji maksimum | 18,18 | 16,19 | 10,95 | 13,09 | 11,76 | 10,16 |
| Godišnji minimum | 5,60 | 5,04 | 10,00 | 4,08 | 3,68 | 9,80 |
| Proletni maksimum | 12,63 | 11,29 | 10,61 | 9,07 | 8,16 | 10,03 |
| Ljetni maksimum | 18,99 | 16,88 | 11,11 | 12,64 | 11,36 | 10,13 |
| Jesenski maksimum | 12,83 | 11,45 | 10,76 | 8,81 | 7,93 | 9,99 |
| Zimski maksimum | 14,36 | 12,83 | 10,65 | 10,63 | 9,56 | 10,07 |
| Maksimalna nesimetrija | 8,55 | 7,66 | 10,41 | 6,05 | 5,45 | 9,92 |
| Minimalna nesimetrija | 9,61 | 8,61 | 10,41 | 6,78 | 6,11 | 9,88 |
| Prosječna nesimetrija | 11,50 | 10,28 | 10,61 | 8,07 | 7,26 | 10,04 |
| Vjerojatna nesimetrija | 7,72 | 6,92 | 10,36 | 5,48 | 4,94 | 9,85 |
| Prosjek: | 12,00 | 10,72 | 10,59 | 8,47 | 7,62 | 9,99 |
| Izgradnja nove mreže – maksimum | 27,84 | 24,52 | 11,93 | 12,93 | 11,63 | 10,05 |
| Izgradnja nove mreže – minimum | 8,03 | 7,19 | 10,46 | 4,06 | 3,66 | 9,85 |
| Izgradnja nove mreže – prosjek | 16,09 | 14,30 | 11,12 | 7,82 | 7,05 | 9,85 |
| Prosjek: | 17,32 | 15,34 | 11,17 | 8,27 | 7,45 | 9,92 |

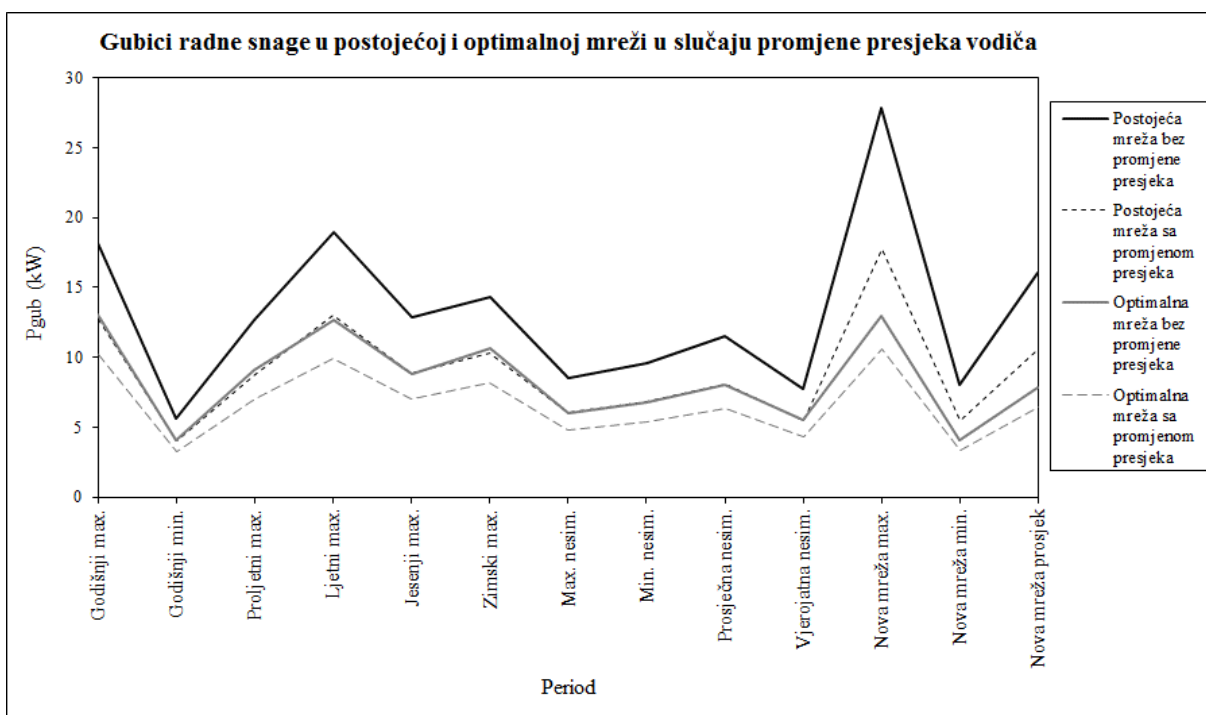


Slika 5.35. Gubici radne snage postojeće i optimalne distribucijske mreže pri različitom opterećenju potrošača i vremenskim periodima za slučaj „štufanja“ transformatora

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Tablica 5.114. Gubici radne snage za različito opterećenje potrošača postojeće i optimalne niskonaponske mreže u slučaju promjene presjeka vodiča magistralnog voda

| Opterećenje transformatorske stanice i izvoda | Postojeća mreža | | | Optimalna mreža | | |
|---|-----------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| | Bez promjene presjeka | Sa promjenom presjeka | Smanjenje gubitaka | Bez promjene presjeka | Sa promjenom presjeka | Smanjenje gubitaka |
| | P_{gub} (kW) | | (%) | P_{gub} (kW) | | (%) |
| Godišnji maksimum | 18,18 | 12,71 | 30,09 | 13,09 | 10,17 | 22,31 |
| Godišnji minimum | 5,60 | 4,03 | 28,04 | 4,08 | 3,22 | 21,08 |
| Proletni maksimum | 12,63 | 8,79 | 30,40 | 9,07 | 7,00 | 22,82 |
| Ljetni maksimum | 18,99 | 13,02 | 31,44 | 12,64 | 9,93 | 21,44 |
| Jesenski maksimum | 12,83 | 8,84 | 31,10 | 8,81 | 7,05 | 19,98 |
| Zimski maksimum | 14,36 | 10,31 | 28,20 | 10,63 | 8,21 | 22,77 |
| Maksimalna nesimetrija | 8,55 | 6,05 | 29,24 | 6,05 | 4,77 | 21,16 |
| Minimalna nesimetrija | 9,61 | 6,78 | 29,45 | 6,78 | 5,34 | 21,24 |
| Prosječna nesimetrija | 11,50 | 8,07 | 29,83 | 8,07 | 6,34 | 21,44 |
| Vjerojatna nesimetrija | 7,72 | 5,48 | 29,02 | 5,48 | 4,32 | 21,17 |
| Prosjek: | 12,00 | 8,41 | 29,68 | 8,47 | 6,64 | 21,54 |
| Izgradnja nove mreže – maksimum | 27,84 | 17,78 | 36,14 | 12,93 | 10,62 | 17,87 |
| Izgradnja nove mreže – minimum | 8,03 | 5,44 | 32,25 | 4,06 | 3,37 | 17,00 |
| Izgradnja nove mreže – prosjek | 16,09 | 10,62 | 34,00 | 7,82 | 6,46 | 17,39 |
| Prosjek: | 17,32 | 11,28 | 34,13 | 8,27 | 6,82 | 17,42 |

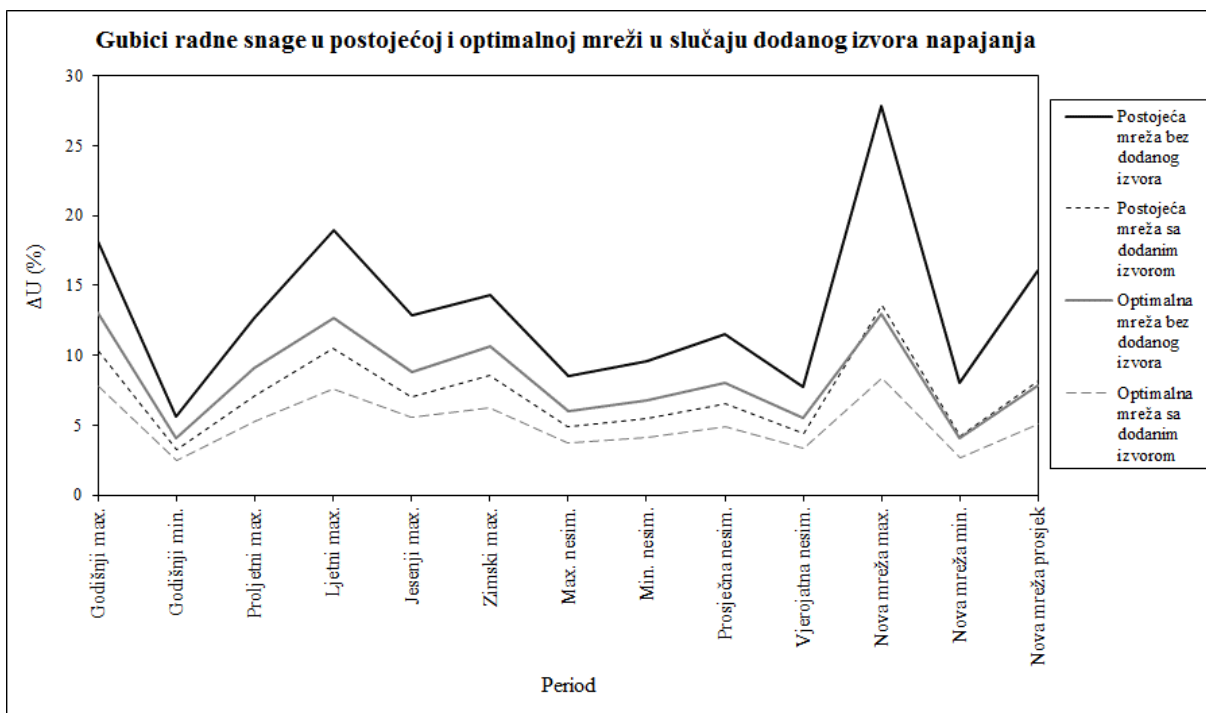


Slika 5.36. Gubici radne snage postojeće i optimalne distribucijske mreže pri različitim opterećenju potrošača i vremenskim periodima za slučaj promjene presjeka vodiča

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Tablica 5.115. Gubici radne snage za različite vrijednosti opterećenja potrošača postojeće i optimalne niskonaponske mreže u slučaju implementiranja novog izvora

| Opterećenje transformatorske stanice i izvoda | Postojeća mreža | | | Optimalna mreža | | |
|---|------------------|------------------|--------------------|------------------|------------------|--------------------|
| | Bez novog izvora | Sa novim izvorom | Smanjenje gubitaka | Bez novog izvora | Sa novim izvorom | Smanjenje gubitaka |
| | P_{gub} (kW) | | (%) | P_{gub} (kW) | | (%) |
| Godišnji maksimum | 18,18 | 10,35 | 43,07 | 13,09 | 7,76 | 40,72 |
| Godišnji minimum | 5,60 | 3,28 | 41,43 | 4,08 | 2,50 | 38,73 |
| Prolječni maksimum | 12,63 | 7,08 | 43,94 | 9,07 | 5,31 | 41,46 |
| Ljetni maksimum | 18,99 | 10,48 | 44,81 | 12,64 | 7,55 | 40,27 |
| Jesenski maksimum | 12,83 | 7,02 | 45,28 | 8,81 | 5,56 | 36,89 |
| Zimski maksimum | 14,36 | 8,58 | 40,25 | 10,63 | 6,25 | 41,20 |
| Maksimalna nesimetrija | 8,55 | 4,90 | 42,69 | 6,05 | 3,69 | 39,01 |
| Minimalna nesimetrija | 9,61 | 5,50 | 42,77 | 6,78 | 4,12 | 39,23 |
| Prosječna nesimetrija | 11,50 | 6,53 | 43,22 | 8,07 | 4,88 | 39,53 |
| Vjerojatna nesimetrija | 7,72 | 4,44 | 42,49 | 5,48 | 3,35 | 38,87 |
| Prosjek: | 12,00 | 6,82 | 43,00 | 8,47 | 5,10 | 39,59 |
| Izgradnja nove mreže – maksimum | 27,84 | 13,57 | 51,26 | 12,93 | 8,33 | 35,58 |
| Izgradnja nove mreže – minimum | 8,03 | 4,18 | 47,95 | 4,06 | 2,68 | 33,99 |
| Izgradnja nove mreže – prosjek | 16,09 | 8,13 | 49,47 | 7,82 | 5,10 | 34,78 |
| Prosjek: | 17,32 | 8,63 | 49,56 | 8,27 | 5,37 | 34,78 |



Slika 5.37. Gubici radne snage postojeće i optimalne distribucijske mreže pri različitim opterećenju potrošača i vremenskim periodima za slučaj dodavanja izvora napajanja

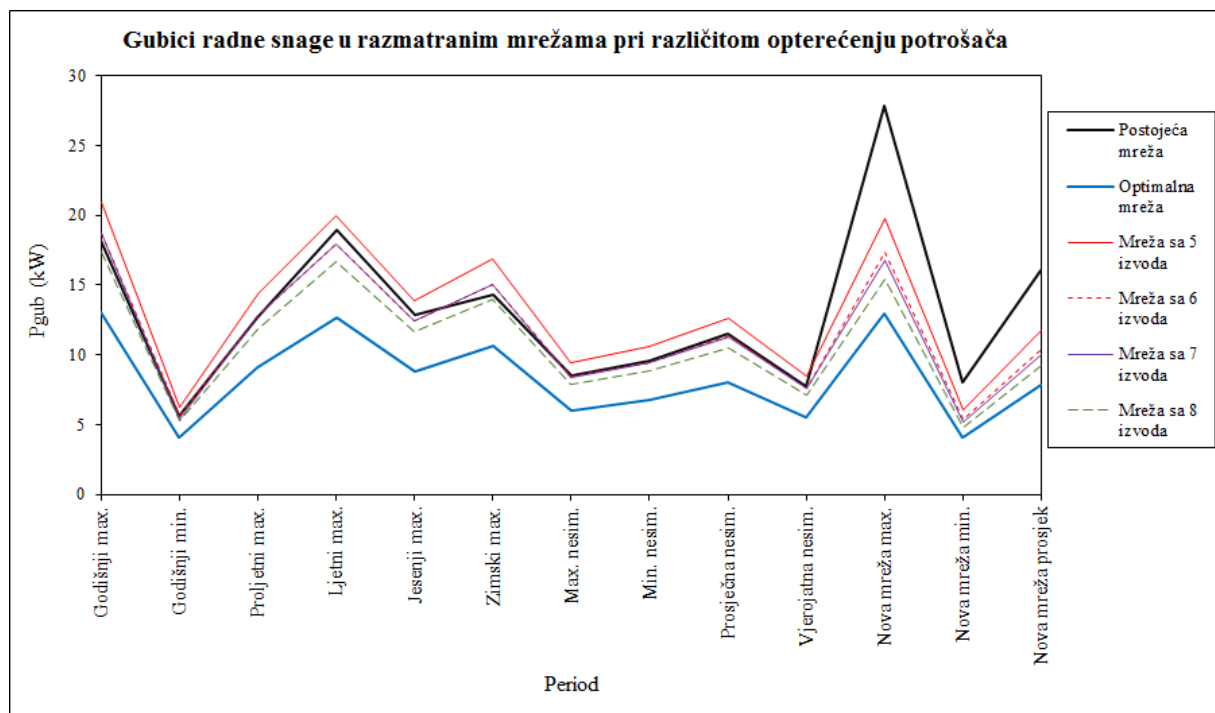
Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

U slučaju štufanja transformatora smanjenje gubitaka radne snage je oko 10%, što je u odnosu na smanjenje padova napona za taj slučaj znatno manji iznos, odnosno ova mjera daje znatno bolje učinke u pogledu padova napona nego što utječe na gubitke radne snage.

Kada se radi o promjeni presjeka vodiča magistralnog voda, onda su učinci slični mada nešto izraženiji kod padova napona. Za ovu mjeru je karakteristično da se njenom primjenom mogu poboljšati naponske prilike i smanjiti gubici radne snage skoro na razinu dobivene optimalne mreže. To je očigledan primjer loše konfiguracije postojeće niskonaponske mreže.

U slučaju implementiranja novog izvora napajanja, poboljšanja s aspekta padova napona su dvostruko veća u odnosu na smanjenje gubitaka radne snage.

Na slici 5.38 je prikazana usporedba gubitaka radne snage kod krajnjih potrošača svih razmatranih mreža (postojeća, optimalna, sa 5, 6, 7 i 8 izvoda) pri različitom opterećenju potrošača.



Slika 5.38. Gubici radne snage u niskonaponskim vodovima svih razmatranih mreža pri različitom opterećenju potrošača i vremenskim periodima

I ovdje se jasno vidi kako se primjenom predloženog modela planiranja postupno dolazi do najboljeg rješenja kada se radi o gubicima radne snage u niskonaponskim vodovima. Isto tako se vidi da su rezultati kod mreže sa 5 izvoda lošiji nego kod postojeće mreže, a da su rezultati mreža sa 6 i 7 izvoda skoro identični sa postojećom mrežom, što govori da se značajnija poboljšanja kada je u pitanju ovaj parametar postižu tek većim brojem izvoda, odnosno formiranjem optimalne konfiguracije. I ovdje se optimalno rješenje sigurno dobiva bez obzira na rezultate međukoraka.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

5.13.3. Ekonomski pokazatelji primjene modela planiranja

Ono što je jako važno za elektrodistributivnu tvrtku je pitanje da li se provođenjem rekonstrukcije određene niskonaponske distribucijske mreže postižu financijski efekti, odnosno da li se kvantitativno može prikazati za koliko će se vremena provedena investicija isplatiti. Mjera temeljem koje se može utvrditi kolika je isplativost određenog projekta su gubici radne snage, odnosno još bolje gubici energije.

Najjednostavniji i najprecizniji način je izvršiti procjenu temeljem nabavljene i utrošene energije potrošača. Nabavljena energija se mjeri u transformatorskoj stanici (10 kV ili 0,4 kV strana), dok se podaci o utrošenoj energiji dobivaju zbrajanjem pojedinačnih računa za utrošenu električnu energiju svakog potrošača. Razlika ove dvije vrijednosti praktički predstavlja izgubljenu energiju, odnosno energiju gubitaka. Njenim množenjem sa prosječnom cijenom kWh može se dobiti koliki je gubitak u novcu na godišnjoj razini ili u nekom drugom vremenskom periodu. Ukoliko se isti proračun provede i za rekonstruiranu mrežu, mogu se dobiti gubici energije za taj slučaj. Usporedbom rezultata postojeće i rekonstruirane mreže dobiva se odgovor na pitanje kolike su to uštede. Ako se zna kolika je vrijednost potrebne investicije, onda se lako dobiva vrijeme za koje se provedena investicija može isplatiti.

Ovakav pristup je, međutim, moguće provesti samo kod postojećih mreža, na kojima se rade rekonstrukcije, jer je za dobivanje bilo kakve ocjene potrebno imati podatke o energijama prije i poslije izvršene rekonstrukcije mreže. Dakle, kod ovakvog pristupa nije moguće unaprijed izvršiti odgovarajuće procjene obzirom da nije moguće odrediti iznos gubitaka energije u novoj konfiguraciji mreže. U biti, ovaj pristup nije pogodan u bilo kakvom planiranju obzirom da se kvantitativne ocjene isplativosti dobivaju tek nakon provedene rekonstrukcije, odnosno bez planiranja.

Zbog svega navedenog u procesu planiranja distribucijskih mreža veličine temeljem kojih se mogu izvršiti određene procjene isplativosti investicija su opterećenje potrošača i gubici radne snage. Ove veličine dobivaju se proračunom, kako za postojeće tako i za neko buduće uklopno stanje mreže. Stoga ih je moguće uspoređivati i to za različite vrijednosti opterećenja, vremenske periode i sl. Za ovakav proračun je bitno da se gubici radne snage postojeće i buduće mreže računaju temeljem istih vrijednosti opterećenja potrošača kako bi se mogla vršiti usporedba rezultata.

U prethodnom poglavlju je prikazano na koji način se može izvršiti proračun pojedinačnih opterećenja potrošača, odnosno gubitaka radne snage. Obzirom da su gubici radne snage vremenski ovisni, odnosno promjenjivi tijekom vremena, postavlja se pitanje koju vrijednost uzeti i koristiti pri usporedbi.

Proračunom opterećenja za maksimalno i minimalno dnevno opterećenje transformatorske stanice i niskonaponskih izvoda, uz godišnju utrošenu energiju potrošača, mogu se dobiti vrijednosti maksimalnih i minimalnih gubitaka snage tijekom godine. Najjednostavniji način je pretpostaviti da se realni gubici radne snage kreću u ovim granicama, odnosno potrebno je pronaći prosječnu vrijednost.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Prosječna vrijednost gubitaka radne snage može se odrediti i temeljem proračunatih vrijednosti gubitaka za sve prikazane varijante opterećenja potrošača (proljetni maksimum, maksimalna nesimetrija itd.). U tablici 5.116 su dane prosječne vrijednosti gubitaka radne snage za sve varijante opterećenja potrošača za postojeću mrežu i optimalnu mrežu dobivenu primjenom predloženog modela planiranja.

Tablica 5.116. *Prosječni gubici radne snage postojeće i optimalne mreže*

| Opterećenje potrošača | Gubici (kW) | | |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|---------|
| | Postojeća mreža | Optimalna mreža | Razlika |
| Godišnji maksimum | 18,18 | 13,09 | 5,09 |
| Godišnji minimum | 5,60 | 4,08 | 1,52 |
| Prosjek: | 11,90 | 8,60 | 3,30 |
| Proljećni maksimum | 12,63 | 9,07 | 3,56 |
| Ljetni maksimum | 18,99 | 12,64 | 6,35 |
| Jesenski maksimum | 12,83 | 8,81 | 4,02 |
| Zimski maksimum | 14,36 | 10,63 | 3,73 |
| Maksimalna nesimetrija | 8,55 | 6,05 | 2,50 |
| Minimalna nesimetrija | 9,61 | 6,78 | 2,83 |
| Prosječna nesimetrija | 11,50 | 8,07 | 3,43 |
| Najvjerojatnija nesimetrija | 7,72 | 5,48 | 2,24 |
| Prosjek: | 12,02 | 8,44 | 3,58 |

Dakle, može se pretpostaviti da se u postojećoj mreži gubici radne snage kreću u granicama $11,90 \text{ kW} \leq P_{\text{gub,postojeće}} \leq 12,02 \text{ kW}$, odnosno može se uzeti da je vjerojatna vrijednost gubitaka $P_{\text{gub,postojeće}} = 11,96 \text{ kW}$. Za optimalnu mrežu vrijedi $8,44 \text{ kW} \leq P_{\text{gub,optimalne}} \leq 8,60 \text{ kW}$, odnosno vjerojatna vrijednost gubitaka je $P_{\text{gub,optimalne}} = 8,52 \text{ kW}$. Razlika ovih gubitaka predstavlja uštedu, odnosno $\Delta P_{\text{gub}} = P_{\text{gub,postojeće}} - P_{\text{gub,optimalne}} = 11,96 - 8,52 = 3,44 \text{ kW}$.

Temeljem ovog podatka i cijene kWh električne energije, u slučaju rekonstrukcije postojeće mreže i stvaranja optimalne konfiguracije ostvarile bi se novčane uštede kako je to prikazano u tablici 5.117.

Tablica 5.117. *Novčane uštede temeljem gubitaka radne snage*

| Gubici snage (kW) | Broj sati u godini (h/god) | Gubici energije (kWh/god) | Cijena el. energije (€/kWh) | Ušteda (€/god) |
|-------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------|
| 3,44 | 8760 | 30.167,25 | 0,08076 | 2.436,31 |

Ukoliko se promatraju prednosti na prihodovnoj strani za jednu transformatorsku stanicu koji se dobivaju samo reduciranjem gubitaka radne snage, onda su oni mali. Međutim, imajući u vidu da u elektroenergetskom sustavu postoji veliki broj ovakvih transformatorskih područja, onda se primjenom predloženih mjera oni multipliciraju. To se naročito odnosi na sustave u kojima je razvoj niskonaponskih distribucijskih mreža tekao nesustavno pa se tijekom vremena, uslijed neplanskog razvoja, stvorio jako veliki broj mreža sa sličnom problematikom. Rekonstrukcija tolikog broja mreža prema istom modelu bi donijela višemilijunske uštede na godišnjoj razini. Ovo je značajno i iz razloga što se ne radi o jednokratnim dobitcima nego se ostvaruju trajno i mogu se promatrati i u dužem vremenskom periodu.

Postavlja se pitanje za koji se vremenski period, samo uštedama u gubicima snage, mogu isplatiti uložena sredstva. Stoga je potrebno napraviti usporedbu troškova izgradnje optimalne mreže prema predloženom modelu i postojeće mreže. Usporedba se treba napraviti temeljem istog cjenika za obje mreže obzirom da se radi o približnoj procjeni, ne toliko preciznoj.

U tablicama 5.118 i 5.119 prikazani su procijenjeni investicijski troškovi za postojeću mrežu i optimalnu mrežu dobivenu primjenom predloženog modela planiranja.

Tablica 5.118. Procijenjeni investicijski troškovi postojeće niskonaponske mreže

| Izvod | Broj stupova | Ukupno stupovi (€) | SKS 70 mm ² (m) | Ukupno SKS (€) | SKS 35 mm ² (m) | Ukupno SKS (€) | SKS 16 mm ² (m) | Ukupno SKS (€) | Al- Fe 25 mm ² (m) | Ukupno Al-Fe (€) | Ukupno (€) |
|---------|--------------|--------------------|----------------------------|----------------|----------------------------|----------------|----------------------------|----------------|-------------------------------|------------------|------------|
| 1 | 12 | 10.453 | 242 | 2.475 | 140 | 2.247 | 648 | 2.650 | 0 | 0 | 16.727 |
| 2 | 14 | 12.195 | 499 | 5.104 | 0 | 0 | 777 | 3.178 | 0 | 0 | 20.477 |
| 3 | 29 | 25.262 | 573 | 5.865 | 223 | 3.574 | 1.507 | 6.167 | 488 | 1.287 | 40.409 |
| 4 | 8 | 6.969 | 258 | 2.638 | 33 | 535 | 675 | 2.760 | 96 | 253 | 12.893 |
| 5 | 30 | 26.133 | 820 | 8.386 | 155 | 2.477 | 1.392 | 5.696 | 244 | 643 | 42.124 |
| Ukupno: | 93 | 81.012 | 2.392 | 24.467 | 552 | 8.832 | 4.998 | 20.451 | 828 | 2.182 | 132.631 |

Tablica 5.119. Procijenjeni investicijski troškovi optimalne niskonaponske mreže

| Izvod | Broj stupova | Ukupno stupovi (€) | SKS 70 mm ² (m) | Ukupno SKS (€) | SKS 35 mm ² (m) | Ukupno SKS (€) | SKS 16 mm ² (m) | Ukupno SKS (€) | Ukupno (€) |
|---------|--------------|--------------------|----------------------------|----------------|----------------------------|----------------|----------------------------|----------------|------------|
| 1 | 21 | 18.293 | 111 | 1.134 | 364 | 2.981 | 569 | 2.327 | 24.736 |
| 2 | 36 | 31.360 | 237 | 2.428 | 688 | 5.627 | 821 | 3.360 | 42.775 |
| 3 | 26 | 22.649 | 409 | 4.184 | 525 | 4.294 | 706 | 2.888 | 34.015 |
| 4 | 33 | 28.746 | 134 | 1.367 | 695 | 5.684 | 506 | 2.069 | 37.867 |
| 5 | 15 | 13.066 | 334 | 3.421 | 228 | 1.863 | 253 | 1.037 | 19.387 |
| 6 | 26 | 22.649 | 157 | 1.608 | 552 | 4.519 | 419 | 1.714 | 30.490 |
| 7 | 28 | 24.391 | 359 | 3.672 | 412 | 3.376 | 351 | 1.436 | 32.875 |
| 8 | 13 | 11.324 | 664 | 6.794 | 35 | 284 | 205 | 841 | 19.242 |
| Ukupno: | 198 | 172.478 | 2.405 | 24.608 | 3.498 | 28.627 | 3.830 | 15.673 | 241.386 |

Na ove troškove je potrebno dodati cijenu izgradnje transformatorske stanice koja u prikazanom primjeru iznosi 30.519 €, te je razlika u procijenjenim investicijskim troškovima 108.755 €.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

U tablici 5.120 je dana gruba vremenska procjena isplativosti investicije samo temeljem ušteta u gubicima radne snage.

Tablica 5.120. *Procijenjeno vrijeme isplate investicije*

| Procijenjena razlika investicijskih troškova (€) | Procijenjena ušteta temeljem gubitaka (€/god) | Procijenjeno vrijeme isplate investicije (god) |
|--|---|--|
| 108.755 | 2.436 | 45 |

Ukoliko bi se promatrala sama ušteta u gubicima radne snage, onda je očito da bi se investicija isplatila tek nakon dugog niza godina, što praktički znači da nema ekonomske isplativosti. Međutim, rekonstrukcije niskonaponskih distribucijskih mreža se ne mogu promatrati na takav način. Temeljni cilj svake rekonstrukcije je poboljšanje kvalitete električne energije koja se isporučuje kupcima, odnosno dovođenje naponskih prilika u propisane okvire. Bit takvih postupaka je zadovoljavanje elementarnih potreba kupaca za kvalitetnom električnom energijom, što je u tržišnim uvjetima poslovanja jako bitno jer se na taj način zadržavaju kupci i stvaraju uvjeti za priključenje novih. Sve to vodi većoj potrošnji električne energije što samo po sebi znači uvećanje profita distribucijske tvrtke.

Dakle, primarne prednosti rekonstrukcije niskonaponske mreže ne treba tražiti kroz uštete u gubicima radne snage. Oni se očito ogledaju u povećanju protoka energije, što se može postići samo isporukom kvalitetne električne energije. Dobre naponske razine na krajevima niskonaponskih izvoda omogućavaju priključenje značajnijih potrošača, koji u slučaju loših naponskih prilika nisu u stanju normalno raditi, a značajniji potrošači znače više isporučene energije, odnosno veći profit. Osim toga, dostizanje propisanih naponskih razina, u uvjetima tržišnog poslovanja, je i cilj distribucijskih tvrtki koje su se obvezale dostići ih u odgovarajućem vremenskom periodu.

Ipak, vrijedno je ponovno napomenuti da u slabije razvijenim distribucijskim sustavima postoji značajan broj transformatorskih područja na koja je potrebno primijeniti slične mjere tako da se cjelokupne uštete koje se postignu preko gubitaka radne snage ni u kojem slučaju ne smiju zanemariti.

O kolikim gubicima u niskonaponskoj mreži se zapravo radi može se pokazati na primjeru realnog distributivnog područja jedne distribucijske tvrtke. Ovo područje zauzima 2.650 km² sa oko 500.000 stanovnika, u 380 naseljenih mjesta i gustoćom naseljenosti od 188 stanovnika po km². Distribucijska mreža ovog područja napaja se preko prijenosne mreže koja ima 11 TS 110/x kV, ukupne instalirane snage 730 MVA. Zabilježeno sumarno vršno opterećenje ovog područja u 2014 godini je 250 MVA. Distribucijska mreža ima dvije naponske razine i to: 35 kV i 10 kV. Ukupan broj TS 35/x kV je 49, ukupne instalirane snage 512 MVA, dok je ukupan broj TS 10(20)/0,4 kV 2.075, ukupne instalirane snage 585 MVA. Preko ove mreže električnom

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

energijom je opskrbljeno 181.858 kupaca, od čega je 38 kupaca na 35 kV naponskoj razini, 155 na 10 kV naponskoj razini i 181.665 kupaca na 0,4 kV naponskoj razini. Ukupna nabavljena energija u 2014 godini je 1.227.183.411 kWh, dok je utrošena energija 1.119.016.521 kWh. Proračuni su načinjeni temeljem nabavljene i utrošene energije za različite naponske razine (35 kV, 10 kV i 0,4 kV). U tablici 5.121 su prikazani ukupni gubici energije u cijelome distribucijskom sustavu.

Tablica 5.121. *Ukupni gubici energije realnog distribucijskog sustava*

| Nabavljena energija na 35 kV i 10 kV (kWh) | Utrošena energija na 35 kV, 10 kV i 0,4 kV (kWh) | Ukupni gubici energije | |
|--|--|------------------------|------|
| | | (kWh) | (%) |
| 1.227.183.411 | 1.119.016.521 | 108.166.890 | 8,81 |

Ukoliko se promatraju samo niže naponske razine (10 kV i 0,4 kV), bez 35 kV mreže, onda gubici energije iznose kako je to prikazano u tablici 5.122.

Tablica 5.122. *Gubici energije u 10 kV i 0,4 kV distribucijskoj mreži*

| Nabavljena energija na 10 kV (kWh) | Utrošena energija na 10 kV i 0,4 kV (kWh) | Gubici energije na 10 i 0,4 kV | |
|---|--|--------------------------------|------|
| | | (kWh) | (%) |
| 996.293.911 | 898.552.612 | 97.741.299 | 9,81 |

Oduzimanjem vrijednosti gubitaka u 10 kV mreži, koji se dobivaju proračunom, od ovih gubitaka dobiva se procijenjeni iznos gubitaka energije u 0,4 kV mreži (Tablica 5.123).

Tablica 5.123. *Procijenjeni gubici energije u 0,4 kV distribucijskoj mreži*

| Gubici energije na 10 kV i 0,4 kV (kWh) | Proračunati gubici energija na 10 kV | | Procijenjeni gubici energije na 0,4 kV | |
|---|---|------|---|------|
| | (kWh) | (%) | (kWh) | (%) |
| 97.741.299 | 26.640.748 | 2,25 | 71.100.551 | 5,99 |

U tablici 5.124 je prikazan postotni udio gubitaka prema naponskim razinama.

Tablica 5.124. *Postotni udio gubitaka energije obzirom na naponsku razinu*

| Ukupni gubici energije (kWh) | Gubici energije na 35 kV | Udio gubitaka energije na 35 kV | Gubici energije na 10 kV | Udio gubitaka energije na 10 kV | Gubici energije na 0,4 kV | Udio gubitaka energije na 0,4 kV |
|---------------------------------------|--------------------------------|--|--------------------------------|--|---------------------------------|---|
| | (kWh) | (%) | (kWh) | (%) | (kWh) | (%) |
| 108.166.890 | 10.425.591 | 9,64 | 26.640.748 | 24,63 | 71.100.551 | 65,73 |

Vidi se da u ovom sustavu gubici u niskonaponskoj mreži imaju najveći udio u ukupnim gubicima. Ako se uzme ista cijena energije po kWh dobiva se da su na godišnjoj razini gubici u 0,4 kV distribucijskoj mreži $71.100.551 \text{ kWh/god} \cdot 0,08076 \text{ €/kWh} = 5.742.081 \text{ €/god}$.

Ako se pretpostavi da sva transformatorska područja imaju slične probleme, odnosno da se rekonstrukcijom mreže postiže smanjenje gubitaka za približno:

$$\Delta P_{\text{gub}} (\%) = \frac{\Delta P_{\text{gub}}(\text{kW})}{P_{\text{gub}_{\text{postojeće}}}(\text{kW})} \cdot 100 \% = \frac{3,44}{11,96} \cdot 100 \% = 28,8 \%$$

može se reći da bi, sređivanjem stanja u cjelokupnoj niskonaponskoj mreži, godišnja ušteda iznosila:

$$Ušteda_{\text{god}} = 5.742.081 \cdot \frac{28,8}{100} = 1.653.720 \text{ €/god}$$

Dakle, provođenjem mjera za smanjenje gubitaka u niskonaponskoj distribucijskoj mreži mogu se postići značajni financijski efekti.

6. ZAKLJUČAK

Planiranje distribucijskih mreža je značajan problem kojim se nastoji omogućiti učinkovito korištenje mreže kako bi se zadovoljili zahtjevi svih potrošača. U procesu planiranja distribucijske mreže postoji niz opcija kojim se može poboljšati stanje u mreži, a neke od njih su izgradnja novih ili pojačavanje postojećih vodova, izgradnja novih točaka napajanja, izmjena topologije mreže, uključivanje distribuirane proizvodnje itd. Svaka od ovih mjera mora biti ekonomski opravdana i mora voditi učinkovitijoj mreži.

Klasični modeli planiranja distribucijskih mreža temelje se na približno predvidljivom ponašanju potrošača kojem se prilagođava topologija i prijenosna snaga mreže. Prijenosna snaga mreže određuje se temeljem najvećeg opterećenja, a topologija bi trebala osigurati barem dva različita smjera napajanja, pri čemu je aktivan samo jedan u normalnom pogonu.

Suvremeni modeli planiranja distribucijskih mreža uključuju nekoliko, međusobno povezanih analiza. Temeljni zahtjev, koji uvijek mora biti zadovoljen, je pogon mreže sukladno tehničkim propisima. Stoga, u procesu planiranja uvijek moraju biti zadovoljena dva temeljna kriterija na način da:

1. svaki potrošač ima osiguran napon unutar propisanih granica,
2. niti jedan element mreže (vod ili transformator) nije preopterećen u redovitom pogonu.

Osim toga, suvremeni modeli trebaju uključivati i druge kriterije koji utječu na definiranje najboljeg rješenja. Neki od njih su kriterij minimalnih gubitaka snage i energije, kriterij minimalnih troškova izgradnje mreže, kriterij kvalitete opskrbe korisnika električne energije, kriterij pouzdanosti i sl.

U ovoj disertaciji je prikazan model planiranja niskonaponskih distribucijskih mreža koji pri višekriterijskom odlučivanju koristi četiri kriterija i to:

1. Kriterij padova napona kod krajnjih potrošača;
2. Kriterij minimalnih gubitaka radne snage;
3. Kriterij opterećenja vodova;
4. Kriterij investicijskih troškova.

Izbor kriterija koji će se koristiti pri odlučivanju ovisi isključivo o onom tko vrši planiranje. Općenito, izbor je ovisan o interesima potrošača i interesima distribucijske tvrtke. U uvjetima tržišnog poslovanja interesi kupaca su u blagoj prednosti, ali interesi tvrtke se ni u kojem slučaju ne smiju stavljati u drugi plan. Najbolji izbor je da se podjednako uvažavaju i jedni i drugi interesi.

Osim toga, pored izbora kriterija, vrlo značajan je i način na koji se izvrši vrednovanje kriterija, odnosno kakav je njihov međusobni odnos po hijerarhiji. Vrednovanje svakog kriterija je subjektivnog karaktera i to u biti predstavlja jedan od najvažnijih koraka.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

U predloženom modelu odabran je jedan kriterij koji je na strani potrošača (padovi napona) i tri kriterija koji su na strani distribucijske tvrtke (ostali kriteriji). Ukoliko bi se promatrala samo ova pojednostavljena podjela, moglo bi se doći do zaključka da model ne tretira podjednako interese potrošača i tvrtke. Stoga je, kako bi se interesi na neki način usuglasili, kriteriju koji se odnosi na potrošače dana najveća važnost, odnosno ocjena. Na taj način postignuta je ravnoteža. U monopolističkom sustavu bi ovo zasigurno bilo na strani distribucijskih tvrtki što u tržišnim uvjetima nije prihvatljivo.

Suvremeni modeli planiranja bi se trebali temeljiti na korištenju suvremenih algoritama i softverskih rješenja. Jedinostveni i opće prihvaćeni model ne postoji. U disertaciji je predstavljen model koji se temelji na kombinaciji suvremenih hijerarhijskih i stohastičkih algoritama i to algoritma neizrazitog grupiranja, analitičkog hijerarhijskog postupka, te algoritma simuliranog kaljenja.

Algoritam neizrazitog grupiranja je vrlo prikladan za određivanje lokacije transformatorske stanice i grupiranje potrošača prema njihovoj pripadnosti niskonaponskom izvodu. Analitički hijerarhijski postupak je vrlo prikladno rješenje za odabir najbolje konfiguracije mreže metodom višekriterijskog odlučivanja. Algoritam simuliranog kaljenja je jedan od niza optimizacijskih algoritama koji se mogu koristiti za dobivanje optimalne konfiguracije mreže sa stanovišta energetske prilike u mreži. Sve zajedno daje jedan vrlo praktičan i lako primjenjiv model planiranja distribucijskih mreža.

Dobiveni rezultati pokazuju da primjena modela daje niz prostornih rješenja. Kod manjih i manje složenih distribucijskih mreža, u nekim slučajevima, ovo je sasvim dovoljno pa nema potrebe da se procedura provodi do kraja. I pored toga, obzirom da se ne radi o složenom postupku, optimalno rješenje bi trebalo uvijek biti krajnji cilj.

Proračuni koji se provode prema ponuđenom modelu načinjeni su temeljem vršnih opterećenja potrošača za različite vremenske periode. Rezultati su pokazali da konačno rješenje ne ovisi o proračunu pojedinačnih opterećenja potrošača. To ukazuje na činjenicu da pojedinačna opterećenja potrošača i ne moraju biti vršna, odnosno mogu se uzeti opterećenja dobivena na neki drugi način. Bitno je samo da se proračuni tokova snaga za sve alternative, odnosno za postojeće mreže vrše temeljem opterećenja potrošača dobivenim na identičan način. Samo na taj način je moguće vršiti usporedbu rezultata i donositi određene zaključke.

Najbolji način za procjenu pojedinačnih opterećenja potrošača je poznavanje krivulje opterećenja za razne kategorije potrošača. Za tu svrhu je potrebno imati dovoljan broj snimljenih dnevnih dijagrama opterećenja različitih potrošača. Uz to, potrebno je poznavati navike svakog potrošača kada je u pitanju potrošnja električne energije. Na taj način, svakom potrošaču posebno može se pridružiti određena krivulja opterećenja temeljem koje će se odabrati određena vrijednost opterećenja bitna za proračun. Naravno, isti princip mora važiti za sve potrošače. Obzirom da u mjernom sustavu elektrodistributivnih tvrtki obično nisu dostupni nikakvi podaci o opterećenju niskonaponskih potrošača, ovo bi bio jedan od učinkovitijih načina za određivanje ukupnog opterećenja promatranog područja.

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

Kada se radi o projektiranju u cijelosti novih distribucijskih mreža onda postoje dva načina za određivanje opterećenja potrošača:

1. Pomoću faktora istodobnosti (svi potrošači imaju isto opterećenje);
2. Pomoću krivulja opterećenja (svaki potrošač ima drugačije opterećenje u ovisnosti o karakteru potrošnje).

Analiza rezultata pokazuje da ni eventualna nesimetrija napona koja se može pojaviti u mreži nema značajnijeg utjecaja na konačno rješenje. Naime, u disertaciji su prezentirani rezultati proračuna za različite vrijednosti nesimetrije koje su se pojavile tijekom perioda od godinu dana. Može se vidjeti da su vrijednosti nesimetrije u niskonaponskoj mreži daleko ispod granica propisanih normom, što je potvrđeno i mjerenjem u određenim sedmodnevnim intervalima. Očito da tako niske vrijednosti nesimetrije ne mogu utjecati na konačne rezultate. Najbolji način da se zanemari potreba za analiziranjem utjecaja nesimetrije je da se pri proračunu opterećenja potrošača promatraju vrijednosti opterećenja niskonaponskih izvoda i transformatora po fazama, a da se kao satno opterećenje uzima njihov zbroj. Na taj način bi utjecaj nesimetrije bio obuhvaćen vrijednošću maksimalnog opterećenja. Tada bi se samo moglo diskutirati o utjecaju nesimetrije radi pojave napona na nultome vodiču, ali obzirom da se radi o izuzetno malim vrijednostima taj utjecaj bi se mogao zanemariti.

Dobivanje optimalnog rješenja je konačni cilj primjene predloženog modela. Kako je to prezentirano, za dobivanje ovog rješenja neophodno je uspostaviti određeni broj interkonekcija unutar mreže. Njihov broj nije ograničen. Veći broj interkonekcija u principu znači kvalitetnije rješenje, ali se mora imati u vidu da bi zbog prevelikog broja mogućnosti, vrijeme proračuna bilo znatno duže. Osim toga, broj interkonekcija je ograničen i samom topologijom, odnosno prostornom razdiobom mreže. Ukoliko vrijeme nije presudno, onda je uvijek bolje uspostaviti malo veći broj veza kako bi se dobilo što kvalitetnije rješenje.

Za dobivanje optimalnog rješenja predloženi model koristi algoritam simuliranog kaljenja, mada za tu svrhu može poslužiti i neki drugi optimizacijski algoritam. Općenito, u nekim slučajevima rezultati koji se dobivaju ovim algoritmom ovisni su o polaznoj temperaturi kaljenja i uspostavljenoj brzini hlađenja. Dobiveni rezultati pokazuju da se istovjetna rješenja dobivaju ukoliko simulirani proces kaljenja započinje na vrlo visokim temperaturama kao i na nižim temperaturama. Isto tako, pokazalo se da na rješenja nema utjecaj ni brzina hlađenja, odnosno da li se hlađenje odvija brzo ili sporo. Međutim, to je slučaj kada se radi o relativno malom broju sabirnica (potrošača) i ne toliko složenoj (po veličini) mreži. Ukoliko bi se tražilo optimalno rješenje za veliku distribucijsku mrežu, sa jako velikim brojem potrošača, onda bi simulacije trebalo provoditi sa vrlo visokom polaznom temperaturom i veoma sporim hlađenjem. Samo na taj način bi se u procesu hlađenja mogao uspostaviti dovoljno veliki broj simulacija, pri čemu bi svaka davala određeno rješenje. U tom slučaju postoji dovoljan broj simulacija da algoritam dovoljan broj puta „prođe“ kroz točku optimuma što u konačnici garantira dobivanje zasigurno najboljeg, odnosno optimalnog rješenja.

Predloženi model upotrijebljen je za projektiranje niskonaponske distribucijske mreže određenog zemljopisnog područja. U praksi, na tom području postoji izgrađena distribucijska mreža koja opskrbljuje električnom energijom predmetne potrošače. Stoga su i za postojeću mrežu izvršeni identični proračuni kako je to urađeno u modelu. Usporedba rezultata pokazuje da se modelom dobivaju znatno bolji rezultati, što daje praktičnu potvrdu primjene predloženog modela planiranja. Istina, ukoliko se ti rezultati promatraju u apsolutnim vrijednostima onda bi se mogao izvući zaključak da poboljšanja i nisu toliko značajna, barem kada se promatraju gubici radne snage. Pošto se radi o primjeru niskonaponske mreže, sa veoma malim iznosom opterećenja potrošača, onda se i ne mogu očekivati značajnija poboljšanja. Međutim, uzme li se u obzir da u jednom distribucijskom sustavu, sa značajno izraženim neplanskim razvojem niskonaponskih mreža, može postojati veliki broj (ponegdje i tisuće) mreža u sličnom stanju, onda se jednostavnim računom da zaključiti da bi cjelokupne uštede koje bi se mogle ostvariti bile veoma značajne. S druge strane, ukoliko se promatraju poboljšanja koja su vezana za padove napona kod krajnjih potrošača i obveze tvrtki da ih dovedu u propisane granice, onda je primjena jednog ovakvog modela neupitna jer zasigurno nudi rješenja znatno bolja od postojećih.

Jedna važna činjenica je da se primjenom ovakvog modela na postojeće distribucijske mreže mogu detektirati problemi u njima vezani, prije svega, za naponske prilike. Iz tog kuta gledano, model je veoma praktičan za detektiranje kritičnih mjesta i može ponuditi rješenja za njihovo rješavanje. Naime, ukoliko dobiveni rezultati nisu zadovoljavajući onda se unaprijed mogu provjeriti efekti primjene određenih mjera, prije nego što se nešto praktično i uradi na terenu. Poznato je da se naponske prilike u mreži mogu poboljšati primjenom određenih mjera kao što su skraćivanje duljine niskonaponskih izvoda, izgradnja novih niskonaponskih izvoda radi rasterećenja postojećih, promjena presjeka vodiča magistralnih vodova, injektiranje dodatnog izvora napajanja u mrežu (nekog od distribuiranih izvora pod uvjetom da se ne narušava kvaliteta električne energije) i sl. U praksi, bez praktične implementacije i mjerenja nije moguće provjeriti koliki su učinci. Stoga model ima značajnu prednost u primjeni.

Predloženi model koristi opisane hijerarhijske i stohastičke metode. Korišteni algoritmi programirani su i prilagođeni modelu kako bi se mogli provoditi pojedini koraci predviđene procedure. U biti, neki sličan model bi mogao koristiti i neke druge metode, s tim da je potrebno zadržati redosljed koraka u proceduri koja se implementira. Dakle, redosljed je slijedeći: odrediti lokaciju transformatorske stanice, izvršiti grupiranje potrošača (odrediti broj niskonaponskih izvoda), formirati mrežnu topologiju, odrediti najbolje prostorno rješenje i odrediti optimalno uklopno stanje takvog rješenja. Kojim metodama i algoritmima postići sve ovo pitanje je inženjerske procjene, odnosno poznavanja funkcioniranja distribucijskih sustava i programerskog umijeća onoga tko se bavi izradom modela.

Na kraju, može se reći da model ima svoje mjesto u praktičnoj primjeni. Zbog svog jednostavnog pristupa model je na isti način primjenjiv i za distribucijske mreže srednjeg napona, što mu daje dodatnu težinu i proširuje opseg primjenjivosti.

Iskusnim inženjerima i planerima distribucijskih mreža model može poslužiti kao vrlo koristan alat jer znatno olakšava postupak projektiranja novih mreža, te pruža mogućnost detektiranja i rješavanja problema u postojećim distribucijskim mrežama srednjeg i niskog napona.

POBOLJŠANI MODEL ZA PLANIRANJE NISKONAPONSKIH DISTRIBUCIJSKIH MREŽA KOMBINIRANJEM HIJERARHIJSKIH I STOHAISTIČKIH OPTIMIZACIJSKIH METODA

SAŽETAK

U ovoj disertaciji predstavljen je novi, poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža. Model koristi hijerarhijske i stohastičke metode optimizacije, kao i suvremene programe za crtanje i proračune tokova snaga. Iz skupine hijerarhijskih metoda u modelu su korištene metoda neizrazitog grupiranja i analitički hijerarhijski postupak. Uporaba ovih metoda daje najbolje prostorno rješenje niskonaponske distribucijske mreže. Iz skupine stohastičkih metoda u modelu je korištena metoda simuliranog kaljenja. Uporaba ove metode daje optimalno uklopno stanje najboljeg prostornog rješenja. Za crtanje prostornih rješenja distribucijske mreže u modelu je korišten AutoCAD, dok je za proračune tokova snaga korišten Matlab–Matpower. U prvom dijelu disertacije dane su kratke teorijske postavke o distribucijskim mrežama, te matematička interpretacija procesa optimizacije i korištenih optimizacijskih metoda. U drugom dijelu je prezentiran novi, poboljšani model planiranja, rezultati primjene modela za određeno zemljopisno područje, odnosno skupinu potrošača, kao i usporedba rezultata sa postojećom distribucijskom mrežom. Iz rezultati dobivenih primjenom predloženog modela može se uočiti da se dobiva niz prostornih rješenja, pri čemu projektant odabire najprihvatljivije. Također, model daje mogućnost dobivanja optimalnog uklopnog stanja odabranog prostornog rješenja. Usporedni rezultati dobiveni primjenom modela i postojeće distribucijske mreže pokazuju znatna poboljšanja parametara mreže. To je praktična potvrda opravdanosti primjene predloženog modela planiranja. Njegova primjena naročito dolazi do izražaja u neplanski građenim distribucijskim sustavima gdje se zbog velikog broja sličnih mreža, sa izraženim problemima u eksploataciji, njihovim rješavanjem mogu postići značajne financijske uštede. Mogućnost uporabe modela za detektiranje problema u postojećim mrežama i provjeru predloženih rješenja predstavlja dodatnu prednost. Jedna od prednosti modela je i mogućnost uporabe i drugih optimizacijskih metoda koje su prihvatljivije za druge projektante, ovisno o njihovim programerskim sposobnostima, ali uz primjenu istih koraka u implementiranoj proceduri. U disertaciji je obrađen primjer niskonaponske distribucijske mreže, ali model se uspješno može koristiti i za projektiranje distribucijskih mreža srednjeg napona, što dodatno proširuje opseg njegove primjenjivosti. Obzirom na jednostavnost procedure koju je potrebno provesti iskusnim inženjerima i planerima distribucijskih mreža model može poslužiti kao vrlo koristan alat i ima svoje mjesto u praktičnoj primjeni.

Ključne riječi: Distribucijske mreže, Optimizacija, Hijerarhijske metode, Stohastičke metode, Neizrazito grupiranje, AHP, Simulirano kaljenje, Modeli planiranja

IMPROVED MODEL FOR PLANNING OF LOW-VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORKS BY COMBINING HIERARCHICAL AND STOCHASTIC OPTIMIZATION METHODS

ABSTRACT

A new, improved model for planning of low-voltage distribution networks is presented in this dissertation. The model uses hierarchical and stochastic optimization methods, as well as modern programs for drawing and load flow calculations. From the group of hierarchical methods, fuzzy clustering method and analytic hierarchy process are used in the model. Usage of these methods gives the best spatial solution of low-voltage distribution network. From the group of stochastic methods, simulated annealing method is used in the model. Usage of this method gives the optimal switching condition of the best spatial solution. For drawing the spatial solutions of distribution network AutoCAD is used in the model, while for load flow calculations Matlab–Matpower is used. In the first part of the dissertation a short theoretical assumptions about distribution networks are given, as well as mathematical interpretation of optimization process and used optimization methods. In the second part, a new, improved planning model, the results of model application to the specific geographical area or group of customers, as well as the comparison of results with the existing distribution network are presented. From the results obtained by the usage of proposed model it can be seen that a series of spatial solutions is obtained, and the designer can select the most appropriate. Also, the model provides the possibility of obtaining the optimal switching condition of selected spatial solution. Comparable results obtained by model implementation and existing distribution network show significant improvement of network parameters. That is a practical confirmation of a justification for the proposed planning model application. Its application is particularly evident in unplanned built distribution systems, where there is a large number of similar networks, with distinct problems in exploitation, so their resolution can give a significant financial savings. The ability of the model to detect problems in the existing networks and verification of proposed solutions is an additional advantage. One of the advantages of the model is the ability for usage the other optimization methods as well, that are more acceptable for other designers, depending on their programming skills, but the same steps in the implemented procedure have to be used. In the dissertation is presented an example of low-voltage distribution network, but the model can be successfully used for designing the medium-voltage distribution networks, which further expands its scope of applicability. Considering the simplicity of the procedure that is necessary to be conducted for experienced engineers and planners of distribution networks the model can serve as a very useful tool and has its place in the practical application.

Key words: Distribution network, Optimization, Hierarchical methods, Stochastic methods, Fuzzy clustering, AHP, Simulated annealing, Planning models

LITERATURA

- [1] Carol A. Dahl: *Međunarodna tržišta energije*, Kigen d.o.o, Zagreb, 2008
- [2] Slavko Krajcar, Ivan Andročec, Gerd Solem: *Elements for Electricity Trading*, Training Centre for Energy Trading, 2006
- [3] Viktoria Neimane: *On Development Planning of Electricity Distribution Networks*, Royal Institute of Technology, Doctoral Dissertation, Stockholm, 2001
- [4] Marcos Carneiro Da Silva, Paulo Morelato Franca, Paulo D. Bishop Da Silveira: *Long-Range Planning of Power Distribution Systems: Secondary Networks*, Computers Electrical Engineering, Elsevier Science, Vol. 22, pp. 179–191, 1996
- [5] R. C. Bansal Dr.: *Optimization Methods for Electric Power Systems: An Overview*, 2005
- [6] Ranko Goić: *Distributivne mreže*, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Split, Lipanj 2001
- [7] Nikša Fabris, Josip Letica, Damir Kurtović: *Problematika ukidanja 35 kV napona i prijelaz na izravnu transformaciju 110/20(10) kV na području Elektrodalmacije Split*, HO CIRED, 4 (10). savjetovanje, Trogir, Svibanj 2014
- [8] Senad Smaka: *Industrijski i distributivni elektroenergetski sistemi*, Univerzitet u Sarajevu, Elektrotehnički fakultet
- [9] Vitomir Komen: *Distribucijske elektroenergetske mreže*, Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet
- [10] Salko Maksumić: *Analiza sistema potrošnje električne energije*, Centar za energetske efikasnost (CEE)
- [11] Ranko Goić: *Windis-Programski paket za analize niskonaponskih distributivnih mreža*, Fractal d.o.o, Split, Siječanj 2003
- [12] Salih Sadović: *Elektroenergetske mreže i sistemi*, Univerzitet u Sarajevu, Elektrotehnički fakultet
- [13] JP EP BiH: *Elaborat-Rezultati proračuna tokova snaga i tehničkih gubitaka snage i energije u Podružnici Elektrodistribucija Tuzla*, Sektor operatora distribucije, Služba za energetske analize i kvalitet električne energije, Juni 2014
- [14] Ranko Goić: *Primjena programskog paketa PowerCAD za analizu gubitaka snage i energije u distributivnim mrežama*, HO CIGRE, 5. savjetovanje, Cavtat, Studeni 2001
- [15] Ranko Goić: *Energetski proračuni niskonaponske mreže*, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Split, Zavod za elektroenergetiku, Travanj 2003
- [16] Andreas Klose, Andreas Drexl: *Facility Location Models for Distribution System Design*, European Journal of Operational Research, Vol. 162, Issue 1, pp. 4–29, 2005
- [17] F. C. Chan: *Electric Power Distribution Systems*, Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Vol. III, pp. 317–343, 2009

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

- [18] Branko Štefić, Srete Nikolovski: *Prijenos i distribucija električne energije*, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Elektrotehnički fakultet, 2001
- [19] European Standard: *Voltage Characteristics of Electricity Supplied by Public Electricity Networks*, CENELEC, July 2010
- [20] CEER: *5th Benchmarking Report on the Quality of Electricity Supply*, Bruxeless, 2011
- [21] The Institute of Electrical and Electronics Engineers: *IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices*, 3 Park Avenue, New York, USA, Page 4, 2004
- [22] Dinko Hrkec, Darko Vidović, Ante Pavić, Marin Bošković: *Pokazatelji pouzdanosti napajanja električnom energijom u distribucijskoj mreži*, HO Cired, 1. savjetovanje, Šibenik, 2008
- [23] Lahorko Waggmann, Željko Rajić, Zlatko Zmijarević, Hrvoje Miličić: *Regulatorni zahtjevi na izvještavanje o pokazateljima pouzdanosti napajanja*, HO Cired, 3. savjetovanje, Sveti Martin na Muri, 2012
- [24] Zlatko Lacković: *Inženjerski menadžment*, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Elektrotehnički fakultet, str. 297, 2008
- [25] R. T. Rockafellar: *Fundamentals of Optimization*, University of Washington, Department of Mathematics, 2007
- [26] M. Vujošević: *Metode optimizacije u inženjerskom menadžmentu*, FON, Beograd, 2012
- [27] Zorica Stanimirović: *Nelinearno programiranje*, Univerzitet u Beogradu, Matematički fakultet, 2014
- [28] D. Nagesh Kumar: *Classification of Optimization Problems—Introduction and Basic Concepts*, Indian Institute of Science, Bangalore
- [29] Milica B. Naumović: *Tehnike optimalnog upravljanja*, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, 2007
- [30] Damir Vučina: *Metode inženjerske numeričke optimizacije*, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split, 2005
- [31] Jizhong Zhu: *Optimization of Power System Operation*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, USA, 2009
- [32] G. Venter: *Review of Optimization Techniques*, Stellenbosch University, Department of Mechanical and Mechatronic Engineering, 2010
- [33] John W. Chinneck: *Practical Optimization: a Gentle Introduction*, Carleton University, Systems and Computer Engineering, Ottawa, Canada, 2000
- [34] Gradimir V. Milovanović, Predrag S. Stanimirović: *Simbolička implementacija nelinearne optimizacije*, Serbian Academy of Sciences and Arts, Mathematical Institute, 2000
- [35] K. Y. Lee, M. A. El-Sharkawi: *Modern Heuristic Optimization Techniques with Applications to Power Systems*, IEEE Power Engineering Society, USA, 2009

- [36] Josip Dvornik: *Numeričke, simboličke i heurističke metode*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Građevinar 55, Vol. 10, pp. 575–582, 2003
- [37] Achintya Halder, Sankaran Mahadevan: *Probability, Reliability and Statistical Methods in Engineering Design*, John Wiley & Sons, Inc., New York
- [38] L. A. Zadeh: *Fuzzy Sets*, University of California, Berkeley, Department of Electrical Engineering and Electronics, Information and Control 8, pp. 338–353, 1965
- [39] Thomas L. Saaty: *Basic Theory of the Analytic Hierarchy Process: How to Make a Decision*, Rev. R. Acad. Cienc. Exact. Fis. Nat (Esp), Vol. 93, No 4, pp. 395–423, 1999
- [40] Thomas L. Saaty: *Decision making with the analytic hierarchy process*, Int. J. Services Sciences, Vol. 1, No 1, pp. 83–98, 2008
- [41] Geoff Coyle: *The Analytic Hierarchy Process (AHP)*, Practical Strategy, Open Access Material, Pearson Education Limited, 2004
- [42] Nadja Kasperczyk, Karlheinz Knickel: *The Analytic Hierarchy Process (AHP)*, VU University
- [43] Khwanruthai Bunruamkaew: *How to Do AHP Analysis in Excel*, Division of Spatial Information Science, Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, March 2012
- [44] Paraskevopoulos Konstantinos: *The Analytic Hierarchy Process (AHP)*, International Hellenic University
- [45] Thomas L. Saaty: *How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process*, Journal of Operational Research, Vol. 24, Issue 6, pp. 9–26, December 1994
- [46] Melvin Alexander: *Decision-Making Using the Analytic Hierarchy Process (AHP) and SAS/IML*, Paper SD-04, SESUG, 2012
- [47] Jose Antonio Alonso, Teresa Lamata: *Consistency in the Analytic Hierarchy Process: A New Approach*, International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, Vol. 14, No 4, pp. 445–459, May 2006
- [48] Ninoslav Holjevac, Igor Kuzle, Matija Zidar, Mladen Modrovčić: *Razvoj modela analitičkog hijerarhijskog procesa i njegovo korištenje pri donošenju odluke o prelasku na 20 kV pogonski napon*, HO CIRED, 4(10). savjetovanje, Trogir, Svibanj 2014
- [49] Richard Hodgett: *Model an AHP Decision Problem in Excel*, Guides for Analytics, Data and Decision Sciences, December 2014
- [50] Tzung-Pei Hong, Chai-Ying Lee: *Induction of Fuzzy Rules and Membership Functions from Training Examples*, Elsevier, Fuzzy Sets and Systems 84, pp. 33–47, August 1995
- [51] Lejla Banjanović – Mehmedović: *Inteligentno upravljanje–Fuzzy Sistemi*, Fakultet elektrotehnike Tuzla
- [52] Jin Zhao, Bimal K. Bose: *Evaluation of Membership Functions for Fuzzy Logic Controlled Induction Motor Drive*, pp. 229–234, IEEE, 2002

- [53] Marko Čupić, Bojana Delbelo Bašić, Marin Golub: *Neizrazito, evolucijsko i neuroračunarstvo*, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, Kolovoz 2013
- [54] Andri Riid: *Transparent Fuzzy Systems: Modeling and Control*, Tallinn Technical University, Faculty of Information Technology, Thesis on Informatics and System Engineering, 2002
- [55] Josip Kasać: *Neizrazita logika*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje
- [56] John G. Vlachogiannis: *Mamdani Fuzzy Load Flow Method*, Engineering Intelligent Systems 1, pp. 45–52, 2004
- [57] Ying Bai, Dali Wang: *Fundamentals of Fuzzy Logic Control–Fuzzy Sets, Fuzzy Rules and Defuzzifications*, Springer, Advanced Fuzzy Logic Technologies in Industrial Applications, pp. 17–36, 2006
- [58] Li-Xin Wang: *A Course in Fuzzy Systems and Control*, Prentice-Hall International, 1997
- [59] Hao Ying, Yongsheng Ding, Shaokuan Li, Shihuang Shao: *Comparison of Necessary Conditions for Typical Takagi-Sugeno and Mamdani Fuzzy Systems as Universal Approximators*, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, Vol. 29, Issue 5, Page 508–514, September 1999
- [60] Robert Babuška: *Fuzzy Clustering Algorithm*, Fuzzy Modeling for Control, Vol. 12, pp. 49–74, 1998
- [61] Michael Kearns, Yishay Mansour, Andrew Y. Ng: *An Information–Theoretic Analysis of Hard and Soft Assignment Methods for Clustering*, Thirteenth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence, February 2013
- [62] William H.E. Day, Herbert Edelsbrunner: *Efficient Algorithms for Agglomerative Hierarchical Clustering Methods*, Journal of Classification, Vol. 1, pp. 7–24, 1984
- [63] J. Gary Augustson, Jack Minker: *An Analysis of Some Graph Theoretical Cluster Techniques*, Journal of the Association for Computing Machinery, Vol. 17, No 4, pp. 571–588, October 1970
- [64] James G. Booth, George Casella, James P. Hobert: *Clustering Using Objective Functions and Stochastic Search*, J. R. Statist. Soc. B 70, Part 1, pp. 119–139, 2008
- [65] E. Mooi, M. Sarsedt: *Cluster Analysis*, Springer, A Concise Guide to Market Research, Chapter 9, pp. 237–284, 2011
- [66] Peter Grabusts: *The Choice of Metrics for Clustering Algorithms*, Environment Tecnology Resources, 8th International Scientific and Practical Conference, Vol. 11, pp. 70–76, 2011
- [67] Ida Žokalj, Zvonimir Szorsen: *Cluster Analysis–Fuzzy Clustering*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2002
- [68] James C. Spall: *Stochastic Optimization*, Handbook of Computational Statistics, Springer, Heidelberg, 2004

- [69] Lauren A. Hannah: *Stochastic Optimization*, Columbia University, April 2004
- [70] Leonardo Jelenković: *Višedretvena implementacija simuliranog kaljenja*, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Konstrukcijski program, Zagreb, Rujan 1996
- [71] Zorica Stanimirović: *Nelinearno programiranje*, Matematički fakultet, Beograd, 2014
- [72] Sinha S. M: *Mathematical Programming: Theory and Methods*, Elsevier, 2006
- [73] S. Kirkpatrick, C. C. Gelatt, M. P. Vecchi: *Optimization by Simulated Annealing*, Science, New Series, Vol. 220, No 4598, pp. 671–680, May 1983
- [74] Petru Eles: *Heuristic Algorithms for Combinatorial Optimization Problems*, Linkopings Universitet, Department of Computer and Information Science (IDA), 2010
- [75] P. J. M. van Laarhoven, E. H. L. Aarts: *Simulated Annealing: Theory and Applications*, Springer, Mathematics and Its Applications, Chapter 2–Simulated Annealing, 1987
- [76] Young-Jae Jeon, Jae-Chul Kim, Jin-O. Kim, Joong-Rin Shin, Kwang Y. Lee: *An Efficient Simulated Annealing Algorithm for Network Reconfiguration in Large-Scale Distribution Systems*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 17, No 4, 2002
- [77] Ray Daniel Zimmerman: *Network Reconfiguration for Loss Reduction in Three-Phase Power Distribution Systems*, Cornell University, May 1992
- [78] Bruce Hajek: *Cooling Schedules for Optimal Annealing*, Mathematics of Operations Research, Vol. 13, No 2, May 1988
- [79] Jimmy Kwok-Ching Lam: *An Efficient Simulated Annealing Schedule*, Yale University, Department of Computer Science, December 1988
- [80] Stephane Moins: *Implementation of a Simulated Annealing Algorithm for Matlab*, Linkoping Institute of Technology, August 2002
- [81] Darrall Henderson, Sheldon H. Jacobson, Alan W. Johnson: *The Theory and Practice of Simulated Annealing*, Springer, Chapter 10–Simulated Annealing, Vol. 57, pp. 287–319, 2003
- [82] Emile Aarts, Jan Korst, Wil Michiels: *Search Methodologies*, Springer, Chapter 7–Simulated Annealing, pp. 187–210, 2005
- [83] M. A. Matos, Paulo Melo: *Multiobjective Reconfiguration for Loss Reduction and Service Restoration Using Simulated Annealing*, IEEE Power Tech '99 Conference, Budapest, Hungary, September 1999
- [84] B. Wah, T. Wang: *Constrained Simulated Annealing with Applications in Nonlinear Continuous Constrained Global Optimization*, Tools with Artificial Intelligence, 11th IEEE International Conference, page 381–388, Chicago, USA, November 1999
- [85] Syamasree Biswas, Kamal Krishna Manadal, Niladri Chakraborty: *Simulated Annealing Based Real Power Loss Minimization Aspect for a Large Power Network*, Swarm Evolutionary and Memetic Computing, 4th International Conference SEMCCO, pp. 345–353, Chennai, India, December 2013

- [86] E. Diaz-Dorado, J. C. Pidre, E. M. Garcia: *Planning of Large Rural Low-Voltage Networks Using Evolution Strategies*, Power Systems, IEEE Transactions, Vol. 18, Issue 4, pp. 1594–1600, November 2003
- [87] T. Sugita, D. Lioka, Y. Yokomizu, T. Matsumura: *Low-Voltage Distribution Network Planning Taking Account of Power Loss Cost in Genetic Algorithms*, Future Power Systems, 2005 International Conference IEEE, Amsterdam, November 2005
- [88] E. Diaz-Dorado, E. Miguez, J. Cidras: *Design of Large Rural Low-Voltage Networks Using Dynamic Programming Optimization*, Power Systems, IEEE Transactions, Vol. 16, Issue 4, pp. 898–903, November 2001
- [89] M. Kolenc, I. Papić, B. Blažić: *Distribution Network Development Based on Stochastic Modeling Approach*, Power Engineering Conference (UPEC), 49th International Universities, pp. 1–6, Cluj-Napoca, September 2014
- [90] Danijel Habijan, Marina Čavlović, Dalibor Jakšić: *Problematika nesimetrije u niskonaponskoj mreži*, HO CIRED, 3. savjetovanje, 2012
- [91] Ivica Pavić: *Trofazni proračun tokova snaga*, Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, 2011
- [92] International Standard, *IEC 61000-4-30*, Edition 2.0, 2008

POPIS KRATICA

| | |
|--|-----------------|
| Faktor istodobnosti (eng. <i>Rusck factor</i>) | f_i |
| Upotrebno vrijeme (eng. <i>consumption time</i>) | T_{up} |
| Vrijeme trajanja gubitaka (eng. <i>loss duration time</i>) | T_{gub} |
| Godišnja ostvarena energija (eng. <i>annual realized energy</i>) | $W_{uk_{god}}$ |
| Dnevna ostvarena energija (eng. <i>daily realized energy</i>) | $W_{uk_{dnev}}$ |
| Promjenjivi gubici (eng. <i>variable losses</i>) | P_{var} |
| Gubici praznog hoda (eng. <i>unloaded losses</i>) | P_0 |
| Pad napona (eng. <i>voltage drop</i>) | Δu |
| Faktor ovisan o broju faza (eng. <i>factor dependent on the number of phases</i>) | k_f |
| Faktor težišta opterećenja (eng. <i>load centre factor</i>) | k_t |
| Faktor dopuštenog preopterećenja (eng. <i>permissible overload factor</i>) | Γ_{pre} |
| Faktor rezerve (eng. <i>factor of reserve</i>) | Γ_{rez} |
| Cijena snage (eng. <i>power cost</i>) | k_s |
| Cijena energije (eng. <i>energy cost</i>) | k_e |
| Indeks prosječne učestalosti prekida sustava (eng. <i>System Average Interruption Frequency Indeks</i>) | SAIFI |
| Indeks prosječne dužine trajanja prekida sustava (eng. <i>System Average Interruption Duration Indeks</i>) | SAIDI |
| Indeks prosječnog trajanja prekida kupaca (eng. <i>Customer Average Interruption Duration Indeks</i>) | CAIDI |
| Funkcija cilja (eng. <i>objective function</i>) | $f(x)$ |

| | |
|---|-------------------|
| Dopustiva skupina rješenja (eng. <i>permissible solutions group</i>) | D |
| Optimalno rješenje (eng. <i>optimal solution</i>) | X^* , X_{opt} |
| Vjerojatnost (eng. <i>probability</i>) | P |
| Analitički hijerarhijski postupak (eng. <i>Analitic Hierarchy Process</i>) | AHP |
| Relativne važnost kriterija (eng. <i>relative importance of criteria</i>) | w_i , w_j |
| Matrica težinskih omjera (eng. <i>weighted ratios matrix</i>) | W |
| Indeks konzistencije (eng. <i>consistency index</i>) | CI |
| Omjer konzistencije (eng. <i>consistency ratio</i>) | CR |
| Slučajni indeks (eng. <i>random index</i>) | RI |
| Prioritet (eng. <i>priority</i>) | P_i |
| Geometrijska sredina (eng. <i>geometric mean</i>) | m |
| Funkcija pripadnosti (eng. <i>membership function</i>) | $\mu_A(x)$ |
| Trokutna norma (eng. <i>triangular norm</i>) | T_n |
| Trokutna konorma (eng. <i>triangular co-norm</i>) | S_n |
| Stupanj prekrivanja (stupanj istinitosti premise) (eng. <i>overlapping degree – premises truthfulness degree</i>) | β_i |
| Euklidova razdaljina (eng. <i>Euclidean distance – straight line distance</i>) | $d_{Euclidean}$ |
| Menhetn razdaljina (eng. <i>Manhattan metric – city block distance</i>) | $d_{City\ block}$ |
| Čebiševljeva razdaljina (eng. <i>Chebychev distance</i>) | $d_{Chebychev}$ |
| Tvrdo grupiranja (eng. <i>Hard c – Means</i>) | HCM |

| | |
|--|------------|
| Neizrazito grupiranja (eng. <i>Fuzzy c – Means</i>) | FCM |
| Simulirano kaljenje (eng. <i>simulated annealing</i>) | SA |
| Prostor pretraživanja (eng. <i>search space</i>) | S |
| Temperatura (eng. <i>temperature</i>) | T |
| Faktor normalizacije (eng. <i>normalization factor</i>) | Z(T) |
| Bolcmanova konstanta (eng. <i>Boltzmann constant</i>) | k_B |
| Generaciona matrica vjerojatnosti (eng. <i>generation probability matrix</i>) | G(T) |
| Matrica prihvatljive vjerojatnosti (eng. <i>acceptable probability matrix</i>) | A(T) |
| Tranziciona matrica vjerojatnosti (eng. <i>transition probability matrix</i>) | P(T) |
| Stacionarna razdioba (eng. <i>stationary distribution</i>) | q(T) |
| Gubici radne snage (eng. <i>active power losses</i>) | ΔP |
| Gubici jalove snage (eng. <i>reactive power losses</i>) | ΔQ |
| Fazni kut (eng. <i>phase angle</i>) | θ |
| Aktivna otpornost (eng. <i>active resistance</i>) | R |
| Reaktivna otpornost (eng. <i>reactive resistance</i>) | X |
| Aktivna provodnost (eng. <i>conductance</i>) | G |
| Reaktivna provodnost (eng. <i>susceptance</i>) | B |
| Standardna devijacija (eng. <i>standard deviation</i>) | σ |

POPIS SLIKA

- Slika 2.1. Elektroenergetski sustav
- Slika 2.2. Priključak elektrane na prijenosnu (visokonaponsku) mrežu
- Slika 2.3. Priključak male elektrane na srednjenaponsku distribucijsku mrežu
- Slika 2.4. Priključak male elektrane na niskonaponsku distribucijsku mrežu
- Slika 2.5. Distribucijska mreža sa tri srednjenaponske razine (6 kV, 35 kV i 10(20) kV)
- Slika 2.6. Distribucijska mreža sa jednom srednjenaponskom razinom (10 kV ili 20 kV)
- Slika 2.7. Niskonaponska distribucijska mreža
- Slika 2.8. Primjer potrošnje električne energije različitih kućanskih trošila
- Slika 2.9. Trokut snaga
- Slika 2.10. Dnevni dijagram opterećenja
- Slika 3.1. Lokalni i globalni optimum
- Slika 3.2. Opći prikaz optimizacijskog procesa
- Slika 3.3. Shematski prikaz dekompozicije problema
- Slika 3.4. Različiti oblici funkcije pripadnosti
- Slika 3.5. Neizraziti sustav
- Slika 3.6. Grafički prikaz Mamdani algoritma neizrazitog zaključivanja
- Slika 3.7. Primjer Sugeno modela dvije crte
- Slika 3.8. Skupine različitog oblika i dimenzija
- Slika 3.9. Koraci analize neizrazitog grupiranja
- Slika 3.10. Aglomerativno grupiranje i grupiranje dijeljenjem
- Slika 3.11. Korelacija između mjera udaljenosti
- Slika 3.12. Aglomerativne procedure vezivanja elemenata skupina
- Slika 3.13. Dendogram
- Slika 3.14. Prihvatljiva vjerojatnost u odnosu na temperaturu i promjene u funkciji cilja
- Slika 3.15. Primjer radijalne distribucijske mreže
- Slika 3.16. Primjer četiri nepovezana distribucijska sustava
- Slika 3.17. Povezani distribucijski sustav
- Slika 4.1. Dijagram toka predloženog modela planiranja niskonaponskih distribucijskih mreža
- Slika 4.2. Zemljopisne koordinate mjernog mjesta
- Slika 4.3. Zemljopisne koordinate mjernih mjesta u .dat datoteci

- Slika 4.4. Dijaloški okvir za pronalaženje centra konzuma
- Slika 4.5. Lokacija transformatorske stanice – prostorni centar konzuma
- Slika 4.6. Niskonaponski izvod sa podskupinama potrošača
- Slika 4.7. Prostorni raspored skupina i podskupina potrošača i njihovih centara i podcentara
- Slika 4.8. Primjer niskonaponske distribucijske mreže
- Slika 4.9. Podaci o opterećenju sabirnica za proračun tokova snaga
- Slika 4.10. Podaci o transformatorskoj stanici i vodovima za proračun tokova snaga
- Slika 4.11. Rezultati proračuna tokova snaga u Matlab-u (Matpower)
- Slika 4.12. Optimalno uklopno stanje niskonaponske distribucijske mreže
- Slika 4.13. Usporedni prikaz najboljeg prostornog (a) i optimalnog (b) rješenja niskonaponske distribucijske mreže
- Slika 5.1. Prostorni raspored niskonaponskih potrošača
- Slika 5.2. Postojeća niskonaponska distribucijska mreža
- Slika 5.3. Prikaz zemljopisnih koordinata dijela potrošača razmatranog područja
- Slika 5.4. Dnevni dijagram opterećenja transformatorske stanice
- Slika 5.5. Dnevni dijagram opterećenja niskonaponskih izvoda
- Slika 5.6. Matlab Fuzzy Toolbox za određivanje centra skupine
- Slika 5.7. Lokacija transformatorske stanice
- Slika 5.8. Razdioba konzuma na 5 skupina
- Slika 5.9. Razdioba konzuma na 6 skupina
- Slika 5.10. Razdioba konzuma na 7 skupina
- Slika 5.11. Razdioba konzuma na 8 skupina
- Slika 5.12. Razdioba konzuma na 5 skupina i 4 podskupine
- Slika 5.13. Razdioba konzuma na 6 skupina i 4 podskupine
- Slika 5.14. Razdioba konzuma na 7 skupina i 4 podskupine
- Slika 5.15. Razdioba konzuma na 8 skupina i 4 podskupine
- Slika 5.16. Idejno rješenje distribucijske mreže sa 5 niskonaponskih izvoda
- Slika 5.17. Idejno rješenje distribucijske mreže sa 6 niskonaponskih izvoda
- Slika 5.18. Idejno rješenje distribucijske mreže sa 7 niskonaponskih izvoda
- Slika 5.19. Idejno rješenje distribucijske mreže sa 8 niskonaponskih izvoda
- Slika 5.20. Naponi na sabirnicama potrošača svih alternativa
- Slika 5.21. Uspostavljanje međuveza u niskonaponskoj distribucijskoj mreži

- Slika 5.22. Definiranje mrežnih prekidača
- Slika 5.23. Kretanje gubitaka radne snage pri procesu simuliranog kaljenja
- Slika 5.24. Usporedni prikaz najboljeg prostornog i optimalnog rješenja
- Slika 5.25. Razdioba proračunatih vrijednosti nesimetrije
- Slika 5.26. Naponska nesimetrija u prvom sedmodnevnom vremenskom intervalu
- Slika 5.27. Naponska nesimetrija u drugom sedmodnevnom vremenskom intervalu
- Slika 5.28. Ukupno opterećenje potrošača za različito dnevno opterećenje transformatorske stanice
- Slika 5.29. Padovi napona kod krajnjih potrošača u postojećoj i optimalnoj mreži pri različitom opterećenju potrošača i vremenskim periodima
- Slika 5.30. Padovi napona kod krajnjih potrošača u postojećoj i optimalnoj mreži za slučaj „štufanja“ transformatora, pri različitom opterećenju potrošača i vremenskim periodima
- Slika 5.31. Padovi napona kod krajnjih potrošača u postojećoj i optimalnoj mreži za slučaj promjene presjeka vodiča, pri različitom opterećenju potrošača i vremenskim periodima
- Slika 5.32. Padovi napona kod krajnjih potrošača u postojećoj i optimalnoj mreži za slučaj dodavanja izvora napajanja, pri različitom opterećenju potrošača i vremenskim periodima
- Slika 5.33. Padovi napona kod krajnjih potrošača u svim razmatranim mrežama pri različitom opterećenju potrošača i vremenskim periodima
- Slika 5.34. Gubici radne snage postojeće i optimalne distribucijske mreže pri različitom opterećenju potrošača i vremenskim periodima
- Slika 5.35. Gubici radne snage postojeće i optimalne distribucijske mreže pri različitom opterećenju potrošača i vremenskim periodima za slučaj „štufanja“ transformatora
- Slika 5.36. Gubici radne snage postojeće i optimalne distribucijske mreže pri različitom opterećenju potrošača i vremenskim periodima za slučaj promjene presjeka vodiča
- Slika 5.37. Gubici radne snage postojeće i optimalne distribucijske mreže pri različitom opterećenju potrošača i vremenskim periodima za slučaj dodavanja izvora napajanja
- Slika 5.38. Gubici radne snage u niskonaponskim vodovima svih razmatranih mreža pri različitom opterećenju potrošača i vremenskim periodima

POPIS TABLICA

- Tablica 2.1. Faktor k_f u ovisnosti o broju faza
- Tablica 2.2. Primjer proračuna gubitaka po komponentama mreže
- Tablica 2.3. Primjer cjenika investicijskih troškova izgradnje mreže
- Tablica 3.1. Primjer Saatyjeve skale relativne važnosti
- Tablica 3.2. Vrijednosti slučajnog indeksa konzistencije RI
- Tablica 3.3. Euclidean matrica udaljenosti
- Tablica 3.4. Analogija između simuliranog i fizikalnog kaljenja
- Tablica 4.1. Tablica usporedbe kriterija po parovima
- Tablica 4.2. Vrijednosti prioriteta i težinskog vektora nakon provođenja AHP metode
- Tablica 5.1. Karakteristike niskonaponskih vodova
- Tablica 5.2. Karakteristike tipskih SN/NN distribucijskih transformatora
- Tablica 5.3. Maksimalne radne snage niskonaponskih izvoda
- Tablica 5.4. Ukupne dnevne radne energije niskonaponskih izvoda
- Tablica 5.5. Ukupne godišnje radne energije niskonaponskih izvoda
- Tablica 5.6. Minimalne vrijednosti upotrebnih vremena pojedinih izvoda
- Tablica 5.7. Vrijednosti gubitaka radne snage niskonaponskih izvoda
- Tablica 5.8. Vrijednosti potrebnih injektiranih snaga niskonaponskih izvoda
- Tablica 5.9. Vrijednosti korekcijskih faktora c niskonaponskih izvoda
- Tablica 5.10. Korigirane vrijednosti godišnjih radnih energije niskonaponskih izvoda
- Tablica 5.11. Korigirane vrijednosti upotrebnih vremena pojedinih izvoda
- Tablica 5.12. Konačne vrijednosti opterećenja niskonaponskih izvoda
- Tablica 5.13. Podaci za Matpower o transformatorskoj stanici
- Tablica 5.14. Podaci za Matpower o jednom stupnom mjestu
- Tablica 5.15. Padovi napona kod krajnjih potrošača
- Tablica 5.16. Gubici aktivne snage u niskonaponskim vodovima
- Tablica 5.17. Prosječno opterećenje vodova alternative sa 5 niskonaponskih izvoda
- Tablica 5.18. Prosječno opterećenje vodova alternative sa 6 niskonaponskih izvoda
- Tablica 5.19. Prosječno opterećenje vodova alternative sa 7 niskonaponskih izvoda
- Tablica 5.20. Prosječno opterećenje vodova alternative sa 8 niskonaponskih izvoda
- Tablica 5.21. Cjenik nabavke i montaže transformatorske stanice
- Tablica 5.22. Cjenik nabavke i montaže stupova

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

| | |
|---------------|--|
| Tablica 5.23. | Cjenik kabela |
| Tablica 5.24. | Procijenjeni investicijski troškovi idejnog rješenja sa 5 niskonaponskih izvoda |
| Tablica 5.25. | Procijenjeni investicijski troškovi idejnog rješenja sa 6 niskonaponskih izvoda |
| Tablica 5.26. | Procijenjeni investicijski troškovi idejnog rješenja sa 7 niskonaponskih izvoda |
| Tablica 5.27. | Procijenjeni investicijski troškovi idejnog rješenja sa 8 niskonaponskih izvoda |
| Tablica 5.28. | Ocjena važnosti kriterija |
| Tablica 5.29. | Matrica usporedbe kriterija |
| Tablica 5.30. | Normalizirana matrica usporedbe kriterija |
| Tablica 5.31. | Vektor težinskih vrijednosti |
| Tablica 5.32. | Vrijednosti padova napona pojedinih alternativa |
| Tablica 5.33. | Matrica usporedbe alternativa za kriterij 1 |
| Tablica 5.34. | Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 1 |
| Tablica 5.35. | Vrijednosti gubitaka radne snage pojedinih alternativa |
| Tablica 5.36. | Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 2 |
| Tablica 5.37. | Vrijednosti prosječnog opterećenja vodova pojedinih alternativa |
| Tablica 5.38. | Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 3 |
| Tablica 5.39. | Vrijednosti investicija pojedinih alternativa |
| Tablica 5.40. | Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 4 |
| Tablica 5.41. | Usporedni rezultati padova napona i gubitaka radne snage |
| Tablica 5.42. | Status dionica (uključen/isključen) nakon provedenog simuliranog kaljenja |
| Tablica 5.43. | Vrijednosti kriterija pri minimalnom opterećenju potrošača |
| Tablica 5.44. | Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 1 (min. opter.) |
| Tablica 5.45. | Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 2 (min. opter.) |
| Tablica 5.46. | Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 3 (min. opter.) |
| Tablica 5.47. | Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 4 (min. opter.) |
| Tablica 5.48. | Vrijednosti kriterija pri opterećenju potrošača u periodu proljeća |
| Tablica 5.49. | Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 1 (proljeće) |
| Tablica 5.50. | Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 2 (proljeće) |
| Tablica 5.51. | Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 3 (proljeće) |
| Tablica 5.52. | Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 4 (proljeće) |
| Tablica 5.53. | Vrijednosti kriterija pri opterećenju potrošača u periodu ljeta |
| Tablica 5.54. | Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 1 (ljeto) |

- Tablica 5.55. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 2 (ljetno)
- Tablica 5.56. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 3 (ljetno)
- Tablica 5.57. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 4 (ljetno)
- Tablica 5.58. Vrijednosti kriterija pri opterećenju potrošača u periodu jeseni
- Tablica 5.59. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 1 (jesen)
- Tablica 5.60. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 2 (jesen)
- Tablica 5.61. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 3 (jesen)
- Tablica 5.62. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 4 (jesen)
- Tablica 5.63. Vrijednosti kriterija pri opterećenju potrošača u periodu zime
- Tablica 5.64. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 1 (zima)
- Tablica 5.65. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 2 (zima)
- Tablica 5.66. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 3 (zima)
- Tablica 5.67. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 4 (zima)
- Tablica 5.68. Razdioba proračunatih vrijednosti nesimetrije
- Tablica 5.69. Vrijednosti kriterija pri opterećenju potrošača u periodu maksimalne nesimetrije
- Tablica 5.70. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 1 (max. nesim.)
- Tablica 5.71. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 2 (max. nesim.)
- Tablica 5.72. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 3 (max. nesim.)
- Tablica 5.73. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 4 (max. nesim.)
- Tablica 5.74. Vrijednosti kriterija pri opterećenju potrošača u periodu minimalne nesimetrije
- Tablica 5.75. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 1 (min. nesim.)
- Tablica 5.76. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 2 (min. nesim.)
- Tablica 5.77. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 3 (min. nesim.)
- Tablica 5.78. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 4 (min. nesim.)
- Tablica 5.79. Vrijednosti kriterija pri opterećenju potrošača u periodu prosječne nesimetrije
- Tablica 5.80. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 1 (prosj. nesim.)
- Tablica 5.81. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 2 (prosj. nesim.)
- Tablica 5.82. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 3 (prosj. nesim.)
- Tablica 5.83. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 4 (prosj. nesim.)
- Tablica 5.84. Vrijednosti kriterija pri opterećenju potrošača u periodu najvjerojatnije nesim.

- Tablica 5.85. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 1 (najvjer. nesim.)
- Tablica 5.86. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 2 (najvjer. nesim.)
- Tablica 5.87. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 3 (najvjer. nesim.)
- Tablica 5.88. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 4 (najvjer. nesim.)
- Tablica 5.89. Vrijednosti kriterija pri prosječnom istodobnom opterećenju potrošača
- Tablica 5.90. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 1 (prosj. istodob.)
- Tablica 5.91. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 2 (prosj. istodob.)
- Tablica 5.92. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 3 (prosj. istodob.)
- Tablica 5.93. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 4 (prosj. istodob.)
- Tablica 5.94. Vrijednosti kriterija pri maksimalnom istodobnom opterećenju potrošača
- Tablica 5.95. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 1 (max. istodob.)
- Tablica 5.96. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 2 (max. istodob.)
- Tablica 5.97. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 3 (max. istodob.)
- Tablica 5.98. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 4 (max. istodob.)
- Tablica 5.99. Vrijednosti kriterija pri minimalnom istodobnom opterećenju potrošača
- Tablica 5.100. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 1 (min. istodob.)
- Tablica 5.101. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 1 (min. istodob.)
- Tablica 5.102. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 1 (min. istodob.)
- Tablica 5.103. Vrijednosti prioriteta matrice usporedbe alternativa za kriterij 1 (min. istodob.)
- Tablica 5.104. Padovi napona i gubici radne snage za različite vrijednosti opterećenja potrošača

- Tablica 5.105. Padovi napona kod krajnjih potrošača za različite vrijednosti opterećenja potrošača postojeće niskonaponske distribucijske mreže
- Tablica 5.106. Padovi napona kod krajnjih potrošača za različite vrijednosti opterećenja potrošača optimalne niskonaponske distribucijske mreže
- Tablica 5.107. Usporedba rezultata o padovima napona kod krajnjih potrošača postojeće i optimalne niskonaponske distribucijske mreže
- Tablica 5.108. Podaci o transformatorskoj stanici za slučaj maksimalnog štufovanja
- Tablica 5.109. Padovi napona za različite vrijednosti opterećenja potrošača postojeće i optimalne niskonaponske distribucijske mreže za slučaj „štufovanja“ transformatora
- Tablica 5.110. Padovi napona za različite vrijednosti opterećenja potrošača postojeće i optimalne niskonaponske distribucijske mreže za slučaj promjene presjeka vodiča magistralnog voda
- Tablica 5.111. Padovi napona za različite vrijednosti opterećenja potrošača postojeće i optimalne niskonaponske distribucijske mreže za slučaj implementiranja dodatnog izvora napajanja
- Tablica 5.112. Gubici radne snage za različite vrijednosti opterećenja potrošača postojeće i optimalne niskonaponske distribucijske mreže
- Tablica 5.113. Gubici radne snage za različite vrijednosti opterećenja potrošača postojeće i optimalne niskonaponske distribucijske mreže u slučaju „štufovanja“ transformatora
- Tablica 5.114. Gubici radne snage za različite vrijednosti opterećenja potrošača postojeće i optimalne distribucijske mreže za slučaj promjene presjeka vodiča magistralnog voda
- Tablica 5.115. Gubici radne snage za različite vrijednosti opterećenja potrošača postojeće i optimalne distribucijske mreže za slučaj implementiranja novog izvora
- Tablica 5.116. Prosječni gubici radne snage postojeće i optimalne mreže
- Tablica 5.117. Novčane uštede temeljem gubitaka radne snage
- Tablica 5.118. Procijenjeni investicijski troškovi postojeće niskonaponske mreže
- Tablica 5.119. Procijenjeni investicijski troškovi optimalne niskonaponske mreže
- Tablica 5.120. Procijenjeno vrijeme isplate investicije
- Tablica 5.121. Ukupni gubici energije realnog distribucijskog sustava
- Tablica 5.122. Gubici energije u 10 kV i 0,4 kV distribucijskoj mreži
- Tablica 5.123. Procijenjeni gubici energije u 0,4 kV distribucijskoj mreži
- Tablica 5.124. Postotni udio gubitaka energije obzirom na naponsku razinu

PRILOZI

Prilog 1. Zemljopisne koordinate mjernih mjesta

| Rb | Mjerno mjesto | Koordinata | | Rb | Mjerno mjesto | Koordinata | | Rb | Mjerno mjesto | Koordinata | | Rb | Mjerno mjesto | Koordinata | |
|----|---------------|------------|------------|----|---------------|------------|------------|----|---------------|------------|------------|-----|---------------|------------|------------|
| | | X | Y | | | X | Y | | | X | Y | | | X | Y |
| 1 | 5270812 | 6551590,49 | 4931588,55 | 32 | 5270480 | 6551589,17 | 4931480,56 | 63 | 8368910 | 6551756,17 | 4931384,18 | 94 | 5269601 | 6551610,94 | 4931310,47 |
| 2 | 3419703 | 6551627,72 | 4931579,66 | 33 | 8465967 | 6551710,00 | 4931480,10 | 64 | 5266203 | 6551686,38 | 4931383,90 | 95 | 5269792 | 6551629,79 | 4931309,95 |
| 3 | 5265126 | 6551629,16 | 4931575,71 | 34 | 5270308 | 6551630,07 | 4931477,54 | 65 | 5270057 | 6551654,27 | 4931380,94 | 96 | 4701720 | 6551692,09 | 4931305,15 |
| 4 | 3859533 | 6551651,23 | 4931564,77 | 35 | 4521943 | 6551744,68 | 4931474,27 | 66 | 5266815 | 6551759,15 | 4931378,19 | 97 | 3161250 | 6551801,92 | 4931303,43 |
| 5 | 5265215 | 6551633,31 | 4931559,64 | 36 | 8368821 | 6551630,07 | 4931472,51 | 67 | 3795853 | 6551747,32 | 4931377,64 | 98 | 5269717 | 6551663,56 | 4931303,41 |
| 6 | 5265282 | 6551668,80 | 4931555,78 | 37 | 5265657 | 6551716,85 | 4931463,79 | 68 | 2727145 | 6551675,75 | 4931374,44 | 99 | 5269660 | 6551634,24 | 4931299,74 |
| 7 | 5270731 | 6551556,32 | 4931553,26 | 38 | 5266084 | 6551659,73 | 4931462,14 | 69 | 5266920 | 6551783,29 | 4931372,48 | 100 | 5269547 | 6551610,94 | 4931299,74 |
| 8 | 5265258 | 6551645,83 | 4931541,64 | 39 | 5270383 | 6551624,03 | 4931460,45 | 70 | 5266483 | 6551729,41 | 4931371,28 | 101 | 4396529 | 6551776,32 | 4931296,16 |
| 9 | 5270693 | 6551615,30 | 4931539,96 | 40 | 2797690 | 6551568,38 | 4931459,45 | 71 | 5266785 | 6551762,37 | 4931366,03 | 102 | 1802917 | 6551711,17 | 4931291,79 |
| 10 | 8767181 | 6551642,31 | 4931539,93 | 41 | 4077067 | 6551659,73 | 4931457,19 | 72 | 1837044 | 6551714,48 | 4931365,29 | 103 | 4275977 | 6551740,45 | 4931288,92 |
| 11 | 5265347 | 6551692,22 | 4931538,84 | 42 | 8534365 | 6551752,70 | 4931454,76 | 73 | 1836978 | 6551710,06 | 4931364,18 | 104 | 5269490 | 6551619,06 | 4931285,09 |
| 12 | 4064976 | 6551542,91 | 4931536,85 | 43 | 5265711 | 6551729,67 | 4931450,10 | 74 | 5266572 | 6551692,45 | 4931361,70 | 105 | 4431197 | 6551764,11 | 4931280,53 |
| 13 | 2818612 | 6551667,59 | 4931528,05 | 44 | 3227987 | 6551579,11 | 4931443,36 | 75 | 5269997 | 6551651,65 | 4931359,34 | 106 | 3406482 | 6551780,89 | 4931274,05 |
| 14 | 5270650 | 6551618,67 | 4931526,79 | 45 | 5270251 | 6551605,26 | 4931442,69 | 76 | 5266963 | 6551784,58 | 4931358,39 | 107 | 4401921 | 6551619,06 | 4931271,22 |
| 15 | 3180840 | 6551696,67 | 4931525,23 | 46 | 4078071 | 6551668,03 | 4931438,70 | 77 | 3094669 | 6551734,05 | 4931356,99 | 108 | 3223647 | 6551713,66 | 4931270,44 |
| 16 | 5270537 | 6551561,34 | 4931519,76 | 47 | 4685431 | 6551698,63 | 4931436,81 | 78 | 5266726 | 6551765,14 | 4931353,32 | 109 | 5269385 | 6551682,98 | 4931269,24 |
| 17 | 5265932 | 6551653,02 | 4931515,05 | 48 | 8468419 | 6551631,14 | 4931429,52 | 79 | 4312163 | 6551714,60 | 4931351,10 | 110 | 3223566 | 6551711,75 | 4931265,70 |
| 18 | 5265878 | 6551671,97 | 4931514,94 | 49 | 5270189 | 6551583,81 | 4931428,62 | 80 | 3508978 | 6551691,16 | 4931346,01 | 111 | 3169707 | 6551733,51 | 4931260,81 |
| 19 | 3048578 | 6551579,11 | 4931512,39 | 50 | 3294110 | 6551603,23 | 4931424,12 | 81 | 5266653 | 6551739,30 | 4931343,17 | 112 | 5269423 | 6551649,07 | 4931258,81 |
| 20 | 5265495 | 6551697,14 | 4931511,63 | 51 | 5270146 | 6551611,69 | 4931420,81 | 82 | 5266599 | 6551719,95 | 4931338,29 | 113 | 4353064 | 6551801,88 | 4931258,80 |
| 21 | 3752941 | 6551698,07 | 4931508,77 | 52 | 3086585 | 6551760,04 | 4931412,77 | 83 | 4076451 | 6551612,60 | 4931336,71 | 114 | 3118908 | 6551750,89 | 4931257,33 |
| 22 | 5265568 | 6551699,07 | 4931505,48 | 53 | 5266130 | 6551666,86 | 4931407,05 | 84 | 2707667 | 6551695,03 | 4931328,41 | 115 | 8504504 | 6551664,54 | 4931254,73 |
| 23 | 4064496 | 6551568,05 | 4931505,35 | 54 | 5266432 | 6551736,90 | 4931405,95 | 85 | 5269954 | 6551628,12 | 4931328,02 | 116 | 3086461 | 6551761,62 | 4931251,06 |
| 24 | 5270596 | 6551625,38 | 4931505,02 | 55 | 5266386 | 6551733,49 | 4931404,94 | 86 | 5269903 | 6551655,27 | 4931326,92 | 117 | 5268443 | 6551707,50 | 4931250,59 |
| 25 | 5265819 | 6551677,21 | 4931500,24 | 56 | 5270103 | 6551640,86 | 4931403,39 | 87 | 5267005 | 6551772,95 | 4931326,73 | 118 | 5267978 | 6551811,69 | 4931250,36 |
| 26 | 5266025 | 6551657,54 | 4931498,74 | 57 | 5266319 | 6551714,78 | 4931396,28 | 88 | 5269849 | 6551644,80 | 4931323,52 | 119 | 5268419 | 6551774,97 | 4931247,35 |
| 27 | 5265614 | 6551702,57 | 4931495,39 | 58 | 8175179 | 6551640,86 | 4931394,34 | 89 | 3296962 | 6551633,72 | 4931320,68 | 120 | 4312260 | 6551840,13 | 4931241,47 |
| 28 | 3179192 | 6551558,33 | 4931492,95 | 59 | 8732515 | 6551611,69 | 4931393,34 | 90 | 5267048 | 6551746,29 | 4931319,24 | 121 | 4472446 | 6551855,90 | 4931232,69 |
| 29 | 5270421 | 6551630,07 | 4931487,93 | 60 | 8318328 | 6551683,61 | 4931392,93 | 91 | 5269741 | 6551658,85 | 4931315,45 | 122 | 3102424 | 6551766,84 | 4931230,99 |
| 30 | 5265770 | 6551682,31 | 4931486,70 | 61 | 5266254 | 6551697,62 | 4931390,56 | 92 | 1815342 | 6551730,99 | 4931314,82 | 123 | 4754840 | 6551680,44 | 4931230,59 |
| 31 | 5265991 | 6551661,77 | 4931485,79 | 62 | 5587220 | 6551778,96 | 4931387,68 | 93 | 5598664 | 6551719,84 | 4931310,67 | 124 | 5267935 | 6551826,43 | 4931227,31 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---------|------------|------------|-----|---------|------------|------------|-----|---------|------------|------------|-----|---------|------------|------------|
| 125 | 3663892 | 6551783,92 | 4931227,04 | 162 | 4759494 | 6551800,83 | 4931135,66 | 199 | 3084604 | 6551654,89 | 4931068,78 | 236 | 8262276 | 6551699,55 | 4930953,09 |
| 126 | 4578848 | 6551751,76 | 4931223,91 | 163 | 5269091 | 6551614,33 | 4931134,74 | 200 | 3216829 | 6551987,59 | 4931057,56 | 237 | 3072398 | 6551654,40 | 4930947,42 |
| 127 | 8419574 | 6551622,42 | 4931221,99 | 164 | 3055310 | 6551632,10 | 4931131,47 | 201 | 2833786 | 6551851,86 | 4931055,51 | 238 | 8236097 | 6551625,39 | 4930942,15 |
| 128 | 5267838 | 6551862,24 | 4931221,04 | 165 | 5268524 | 6551719,78 | 4931131,42 | 202 | 5267323 | 6551897,34 | 4931055,00 | 239 | 5267234 | 6552090,22 | 4930939,63 |
| 129 | 3362493 | 6551841,07 | 4931211,26 | 166 | 5268133 | 6551777,56 | 4931128,59 | 203 | 8452466 | 6551668,59 | 4931053,79 | 240 | 8410755 | 6551684,25 | 4930939,28 |
| 130 | 5268346 | 6551785,31 | 4931210,36 | 167 | 5269296 | 6551664,95 | 4931127,30 | 204 | 3151743 | 6551772,40 | 4931049,33 | 241 | 1836943 | 6552030,08 | 4930936,63 |
| 131 | 8253943 | 6551858,32 | 4931210,05 | 168 | 1813498 | 6551742,70 | 4931126,47 | 205 | 8329494 | 6551675,32 | 4931045,97 | 242 | 2915227 | 6551666,74 | 4930932,13 |
| 132 | 5267862 | 6551808,06 | 4931209,14 | 169 | 8256055 | 6551790,34 | 4931121,98 | 206 | 8419582 | 6552011,94 | 4931041,99 | 243 | 8460728 | 6551694,12 | 4930926,21 |
| 133 | 5268494 | 6551721,90 | 4931208,68 | 170 | 5269156 | 6551594,65 | 4931121,63 | 207 | 4171292 | 6551832,55 | 4931040,43 | 244 | 8414246 | 6551678,82 | 4930916,10 |
| 134 | 2063654 | 6551639,62 | 4931204,91 | 171 | 5268559 | 6551710,33 | 4931118,91 | 208 | 4062779 | 6551865,30 | 4931038,63 | 245 | 3795993 | 6552128,49 | 4930906,54 |
| 135 | 8695911 | 6551828,76 | 4931201,19 | 172 | 5269199 | 6551618,67 | 4931117,69 | 209 | 3949885 | 6551812,24 | 4931031,39 | 246 | 8760179 | 6551746,17 | 4930900,81 |
| 136 | 8452547 | 6551824,10 | 4931198,68 | 173 | 4449959 | 6551843,92 | 4931117,00 | 210 | 3418340 | 6551599,02 | 4931026,56 | 247 | 8733376 | 6551692,64 | 4930900,81 |
| 137 | 4215710 | 6551762,78 | 4931198,53 | 174 | 5268184 | 6551807,68 | 4931116,96 | 211 | 1839551 | 6551846,63 | 4931025,76 | 248 | 8760187 | 6551705,71 | 4930887,25 |
| 138 | 3405702 | 6551609,24 | 4931197,24 | 175 | 5268648 | 6551741,76 | 4931112,06 | 212 | 3193780 | 6551854,30 | 4931025,76 | 249 | 1794612 | 6552078,72 | 4930881,92 |
| 139 | 3272125 | 6551707,25 | 4931197,11 | 176 | 8465436 | 6551759,31 | 4931109,90 | 213 | 5269032 | 6551594,07 | 4931024,78 | 250 | 8830428 | 6552036,53 | 4930864,03 |
| 140 | 4697006 | 6551675,38 | 4931196,51 | 177 | 5644836 | 6551867,27 | 4931108,98 | 214 | 3920364 | 6551883,77 | 4931023,36 | 251 | 2690160 | 6552046,28 | 4930855,52 |
| 141 | 5267765 | 6551820,74 | 4931189,92 | 178 | 5624339 | 6551647,18 | 4931105,45 | 215 | 3405796 | 6552093,72 | 4931020,44 | 252 | 4484029 | 6551698,42 | 4930836,55 |
| 142 | 3139271 | 6551741,28 | 4931184,83 | 179 | 5268109 | 6551797,64 | 4931102,83 | 216 | 3948986 | 6551793,94 | 4931018,93 | 253 | 5594065 | 6551683,97 | 4930824,33 |
| 143 | 5268273 | 6551773,44 | 4931184,83 | 180 | 5268826 | 6551668,98 | 4931100,71 | 217 | 3025217 | 6551830,34 | 4931014,91 | 254 | 8373515 | 6552084,13 | 4930816,45 |
| 144 | 8221146 | 6551634,89 | 4931183,44 | 181 | 5268702 | 6551698,45 | 4931099,55 | 218 | 5267277 | 6551964,90 | 4931014,81 | 255 | 5268869 | 6551697,51 | 4930798,67 |
| 145 | 8247307 | 6551607,77 | 4931182,56 | 182 | 5268672 | 6551735,85 | 4931099,31 | 219 | 4062639 | 6551904,64 | 4931011,66 | 256 | 8578907 | 6552015,60 | 4930796,82 |
| 146 | 8390711 | 6551656,14 | 4931181,85 | 183 | 5268060 | 6551812,24 | 4931098,27 | 220 | 3922723 | 6551869,53 | 4931007,15 | 257 | 4093623 | 6551677,88 | 4930796,62 |
| 147 | 5267722 | 6551827,18 | 4931180,55 | 184 | 8460558 | 6551959,61 | 4931095,43 | 221 | 4078144 | 6551802,79 | 4931003,26 | 258 | 3212661 | 6551718,94 | 4930784,47 |
| 148 | 5267684 | 6551832,03 | 4931170,12 | 185 | 2915154 | 6551980,54 | 4931093,23 | 222 | 4441893 | 6552012,58 | 4930996,61 | 259 | 1824961 | 6552029,25 | 4930778,18 |
| 149 | 5268230 | 6551787,59 | 4931167,28 | 186 | 5267366 | 6551889,60 | 4931092,75 | 223 | 3256839 | 6552039,78 | 4930993,27 | 260 | 8218323 | 6552031,29 | 4930728,98 |
| 150 | 3213501 | 6551834,08 | 4931164,99 | 187 | 5268729 | 6551687,05 | 4931091,53 | 224 | 5267137 | 6551912,11 | 4930992,22 | 261 | 8296553 | 6552059,60 | 4930724,30 |
| 151 | 5269342 | 6551669,62 | 4931162,31 | 188 | 4621859 | 6551760,52 | 4931089,60 | 225 | 5575672 | 6551936,47 | 4930989,60 | 262 | 3046621 | 6551994,14 | 4930718,61 |
| 152 | 2909359 | 6551901,62 | 4931156,90 | 189 | 3032612 | 6552004,78 | 4931088,82 | 226 | 1811487 | 6551887,72 | 4930989,26 | 263 | 4522028 | 6551996,26 | 4930707,02 |
| 153 | 5267609 | 6551838,38 | 4931154,15 | 190 | 8568995 | 6551684,51 | 4931087,28 | 227 | 5268583 | 6552063,40 | 4930989,26 | 264 | 3139751 | 6552032,96 | 4930698,52 |
| 154 | 8504431 | 6551568,19 | 4931153,79 | 191 | 3102254 | 6551971,51 | 4931081,34 | 228 | 3462765 | 6551830,48 | 4930985,60 | 265 | 3440028 | 6552004,95 | 4930698,52 |
| 155 | 3301222 | 6551738,92 | 4931153,38 | 192 | 5267404 | 6551863,21 | 4931081,25 | 229 | 4091132 | 6552049,36 | 4930979,01 | 266 | 3097161 | 6552046,79 | 4930679,03 |
| 156 | 2739925 | 6551793,98 | 4931152,00 | 193 | 3440893 | 6551712,93 | 4931080,43 | 230 | 8572941 | 6551656,38 | 4930974,05 | 267 | 1790625 | 6552005,53 | 4930677,72 |
| 157 | 4267060 | 6551825,70 | 4931146,32 | 194 | 4621794 | 6551896,30 | 4931079,31 | 231 | 4759435 | 6551963,95 | 4930969,75 | 268 | 8801770 | 6552060,97 | 4930665,92 |
| 158 | 8469679 | 6551585,08 | 4931145,13 | 195 | 3478076 | 6551824,69 | 4931077,27 | 232 | 2941090 | 6551678,82 | 4930967,14 | 269 | 8296588 | 6552064,50 | 4930655,26 |
| 159 | 4760999 | 6551724,27 | 4931143,23 | 196 | 3102165 | 6551999,71 | 4931076,94 | 233 | 5267161 | 6551999,41 | 4930964,26 | 270 | 8296561 | 6552017,25 | 4930651,03 |
| 160 | 5598745 | 6551844,61 | 4931140,66 | 197 | 1840703 | 6551578,92 | 4931071,25 | 234 | 1823132 | 6552039,33 | 4930964,09 | | | | |
| 161 | 1816071 | 6551700,88 | 4931137,33 | 198 | 5268028 | 6551734,59 | 4931070,03 | 235 | 6189911 | 6551632,72 | 4930958,35 | | | | |

Prilog 2. *Pojedinačna utrošena godišnja energija niskonaponskih potrošača*

| Rb | Mjerno mjesto | Ostvarena godišnja energija (kWh) | Rb | Mjerno mjesto | Ostvarena godišnja energija (kWh) | Rb | Mjerno mjesto | Ostvarena godišnja energija (kWh) | Rb | Mjerno mjesto | Ostvarena godišnja energija (kWh) | Rb | Mjerno mjesto | Ostvarena godišnja energija (kWh) | Rb | Mjerno mjesto | Ostvarena godišnja energija (kWh) | Rb | Mjerno mjesto | Ostvarena godišnja energija (kWh) |
|----|---------------|-----------------------------------|----|---------------|-----------------------------------|----|---------------|-----------------------------------|-----|---------------|-----------------------------------|-----|---------------|-----------------------------------|-----|---------------|-----------------------------------|-----|---------------|-----------------------------------|
| 1 | 5270812 | 19.633,93 | 34 | 5270308 | 2.820,51 | 67 | 3795853 | 7.308,67 | 100 | 5269547 | 5.345,55 | 133 | 5268494 | 4.009,32 | 166 | 5268133 | 4.497,06 | 199 | 3084604 | 3.968,72 |
| 2 | 3419703 | 1.673,75 | 35 | 4521943 | 6.687,12 | 68 | 2727145 | 4.536,40 | 101 | 4396529 | 3.484,03 | 134 | 2063654 | 423,80 | 167 | 5269296 | 2.944,88 | 200 | 3216829 | 7.931,28 |
| 3 | 5265126 | 5.926,43 | 36 | 8368821 | 3.905,84 | 69 | 5266920 | 3.757,91 | 102 | 1802917 | 5.233,68 | 135 | 8695911 | 3.542,76 | 168 | 1813498 | 2,83 | 201 | 2833786 | 3.916,76 |
| 4 | 3859533 | 8.452,35 | 37 | 5265657 | 1.788,69 | 70 | 5266483 | 8.323,03 | 103 | 4275977 | 5.852,35 | 136 | 8452547 | 4.374,23 | 169 | 8256055 | 5.183,98 | 202 | 5267323 | 1.064,08 |
| 5 | 5265215 | 3.240,10 | 38 | 5266084 | 370,38 | 71 | 5266785 | 7.513,03 | 104 | 5269490 | 8.202,31 | 137 | 4215710 | 6.590,84 | 170 | 5269156 | 1.107,97 | 203 | 8452466 | 3.499,31 |
| 6 | 5265282 | 8.467,33 | 39 | 5270383 | 4.111,60 | 72 | 1837044 | 382,98 | 105 | 4431197 | 3.934,55 | 138 | 3405702 | 6.788,49 | 171 | 5268559 | 5.210,98 | 204 | 3151743 | 5.090,76 |
| 7 | 5270731 | 4.243,48 | 40 | 2797690 | 2.967,75 | 73 | 1836978 | 6.667,92 | 106 | 3406482 | 0,36 | 139 | 3272125 | 3.229,91 | 172 | 5269199 | 1.357,16 | 205 | 8329494 | 4.772,46 |
| 8 | 5265258 | 4.837,40 | 41 | 4077067 | 6.315,13 | 74 | 5266572 | 2.361,98 | 107 | 4401921 | 10.477,53 | 140 | 4697006 | 1.468,14 | 173 | 4449959 | 7.138,80 | 206 | 8419582 | 8.879,24 |
| 9 | 5270693 | 8.700,48 | 42 | 8534365 | 4.677,18 | 75 | 5269997 | 885,28 | 108 | 3223647 | 62,68 | 141 | 5267765 | 978,80 | 174 | 5268184 | 1.806,29 | 207 | 4171292 | 717,29 |
| 10 | 8767181 | 201,15 | 43 | 5265711 | 3.012,99 | 76 | 5266963 | 1.332,64 | 109 | 5269385 | 4.651,09 | 142 | 3139271 | 3.478,98 | 175 | 5268648 | 6.674,61 | 208 | 4062779 | 4.640,56 |
| 11 | 5265347 | 4.359,45 | 44 | 3227987 | 7.416,83 | 77 | 3094669 | 3.984,76 | 110 | 3223566 | 6.529,40 | 143 | 5268273 | 2.459,24 | 176 | 8465436 | 3.040,68 | 209 | 3949885 | 3.937,04 |
| 12 | 4064976 | 4.977,10 | 45 | 5270251 | 4.560,10 | 78 | 5266726 | 3.353,09 | 111 | 3169707 | 3.797,60 | 144 | 8221146 | 6.000,89 | 177 | 5644836 | 3.568,45 | 210 | 3418340 | 2.557,87 |
| 13 | 2818612 | 344,64 | 46 | 4078071 | 5.389,39 | 79 | 4312163 | 7.012,57 | 112 | 5269423 | 8.750,28 | 145 | 8247307 | 8.770,37 | 178 | 5624339 | 22,01 | 211 | 1839551 | 3.401,03 |
| 14 | 5270650 | 17.295,00 | 47 | 4685431 | 5.698,12 | 80 | 3508978 | 10.059,34 | 113 | 4353064 | 363,13 | 146 | 8390711 | 7.619,84 | 179 | 5268109 | 2.714,67 | 212 | 3193780 | 3.877,41 |
| 15 | 3180840 | 815,94 | 48 | 8468419 | 3.825,65 | 81 | 5266653 | 2.109,43 | 114 | 3118908 | 6.027,86 | 147 | 5267722 | 16.776,60 | 180 | 5268826 | 5.496,41 | 213 | 5269032 | 1.579,84 |
| 16 | 5270537 | 6.662,48 | 49 | 5270189 | 3.837,47 | 82 | 5266599 | 2.503,90 | 115 | 8504504 | 8,13 | 148 | 5267684 | 5.980,46 | 181 | 5268702 | 3.919,15 | 214 | 3920364 | 2.877,84 |
| 17 | 5265932 | 5.790,26 | 50 | 3294110 | 59,57 | 83 | 4076451 | 3.253,98 | 116 | 3086461 | 1.977,50 | 149 | 5268230 | 4.809,10 | 182 | 5268672 | 3.583,55 | 215 | 3405796 | 1.963,87 |
| 18 | 5265878 | 8.728,76 | 51 | 5270146 | 1.172,46 | 84 | 2707667 | 5.698,66 | 117 | 5268443 | 3.073,56 | 150 | 3213501 | 3.794,55 | 183 | 5268060 | 6.305,04 | 216 | 3948986 | 5.470,67 |
| 19 | 3048578 | 503,17 | 52 | 3086585 | 16.832,71 | 85 | 5269954 | 4.227,66 | 118 | 5267978 | 5.509,46 | 151 | 5269342 | 2.445,59 | 184 | 8460558 | 523,57 | 217 | 3025217 | 2.176,37 |
| 20 | 5265495 | 1,07 | 53 | 5266130 | 2.158,64 | 86 | 5269903 | 0,00 | 119 | 5268419 | 2.411,34 | 152 | 2909359 | 6.119,77 | 185 | 2915154 | 3.727,40 | 218 | 5267277 | 98,52 |
| 21 | 3752941 | 2.489,78 | 54 | 5266432 | 5.013,43 | 87 | 5267005 | 11.371,54 | 120 | 4312260 | 4.863,74 | 153 | 5267609 | 1.800,52 | 186 | 5267366 | 4.046,90 | 219 | 4062639 | 8.695,28 |
| 22 | 5265568 | 0,84 | 55 | 5266386 | 7.559,83 | 88 | 5269849 | 2.956,58 | 121 | 4472446 | 6.457,01 | 154 | 8504431 | 3.328,67 | 187 | 5268729 | 960,69 | 220 | 3922723 | 2.420,37 |
| 23 | 4064496 | 6.729,74 | 56 | 5270103 | 1.900,50 | 89 | 3296962 | 4.281,11 | 122 | 3102424 | 4.742,12 | 155 | 3301222 | 122,45 | 188 | 4621859 | 11.323,89 | 221 | 4078144 | 3.716,40 |
| 24 | 5270596 | 11.722,90 | 57 | 5266319 | 0,00 | 90 | 5267048 | 3.204,74 | 123 | 4754840 | 877,62 | 156 | 2739925 | 2,20 | 189 | 3032612 | 5.864,36 | 222 | 4441893 | 2.317,96 |
| 25 | 5265819 | 14.998,17 | 58 | 8175179 | 4.039,06 | 91 | 5269741 | 6.878,02 | 124 | 5267935 | 6.069,62 | 157 | 4267060 | 8.932,57 | 190 | 8568995 | 1.978,21 | 223 | 3256839 | 3.420,86 |
| 26 | 5266025 | 3.640,55 | 59 | 8732515 | 5.974,85 | 92 | 1815342 | 5.317,75 | 125 | 3663892 | 2.454,52 | 158 | 8469679 | 7.940,48 | 191 | 3102254 | 1.405,02 | 224 | 5267137 | 2.681,06 |
| 27 | 5265614 | 7.704,26 | 60 | 8318328 | 6.851,89 | 93 | 5598664 | 5.873,44 | 126 | 4578848 | 3.513,48 | 159 | 4760999 | 2.109,24 | 192 | 5267404 | 4.864,77 | 225 | 5575672 | 7.493,74 |
| 28 | 3179192 | 0,27 | 61 | 5266254 | 5.383,95 | 94 | 5269601 | 4.121,08 | 127 | 8419574 | 4.230,67 | 160 | 5598745 | 86,72 | 193 | 3440893 | 6.488,75 | 226 | 1811487 | 4.568,30 |
| 29 | 5270421 | 3.329,19 | 62 | 5587220 | 1.673,25 | 95 | 5269792 | 5.558,24 | 128 | 5267838 | 11.615,54 | 161 | 1816071 | 7.437,90 | 194 | 4621794 | 3.325,38 | 227 | 5268583 | 64,36 |
| 30 | 5265770 | 4.622,78 | 63 | 8368910 | 70,33 | 96 | 4701720 | 2.541,96 | 129 | 3362493 | 3.533,29 | 162 | 4759494 | 3.166,08 | 195 | 3478076 | 8.102,17 | 228 | 3462765 | 6.054,90 |
| 31 | 5265991 | 0,00 | 64 | 5266203 | 3.852,55 | 97 | 3161250 | 340,53 | 130 | 5268346 | 2.495,27 | 163 | 5269091 | 5.269,95 | 196 | 3102165 | 6.399,04 | 229 | 4091132 | 5.150,33 |
| 32 | 5270480 | 9.677,86 | 65 | 5270057 | 467,16 | 98 | 5269717 | 3.589,85 | 131 | 8253943 | 8.682,12 | 164 | 3055310 | 1.517,70 | 197 | 1840703 | 2.403,72 | 230 | 8572941 | 842,01 |
| 33 | 8465967 | 3.734,14 | 66 | 5266815 | 10.074,32 | 99 | 5269660 | 7.361,12 | 132 | 5267862 | 0,00 | 165 | 5268524 | 1.187,38 | 198 | 5268028 | 8,71 | 231 | 4759435 | 9.736,12 |

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---------|----------|-----|---------|----------|-----|---------|----------|-----|---------|----------|-----|---------|----------|-----|---------|----------|-----|---------|----------|
| 232 | 2941090 | 0,01 | 238 | 8236097 | 6.377,70 | 244 | 8414246 | 1.749,21 | 250 | 8830428 | 5.340,34 | 256 | 8578907 | 1.229,20 | 262 | 3046621 | 1.558,85 | 268 | 8801770 | 5.112,75 |
| 233 | 5267161 | 1.955,34 | 239 | 5267234 | 203,42 | 245 | 3795993 | 2.037,58 | 251 | 2690160 | 3.371,53 | 257 | 4093623 | 4.326,24 | 263 | 4522028 | 3.224,14 | 269 | 8296588 | 7.790,50 |
| 234 | 1823132 | 7.435,74 | 240 | 8410755 | 3.319,53 | 246 | 8760179 | 9.873,37 | 252 | 4484029 | 84,21 | 258 | 3212661 | 1.733,26 | 264 | 3139751 | 705,26 | 270 | 8296561 | 1.608,72 |
| 235 | 6189911 | 5.873,99 | 241 | 1836943 | 4.560,52 | 247 | 8733376 | 4.816,55 | 253 | 5594065 | 3.058,92 | 259 | 1824961 | 1.133,48 | 265 | 3440028 | 120,31 | | | |
| 236 | 8262276 | 4.779,82 | 242 | 2915227 | 7.151,90 | 248 | 8760187 | 1.843,97 | 254 | 8373515 | 4.179,24 | 260 | 8218323 | 3.145,44 | 266 | 3097161 | 6.331,57 | | | |
| 237 | 3072398 | 4.257,98 | 243 | 8460728 | 3.596,69 | 249 | 1794612 | 2.582,73 | 255 | 5268869 | 5.753,70 | 261 | 8296553 | 3.575,34 | 267 | 1790625 | 4.003,26 | | | |

Prilog 3. Jednodnevno, satno mjerenje opterećenja transformatorske stanice i niskonaponskih izvoda (period vršnog opterećenja)

| Vrijeme mjerenja (h) | Transformatorska stanica | | Niskonaponski izvod 1 | | Niskonaponski izvod 2 | | Niskonaponski izvod 3 | | Niskonaponski izvod 4 | | Niskonaponski izvod 5 | |
|----------------------|--------------------------|------------|-----------------------|------------|-----------------------|------------|-----------------------|------------|-----------------------|------------|-----------------------|------------|
| | Wa (kWh) | Wr (kVArh) | Wa (kWh) | Wr (kVArh) | Wa (kWh) | Wr (kVArh) | Wa (kWh) | Wr (kVArh) | Wa (kWh) | Wr (kVArh) | Wa (kWh) | Wr (kVArh) |
| 1 | 99,30 | 32,38 | 17,90 | 5,84 | 18,16 | 5,92 | 24,62 | 8,03 | 15,27 | 4,98 | 23,35 | 7,61 |
| 2 | 93,68 | 34,90 | 16,88 | 6,29 | 17,13 | 6,38 | 23,23 | 8,65 | 14,41 | 5,37 | 22,03 | 8,21 |
| 3 | 78,45 | 32,81 | 14,14 | 5,91 | 14,34 | 6,00 | 19,45 | 8,14 | 12,07 | 5,05 | 18,45 | 7,72 |
| 4 | 70,80 | 32,33 | 12,76 | 5,83 | 12,95 | 5,91 | 17,56 | 8,02 | 10,89 | 4,97 | 16,65 | 7,60 |
| 5 | 77,26 | 30,50 | 13,93 | 5,50 | 14,13 | 5,58 | 19,16 | 7,56 | 11,88 | 4,69 | 18,17 | 7,17 |
| 6 | 88,49 | 32,84 | 15,95 | 5,92 | 16,18 | 6,00 | 21,94 | 8,14 | 13,61 | 5,05 | 20,81 | 7,72 |
| 7 | 100,10 | 31,65 | 18,04 | 5,71 | 18,30 | 5,79 | 24,82 | 7,85 | 15,40 | 4,87 | 23,54 | 7,44 |
| 8 | 128,83 | 32,64 | 23,22 | 5,88 | 23,56 | 5,97 | 31,94 | 8,09 | 19,82 | 5,02 | 30,29 | 7,68 |
| 9 | 156,91 | 33,12 | 28,28 | 5,97 | 28,69 | 6,06 | 38,91 | 8,21 | 24,13 | 5,09 | 36,90 | 7,79 |
| 10 | 162,91 | 33,17 | 29,36 | 5,98 | 29,79 | 6,06 | 40,39 | 8,22 | 25,06 | 5,10 | 38,31 | 7,80 |
| 11 | 142,94 | 31,73 | 25,76 | 5,72 | 26,14 | 5,80 | 35,44 | 7,87 | 19,02 | 5,32 | 33,61 | 7,46 |
| 12 | 131,95 | 32,93 | 23,78 | 5,93 | 24,13 | 6,02 | 32,72 | 8,16 | 21,99 | 4,88 | 31,03 | 7,74 |
| 13 | 123,65 | 34,56 | 22,29 | 6,23 | 42,47 | 7,58 | 30,66 | 8,57 | 20,30 | 5,06 | 29,08 | 8,13 |
| 14 | 159,84 | 34,99 | 28,81 | 6,31 | 29,23 | 6,40 | 39,63 | 8,68 | 24,58 | 5,38 | 37,59 | 8,23 |
| 15 | 232,27 | 41,47 | 41,86 | 7,47 | 22,61 | 6,32 | 57,59 | 10,28 | 35,73 | 6,38 | 54,62 | 9,75 |
| 16 | 328,22 | 59,90 | 68,04 | 10,71 | 60,02 | 10,95 | 81,38 | 14,85 | 58,07 | 9,14 | 77,18 | 14,09 |
| 17 | 377,53 | 59,40 | 59,16 | 10,80 | 69,03 | 10,86 | 93,61 | 14,73 | 50,48 | 9,21 | 88,78 | 13,97 |
| 18 | 262,28 | 56,63 | 52,32 | 9,02 | 47,96 | 10,36 | 65,03 | 14,04 | 44,65 | 7,70 | 61,68 | 13,32 |
| 19 | 252,00 | 53,08 | 47,27 | 10,21 | 46,08 | 9,71 | 62,48 | 13,16 | 38,76 | 8,16 | 59,26 | 12,48 |
| 20 | 290,28 | 50,06 | 45,42 | 9,57 | 53,08 | 9,15 | 71,98 | 12,41 | 40,34 | 8,71 | 68,26 | 11,77 |
| 21 | 238,75 | 43,55 | 43,03 | 7,85 | 43,66 | 7,96 | 59,20 | 10,80 | 36,72 | 6,70 | 56,14 | 10,24 |
| 22 | 225,07 | 44,16 | 40,56 | 7,96 | 41,16 | 8,07 | 55,81 | 10,95 | 34,62 | 6,79 | 52,93 | 10,38 |
| 23 | 171,55 | 40,80 | 30,92 | 7,35 | 31,37 | 7,46 | 42,54 | 10,12 | 26,39 | 6,28 | 40,34 | 9,59 |
| 24 | 133,58 | 41,23 | 24,08 | 7,43 | 24,43 | 7,54 | 33,12 | 10,22 | 20,55 | 6,34 | 31,41 | 9,70 |

Prilog 4. *Pojedinačno godišnje vršno opterećenje niskonaponskih potrošača*

| Mjerno mjesto | Energija (kWh) | P (kW) | Q (kVAr) | Mjerno mjesto | Energija (kWh) | P (kW) | Q (kVAr) | Mjerno mjesto | Energija (kWh) | P (kW) | Q (kVAr) | Mjerno mjesto | Energija (kWh) | P (kW) | Q (kVAr) | Mjerno mjesto | Energija (kWh) | P (kW) | Q (kVAr) |
|---------------|----------------|--------|----------|---------------|----------------|--------|----------|---------------|----------------|--------|----------|---------------|----------------|--------|----------|---------------|----------------|--------|----------|
| 5270812 | 19.633,93 | 6,40 | 1,48 | 4521943 | 6.687,12 | 2,18 | 0,50 | 5266920 | 3.757,91 | 1,23 | 0,28 | 4275977 | 5.852,35 | 1,91 | 0,44 | 4215710 | 6.590,84 | 2,06 | 0,48 |
| 3419703 | 1.673,75 | 0,55 | 0,13 | 8368821 | 3.905,84 | 1,27 | 0,29 | 5266483 | 8.323,03 | 2,71 | 0,63 | 5269490 | 8.202,31 | 2,68 | 0,62 | 3405702 | 6.788,49 | 2,12 | 0,49 |
| 5265126 | 5.926,43 | 1,93 | 0,45 | 5265657 | 1.788,69 | 0,58 | 0,13 | 5266785 | 7.513,03 | 2,45 | 0,56 | 4431197 | 3.934,55 | 1,28 | 0,30 | 3272125 | 3.229,91 | 1,01 | 0,23 |
| 3859533 | 8.452,35 | 2,76 | 0,63 | 5266084 | 370,38 | 0,12 | 0,03 | 1837044 | 382,98 | 0,12 | 0,03 | 3406482 | 0,36 | 0,00 | 0,00 | 4697006 | 1.468,14 | 0,46 | 0,11 |
| 5265215 | 3.240,10 | 1,06 | 0,24 | 5270383 | 4.111,60 | 1,34 | 0,31 | 1836978 | 6.667,92 | 2,17 | 0,50 | 4401921 | 10.477,53 | 3,42 | 0,79 | 5267765 | 978,80 | 0,29 | 0,07 |
| 5265282 | 8.467,33 | 2,76 | 0,64 | 2797690 | 2.967,75 | 0,97 | 0,22 | 5266572 | 2.361,98 | 0,77 | 0,18 | 3223647 | 62,68 | 0,02 | 0,00 | 3139271 | 3.478,98 | 1,09 | 0,25 |
| 5270731 | 4.243,48 | 1,38 | 0,32 | 4077067 | 6.315,13 | 2,06 | 0,47 | 5269997 | 885,28 | 0,29 | 0,07 | 5269385 | 4.651,09 | 1,46 | 0,34 | 5268273 | 2.459,24 | 0,77 | 0,18 |
| 5265258 | 4.837,40 | 1,58 | 0,36 | 8534365 | 4.677,18 | 1,52 | 0,35 | 5266963 | 1.332,64 | 0,43 | 0,10 | 3223566 | 6.529,40 | 2,13 | 0,49 | 8221146 | 6.000,89 | 1,88 | 0,43 |
| 5270693 | 8.700,48 | 2,84 | 0,65 | 5265711 | 3.012,99 | 0,98 | 0,23 | 3094669 | 3.984,76 | 1,30 | 0,30 | 3169707 | 3.797,60 | 1,24 | 0,29 | 8247307 | 8.770,37 | 2,74 | 0,63 |
| 8767181 | 201,15 | 0,07 | 0,02 | 3227987 | 7.416,83 | 2,42 | 0,56 | 5266726 | 3.353,09 | 1,09 | 0,25 | 5269423 | 8.750,28 | 2,74 | 0,63 | 8390711 | 7.619,84 | 2,38 | 0,55 |
| 5265347 | 4.359,45 | 1,42 | 0,33 | 5270251 | 4.560,10 | 1,49 | 0,34 | 4312163 | 7.012,57 | 2,29 | 0,53 | 4353064 | 363,13 | 0,12 | 0,03 | 5267722 | 16.776,60 | 5,02 | 1,16 |
| 4064976 | 4.977,10 | 1,62 | 0,37 | 4078071 | 5.389,39 | 1,76 | 0,40 | 3508978 | 10.059,34 | 3,28 | 0,76 | 3118908 | 6.027,86 | 1,97 | 0,45 | 5267684 | 5.980,46 | 1,79 | 0,41 |
| 2818612 | 344,64 | 0,11 | 0,03 | 4685431 | 5.698,12 | 1,86 | 0,43 | 5266653 | 2.109,43 | 0,69 | 0,16 | 8504504 | 8,13 | 0,00 | 0,00 | 5268230 | 4.809,10 | 1,50 | 0,35 |
| 5270650 | 17.295,00 | 5,64 | 1,30 | 8468419 | 3.825,65 | 1,25 | 0,29 | 5266599 | 2.503,90 | 0,82 | 0,19 | 3086461 | 1.977,50 | 0,64 | 0,15 | 3213501 | 3.794,55 | 1,13 | 0,26 |
| 3180840 | 815,94 | 0,27 | 0,06 | 5270189 | 3.837,47 | 1,25 | 0,29 | 4076451 | 3.253,98 | 1,06 | 0,24 | 5268443 | 3.073,56 | 1,00 | 0,23 | 5269342 | 2.445,59 | 0,77 | 0,18 |
| 5270537 | 6.662,48 | 2,17 | 0,50 | 3294110 | 59,57 | 0,02 | 0,00 | 2707667 | 5.698,66 | 1,86 | 0,43 | 5267978 | 5.509,46 | 1,80 | 0,41 | 2909359 | 6.119,77 | 1,83 | 0,42 |
| 5265932 | 5.790,26 | 1,89 | 0,43 | 5270146 | 1.172,46 | 0,38 | 0,09 | 5269954 | 4.227,66 | 1,38 | 0,32 | 5268419 | 2.411,34 | 0,79 | 0,18 | 5267609 | 1.800,52 | 0,54 | 0,12 |
| 5265878 | 8.728,76 | 2,85 | 0,66 | 3086585 | 16.832,71 | 5,49 | 1,26 | 5269903 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 4312260 | 4.863,74 | 1,59 | 0,37 | 8504431 | 3.328,67 | 1,04 | 0,24 |
| 3048578 | 503,17 | 0,16 | 0,04 | 5266130 | 2.158,64 | 0,70 | 0,16 | 5267005 | 11.371,54 | 3,71 | 0,85 | 4472446 | 6.457,01 | 2,11 | 0,49 | 3301222 | 122,45 | 0,04 | 0,01 |
| 5265495 | 1,07 | 0,00 | 0,00 | 5266432 | 5.013,43 | 1,63 | 0,38 | 5269849 | 2.956,58 | 0,96 | 0,22 | 3102424 | 4.742,12 | 1,55 | 0,36 | 2739925 | 2,20 | 0,00 | 0,00 |
| 3752941 | 2.489,78 | 0,81 | 0,19 | 5266386 | 7.559,83 | 2,46 | 0,57 | 3296962 | 4.281,11 | 1,40 | 0,32 | 4754840 | 877,62 | 0,27 | 0,06 | 4267060 | 8.932,57 | 2,67 | 0,62 |
| 5265568 | 0,84 | 0,00 | 0,00 | 5270103 | 1.900,50 | 0,62 | 0,14 | 5267048 | 3.204,74 | 1,05 | 0,24 | 5267935 | 6.069,62 | 1,98 | 0,46 | 8469679 | 7.940,48 | 2,48 | 0,57 |
| 4064496 | 6.729,74 | 2,20 | 0,51 | 5266319 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 5269741 | 6.878,02 | 2,24 | 0,52 | 3663892 | 2.454,52 | 0,80 | 0,18 | 4760999 | 2.109,24 | 0,66 | 0,15 |
| 5270596 | 11.722,90 | 3,82 | 0,88 | 8175179 | 4.039,06 | 1,32 | 0,30 | 1815342 | 5.317,75 | 1,73 | 0,40 | 4578848 | 3.513,48 | 1,15 | 0,26 | 5598745 | 86,72 | 0,03 | 0,01 |
| 5265819 | 14.998,17 | 4,89 | 1,13 | 8732515 | 5.974,85 | 1,95 | 0,45 | 5598664 | 5.873,44 | 1,92 | 0,44 | 8419574 | 4.230,67 | 1,38 | 0,32 | 1816071 | 7.437,90 | 2,33 | 0,54 |
| 5266025 | 3.640,55 | 1,19 | 0,27 | 8318328 | 6.851,89 | 2,23 | 0,51 | 5269601 | 4.121,08 | 1,34 | 0,31 | 5267838 | 11.615,54 | 3,79 | 0,87 | 4759494 | 3.166,08 | 0,99 | 0,23 |
| 5265614 | 7.704,26 | 2,51 | 0,58 | 5266254 | 5.383,95 | 1,75 | 0,40 | 5269792 | 5.558,24 | 1,81 | 0,42 | 3362493 | 3.533,29 | 1,15 | 0,27 | 5269091 | 5.269,95 | 1,65 | 0,38 |
| 3179192 | 0,27 | 0,00 | 0,00 | 5587220 | 1.673,25 | 0,55 | 0,13 | 4701720 | 2.541,96 | 0,83 | 0,19 | 5268346 | 2.495,27 | 0,78 | 0,18 | 3055310 | 1.517,70 | 0,47 | 0,11 |
| 5270421 | 3.329,19 | 1,09 | 0,25 | 8368910 | 70,33 | 0,02 | 0,01 | 3161250 | 340,53 | 0,11 | 0,03 | 8253943 | 8.682,12 | 2,83 | 0,65 | 5268524 | 1.187,38 | 0,37 | 0,09 |
| 5265770 | 4.622,78 | 1,51 | 0,35 | 5266203 | 3.852,55 | 1,26 | 0,29 | 5269717 | 3.589,85 | 1,12 | 0,26 | 5267862 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 5268133 | 4.497,06 | 1,41 | 0,32 |
| 5265991 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 5270057 | 467,16 | 0,15 | 0,04 | 5269660 | 7.361,12 | 2,40 | 0,55 | 5268494 | 4.009,32 | 1,25 | 0,29 | 5269296 | 2.944,88 | 0,92 | 0,21 |
| 5270480 | 9.677,86 | 3,16 | 0,73 | 5266815 | 10.074,32 | 3,28 | 0,76 | 5269547 | 5.345,55 | 1,74 | 0,40 | 2063654 | 423,80 | 0,13 | 0,03 | 1813498 | 2,83 | 0,00 | 0,00 |
| 8465967 | 3.734,14 | 1,22 | 0,28 | 3795853 | 7.308,67 | 2,38 | 0,55 | 4396529 | 3.484,03 | 1,14 | 0,26 | 8695911 | 3.542,76 | 1,06 | 0,24 | 8256055 | 5.183,98 | 1,62 | 0,37 |
| 5270308 | 2.820,51 | 0,92 | 0,21 | 2727145 | 4.536,40 | 1,48 | 0,34 | 1802917 | 5.233,68 | 1,71 | 0,39 | 8452547 | 4.374,23 | 1,31 | 0,30 | 5269156 | 1.107,97 | 0,35 | 0,08 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|-----------|------|------|---------|----------|------|------|---------|----------|------|------|---------|----------|------|------|---------|----------|------|------|
| 5268559 | 5.210,98 | 1,63 | 0,38 | 3102254 | 1.405,02 | 0,42 | 0,10 | 1839551 | 3.401,03 | 1,02 | 0,23 | 4759435 | 9.736,12 | 2,91 | 0,67 | 2690160 | 3.371,53 | 1,01 | 0,23 |
| 5269199 | 1.357,16 | 0,42 | 0,10 | 5267404 | 4.864,77 | 1,45 | 0,34 | 3193780 | 3.877,41 | 1,16 | 0,27 | 2941090 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 4484029 | 84,21 | 0,03 | 0,01 |
| 4449959 | 7.138,80 | 2,13 | 0,49 | 3440893 | 6.488,75 | 2,03 | 0,47 | 5269032 | 1.579,84 | 0,49 | 0,11 | 5267161 | 1.955,34 | 0,58 | 0,13 | 5594065 | 3.058,92 | 0,96 | 0,22 |
| 5268184 | 1.806,29 | 0,57 | 0,13 | 4621794 | 3.325,38 | 0,99 | 0,23 | 3920364 | 2.877,84 | 0,86 | 0,20 | 1823132 | 7.435,74 | 2,22 | 0,51 | 8373515 | 4.179,24 | 1,25 | 0,29 |
| 5268648 | 6.674,61 | 2,09 | 0,48 | 3478076 | 8.102,17 | 2,53 | 0,58 | 3405796 | 1.963,87 | 0,59 | 0,14 | 6189911 | 5.873,99 | 1,84 | 0,42 | 5268869 | 5.753,70 | 1,80 | 0,41 |
| 8465436 | 3.040,68 | 0,95 | 0,22 | 3102165 | 6.399,04 | 1,91 | 0,44 | 3948986 | 5.470,67 | 1,64 | 0,38 | 8262276 | 4.779,82 | 1,50 | 0,34 | 8578907 | 1.229,20 | 0,37 | 0,08 |
| 5644836 | 3.568,45 | 1,07 | 0,25 | 1840703 | 2.403,72 | 0,75 | 0,17 | 3025217 | 2.176,37 | 0,65 | 0,15 | 3072398 | 4.257,98 | 1,33 | 0,31 | 4093623 | 4.326,24 | 1,35 | 0,31 |
| 5624339 | 22,01 | 0,01 | 0,00 | 5268028 | 8,71 | 0,00 | 0,00 | 5267277 | 98,52 | 0,03 | 0,01 | 8236097 | 6.377,70 | 2,00 | 0,46 | 3212661 | 1.733,26 | 0,54 | 0,12 |
| 5268109 | 2.714,67 | 0,85 | 0,20 | 3084604 | 3.968,72 | 1,24 | 0,29 | 4062639 | 8.695,28 | 2,60 | 0,60 | 5267234 | 203,42 | 0,06 | 0,01 | 1824961 | 1.133,48 | 0,34 | 0,08 |
| 5268826 | 5.496,41 | 1,72 | 0,40 | 3216829 | 7.931,28 | 2,37 | 0,55 | 3922723 | 2.420,37 | 0,72 | 0,17 | 8410755 | 3.319,53 | 1,04 | 0,24 | 8218323 | 3.145,44 | 0,94 | 0,22 |
| 5268702 | 3.919,15 | 1,23 | 0,28 | 2833786 | 3.916,76 | 1,17 | 0,27 | 4078144 | 3.716,40 | 1,11 | 0,26 | 1836943 | 4.560,52 | 1,36 | 0,31 | 8296553 | 3.575,34 | 1,07 | 0,25 |
| 5268672 | 3.583,55 | 1,12 | 0,26 | 5267323 | 1.064,08 | 0,32 | 0,07 | 4441893 | 2.317,96 | 0,69 | 0,16 | 2915227 | 7.151,90 | 2,24 | 0,52 | 3046621 | 1.558,85 | 0,47 | 0,11 |
| 5268060 | 6.305,04 | 1,97 | 0,45 | 8452466 | 3.499,31 | 1,09 | 0,25 | 3256839 | 3.420,86 | 1,02 | 0,24 | 8460728 | 3.596,69 | 1,13 | 0,26 | 4522028 | 3.224,14 | 0,96 | 0,22 |
| 8460558 | 523,57 | 0,16 | 0,04 | 3151743 | 5.090,76 | 1,59 | 0,37 | 5267137 | 2.681,06 | 0,80 | 0,18 | 8414246 | 1.749,21 | 0,55 | 0,13 | 3139751 | 705,26 | 0,21 | 0,05 |
| 2915154 | 3.727,40 | 1,11 | 0,26 | 8329494 | 4.772,46 | 1,49 | 0,34 | 5575672 | 7.493,74 | 2,24 | 0,52 | 3795993 | 2.037,58 | 0,61 | 0,14 | 3440028 | 120,31 | 0,04 | 0,01 |
| 5267366 | 4.046,90 | 1,21 | 0,28 | 8419582 | 8.879,24 | 2,65 | 0,61 | 1811487 | 4.568,30 | 1,37 | 0,31 | 8760179 | 9.873,37 | 3,09 | 0,71 | 3097161 | 6.331,57 | 1,89 | 0,44 |
| 5268729 | 960,69 | 0,30 | 0,07 | 4171292 | 717,29 | 0,21 | 0,05 | 5268583 | 64,36 | 0,02 | 0,00 | 8733376 | 4.816,55 | 1,51 | 0,35 | 1790625 | 4.003,26 | 1,20 | 0,28 |
| 4621859 | 11.323,89 | 3,54 | 0,82 | 4062779 | 4.640,56 | 1,39 | 0,32 | 3462765 | 6.054,90 | 1,81 | 0,42 | 8760187 | 1.843,97 | 0,58 | 0,13 | 8801770 | 5.112,75 | 1,53 | 0,35 |
| 3032612 | 5.864,36 | 1,75 | 0,40 | 3949885 | 3.937,04 | 1,18 | 0,27 | 4091132 | 5.150,33 | 1,54 | 0,35 | 1794612 | 2.582,73 | 0,77 | 0,18 | 8296588 | 7.790,50 | 2,33 | 0,54 |
| 8568995 | 1.978,21 | 0,62 | 0,14 | 3418340 | 2.557,87 | 0,80 | 0,18 | 8572941 | 842,01 | 0,26 | 0,06 | 8830428 | 5.340,34 | 1,60 | 0,37 | 8296561 | 1.608,72 | 0,48 | 0,11 |

Prilog 5. Zemljopisne koordinate stupnih mjesta distribucijske mreže sa 5 niskonaponskih izvoda

| Izvod | Stupno mjesto | Koordinata | | Izvod | Stupno mjesto | Koordinata | | Izvod | Stupno mjesto | Koordinata | | Izvod | Stupno mjesto | Koordinata | |
|-------|---------------|------------|------------|-------|---------------|------------|------------|-------|---------------|------------|------------|-------|---------------|------------|------------|
| | | X | Y | | | X | Y | | | X | Y | | | X | Y |
| C1 | S1 | 4931193,24 | 6551800,76 | C1 | S14 | 4931273,53 | 6551740,23 | C1 | S27 | 4931287,21 | 6551657,18 | C2 | S130 | 4930997,46 | 6551952,50 |
| C1 | S2 | 4931204,97 | 6551818,71 | C1 | S15 | 4931286,57 | 6551692,72 | C1 | S28 | 4931276,08 | 6551636,42 | C2 | S131 | 4930983,66 | 6551982,03 |
| C1 | S3 | 4931223,29 | 6551839,71 | C1 | S16 | 4931305,48 | 6551681,08 | C1 | S29 | 4931299,10 | 6551624,08 | C2 | S132 | 4930976,84 | 6552007,62 |
| C1 | S4 | 4931217,21 | 6551794,73 | C1 | S17 | 4931313,89 | 6551710,72 | C1 | S30 | 4931323,69 | 6551615,15 | C2 | S133 | 4930950,72 | 6552037,52 |
| C1 | S5 | 4931234,10 | 6551791,24 | C1 | S18 | 4931321,37 | 6551737,14 | C1 | S31 | 4931357,81 | 6551634,62 | C2 | S134 | 4930926,87 | 6552063,23 |
| C1 | S6 | 4931242,07 | 6551751,65 | C1 | S19 | 4931337,50 | 6551781,29 | C1 | S32 | 4931308,04 | 6551647,86 | C2 | S135 | 4930905,14 | 6552092,46 |
| C1 | S7 | 4931221,11 | 6551726,71 | C1 | S20 | 4931335,87 | 6551705,50 | C2 | S123 | 4931164,35 | 6551809,70 | C2 | S136 | 4930890,99 | 6552070,11 |
| C1 | S8 | 4931255,42 | 6551722,45 | C1 | S21 | 4931361,92 | 6551702,02 | C2 | S124 | 4931132,31 | 6551817,82 | C2 | S137 | 4930877,42 | 6552046,26 |
| C1 | S9 | 4931231,72 | 6551696,46 | C1 | S22 | 4931374,90 | 6551701,17 | C2 | S125 | 4931097,07 | 6551830,94 | C2 | S138 | 4930868,44 | 6552094,93 |
| C1 | S10 | 4931241,19 | 6551675,07 | C1 | S23 | 4931346,93 | 6551730,41 | C2 | S126 | 4931076,29 | 6551847,93 | C2 | S139 | 4930833,50 | 6552073,53 |
| C1 | S11 | 4931244,59 | 6551641,01 | C1 | S24 | 4931360,15 | 6551775,85 | C2 | S127 | 4931057,75 | 6551868,92 | C2 | S140 | 4930807,99 | 6552044,69 |
| C1 | S12 | 4931258,35 | 6551785,85 | C1 | S25 | 4931377,30 | 6551771,34 | C2 | S128 | 4931032,85 | 6551900,67 | C2 | S141 | 4930774,40 | 6552040,75 |
| C1 | S13 | 4931279,04 | 6551806,59 | C1 | S26 | 4931387,50 | 6551738,37 | C2 | S129 | 4931016,64 | 6551927,38 | C2 | S142 | 4930748,88 | 6552037,05 |

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------------|------------|----|------|------------|------------|----|------|------------|------------|----|-----|------------|------------|
| C2 | S143 | 4930707,42 | 6552018,44 | C3 | S78 | 4931055,98 | 6551709,09 | C4 | S103 | 4931158,79 | 6551876,59 | C5 | S38 | 4931286,23 | 6551691,54 |
| C2 | S144 | 4930707,42 | 6552018,44 | C3 | S79 | 4931052,82 | 6551746,05 | C4 | S104 | 4931186,81 | 6551866,35 | C5 | S39 | 4931304,69 | 6551678,64 |
| C2 | S145 | 4930690,08 | 6552018,96 | C3 | S80 | 4931052,77 | 6551656,10 | C4 | S105 | 4931077,33 | 6551848,63 | C5 | S40 | 4931349,72 | 6551673,91 |
| C2 | S146 | 4930714,80 | 6552049,14 | C3 | S81 | 4931051,42 | 6551622,94 | C4 | S106 | 4931059,16 | 6551869,11 | C5 | S41 | 4931390,64 | 6551661,88 |
| C2 | S147 | 4930692,40 | 6552047,39 | C3 | S82 | 4931048,04 | 6551588,32 | C4 | S107 | 4931072,78 | 6551882,12 | C5 | S42 | 4931415,06 | 6551651,48 |
| C2 | S148 | 4930672,03 | 6552065,70 | C3 | S83 | 4931021,77 | 6551673,29 | C4 | S108 | 4931037,65 | 6551853,81 | C5 | S43 | 4931411,41 | 6551626,96 |
| C2 | S149 | 4930660,87 | 6552036,14 | C3 | S84 | 4930995,65 | 6551695,87 | C4 | S109 | 4931015,30 | 6551819,62 | C5 | S44 | 4931442,74 | 6551644,39 |
| C3 | S60 | 4931167,25 | 6551759,02 | C3 | S85 | 4930976,45 | 6551676,01 | C4 | S110 | 4931033,74 | 6551901,58 | C5 | S45 | 4931429,43 | 6551603,79 |
| C3 | S61 | 4931144,94 | 6551777,61 | C3 | S86 | 4930957,19 | 6551650,97 | C4 | S111 | 4931004,92 | 6551893,21 | C5 | S46 | 4931467,05 | 6551645,86 |
| C3 | S62 | 4931169,62 | 6551722,29 | C3 | S87 | 4930972,02 | 6551710,12 | C4 | S112 | 4931051,22 | 6551939,48 | C5 | S47 | 4931470,74 | 6551676,95 |
| C3 | S63 | 4931157,54 | 6551687,20 | C3 | S88 | 4930954,38 | 6551688,29 | C4 | S113 | 4931080,66 | 6551959,99 | C5 | S48 | 4931465,34 | 6551704,30 |
| C3 | S64 | 4931169,95 | 6551682,17 | C3 | S89 | 4930972,02 | 6551710,12 | C4 | S114 | 4931037,87 | 6551978,56 | C5 | S49 | 4931471,46 | 6551733,76 |
| C3 | S65 | 4931166,11 | 6551647,73 | C3 | S90 | 4930916,91 | 6551707,27 | C4 | S115 | 4931062,29 | 6552003,44 | C5 | S50 | 4931481,84 | 6551698,87 |
| C3 | S66 | 4931178,21 | 6551621,16 | C3 | S91 | 4930924,13 | 6551744,31 | C4 | S116 | 4931017,44 | 6551928,19 | C5 | S51 | 4931509,78 | 6551689,19 |
| C3 | S67 | 4931149,64 | 6551605,15 | C3 | S92 | 4930899,57 | 6551726,28 | C4 | S117 | 4930998,57 | 6551952,80 | C5 | S52 | 4931503,15 | 6551644,40 |
| C3 | S68 | 4931141,48 | 6551623,12 | C3 | S93 | 4930896,54 | 6551764,46 | C4 | S118 | 4930984,66 | 6551982,10 | C5 | S53 | 4931521,57 | 6551637,59 |
| C3 | S69 | 4931141,00 | 6551743,59 | C3 | S94 | 4930832,10 | 6551723,06 | C4 | S119 | 4930977,90 | 6552007,58 | C5 | S54 | 4931511,11 | 6551608,30 |
| C3 | S70 | 4931125,55 | 6551763,34 | C3 | S95 | 4930832,10 | 6551723,06 | C4 | S120 | 4930979,23 | 6552036,72 | C5 | S55 | 4931499,26 | 6551581,68 |
| C3 | S71 | 4931117,22 | 6551725,45 | C3 | S96 | 4930810,15 | 6551693,80 | C4 | S121 | 4930998,72 | 6552060,62 | C5 | S56 | 4931532,64 | 6551562,77 |
| C3 | S72 | 4931096,16 | 6551720,00 | C3 | S97 | 4930804,95 | 6551729,21 | C4 | S122 | 4931013,47 | 6552075,66 | C5 | S57 | 4931540,51 | 6551664,86 |
| C3 | S73 | 4931087,01 | 6551739,71 | C4 | S98 | 4931165,53 | 6551810,69 | C5 | S33 | 4931194,46 | 6551799,55 | C5 | S58 | 4931543,18 | 6551627,60 |
| C3 | S74 | 4931088,43 | 6551703,22 | C4 | S99 | 4931132,35 | 6551819,41 | C5 | S34 | 4931214,90 | 6551794,24 | C5 | S59 | 4931575,62 | 6551610,61 |
| C3 | S75 | 4931104,37 | 6551679,49 | C4 | S100 | 4931098,08 | 6551831,78 | C5 | S35 | 4931235,62 | 6551790,11 | | | | |
| C3 | S76 | 4931124,39 | 6551684,40 | C4 | S101 | 4931114,20 | 6551856,41 | C5 | S36 | 4931258,15 | 6551783,16 | | | | |
| C3 | S77 | 4931072,49 | 6551678,13 | C4 | S102 | 4931133,05 | 6551883,16 | C5 | S37 | 4931272,51 | 6551740,16 | | | | |

Prilog 6. Zemljopisne koordinate stupnih mjesta distribucijske mreže sa 6 niskonaponskih izvoda

| Izvod | Stupno mjesto | Koordinata | | Izvod | Stupno mjesto | Koordinata | | Izvod | Stupno mjesto | Koordinata | | Izvod | Stupno mjesto | Koordinata | |
|-------|---------------|------------|------------|-------|---------------|------------|------------|-------|---------------|------------|------------|-------|---------------|------------|------------|
| | | X | Y | | | X | Y | | | X | Y | | | X | Y |
| C1 | S168 | 4931157,26 | 6551804,59 | C1 | S176 | 4930993,61 | 6551961,45 | C1 | S184 | 4930866,14 | 6552055,09 | C1 | S192 | 4930711,49 | 6552020,85 |
| C1 | S169 | 4931130,05 | 6551813,10 | C1 | S177 | 4930985,90 | 6551992,31 | C1 | S185 | 4930841,89 | 6552066,91 | C1 | S193 | 4930676,09 | 6552022,37 |
| C1 | S170 | 4931104,12 | 6551821,99 | C1 | S178 | 4930968,53 | 6552022,54 | C1 | S186 | 4930816,24 | 6552059,17 | C2 | S1 | 4931189,10 | 6551808,23 |
| C1 | S171 | 4931082,81 | 6551833,51 | C1 | S179 | 4930949,23 | 6552041,70 | C1 | S187 | 4930793,02 | 6552039,58 | C2 | S2 | 4931157,03 | 6551811,23 |
| C1 | S172 | 4931066,15 | 6551850,76 | C1 | S180 | 4930923,58 | 6552064,93 | C1 | S188 | 4930760,27 | 6552039,53 | C2 | S3 | 4931210,33 | 6551823,71 |
| C1 | S173 | 4931041,07 | 6551880,83 | C1 | S181 | 4930905,79 | 6552095,03 | C1 | S189 | 4930727,46 | 6552047,65 | C2 | S4 | 4931226,23 | 6551843,10 |
| C1 | S174 | 4931024,03 | 6551904,01 | C1 | S182 | 4930883,62 | 6552096,37 | C1 | S190 | 4930694,83 | 6552047,51 | C2 | S5 | 4931240,11 | 6551830,81 |
| C1 | S175 | 4931010,92 | 6551932,76 | C1 | S183 | 4930857,58 | 6552085,01 | C1 | S191 | 4930668,37 | 6552070,32 | C2 | S6 | 4931209,20 | 6551850,71 |

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-----|------------|------------|----|-----|------------|------------|----|------|------------|------------|----|------|------------|------------|
| C2 | S7 | 4931187,34 | 6551866,21 | C3 | S48 | 4931286,40 | 6551692,78 | C4 | S89 | 4931402,73 | 6551626,73 | C5 | S130 | 4930955,83 | 6551648,98 |
| C2 | S8 | 4931165,38 | 6551886,55 | C3 | S49 | 4931253,80 | 6551695,28 | C4 | S90 | 4931410,74 | 6551600,15 | C5 | S131 | 4930956,23 | 6551720,38 |
| C2 | S9 | 4931165,07 | 6551771,35 | C3 | S50 | 4931270,46 | 6551666,71 | C4 | S91 | 4931432,66 | 6551594,27 | C5 | S132 | 4930940,50 | 6551701,21 |
| C2 | S10 | 4931137,93 | 6551785,11 | C3 | S51 | 4931267,81 | 6551637,34 | C4 | S92 | 4931452,05 | 6551585,00 | C5 | S133 | 4930927,31 | 6551683,45 |
| C2 | S11 | 4931123,99 | 6551797,74 | C3 | S52 | 4931244,34 | 6551618,36 | C4 | S93 | 4931440,98 | 6551646,97 | C5 | S134 | 4930927,77 | 6551726,64 |
| C2 | S12 | 4931104,25 | 6551804,65 | C3 | S53 | 4931215,93 | 6551603,16 | C4 | S94 | 4931465,57 | 6551645,54 | C5 | S135 | 4930897,32 | 6551732,40 |
| C2 | S13 | 4931083,55 | 6551798,46 | C3 | S54 | 4931304,79 | 6551680,14 | C4 | S95 | 4931441,38 | 6551678,93 | C5 | S136 | 4930898,12 | 6551705,94 |
| C2 | S14 | 4931054,52 | 6551806,02 | C3 | S55 | 4931280,84 | 6551657,86 | C4 | S96 | 4931444,94 | 6551706,67 | C5 | S137 | 4930871,63 | 6551736,04 |
| C2 | S15 | 4931124,44 | 6551822,26 | C3 | S56 | 4931303,35 | 6551652,09 | C4 | S97 | 4931464,29 | 6551704,92 | C5 | S138 | 4930843,83 | 6551727,90 |
| C2 | S16 | 4931102,02 | 6551844,52 | C3 | S57 | 4931316,04 | 6551648,43 | C4 | S98 | 4931459,58 | 6551739,07 | C5 | S139 | 4930820,83 | 6551707,27 |
| C2 | S17 | 4931146,66 | 6551752,52 | C3 | S58 | 4931278,99 | 6551634,01 | C4 | S99 | 4931495,85 | 6551646,44 | C5 | S140 | 4930808,91 | 6551687,66 |
| C2 | S18 | 4931122,80 | 6551754,81 | C3 | S59 | 4931301,06 | 6551623,43 | C4 | S100 | 4931490,46 | 6551617,10 | C5 | S141 | 4930797,49 | 6551716,31 |
| C2 | S19 | 4931092,45 | 6551745,30 | C3 | S60 | 4931320,88 | 6551617,67 | C4 | S101 | 4931485,84 | 6551598,49 | C6 | S142 | 4931157,23 | 6551803,37 |
| C2 | S20 | 4931135,19 | 6551728,29 | C3 | S61 | 4931329,47 | 6551677,18 | C4 | S102 | 4931501,85 | 6551579,32 | C6 | S143 | 4931130,09 | 6551811,95 |
| C2 | S21 | 4931107,72 | 6551717,17 | C3 | S62 | 4931337,67 | 6551704,62 | C4 | S103 | 4931531,32 | 6551562,30 | C6 | S144 | 4931104,10 | 6551820,94 |
| C2 | S22 | 4931106,19 | 6551691,12 | C3 | S63 | 4931358,76 | 6551671,97 | C4 | S104 | 4931471,91 | 6551668,57 | C6 | S145 | 4931082,72 | 6551832,25 |
| C2 | S23 | 4931087,43 | 6551701,49 | C3 | S64 | 4931368,31 | 6551698,09 | C4 | S105 | 4931480,11 | 6551693,10 | C6 | S146 | 4931065,09 | 6551850,11 |
| C2 | S24 | 4931186,63 | 6551751,45 | C3 | S65 | 4931378,91 | 6551696,57 | C4 | S106 | 4931501,78 | 6551685,42 | C6 | S147 | 4931073,26 | 6551881,88 |
| C2 | S25 | 4931195,03 | 6551723,05 | C3 | S66 | 4931383,18 | 6551709,90 | C4 | S107 | 4931521,78 | 6551678,24 | C6 | S148 | 4931054,50 | 6551836,80 |
| C2 | S26 | 4931205,79 | 6551755,88 | C3 | S67 | 4931382,07 | 6551667,88 | C4 | S108 | 4931515,89 | 6551640,34 | C6 | S149 | 4931040,88 | 6551879,24 |
| C2 | S27 | 4931221,72 | 6551773,69 | C3 | S68 | 4931397,79 | 6551658,74 | C4 | S109 | 4931537,93 | 6551628,36 | C6 | S150 | 4931018,20 | 6551866,08 |
| C2 | S28 | 4931240,94 | 6551782,07 | C3 | S69 | 4931317,02 | 6551707,10 | C4 | S110 | 4931549,48 | 6551649,24 | C6 | S151 | 4931001,33 | 6551840,83 |
| C2 | S29 | 4931147,48 | 6551719,63 | C3 | S70 | 4931326,79 | 6551734,70 | C4 | S111 | 4931561,03 | 6551617,10 | C6 | S152 | 4931023,03 | 6551903,94 |
| C2 | S30 | 4931145,38 | 6551692,46 | C3 | S71 | 4931338,49 | 6551757,16 | C4 | S112 | 4931580,70 | 6551608,04 | C6 | S153 | 4931006,01 | 6551886,39 |
| C2 | S31 | 4931137,57 | 6551660,64 | C3 | S72 | 4931362,13 | 6551748,33 | C5 | S113 | 4931164,69 | 6551772,43 | C6 | S154 | 4931009,83 | 6551932,80 |
| C2 | S32 | 4931116,21 | 6551640,27 | C3 | S73 | 4931345,76 | 6551779,62 | C5 | S114 | 4931146,62 | 6551753,74 | C6 | S155 | 4931045,07 | 6551931,80 |
| C2 | S33 | 4931139,25 | 6551634,47 | C3 | S74 | 4931368,49 | 6551773,45 | C5 | S115 | 4931135,14 | 6551729,70 | C6 | S156 | 4931058,88 | 6551965,49 |
| C2 | S34 | 4931144,93 | 6551613,33 | C3 | S75 | 4931385,99 | 6551768,38 | C5 | S116 | 4931107,68 | 6551718,66 | C6 | S157 | 4931080,99 | 6551957,62 |
| C2 | S35 | 4931134,36 | 6551591,72 | C3 | S76 | 4931398,68 | 6551751,48 | C5 | S117 | 4931087,42 | 6551703,07 | C6 | S158 | 4931081,21 | 6551986,31 |
| C2 | S36 | 4931167,89 | 6551590,94 | C4 | S77 | 4931211,76 | 6551794,84 | C5 | S118 | 4931073,09 | 6551677,18 | C6 | S159 | 4931042,51 | 6551986,01 |
| C2 | S37 | 4931175,37 | 6551679,31 | C4 | S78 | 4931242,96 | 6551787,45 | C5 | S119 | 4931050,93 | 6551657,03 | C6 | S160 | 4930992,82 | 6551960,87 |
| C2 | S38 | 4931162,95 | 6551642,75 | C4 | S79 | 4931261,99 | 6551771,42 | C5 | S120 | 4931052,31 | 6551627,44 | C6 | S161 | 4930984,77 | 6551992,24 |
| C2 | S39 | 4931189,99 | 6551644,30 | C4 | S80 | 4931269,91 | 6551749,06 | C5 | S121 | 4931037,04 | 6551602,82 | C6 | S162 | 4930968,34 | 6552020,85 |
| C3 | S40 | 4931211,81 | 6551796,16 | C4 | S81 | 4931278,10 | 6551723,43 | C5 | S122 | 4931056,25 | 6551595,64 | C6 | S163 | 4930979,23 | 6552035,84 |
| C3 | S41 | 4931243,06 | 6551788,68 | C4 | S82 | 4931285,02 | 6551691,87 | C5 | S123 | 4931022,14 | 6551673,23 | C6 | S164 | 4930997,41 | 6552058,81 |
| C3 | S42 | 4931262,96 | 6551771,96 | C4 | S83 | 4931304,66 | 6551678,59 | C5 | S124 | 4930995,91 | 6551692,43 | C6 | S165 | 4931012,31 | 6552076,32 |
| C3 | S43 | 4931271,22 | 6551749,58 | C4 | S84 | 4931329,43 | 6551675,84 | C5 | S125 | 4930971,32 | 6551710,01 | C6 | S166 | 4930948,09 | 6552040,62 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-----|------------|------------|----|-----|------------|------------|----|------|------------|------------|----|------|------------|------------|
| C3 | S44 | 4931301,51 | 6551756,07 | C4 | S85 | 4931357,78 | 6551670,68 | C5 | S126 | 4930980,47 | 6551744,26 | C6 | S167 | 4930944,85 | 6552071,33 |
| C3 | S45 | 4931308,27 | 6551782,04 | C4 | S86 | 4931381,30 | 6551666,45 | C5 | S127 | 4931003,57 | 6551759,94 | | | | |
| C3 | S46 | 4931279,39 | 6551722,45 | C4 | S87 | 4931396,92 | 6551657,71 | C5 | S128 | 4931007,32 | 6551789,69 | | | | |
| C3 | S47 | 4931298,17 | 6551731,61 | C4 | S88 | 4931415,67 | 6551650,81 | C5 | S129 | 4930973,75 | 6551673,19 | | | | |

Prilog 7. Zemljopisne koordinate stupnih mjesta distribucijske mreže sa 7 niskonaponskih izvoda

| Izvod | Stupno mjesto | Koordinata | | Izvod | Stupno mjesto | Koordinata | | Izvod | Stupno mjesto | Koordinata | | Izvod | Stupno mjesto | Koordinata | |
|-------|---------------|------------|------------|-------|---------------|------------|------------|-------|---------------|------------|------------|-------|---------------|------------|------------|
| | | X | Y | | | X | Y | | | X | Y | | | X | Y |
| C1 | S26 | 4931217,46 | 6551795,77 | C1 | S55 | 4931389,51 | 6551767,34 | C2 | S84 | 4931495,45 | 6551583,84 | C3 | S175 | 4931082,21 | 6551956,38 |
| C1 | S27 | 4931246,25 | 6551786,40 | C1 | S56 | 4931399,99 | 6551751,02 | C2 | S85 | 4931518,03 | 6551570,95 | C3 | S176 | 4931076,86 | 6551981,21 |
| C1 | S28 | 4931264,36 | 6551771,09 | C1 | S57 | 4931335,25 | 6551676,36 | C2 | S86 | 4931537,41 | 6551561,21 | C3 | S177 | 4931091,19 | 6551994,00 |
| C1 | S29 | 4931273,34 | 6551741,63 | C1 | S58 | 4931359,26 | 6551673,38 | C2 | S87 | 4931474,26 | 6551677,81 | C3 | S178 | 4931015,33 | 6551934,61 |
| C1 | S30 | 4931280,92 | 6551714,18 | C1 | S59 | 4931370,80 | 6551690,07 | C2 | S88 | 4931471,46 | 6551701,87 | C3 | S179 | 4930998,00 | 6551955,18 |
| C1 | S31 | 4931289,42 | 6551688,51 | C1 | S60 | 4931380,28 | 6551710,57 | C2 | S89 | 4931447,78 | 6551709,54 | C3 | S180 | 4930985,31 | 6551980,63 |
| C1 | S32 | 4931274,72 | 6551659,39 | C1 | S61 | 4931384,59 | 6551666,15 | C2 | S90 | 4931454,24 | 6551722,00 | C3 | S181 | 4930978,90 | 6552007,69 |
| C1 | S33 | 4931261,55 | 6551632,67 | C1 | S62 | 4931405,16 | 6551656,16 | C2 | S91 | 4931459,74 | 6551736,33 | C3 | S182 | 4930968,67 | 6552022,75 |
| C1 | S34 | 4931237,49 | 6551620,97 | C1 | S63 | 4931367,70 | 6551648,98 | C2 | S92 | 4931494,88 | 6551693,44 | C3 | S183 | 4930980,93 | 6552037,68 |
| C1 | S35 | 4931277,15 | 6551635,14 | C1 | S64 | 4931383,42 | 6551627,75 | C2 | S93 | 4931510,13 | 6551688,12 | C3 | S184 | 4930997,07 | 6552058,13 |
| C1 | S36 | 4931295,76 | 6551624,83 | C2 | S65 | 4931217,54 | 6551794,56 | C2 | S94 | 4931515,93 | 6551640,00 | C3 | S185 | 4931015,27 | 6552076,04 |
| C1 | S37 | 4931310,72 | 6551618,89 | C2 | S66 | 4931246,29 | 6551785,29 | C2 | S95 | 4931527,67 | 6551659,11 | C3 | S186 | 4930948,42 | 6552041,51 |
| C1 | S38 | 4931323,44 | 6551617,65 | C2 | S67 | 4931263,13 | 6551770,78 | C2 | S96 | 4931540,93 | 6551675,86 | C3 | S187 | 4930927,83 | 6552062,26 |
| C1 | S39 | 4931293,59 | 6551654,65 | C2 | S68 | 4931272,11 | 6551741,61 | C2 | S97 | 4931536,86 | 6551628,55 | C3 | S188 | 4930903,90 | 6552082,25 |
| C1 | S40 | 4931314,69 | 6551647,57 | C2 | S69 | 4931279,92 | 6551714,20 | C2 | S98 | 4931551,31 | 6551644,07 | C3 | S189 | 4930903,23 | 6552110,91 |
| C1 | S41 | 4931305,51 | 6551681,28 | C2 | S70 | 4931288,33 | 6551687,45 | C2 | S99 | 4931559,73 | 6551617,70 | C3 | S190 | 4930884,42 | 6552067,09 |
| C1 | S42 | 4931313,30 | 6551707,53 | C2 | S71 | 4931305,56 | 6551680,02 | C2 | S100 | 4931580,20 | 6551608,41 | C3 | S191 | 4930866,99 | 6552050,54 |
| C1 | S43 | 4931322,21 | 6551735,95 | C2 | S72 | 4931335,25 | 6551674,99 | C3 | S166 | 4931111,90 | 6551827,64 | C4 | S192 | 4931156,09 | 6551804,74 |
| C1 | S44 | 4931304,85 | 6551742,03 | C2 | S73 | 4931359,25 | 6551672,16 | C3 | S167 | 4931092,22 | 6551837,46 | C4 | S193 | 4931127,20 | 6551814,36 |
| C1 | S45 | 4931295,29 | 6551760,79 | C2 | S74 | 4931384,56 | 6551664,78 | C3 | S163 | 4931174,13 | 6551808,59 | C4 | S194 | 4931100,86 | 6551823,67 |
| C1 | S46 | 4931317,57 | 6551692,58 | C2 | S75 | 4931405,13 | 6551654,79 | C3 | S164 | 4931157,12 | 6551813,22 | C4 | S195 | 4931092,21 | 6551836,32 |
| C1 | S47 | 4931324,65 | 6551715,35 | C2 | S76 | 4931427,02 | 6551647,69 | C3 | S165 | 4931133,41 | 6551819,17 | C4 | S196 | 4931073,83 | 6551851,45 |
| C1 | S48 | 4931331,80 | 6551735,41 | C2 | S77 | 4931450,16 | 6551643,62 | C3 | S168 | 4931074,33 | 6551852,37 | C4 | S197 | 4931058,67 | 6551868,72 |
| C1 | S49 | 4931348,56 | 6551729,76 | C2 | S78 | 4931433,23 | 6551618,04 | C3 | S169 | 4931059,20 | 6551869,71 | C4 | S198 | 4931043,05 | 6551886,13 |
| C1 | S50 | 4931362,62 | 6551725,64 | C2 | S79 | 4931433,08 | 6551593,21 | C3 | S170 | 4931043,56 | 6551886,97 | C4 | S199 | 4931027,02 | 6551912,38 |
| C1 | S51 | 4931339,90 | 6551761,05 | C2 | S80 | 4931454,66 | 6551584,59 | C3 | S171 | 4931028,01 | 6551913,17 | C4 | S200 | 4931014,06 | 6551933,77 |
| C1 | S52 | 4931363,35 | 6551754,83 | C2 | S81 | 4931470,93 | 6551646,70 | C3 | S172 | 4931048,52 | 6551936,78 | C4 | S201 | 4930996,91 | 6551954,36 |
| C1 | S53 | 4931345,79 | 6551779,96 | C2 | S82 | 4931496,61 | 6551644,79 | C3 | S173 | 4931058,06 | 6551964,45 | C4 | S202 | 4930983,93 | 6551981,10 |
| C1 | S54 | 4931367,86 | 6551773,48 | C2 | S83 | 4931489,73 | 6551614,38 | C3 | S174 | 4931040,72 | 6551987,38 | C4 | S203 | 4930978,44 | 6552006,21 |

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------------|------------|----|------|------------|------------|----|------|------------|------------|----|------|------------|------------|
| C4 | S204 | 4930967,89 | 6552021,22 | C5 | S10 | 4931147,32 | 6551774,08 | C6 | S144 | 4931025,47 | 6551834,84 | C7 | S108 | 4931135,45 | 6551592,43 |
| C4 | S205 | 4930948,21 | 6552039,77 | C5 | S11 | 4931135,18 | 6551787,94 | C6 | S145 | 4931012,85 | 6551814,64 | C7 | S109 | 4931169,92 | 6551645,69 |
| C4 | S206 | 4930927,26 | 6552060,91 | C5 | S12 | 4931133,69 | 6551753,88 | C6 | S146 | 4930988,00 | 6551813,89 | C7 | S110 | 4931172,41 | 6551622,73 |
| C4 | S207 | 4930902,20 | 6552082,16 | C5 | S13 | 4931133,36 | 6551820,16 | C6 | S147 | 4931056,25 | 6551837,69 | C7 | S111 | 4931197,08 | 6551625,60 |
| C4 | S208 | 4930870,62 | 6552094,80 | C5 | S14 | 4931140,73 | 6551834,66 | C6 | S148 | 4931064,32 | 6551852,96 | C7 | S112 | 4931139,08 | 6551711,72 |
| C4 | S209 | 4930848,13 | 6552072,87 | C5 | S15 | 4931199,09 | 6551788,43 | C6 | S149 | 4931067,72 | 6551884,56 | C7 | S113 | 4931112,82 | 6551724,02 |
| C4 | S210 | 4930819,80 | 6552056,93 | C5 | S16 | 4931206,56 | 6551756,68 | C6 | S150 | 4931037,44 | 6551854,33 | C7 | S114 | 4931112,40 | 6551699,39 |
| C4 | S211 | 4930795,88 | 6552039,60 | C5 | S17 | 4931196,56 | 6551731,09 | C6 | S151 | 4931013,56 | 6551877,25 | C7 | S115 | 4931112,35 | 6551668,60 |
| C4 | S212 | 4930767,64 | 6552039,27 | C5 | S18 | 4931207,87 | 6551697,95 | C6 | S152 | 4930993,92 | 6551902,89 | C7 | S116 | 4931097,69 | 6551681,18 |
| C4 | S213 | 4930745,16 | 6552038,05 | C5 | S19 | 4931231,10 | 6551698,92 | C6 | S153 | 4930968,36 | 6551789,48 | C7 | S117 | 4931071,40 | 6551672,08 |
| C4 | S214 | 4930726,22 | 6552048,18 | C5 | S20 | 4931219,04 | 6551801,73 | C6 | S154 | 4930948,67 | 6551762,84 | C7 | S118 | 4931070,13 | 6551701,47 |
| C4 | S215 | 4930730,02 | 6552019,80 | C5 | S21 | 4931238,06 | 6551796,13 | C6 | S155 | 4930920,88 | 6551748,09 | C7 | S119 | 4931066,32 | 6551724,57 |
| C4 | S216 | 4930710,28 | 6552011,17 | C5 | S22 | 4931257,85 | 6551782,69 | C6 | S156 | 4930898,86 | 6551728,31 | C7 | S120 | 4931085,99 | 6551640,84 |
| C4 | S217 | 4930691,78 | 6552017,85 | C5 | S23 | 4931278,95 | 6551803,75 | C6 | S157 | 4930867,58 | 6551728,44 | C7 | S121 | 4931077,68 | 6551605,64 |
| C4 | S218 | 4930674,89 | 6552034,29 | C5 | S24 | 4931238,87 | 6551763,09 | C6 | S158 | 4930839,13 | 6551714,22 | C7 | S122 | 4931056,73 | 6551593,91 |
| C4 | S219 | 4930656,89 | 6552027,87 | C5 | S25 | 4931238,28 | 6551739,29 | C6 | S159 | 4930822,06 | 6551695,97 | C7 | S123 | 4931035,11 | 6551589,89 |
| C4 | S220 | 4930658,01 | 6552050,62 | C6 | S134 | 4931156,06 | 6551803,54 | C6 | S160 | 4930803,94 | 6551685,87 | C7 | S124 | 4931050,86 | 6551657,89 |
| C5 | S1 | 4931197,95 | 6551806,27 | C6 | S135 | 4931127,14 | 6551813,16 | C6 | S161 | 4930814,98 | 6551711,74 | C7 | S125 | 4931022,80 | 6551672,78 |
| C5 | S2 | 4931174,65 | 6551809,60 | C6 | S136 | 4931100,12 | 6551823,36 | C6 | S162 | 4930794,15 | 6551711,38 | C7 | S126 | 4930999,77 | 6551691,44 |
| C5 | S3 | 4931157,09 | 6551814,24 | C6 | S137 | 4931103,63 | 6551852,12 | C7 | S101 | 4931173,86 | 6551761,88 | C7 | S127 | 4930973,48 | 6551672,43 |
| C5 | S4 | 4931212,58 | 6551828,65 | C6 | S138 | 4931093,42 | 6551869,92 | C7 | S102 | 4931166,26 | 6551728,02 | C7 | S128 | 4930950,79 | 6551645,08 |
| C5 | S5 | 4931186,35 | 6551849,96 | C6 | S139 | 4931081,97 | 6551814,16 | C7 | S103 | 4931155,07 | 6551700,81 | C7 | S129 | 4930967,46 | 6551695,75 |
| C5 | S6 | 4931173,92 | 6551882,00 | C6 | S140 | 4931083,59 | 6551789,89 | C7 | S104 | 4931151,70 | 6551670,60 | C7 | S130 | 4930943,94 | 6551675,91 |
| C5 | S7 | 4931228,77 | 6551841,77 | C6 | S141 | 4931057,75 | 6551816,05 | C7 | S105 | 4931135,88 | 6551648,56 | C7 | S131 | 4930946,47 | 6551713,09 |
| C5 | S8 | 4931218,62 | 6551851,92 | C6 | S142 | 4931051,03 | 6551791,22 | C7 | S106 | 4931141,97 | 6551623,83 | C7 | S132 | 4930928,01 | 6551710,76 |
| C5 | S9 | 4931176,81 | 6551781,06 | C6 | S143 | 4931033,08 | 6551825,63 | C7 | S107 | 4931151,32 | 6551594,26 | C7 | S133 | 4930913,61 | 6551692,93 |

Prilog 8. Zemljopisne koordinate stupnih mjesta distribucijske mreže sa 8 niskonaponskih izvoda

| Izvod | Stupno mjesto | Koordinata | | Izvod | Stupno mjesto | Koordinata | | Izvod | Stupno mjesto | Koordinata | | Izvod | Stupno mjesto | Koordinata | |
|-------|---------------|------------|------------|-------|---------------|------------|------------|-------|---------------|------------|------------|-------|---------------|------------|------------|
| | | X | Y | | | X | Y | | | X | Y | | | X | Y |
| C1 | S1 | 4931170,52 | 6551810,41 | C1 | S8 | 4931220,60 | 6551851,05 | C1 | S15 | 4931270,60 | 6551748,41 | C2 | S22 | 4931233,42 | 6551791,32 |
| C1 | S2 | 4931159,75 | 6551822,71 | C1 | S9 | 4931233,06 | 6551837,57 | C1 | S16 | 4931217,70 | 6551772,57 | C2 | S23 | 4931255,97 | 6551783,18 |
| C1 | S3 | 4931145,20 | 6551807,34 | C1 | S10 | 4931217,67 | 6551800,77 | C1 | S17 | 4931206,07 | 6551742,71 | C2 | S24 | 4931262,98 | 6551768,86 |
| C1 | S4 | 4931136,80 | 6551787,41 | C1 | S11 | 4931242,91 | 6551795,39 | C1 | S18 | 4931186,11 | 6551756,35 | C2 | S25 | 4931269,82 | 6551748,43 |
| C1 | S5 | 4931189,98 | 6551807,98 | C1 | S12 | 4931259,67 | 6551787,70 | C1 | S19 | 4931220,14 | 6551726,30 | C2 | S26 | 4931279,41 | 6551724,75 |
| C1 | S6 | 4931206,28 | 6551821,20 | C1 | S13 | 4931286,82 | 6551792,62 | C1 | S20 | 4931235,56 | 6551709,64 | C2 | S27 | 4931285,76 | 6551697,96 |
| C1 | S7 | 4931218,77 | 6551835,25 | C1 | S14 | 4931263,76 | 6551768,87 | C2 | S21 | 4931209,88 | 6551796,78 | C2 | S28 | 4931285,11 | 6551672,70 |

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------------|------------|----|------|------------|------------|----|------|------------|------------|----|------|------------|------------|
| C2 | S29 | 4931261,79 | 6551658,34 | C3 | S182 | 4931044,99 | 6551885,49 | C4 | S112 | 4931222,75 | 6551667,70 | C5 | S170 | 4931015,24 | 6551819,34 |
| C2 | S30 | 4931291,98 | 6551653,95 | C3 | S183 | 4931029,14 | 6551911,60 | C4 | S113 | 4931192,05 | 6551638,29 | C5 | S171 | 4930996,20 | 6551832,61 |
| C2 | S31 | 4931314,19 | 6551648,13 | C3 | S184 | 4931047,23 | 6551934,62 | C4 | S114 | 4931200,83 | 6551618,28 | C5 | S172 | 4931037,76 | 6551883,42 |
| C2 | S32 | 4931282,54 | 6551631,57 | C3 | S185 | 4931053,94 | 6551963,41 | C4 | S115 | 4931182,64 | 6551710,37 | C5 | S173 | 4931020,88 | 6551870,20 |
| C2 | S33 | 4931302,38 | 6551621,91 | C3 | S186 | 4931039,12 | 6551988,05 | C4 | S116 | 4931133,65 | 6551678,88 | C5 | S174 | 4931005,49 | 6551887,01 |
| C2 | S34 | 4931322,21 | 6551619,46 | C3 | S187 | 4931078,18 | 6551982,54 | C4 | S117 | 4931135,35 | 6551648,83 | C5 | S175 | 4930999,43 | 6551898,85 |
| C2 | S35 | 4931304,70 | 6551680,59 | C3 | S188 | 4931092,36 | 6551994,43 | C4 | S118 | 4931142,35 | 6551623,90 | C6 | S130 | 4931169,75 | 6551768,89 |
| C2 | S36 | 4931313,25 | 6551709,08 | C3 | S189 | 4931013,74 | 6551935,78 | C4 | S119 | 4931122,81 | 6551618,19 | C6 | S131 | 4931151,87 | 6551752,85 |
| C2 | S37 | 4931326,13 | 6551712,74 | C3 | S190 | 4931000,18 | 6551952,44 | C4 | S120 | 4931109,29 | 6551590,71 | C6 | S132 | 4931127,53 | 6551756,20 |
| C2 | S38 | 4931322,36 | 6551734,11 | C3 | S191 | 4930985,67 | 6551972,09 | C4 | S121 | 4931088,04 | 6551585,78 | C6 | S133 | 4931110,00 | 6551751,16 |
| C2 | S39 | 4931326,89 | 6551678,77 | C3 | S192 | 4930982,28 | 6552001,79 | C4 | S122 | 4931153,72 | 6551594,48 | C6 | S134 | 4931089,19 | 6551744,13 |
| C2 | S40 | 4931349,58 | 6551674,72 | C3 | S193 | 4930968,41 | 6552021,70 | C4 | S123 | 4931115,71 | 6551667,01 | C6 | S135 | 4931077,82 | 6551725,28 |
| C2 | S41 | 4931314,11 | 6551709,88 | C3 | S194 | 4930981,06 | 6552037,75 | C4 | S124 | 4931094,87 | 6551654,86 | C6 | S136 | 4931053,49 | 6551718,78 |
| C2 | S42 | 4931324,99 | 6551713,26 | C3 | S195 | 4930998,27 | 6552059,87 | C4 | S125 | 4931068,21 | 6551641,52 | C6 | S137 | 4931027,79 | 6551703,74 |
| C2 | S43 | 4931331,59 | 6551734,84 | C3 | S196 | 4931013,15 | 6552075,61 | C4 | S126 | 4931050,08 | 6551657,47 | C6 | S138 | 4930997,28 | 6551694,21 |
| C2 | S44 | 4931346,91 | 6551730,03 | C3 | S197 | 4930947,16 | 6552041,91 | C4 | S127 | 4931050,50 | 6551618,57 | C6 | S139 | 4930974,30 | 6551673,07 |
| C2 | S45 | 4931361,03 | 6551725,46 | C3 | S198 | 4930945,58 | 6552071,31 | C4 | S128 | 4931035,12 | 6551598,16 | C6 | S140 | 4930956,21 | 6551647,75 |
| C2 | S46 | 4931339,63 | 6551760,76 | C3 | S199 | 4930926,54 | 6552062,91 | C4 | S129 | 4931084,99 | 6551672,94 | C6 | S141 | 4930966,79 | 6551688,99 |
| C2 | S47 | 4931345,05 | 6551778,82 | C3 | S200 | 4930904,32 | 6552081,96 | C5 | S151 | 4931156,14 | 6551804,69 | C6 | S142 | 4930938,32 | 6551693,90 |
| C2 | S48 | 4931369,20 | 6551773,45 | C3 | S201 | 4930902,82 | 6552111,14 | C5 | S152 | 4931130,37 | 6551812,56 | C6 | S143 | 4930924,51 | 6551682,89 |
| C2 | S49 | 4931388,71 | 6551767,09 | C3 | S202 | 4930885,97 | 6552065,88 | C5 | S153 | 4931127,58 | 6551837,88 | C6 | S144 | 4930900,85 | 6551701,39 |
| C2 | S50 | 4931393,06 | 6551745,91 | C3 | S203 | 4930866,62 | 6552049,88 | C5 | S154 | 4931103,55 | 6551821,43 | C6 | S145 | 4930900,80 | 6551731,66 |
| C2 | S51 | 4931414,54 | 6551750,15 | C4 | S97 | 4931170,60 | 6551768,09 | C5 | S155 | 4931109,71 | 6551794,04 | C6 | S146 | 4930871,37 | 6551699,26 |
| C2 | S52 | 4931442,60 | 6551743,48 | C4 | S98 | 4931151,82 | 6551751,97 | C5 | S156 | 4931095,83 | 6551769,66 | C6 | S147 | 4930846,35 | 6551710,65 |
| C2 | S53 | 4931351,52 | 6551703,43 | C4 | S99 | 4931127,51 | 6551755,28 | C5 | S157 | 4931082,87 | 6551833,25 | C6 | S148 | 4930816,38 | 6551711,52 |
| C2 | S54 | 4931377,85 | 6551666,22 | C4 | S100 | 4931110,00 | 6551750,36 | C5 | S158 | 4931090,51 | 6551862,25 | C6 | S149 | 4930807,92 | 6551685,82 |
| C2 | S55 | 4931372,75 | 6551641,55 | C4 | S101 | 4931089,19 | 6551743,36 | C5 | S159 | 4931106,70 | 6551882,23 | C6 | S150 | 4930793,25 | 6551711,31 |
| C2 | S56 | 4931394,01 | 6551628,33 | C4 | S102 | 4931077,82 | 6551724,23 | C5 | S160 | 4931092,38 | 6551903,79 | C7 | S204 | 4931166,56 | 6551809,76 |
| C2 | S57 | 4931399,09 | 6551674,08 | C4 | S103 | 4931135,21 | 6551729,71 | C5 | S161 | 4931094,23 | 6551936,07 | C7 | S205 | 4931148,34 | 6551812,72 |
| C2 | S58 | 4931418,63 | 6551690,79 | C4 | S104 | 4931139,28 | 6551710,85 | C5 | S162 | 4931127,76 | 6551883,47 | C7 | S206 | 4931128,32 | 6551820,01 |
| C2 | S59 | 4931398,42 | 6551700,02 | C4 | S105 | 4931116,39 | 6551719,35 | C5 | S163 | 4931140,81 | 6551901,70 | C7 | S207 | 4931103,28 | 6551829,46 |
| C3 | S176 | 4931166,60 | 6551810,59 | C4 | S106 | 4931100,17 | 6551709,42 | C5 | S164 | 4931064,51 | 6551852,48 | C7 | S208 | 4931080,82 | 6551844,85 |
| C3 | S177 | 4931148,32 | 6551813,54 | C4 | S107 | 4931167,53 | 6551740,49 | C5 | S165 | 4931051,09 | 6551828,09 | C7 | S209 | 4931059,70 | 6551867,83 |
| C3 | S178 | 4931128,32 | 6551821,01 | C4 | S108 | 4931163,82 | 6551714,56 | C5 | S166 | 4931039,01 | 6551809,38 | C7 | S210 | 4931044,14 | 6551884,76 |
| C3 | S179 | 4931103,23 | 6551830,41 | C4 | S109 | 4931157,78 | 6551690,81 | C5 | S167 | 4931033,40 | 6551783,30 | C7 | S211 | 4931028,30 | 6551910,87 |
| C3 | S180 | 4931081,52 | 6551845,68 | C4 | S110 | 4931173,70 | 6551673,26 | C5 | S168 | 4931048,78 | 6551869,47 | C7 | S212 | 4931012,88 | 6551935,01 |
| C3 | S181 | 4931060,53 | 6551868,51 | C4 | S111 | 4931194,50 | 6551662,95 | C5 | S169 | 4931032,67 | 6551845,66 | C7 | S213 | 4930999,02 | 6551952,33 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------------|------------|----|------|------------|------------|----|-----|------------|------------|----|-----|------------|------------|
| C7 | S214 | 4930984,54 | 6551972,45 | C7 | S229 | 4930729,25 | 6552019,67 | C8 | S69 | 4931349,60 | 6551673,87 | C8 | S84 | 4931473,63 | 6551671,22 |
| C7 | S215 | 4930981,67 | 6552000,58 | C7 | S230 | 4930708,74 | 6552008,23 | C8 | S70 | 4931378,16 | 6551665,15 | C8 | S85 | 4931479,91 | 6551692,82 |
| C7 | S216 | 4930967,59 | 6552020,92 | C7 | S231 | 4930690,91 | 6552016,52 | C8 | S71 | 4931400,84 | 6551657,04 | C8 | S86 | 4931465,43 | 6551707,65 |
| C7 | S217 | 4930947,10 | 6552040,80 | C7 | S232 | 4930673,83 | 6552038,96 | C8 | S72 | 4931422,83 | 6551648,92 | C8 | S87 | 4931474,45 | 6551731,55 |
| C7 | S218 | 4930926,09 | 6552061,84 | C7 | S233 | 4930656,09 | 6552026,74 | C8 | S73 | 4931423,00 | 6551620,49 | C8 | S88 | 4931500,36 | 6551691,53 |
| C7 | S219 | 4930903,05 | 6552081,94 | C7 | S234 | 4930659,73 | 6552055,42 | C8 | S74 | 4931433,21 | 6551594,58 | C8 | S89 | 4931524,56 | 6551683,81 |
| C7 | S220 | 4930885,02 | 6552066,50 | C8 | S60 | 4931209,89 | 6551795,63 | C8 | S75 | 4931453,20 | 6551583,91 | C8 | S90 | 4931515,88 | 6551640,13 |
| C7 | S221 | 4930857,85 | 6552075,33 | C8 | S61 | 4931233,43 | 6551790,35 | C8 | S76 | 4931443,43 | 6551643,22 | C8 | S91 | 4931527,55 | 6551646,68 |
| C7 | S222 | 4930834,60 | 6552062,04 | C8 | S62 | 4931254,95 | 6551782,42 | C8 | S77 | 4931465,61 | 6551644,51 | C8 | S92 | 4931540,90 | 6551663,11 |
| C7 | S223 | 4930810,53 | 6552058,77 | C8 | S63 | 4931262,11 | 6551768,87 | C8 | S78 | 4931496,72 | 6551645,62 | C8 | S93 | 4931537,56 | 6551628,28 |
| C7 | S224 | 4930794,64 | 6552038,71 | C8 | S64 | 4931269,03 | 6551748,45 | C8 | S79 | 4931490,86 | 6551616,77 | C8 | S94 | 4931552,13 | 6551642,72 |
| C7 | S225 | 4930767,38 | 6552039,48 | C8 | S65 | 4931278,43 | 6551725,08 | C8 | S80 | 4931486,17 | 6551596,45 | C8 | S95 | 4931559,32 | 6551618,47 |
| C7 | S226 | 4930744,46 | 6552037,39 | C8 | S66 | 4931285,24 | 6551696,47 | C8 | S81 | 4931500,00 | 6551578,67 | C8 | S96 | 4931580,58 | 6551608,12 |
| C7 | S227 | 4930727,75 | 6552046,84 | C8 | S67 | 4931304,73 | 6551679,55 | C8 | S82 | 4931523,61 | 6551568,91 | | | | |
| C7 | S228 | 4930706,78 | 6552038,08 | C8 | S68 | 4931326,94 | 6551677,85 | C8 | S83 | 4931540,96 | 6551556,04 | | | | |

Prilog 9. Duljine i presjeci dionica distribucijske mreže sa 5 niskonaponskih izvoda

| Izvod | Dionica | Duljina (m) | Presjek (mm ²) | Izvod | Dionica | Duljina (m) | Presjek (mm ²) | Izvod | Dionica | Duljina (m) | Presjek (mm ²) | Izvod | Dionica | Duljina (m) | Presjek (mm ²) | Izvod | Dionica | Duljina (m) | Presjek (mm ²) |
|-------|---------|-------------|----------------------------|-------|---------|-------------|----------------------------|-------|---------|-------------|----------------------------|-------|---------|-------------|----------------------------|-------|---------|-------------|----------------------------|
| C1 | TS-S1 | 12,81 | 70 | C1 | S6-122 | 19,03 | 16 | C1 | S5-S12 | 24,88 | 70 | C1 | S18-92 | 8,90 | 16 | C1 | S23-72 | 24,17 | 16 |
| C1 | S1-137 | 38,28 | 16 | C1 | S6-126 | 18,33 | 16 | C1 | S12-S13 | 29,26 | 35 | C1 | S18-S19 | 46,96 | 70 | C1 | S23-77 | 10,66 | 16 |
| C1 | S1-S2 | 21,41 | 35 | C1 | S6-S7 | 32,69 | 35 | C1 | S13-97 | 24,84 | 16 | C1 | S19-87 | 13,58 | 16 | C1 | S23-81 | 9,79 | 16 |
| C1 | S2-132 | 11,35 | 16 | C1 | S7-133 | 13,39 | 16 | C1 | S13-101 | 34,77 | 16 | C1 | S17-S20 | 22,75 | 35 | C1 | S19-S24 | 23,26 | 35 |
| C1 | S2-136 | 8,42 | 16 | C1 | S7-139 | 30,82 | 16 | C1 | S13-113 | 20,90 | 16 | C1 | S20-79 | 17,76 | 16 | C1 | S24-69 | 14,47 | 16 |
| C1 | S2-135 | 10,83 | 16 | C1 | S6-S8 | 32,06 | 35 | C1 | S13-118 | 29,31 | 16 | C1 | S20-80 | 17,49 | 16 | C1 | S24-71 | 14,66 | 16 |
| C1 | S2-141 | 15,32 | 16 | C1 | S8-108 | 17,31 | 16 | C1 | S12-106 | 16,34 | 16 | C1 | S20-82 | 14,72 | 16 | C1 | S24-76 | 9,00 | 16 |
| C1 | S2-S3 | 27,89 | 35 | C1 | S8-110 | 14,73 | 16 | C1 | S12-S14 | 48,01 | 70 | C1 | S20-84 | 12,85 | 16 | C1 | S24-78 | 12,61 | 16 |
| C1 | S3-129 | 12,18 | 16 | C1 | S8-117 | 15,75 | 16 | C1 | S14-103 | 15,29 | 16 | C1 | S20-S21 | 26,26 | 35 | C1 | S24-S25 | 17,80 | 35 |
| C1 | S3-124 | 13,94 | 16 | C1 | S7-S9 | 32,03 | 35 | C1 | S14-105 | 24,91 | 16 | C1 | S21-73 | 8,32 | 16 | C1 | S25-62 | 12,83 | 16 |
| C1 | S3-128 | 22,71 | 16 | C1 | S9-123 | 15,96 | 16 | C1 | S14-S15 | 49,43 | 70 | C1 | S21-74 | 9,59 | 16 | C1 | S25-63 | 16,64 | 16 |
| C1 | S3-121 | 18,72 | 16 | C1 | S9-S10 | 23,38 | 35 | C1 | S15-96 | 18,63 | 16 | C1 | S21-S22 | 13,06 | 35 | C1 | S25-66 | 12,18 | 16 |
| C1 | S3-120 | 18,14 | 16 | C1 | S10-109 | 29,02 | 16 | C1 | S15-102 | 19,41 | 16 | C1 | S22-60 | 25,04 | 16 | C1 | S22-S26 | 39,26 | 35 |
| C1 | S1-S4 | 24,81 | 70 | C1 | S10-112 | 31,44 | 16 | C1 | S15-S16 | 22,18 | 70 | C1 | S22-61 | 16,07 | 16 | C1 | S26-52 | 33,34 | 16 |
| C1 | S4-130 | 11,61 | 16 | C1 | S10-115 | 17,01 | 16 | C1 | S16-S17 | 30,83 | 70 | C1 | S22-64 | 17,19 | 16 | C1 | S26-54 | 18,59 | 16 |
| C1 | S4-125 | 14,37 | 16 | C1 | S10-S11 | 34,20 | 35 | C1 | S17-93 | 9,71 | 16 | C1 | S22-68 | 25,45 | 16 | C1 | S26-55 | 18,14 | 16 |
| C1 | S4-S5 | 17,27 | 70 | C1 | S11-127 | 29,58 | 16 | C1 | S17-S18 | 27,47 | 70 | C1 | S18-S23 | 26,48 | 35 | C1 | S26-57 | 25,12 | 16 |
| C1 | S5-S6 | 40,41 | 35 | C1 | S11-134 | 39,53 | 16 | C1 | S18-90 | 9,44 | 16 | C1 | S23-70 | 24,29 | 16 | C1 | S26-67 | 13,31 | 16 |

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-----------|-------|----|----|-----------|-------|----|----|---------|-------|----|----|---------|-------|----|----|-----------|-------|----|
| C1 | S16-S27 | 29,96 | 35 | C2 | S135-S136 | 26,46 | 35 | C3 | S61-169 | 26,24 | 16 | C3 | S74-S75 | 28,63 | 35 | C3 | S88-242 | 30,87 | 16 |
| C1 | S27-S28 | 23,60 | 35 | C2 | S136-249 | 12,58 | 16 | C3 | S60-S62 | 36,81 | 35 | C3 | S75-178 | 32,29 | 16 | C3 | S87-S89 | 34,48 | 70 |
| C1 | S28-104 | 19,52 | 16 | C2 | S136-S137 | 27,36 | 35 | C3 | S62-142 | 24,37 | 16 | C3 | S75-180 | 11,15 | 16 | C3 | S89-S90 | 34,40 | 35 |
| C1 | S28-107 | 18,02 | 16 | C2 | S137-250 | 16,67 | 16 | C3 | S62-S63 | 37,07 | 35 | C3 | S75-S76 | 20,55 | 35 | C3 | S90-243 | 16,01 | 16 |
| C1 | S28-S29 | 26,21 | 35 | C2 | S137-251 | 22,09 | 16 | C3 | S63-151 | 18,18 | 16 | C3 | S76-161 | 21,01 | 16 | C3 | S90-244 | 28,36 | 16 |
| C1 | S29-94 | 17,23 | 16 | C2 | S135-S138 | 36,83 | 70 | C3 | S63-S64 | 13,38 | 35 | C3 | S76-167 | 19,60 | 16 | C3 | S90-247 | 21,67 | 16 |
| C1 | S29-95 | 12,18 | 16 | C2 | S138-S139 | 40,75 | 70 | C3 | S64-140 | 27,27 | 16 | C3 | S74-181 | 12,00 | 16 | C3 | S89-S91 | 24,56 | 70 |
| C1 | S29-99 | 10,27 | 16 | C2 | S139-254 | 20,02 | 16 | C3 | S64-S65 | 34,62 | 35 | C3 | S74-187 | 16,45 | 16 | C3 | S91-S92 | 30,40 | 35 |
| C1 | S29-100 | 13,11 | 16 | C2 | S139-S140 | 38,78 | 70 | C3 | S65-146 | 17,80 | 16 | C3 | S74-190 | 18,72 | 16 | C3 | S92-246 | 19,87 | 16 |
| C1 | S29-S30 | 26,10 | 35 | C2 | S140-256 | 31,10 | 16 | C3 | S65-S66 | 29,24 | 35 | C3 | S74-193 | 12,68 | 16 | C3 | S92-248 | 24,06 | 16 |
| C1 | S30-83 | 13,10 | 16 | C2 | S140-S141 | 33,67 | 70 | C3 | S66-138 | 22,41 | 16 | C3 | S74-S77 | 29,77 | 70 | C3 | S91-S93 | 34,10 | 35 |
| C1 | S30-85 | 13,75 | 16 | C2 | S141-259 | 11,99 | 16 | C3 | S66-144 | 14,79 | 16 | C3 | S77-S78 | 35,08 | 35 | C3 | S93-S94 | 42,43 | 35 |
| C1 | S30-89 | 18,97 | 16 | C2 | S141-S142 | 25,82 | 70 | C3 | S66-145 | 14,00 | 16 | C3 | S78-S79 | 37,10 | 35 | C3 | S94-S95 | 34,17 | 35 |
| C1 | S30-S31 | 39,20 | 35 | C2 | S142-S143 | 32,47 | 35 | C3 | S66-S67 | 32,69 | 35 | C3 | S79-198 | 20,66 | 16 | C3 | S95-252 | 25,00 | 16 |
| C1 | S31-65 | 30,32 | 16 | C2 | S143-260 | 19,54 | 16 | C3 | S67-154 | 37,21 | 16 | C3 | S79-204 | 26,58 | 16 | C3 | S95-S96 | 36,48 | 35 |
| C1 | S31-75 | 17,08 | 16 | C2 | S143-262 | 20,18 | 16 | C3 | S67-158 | 20,61 | 16 | C3 | S77-S80 | 29,52 | 70 | C3 | S96-253 | 17,14 | 16 |
| C1 | S27-S32 | 22,86 | 35 | C2 | S143-S144 | 22,17 | 35 | C3 | S67-170 | 30,00 | 16 | C3 | S80-199 | 15,99 | 16 | C3 | S96-255 | 12,12 | 16 |
| C1 | S32-86 | 20,21 | 16 | C2 | S144-263 | 22,21 | 16 | C3 | S67-S68 | 19,69 | 35 | C3 | S80-203 | 12,56 | 16 | C3 | S96-257 | 20,86 | 16 |
| C1 | S32-88 | 15,76 | 16 | C2 | S144-265 | 16,18 | 16 | C3 | S68-163 | 11,01 | 16 | C3 | S80-205 | 20,43 | 16 | C3 | S95-S97 | 27,93 | 35 |
| C1 | S32-91 | 13,18 | 16 | C2 | S144-S145 | 17,34 | 35 | C3 | S68-164 | 13,58 | 16 | C3 | S80-S81 | 33,30 | 35 | C3 | S97-258 | 22,77 | 16 |
| C1 | S32-98 | 16,42 | 16 | C2 | S145-264 | 16,28 | 16 | C3 | S68-172 | 24,21 | 16 | C3 | S81-S82 | 34,74 | 35 | C4 | TS-S98 | 24,09 | 70 |
| C2 | TS-S123 | 24,09 | 70 | C2 | S145-267 | 18,27 | 16 | C3 | S60-S69 | 30,51 | 70 | C3 | S82-197 | 24,96 | 16 | C4 | S98-147 | 22,31 | 16 |
| C2 | S123-S124 | 34,25 | 70 | C2 | S142-S146 | 36,13 | 35 | C3 | S69-155 | 13,22 | 16 | C3 | S82-210 | 24,05 | 16 | C4 | S98-148 | 21,83 | 16 |
| C2 | S124-S125 | 36,41 | 70 | C2 | S146-261 | 14,17 | 16 | C3 | S69-159 | 19,49 | 16 | C3 | S82-213 | 23,93 | 16 | C4 | S98-150 | 23,42 | 16 |
| C2 | S125-S126 | 26,73 | 70 | C2 | S146-S147 | 22,53 | 35 | C3 | S69-S70 | 25,10 | 35 | C3 | S80-S83 | 35,51 | 70 | C4 | S98-S99 | 34,25 | 70 |
| C2 | S126-S127 | 27,42 | 70 | C2 | S147-266 | 13,37 | 16 | C3 | S70-166 | 14,52 | 16 | C3 | S83-S84 | 34,51 | 70 | C4 | S99-153 | 28,89 | 16 |
| C2 | S127-S128 | 41,26 | 70 | C2 | S147-S148 | 27,41 | 35 | C3 | S70-176 | 16,07 | 16 | C3 | S84-S85 | 27,44 | 35 | C4 | S99-157 | 15,35 | 16 |
| C2 | S128-S129 | 31,25 | 70 | C2 | S148-268 | 7,77 | 16 | C3 | S69-S71 | 29,87 | 70 | C3 | S85-230 | 19,68 | 16 | C4 | S99-160 | 26,49 | 16 |
| C2 | S129-S130 | 30,98 | 70 | C2 | S148-269 | 16,84 | 16 | C3 | S71-165 | 15,32 | 16 | C3 | S85-232 | 9,79 | 16 | C4 | S99-S100 | 36,41 | 70 |
| C2 | S130-S131 | 32,32 | 70 | C2 | S148-S149 | 31,59 | 35 | C3 | S71-168 | 19,55 | 16 | C3 | S85-S86 | 31,59 | 35 | C4 | S100-174 | 30,56 | 16 |
| C2 | S131-S132 | 26,40 | 70 | C2 | S149-270 | 21,28 | 16 | C3 | S71-171 | 15,25 | 16 | C3 | S86-235 | 18,31 | 16 | C4 | S100-179 | 34,49 | 16 |
| C2 | S132-S133 | 39,75 | 70 | C3 | TS-S60 | 37,88 | 70 | C3 | S71-175 | 17,07 | 16 | C3 | S86-237 | 10,37 | 16 | C4 | S100-183 | 19,67 | 16 |
| C2 | S133-241 | 15,92 | 16 | C3 | S60-143 | 22,67 | 16 | C3 | S71-S72 | 21,66 | 70 | C3 | S86-238 | 29,62 | 16 | C4 | S100-S101 | 29,51 | 35 |
| C2 | S133-S134 | 35,02 | 70 | C3 | S60-S61 | 29,05 | 35 | C3 | S72-S73 | 21,76 | 35 | C3 | S84-S87 | 27,54 | 70 | C4 | S101-173 | 12,81 | 16 |
| C2 | S134-239 | 29,91 | 16 | C3 | S61-149 | 24,47 | 16 | C3 | S73-182 | 12,92 | 16 | C3 | S87-S88 | 28,05 | 35 | C4 | S101-177 | 12,08 | 16 |
| C2 | S134-S135 | 36,42 | 70 | C3 | S61-156 | 17,87 | 16 | C3 | S73-188 | 20,90 | 16 | C3 | S88-236 | 11,44 | 16 | C4 | S101-S102 | 32,67 | 35 |
| C2 | S135-245 | 35,99 | 16 | C3 | S61-162 | 25,08 | 16 | C3 | S72-S74 | 18,50 | 70 | C3 | S88-240 | 15,59 | 16 | C4 | S102-152 | 30,13 | 16 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-----------|-------|----|----|-----------|-------|----|----|-----------|-------|----|----|---------|-------|----|----|---------|-------|----|
| C4 | S102-S103 | 26,59 | 35 | C4 | S111-224 | 22,73 | 16 | C4 | S121-S122 | 21,07 | 35 | C5 | S47-41 | 21,90 | 16 | C5 | S52-29 | 20,97 | 16 |
| C4 | S103-S104 | 29,79 | 35 | C4 | S111-226 | 16,63 | 16 | C4 | S122-215 | 19,32 | 16 | C5 | S47-46 | 19,51 | 16 | C5 | S52-S53 | 19,63 | 70 |
| C4 | S104-131 | 24,53 | 16 | C4 | S110-S112 | 41,65 | 35 | C5 | TS-S33 | 12,81 | 70 | C5 | S47-S48 | 27,93 | 35 | C5 | S53-S54 | 31,07 | 35 |
| C4 | S100-S105 | 26,73 | 70 | C4 | S112-S113 | 35,91 | 35 | C5 | S33-S34 | 24,81 | 70 | C5 | S48-47 | 29,02 | 16 | C5 | S54-9 | 29,60 | 16 |
| C4 | S105-192 | 15,06 | 16 | C4 | S113-184 | 14,72 | 16 | C5 | S34-S35 | 17,27 | 70 | C5 | S48-S49 | 30,11 | 35 | C5 | S54-14 | 18,77 | 16 |
| C4 | S105-195 | 23,89 | 16 | C4 | S113-185 | 24,06 | 16 | C5 | S35-S36 | 24,88 | 70 | C5 | S49-35 | 11,30 | 16 | C5 | S54-S55 | 29,16 | 35 |
| C4 | S105-S106 | 27,42 | 70 | C4 | S113-191 | 11,55 | 16 | C5 | S36-S37 | 48,01 | 70 | C5 | S49-37 | 18,59 | 16 | C5 | S55-19 | 32,84 | 16 |
| C4 | S106-S107 | 18,90 | 35 | C4 | S112-S114 | 41,33 | 35 | C5 | S37-S38 | 49,43 | 70 | C5 | S49-42 | 25,21 | 16 | C5 | S55-23 | 14,99 | 16 |
| C4 | S107-186 | 21,23 | 16 | C4 | S114-200 | 21,66 | 16 | C5 | S38-S39 | 22,18 | 70 | C5 | S49-43 | 21,81 | 16 | C5 | S55-28 | 24,27 | 16 |
| C4 | S107-194 | 15,56 | 16 | C4 | S114-206 | 33,64 | 16 | C5 | S39-S40 | 45,33 | 70 | C5 | S48-S50 | 17,40 | 35 | C5 | S55-32 | 20,28 | 16 |
| C4 | S107-202 | 23,56 | 16 | C4 | S114-S115 | 34,88 | 35 | C5 | S40-S41 | 42,69 | 70 | C5 | S50-27 | 13,96 | 16 | C5 | S55-40 | 42,00 | 16 |
| C4 | S106-S108 | 26,35 | 35 | C4 | S115-189 | 26,54 | 16 | C5 | S41-53 | 17,10 | 16 | C5 | S50-33 | 11,26 | 16 | C5 | S55-S56 | 38,37 | 35 |
| C4 | S108-201 | 17,86 | 16 | C4 | S115-196 | 15,07 | 16 | C5 | S41-56 | 24,38 | 16 | C5 | S50-S51 | 29,51 | 35 | C5 | S56-7 | 21,57 | 16 |
| C4 | S108-207 | 21,39 | 16 | C4 | S110-S116 | 31,25 | 70 | C5 | S41-58 | 21,19 | 16 | C5 | S51-15 | 17,16 | 16 | C5 | S56-12 | 20,25 | 16 |
| C4 | S108-208 | 11,51 | 16 | C4 | S116-S117 | 30,98 | 70 | C5 | S41-S42 | 26,42 | 70 | C5 | S51-20 | 8,18 | 16 | C5 | S56-16 | 12,97 | 16 |
| C4 | S108-211 | 14,06 | 16 | C4 | S117-218 | 20,23 | 16 | C5 | S42-S43 | 24,76 | 35 | C5 | S51-21 | 8,91 | 16 | C5 | S53-S57 | 33,12 | 35 |
| C4 | S108-212 | 11,92 | 16 | C4 | S117-225 | 18,75 | 16 | C5 | S43-48 | 18,53 | 16 | C5 | S51-22 | 10,84 | 16 | C5 | S57-6 | 15,82 | 16 |
| C4 | S108-S109 | 40,98 | 35 | C4 | S117-S118 | 32,32 | 35 | C5 | S43-51 | 17,86 | 16 | C5 | S50-30 | 17,27 | 16 | C5 | S57-11 | 27,51 | 16 |
| C4 | S109-209 | 17,68 | 16 | C4 | S118-231 | 23,50 | 16 | C5 | S43-59 | 23,66 | 16 | C5 | S51-25 | 15,32 | 16 | C5 | S57-13 | 12,70 | 16 |
| C4 | S109-216 | 25,87 | 16 | C4 | S118-S119 | 26,40 | 35 | C5 | S42-S44 | 28,57 | 70 | C5 | S46-31 | 24,52 | 16 | C5 | S53-S58 | 23,80 | 35 |
| C4 | S109-217 | 10,85 | 16 | C4 | S119-222 | 19,32 | 16 | C5 | S44-S45 | 42,71 | 35 | C5 | S46-34 | 18,94 | 16 | C5 | S58-4 | 31,89 | 16 |
| C4 | S109-221 | 20,59 | 16 | C4 | S119-233 | 15,90 | 16 | C5 | S45-44 | 28,34 | 16 | C5 | S46-36 | 16,70 | 16 | C5 | S58-5 | 17,37 | 16 |
| C4 | S109-228 | 31,60 | 16 | C4 | S119-S120 | 29,15 | 35 | C5 | S45-45 | 13,29 | 16 | C5 | S46-39 | 22,79 | 16 | C5 | S58-8 | 18,24 | 16 |
| C4 | S106-S110 | 41,26 | 70 | C4 | S120-223 | 14,42 | 16 | C5 | S45-49 | 19,99 | 16 | C5 | S46-S52 | 36,15 | 70 | C5 | S58-10 | 14,98 | 16 |
| C4 | S110-S111 | 29,99 | 35 | C4 | S120-229 | 12,72 | 16 | C5 | S45-50 | 5,40 | 16 | C5 | S52-17 | 14,67 | 16 | C5 | S58-S59 | 36,48 | 35 |
| C4 | S111-214 | 20,65 | 16 | C4 | S120-234 | 15,28 | 16 | C5 | S44-S46 | 24,34 | 70 | C5 | S52-18 | 29,88 | 16 | C5 | S59-1 | 16,86 | 16 |
| C4 | S111-219 | 13,15 | 16 | C4 | S120-S121 | 30,89 | 35 | C5 | S46-S47 | 31,25 | 35 | C5 | S52-24 | 19,17 | 16 | C5 | S59-2 | 17,55 | 16 |
| C4 | S111-220 | 23,83 | 16 | C4 | S121-227 | 9,93 | 16 | C5 | S47-38 | 19,21 | 16 | C5 | S52-26 | 13,78 | 16 | C5 | S59-3 | 18,46 | 16 |

Prilog 10. Duljine i presjeci dionica distribucijske mreže sa 6 niskonaponskih izvoda

| Izvod | Dionica | Duljina (m) | Presjek (mm ²) | Izvod | Dionica | Duljina (m) | Presjek (mm ²) | Izvod | Dionica | Duljina (m) | Presjek (mm ²) | Izvod | Dionica | Duljina (m) | Presjek (mm ²) | Izvod | Dionica | Duljina (m) | Presjek (mm ²) |
|-------|-----------|-------------|----------------------------|-------|-----------|-------------|----------------------------|-------|-----------|-------------|----------------------------|-------|-----------|-------------|----------------------------|-------|-----------|-------------|----------------------------|
| C1 | TS-S168 | 27,05 | 70 | C1 | S172-S173 | 37,93 | 70 | C1 | S177-S178 | 33,00 | 70 | C1 | S181-S182 | 22,14 | 70 | C1 | S184-251 | 13,79 | 16 |
| C1 | S168-S169 | 28,46 | 70 | C1 | S173-S174 | 30,40 | 70 | C1 | S178-S179 | 28,23 | 70 | C1 | S182-249 | 17,78 | 16 | C1 | S183-S185 | 23,95 | 70 |
| C1 | S169-S170 | 27,64 | 70 | C1 | S174-S175 | 31,75 | 70 | C1 | S179-S180 | 34,48 | 70 | C1 | S182-S183 | 28,44 | 70 | C1 | S185-S186 | 26,93 | 70 |
| C1 | S170-S171 | 24,04 | 70 | C1 | S175-S176 | 32,85 | 70 | C1 | S180-S181 | 35,07 | 70 | C1 | S183-S184 | 31,25 | 35 | C1 | S186-254 | 24,94 | 16 |
| C1 | S171-S172 | 25,09 | 70 | C1 | S176-S177 | 32,35 | 70 | C1 | S181-245 | 33,51 | 16 | C1 | S184-250 | 18,64 | 16 | C1 | S186-S187 | 30,32 | 70 |

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-----------|-------|----|----|---------|-------|----|----|---------|-------|----|----|---------|-------|----|----|---------|-------|----|
| C1 | S187-256 | 24,24 | 16 | C2 | S4-S6 | 18,57 | 35 | C2 | S19-182 | 11,63 | 16 | C2 | S32-172 | 21,60 | 16 | C3 | S46-S47 | 20,92 | 35 |
| C1 | S187-259 | 18,04 | 16 | C2 | S6-129 | 9,90 | 16 | C2 | S19-188 | 15,51 | 16 | C2 | S32-178 | 12,74 | 16 | C3 | S47-92 | 16,65 | 16 |
| C1 | S187-S188 | 32,72 | 70 | C2 | S6-131 | 7,65 | 16 | C2 | S19-198 | 24,77 | 16 | C2 | S31-S33 | 26,24 | 35 | C3 | S47-93 | 17,11 | 16 |
| C1 | S188-S189 | 33,74 | 70 | C2 | S6-S7 | 26,77 | 35 | C2 | S17-S20 | 26,79 | 35 | C2 | S33-164 | 8,14 | 16 | C3 | S47-103 | 12,80 | 16 |
| C1 | S189-260 | 16,45 | 16 | C2 | S7-S8 | 30,01 | 35 | C2 | S20-159 | 8,89 | 16 | C2 | S33-S34 | 21,89 | 35 | C3 | S46-S48 | 30,46 | 70 |
| C1 | S189-261 | 12,32 | 16 | C2 | S8-152 | 17,33 | 16 | C2 | S20-161 | 27,51 | 16 | C2 | S34-163 | 10,22 | 16 | C3 | S48-96 | 18,74 | 16 |
| C1 | S189-S190 | 32,73 | 35 | C2 | TS-S9 | 28,34 | 70 | C2 | S20-165 | 9,34 | 16 | C2 | S34-S35 | 24,09 | 35 | C3 | S48-102 | 19,18 | 16 |
| C1 | S190-264 | 15,01 | 16 | C2 | S9-149 | 16,48 | 16 | C2 | S20-S21 | 29,63 | 35 | C2 | S35-158 | 12,53 | 16 | C3 | S48-S49 | 32,61 | 35 |
| C1 | S190-266 | 15,80 | 16 | C2 | S9-S10 | 30,53 | 35 | C2 | S21-171 | 13,07 | 16 | C2 | S35-170 | 13,04 | 16 | C3 | S49-117 | 12,65 | 16 |
| C1 | S190-S191 | 34,91 | 35 | C2 | S10-156 | 16,67 | 16 | C2 | S21-S22 | 26,20 | 35 | C2 | S35-S36 | 31,93 | 35 | C3 | S49-123 | 27,52 | 16 |
| C1 | S191-268 | 9,59 | 16 | C2 | S10-162 | 15,94 | 16 | C2 | S22-180 | 22,74 | 16 | C2 | S36-145 | 22,18 | 16 | C3 | S48-S50 | 30,61 | 35 |
| C1 | S191-269 | 14,31 | 16 | C2 | S10-166 | 11,95 | 16 | C2 | S22-181 | 10,02 | 16 | C2 | S36-154 | 26,75 | 16 | C3 | S50-109 | 16,43 | 16 |
| C1 | S189-S192 | 31,30 | 35 | C2 | S10-S11 | 18,78 | 35 | C2 | S21-S23 | 25,61 | 35 | C2 | S30-S37 | 32,70 | 35 | C3 | S50-115 | 15,82 | 16 |
| C1 | S192-262 | 27,62 | 16 | C2 | S11-169 | 7,60 | 16 | C2 | S23-187 | 15,04 | 16 | C2 | S37-140 | 21,49 | 16 | C3 | S50-S51 | 29,52 | 35 |
| C1 | S192-263 | 24,99 | 16 | C2 | S11-174 | 12,23 | 16 | C2 | S23-190 | 16,98 | 16 | C2 | S37-151 | 16,17 | 16 | C3 | S51-107 | 18,51 | 16 |
| C1 | S192-265 | 20,38 | 16 | C2 | S11-S12 | 20,87 | 35 | C2 | S23-193 | 13,47 | 16 | C2 | S31-S38 | 30,91 | 35 | C3 | S51-112 | 14,81 | 16 |
| C1 | S192-S193 | 35,39 | 35 | C2 | S12-179 | 7,13 | 16 | C2 | S9-S24 | 29,31 | 35 | C2 | S38-S39 | 27,21 | 35 | C3 | S51-S52 | 30,12 | 35 |
| C1 | S193-267 | 16,98 | 16 | C2 | S12-183 | 9,72 | 16 | C2 | S24-142 | 10,29 | 16 | C2 | S39-134 | 15,56 | 16 | C3 | S52-S53 | 32,11 | 35 |
| C1 | S193-270 | 25,63 | 16 | C2 | S12-S13 | 21,51 | 35 | C2 | S24-S25 | 29,62 | 35 | C2 | S39-144 | 11,48 | 16 | C3 | S53-127 | 20,23 | 16 |
| C2 | TS-S1 | 15,90 | 35 | C2 | S13-S14 | 30,09 | 35 | C2 | S25-133 | 13,70 | 16 | C2 | S39-146 | 14,48 | 16 | C3 | S53-138 | 19,82 | 16 |
| C2 | S1-141 | 12,58 | 16 | C2 | S14-195 | 29,38 | 16 | C2 | S25-139 | 15,82 | 16 | C3 | TS-S40 | 29,39 | 70 | C3 | S48-S54 | 22,37 | 70 |
| C2 | S1-147 | 20,79 | 16 | C2 | S14-204 | 33,94 | 16 | C2 | S24-S26 | 19,62 | 35 | C3 | S40-S41 | 32,14 | 70 | C3 | S48-S55 | 35,34 | 35 |
| C2 | S1-S2 | 32,08 | 35 | C2 | S14-209 | 24,04 | 16 | C2 | S26-126 | 18,52 | 16 | C3 | S41-S42 | 26,02 | 70 | C3 | S55-S56 | 23,29 | 35 |
| C2 | S2-148 | 24,52 | 16 | C2 | S11-S15 | 24,53 | 35 | C2 | S26-137 | 10,14 | 16 | C3 | S42-105 | 19,18 | 16 | C3 | S56-98 | 11,48 | 16 |
| C2 | S2-150 | 24,08 | 16 | C2 | S15-157 | 22,11 | 16 | C2 | S26-S27 | 23,90 | 35 | C3 | S42-106 | 14,22 | 16 | C3 | S56-S57 | 13,17 | 35 |
| C2 | S2-153 | 27,29 | 16 | C2 | S15-160 | 27,65 | 16 | C2 | S27-122 | 11,47 | 16 | C3 | S42-S43 | 23,68 | 70 | C3 | S57-86 | 12,86 | 16 |
| C2 | S1-S3 | 26,31 | 35 | C2 | S15-S16 | 31,64 | 35 | C2 | S27-125 | 11,54 | 16 | C3 | S43-111 | 19,13 | 16 | C3 | S57-88 | 8,28 | 16 |
| C2 | S3-132 | 15,69 | 16 | C2 | S16-173 | 14,96 | 16 | C2 | S27-130 | 16,27 | 16 | C3 | S43-114 | 13,87 | 16 | C3 | S57-91 | 10,44 | 16 |
| C2 | S3-135 | 10,43 | 16 | C2 | S16-177 | 23,78 | 16 | C2 | S27-S28 | 21,03 | 35 | C3 | S43-S44 | 31,03 | 35 | C3 | S55-S58 | 23,93 | 35 |
| C2 | S3-136 | 11,62 | 16 | C2 | S9-143 | 19,74 | 16 | C2 | S28-113 | 26,62 | 16 | C3 | S44-90 | 20,26 | 16 | C3 | S58-104 | 16,15 | 16 |
| C2 | S3-S4 | 25,03 | 35 | C2 | S9-S17 | 26,29 | 70 | C2 | S28-116 | 22,71 | 16 | C3 | S44-S45 | 26,79 | 35 | C3 | S58-S59 | 24,54 | 35 |
| C2 | S4-121 | 14,41 | 16 | C2 | S17-155 | 15,15 | 16 | C2 | S28-119 | 9,39 | 16 | C3 | S45-87 | 20,54 | 16 | C3 | S59-94 | 15,59 | 16 |
| C2 | S4-128 | 19,81 | 16 | C2 | S17-S18 | 23,98 | 35 | C2 | S17-S29 | 32,96 | 70 | C3 | S45-97 | 20,59 | 16 | C3 | S59-95 | 10,97 | 16 |
| C2 | S4-S5 | 18,65 | 35 | C2 | S18-168 | 12,78 | 16 | C2 | S29-S30 | 27,23 | 70 | C3 | S45-101 | 13,28 | 16 | C3 | S59-99 | 10,99 | 16 |
| C2 | S5-118 | 21,55 | 16 | C2 | S18-175 | 17,00 | 16 | C2 | S30-S31 | 32,77 | 70 | C3 | S43-S46 | 28,48 | 70 | C3 | S59-100 | 12,47 | 16 |
| C2 | S5-120 | 9,51 | 16 | C2 | S18-176 | 13,91 | 16 | C2 | S31-167 | 11,22 | 16 | C3 | S46-108 | 12,46 | 16 | C3 | S59-S60 | 20,59 | 35 |
| C2 | S5-124 | 13,49 | 16 | C2 | S18-S19 | 31,98 | 35 | C2 | S31-S32 | 29,52 | 35 | C3 | S46-110 | 17,29 | 16 | C3 | S60-83 | 16,59 | 16 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---------|-------|----|----|---------|-------|----|----|-----------|-------|----|----|-----------|-------|----|----|-----------|-------|----|
| C3 | S60-85 | 12,72 | 16 | C3 | S73-S74 | 23,55 | 35 | C4 | S93-S94 | 24,73 | 70 | C4 | S106-20 | 15,28 | 16 | C5 | S120-S121 | 28,95 | 35 |
| C3 | S60-89 | 16,08 | 16 | C3 | S74-69 | 10,68 | 16 | C4 | S94-34 | 19,57 | 16 | C4 | S106-21 | 14,43 | 16 | C5 | S121-210 | 11,12 | 16 |
| C3 | S54-S61 | 24,73 | 70 | C3 | S74-71 | 11,26 | 16 | C4 | S94-36 | 16,93 | 16 | C4 | S106-22 | 14,15 | 16 | C5 | S121-213 | 15,04 | 16 |
| C3 | S61-S62 | 28,57 | 35 | C3 | S74-S75 | 18,25 | 35 | C4 | S94-38 | 14,59 | 16 | C4 | S106-25 | 8,39 | 16 | C5 | S120-S122 | 32,02 | 35 |
| C3 | S62-79 | 16,82 | 16 | C3 | S75-62 | 10,83 | 16 | C4 | S94-39 | 22,08 | 16 | C4 | S106-S107 | 21,20 | 35 | C5 | S122-197 | 22,33 | 16 |
| C3 | S62-80 | 15,87 | 16 | C3 | S75-63 | 12,31 | 16 | C4 | S94-41 | 16,53 | 16 | C4 | S107-11 | 21,98 | 16 | C5 | S119-S123 | 33,12 | 70 |
| C3 | S62-82 | 15,39 | 16 | C3 | S75-66 | 12,07 | 16 | C4 | S93-S95 | 31,97 | 35 | C4 | S107-13 | 12,41 | 16 | C5 | S123-S124 | 32,46 | 70 |
| C3 | S62-84 | 13,13 | 16 | C3 | S75-S76 | 21,10 | 35 | C4 | S95-S96 | 27,98 | 35 | C4 | S107-15 | 18,71 | 16 | C5 | S124-S125 | 30,29 | 70 |
| C3 | S61-S63 | 29,84 | 70 | C3 | S76-52 | 16,46 | 16 | C4 | S96-47 | 11,39 | 16 | C4 | S107-18 | 9,27 | 16 | C5 | S125-S126 | 35,36 | 35 |
| C3 | S63-75 | 20,31 | 16 | C3 | S76-54 | 16,24 | 16 | C4 | S96-S97 | 19,44 | 35 | C4 | S99-S108 | 21,00 | 70 | C5 | S126-S127 | 27,89 | 35 |
| C3 | S63-S64 | 27,85 | 35 | C3 | S76-55 | 19,03 | 16 | C4 | S97-33 | 16,61 | 16 | C4 | S108-17 | 12,72 | 16 | C5 | S127-S128 | 30,01 | 35 |
| C3 | S64-72 | 16,63 | 16 | C4 | TS-S77 | 29,39 | 70 | C4 | S97-37 | 11,99 | 16 | C4 | S108-14 | 18,49 | 16 | C5 | S128-216 | 12,38 | 16 |
| C3 | S64-73 | 12,69 | 16 | C4 | S77-S78 | 32,14 | 70 | C4 | S96-S98 | 35,51 | 35 | C4 | S108-S109 | 25,13 | 35 | C5 | S128-221 | 13,72 | 16 |
| C3 | S64-74 | 8,76 | 16 | C4 | S78-S79 | 26,02 | 70 | C4 | S98-35 | 15,71 | 16 | C4 | S109-9 | 13,20 | 16 | C5 | S124-S129 | 29,38 | 35 |
| C3 | S64-S65 | 10,69 | 35 | C4 | S79-S80 | 23,68 | 70 | C4 | S98-42 | 14,47 | 16 | C4 | S109-10 | 14,08 | 16 | C5 | S129-230 | 16,83 | 16 |
| C3 | S65-64 | 11,27 | 16 | C4 | S80-S81 | 28,48 | 70 | C4 | S98-43 | 13,26 | 16 | C4 | S109-14 | 14,77 | 16 | C5 | S129-232 | 8,72 | 16 |
| C3 | S65-68 | 21,24 | 16 | C4 | S81-S82 | 30,46 | 70 | C4 | S94-S99 | 30,19 | 70 | C4 | S109-S110 | 23,81 | 35 | C5 | S129-S130 | 30,09 | 35 |
| C3 | S65-S66 | 14,03 | 35 | C4 | S82-S83 | 22,37 | 70 | C4 | S99-26 | 11,47 | 16 | C4 | S110-4 | 15,39 | 16 | C5 | S130-235 | 16,48 | 16 |
| C3 | S66-57 | 13,92 | 16 | C4 | S83-S84 | 24,73 | 70 | C4 | S99-S100 | 29,85 | 35 | C4 | S110-6 | 20,55 | 16 | C5 | S130-237 | 10,00 | 16 |
| C3 | S66-61 | 14,25 | 16 | C4 | S84-S85 | 29,84 | 70 | C4 | S100-29 | 13,26 | 16 | C4 | S110-8 | 8,54 | 16 | C5 | S130-238 | 27,33 | 16 |
| C3 | S63-S67 | 23,73 | 35 | C4 | S85-S86 | 23,73 | 70 | C4 | S100-S101 | 19,17 | 35 | C4 | S109-S111 | 25,67 | 35 | C5 | S125-S131 | 18,34 | 70 |
| C3 | S67-60 | 19,07 | 16 | C4 | S86-S87 | 18,06 | 70 | C4 | S101-32 | 10,71 | 16 | C4 | S111-3 | 18,90 | 16 | C5 | S131-S132 | 24,82 | 35 |
| C3 | S67-65 | 13,51 | 16 | C4 | S87-S88 | 19,95 | 70 | C4 | S101-S102 | 24,92 | 35 | C4 | S111-5 | 16,33 | 16 | C5 | S132-236 | 12,70 | 16 |
| C3 | S67-S68 | 18,06 | 35 | C4 | S88-S89 | 27,26 | 35 | C4 | S102-19 | 31,68 | 16 | C4 | S111-S112 | 21,62 | 35 | C5 | S132-S133 | 22,08 | 35 |
| C3 | S68-53 | 12,29 | 16 | C4 | S89-56 | 14,11 | 16 | C4 | S102-23 | 11,79 | 16 | C4 | S112-1 | 17,01 | 16 | C5 | S133-240 | 11,99 | 16 |
| C3 | S68-58 | 18,14 | 16 | C4 | S89-59 | 17,75 | 16 | C4 | S102-28 | 22,89 | 16 | C4 | S112-2 | 19,67 | 16 | C5 | S133-242 | 17,38 | 16 |
| C3 | S54-S69 | 29,60 | 35 | C4 | S89-S90 | 27,76 | 35 | C4 | S102-S103 | 34,06 | 35 | C5 | TS-S113 | 28,34 | 70 | C5 | S133-243 | 10,76 | 16 |
| C3 | S69-S70 | 29,29 | 35 | C4 | S90-51 | 15,31 | 16 | C4 | S103-7 | 22,65 | 16 | C5 | S113-S114 | 26,29 | 70 | C5 | S133-244 | 12,08 | 16 |
| C3 | S70-S71 | 25,34 | 35 | C4 | S90-S91 | 22,73 | 35 | C4 | S103-12 | 20,10 | 16 | C5 | S114-S115 | 26,79 | 70 | C5 | S131-S134 | 29,04 | 70 |
| C3 | S71-81 | 18,42 | 16 | C4 | S91-45 | 14,91 | 16 | C4 | S103-16 | 11,58 | 16 | C5 | S115-S116 | 29,63 | 70 | C5 | S134-S135 | 31,02 | 70 |
| C3 | S71-S72 | 25,18 | 35 | C4 | S91-49 | 11,15 | 16 | C4 | S94-S104 | 23,87 | 35 | C5 | S116-S117 | 25,61 | 70 | C5 | S135-246 | 14,19 | 16 |
| C3 | S72-67 | 15,54 | 16 | C4 | S91-50 | 12,36 | 16 | C4 | S104-31 | 15,38 | 16 | C5 | S117-S118 | 29,65 | 70 | C5 | S135-S136 | 26,46 | 35 |
| C3 | S72-70 | 21,00 | 16 | C4 | S91-S92 | 21,47 | 35 | C4 | S104-46 | 24,30 | 16 | C5 | S118-S119 | 29,96 | 70 | C5 | S136-247 | 13,59 | 16 |
| C3 | S72-77 | 16,22 | 16 | C4 | S92-40 | 18,15 | 16 | C4 | S104-S105 | 25,84 | 35 | C5 | S119-199 | 17,94 | 16 | C5 | S136-248 | 10,94 | 16 |
| C3 | S71-S73 | 23,63 | 35 | C4 | S92-44 | 10,40 | 16 | C4 | S105-27 | 17,98 | 16 | C5 | S119-203 | 12,02 | 16 | C5 | S135-S137 | 25,84 | 35 |
| C3 | S73-76 | 13,54 | 16 | C4 | S88-S93 | 25,59 | 70 | C4 | S105-30 | 12,61 | 16 | C5 | S119-205 | 19,04 | 16 | C5 | S137-S138 | 29,06 | 35 |
| C3 | S73-78 | 16,37 | 16 | C4 | S93-48 | 19,41 | 16 | C4 | S105-S106 | 22,97 | 35 | C5 | S119-S120 | 29,56 | 35 | C5 | S138-S139 | 30,80 | 35 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-----------|-------|----|----|-----------|-------|----|----|-----------|-------|----|----|-----------|-------|----|----|-----------|-------|----|
| C5 | S139-252 | 17,94 | 16 | C6 | S147-192 | 20,41 | 16 | C6 | S149-S152 | 30,40 | 70 | C6 | S156-S158 | 30,63 | 35 | C6 | S162-S163 | 18,59 | 35 |
| C5 | S139-S140 | 23,02 | 35 | C6 | S147-194 | 15,53 | 16 | C6 | S152-S153 | 24,45 | 35 | C6 | S158-185 | 13,25 | 16 | C6 | S163-223 | 14,50 | 16 |
| C5 | S140-253 | 15,80 | 16 | C6 | S146-S148 | 16,95 | 35 | C6 | S153-214 | 17,36 | 16 | C6 | S158-189 | 19,95 | 16 | C6 | S163-229 | 13,54 | 16 |
| C5 | S140-255 | 14,28 | 16 | C6 | S148-201 | 15,14 | 16 | C6 | S153-219 | 19,18 | 16 | C6 | S158-196 | 14,14 | 16 | C6 | S163-S164 | 29,34 | 35 |
| C5 | S140-257 | 15,65 | 16 | C6 | S148-207 | 14,73 | 16 | C6 | S153-220 | 16,83 | 16 | C6 | S156-S159 | 26,20 | 35 | C6 | S164-227 | 9,38 | 16 |
| C5 | S139-S141 | 25,16 | 35 | C6 | S146-S149 | 37,93 | 70 | C6 | S153-226 | 16,90 | 16 | C6 | S159-200 | 15,12 | 16 | C6 | S164-S165 | 23,02 | 35 |
| C5 | S141-258 | 13,28 | 16 | C6 | S149-208 | 14,20 | 16 | C6 | S152-S154 | 31,75 | 70 | C6 | S159-206 | 26,00 | 16 | C6 | S165-215 | 19,13 | 16 |
| C6 | TS-S142 | 27,05 | 70 | C6 | S149-S150 | 26,20 | 35 | C6 | S154-224 | 27,14 | 16 | C6 | S154-S160 | 32,85 | 70 | C6 | S162-S166 | 28,23 | 35 |
| C6 | S142-S143 | 28,46 | 70 | C6 | S150-211 | 20,85 | 16 | C6 | S154-225 | 20,59 | 16 | C6 | S160-218 | 22,27 | 16 | C6 | S166-234 | 15,94 | 16 |
| C6 | S143-S144 | 27,64 | 70 | C6 | S150-212 | 13,99 | 16 | C6 | S152-S155 | 35,56 | 35 | C6 | S160-231 | 23,29 | 16 | C6 | S166-241 | 15,63 | 16 |
| C6 | S144-S145 | 24,04 | 70 | C6 | S150-S151 | 30,52 | 35 | C6 | S155-S156 | 36,26 | 35 | C6 | S160-S161 | 32,35 | 70 | C6 | S166-S167 | 30,86 | 35 |
| C6 | S145-S146 | 25,09 | 70 | C6 | S151-217 | 17,13 | 16 | C6 | S156-S157 | 23,48 | 35 | C6 | S161-222 | 23,65 | 16 | C6 | S167-239 | 19,63 | 16 |
| C6 | S146-S147 | 32,88 | 35 | C6 | S151-228 | 18,84 | 16 | C6 | S157-184 | 14,54 | 16 | C6 | S161-233 | 21,77 | 16 | | | | |
| C6 | S147-186 | 20,97 | 16 | C6 | S149-202 | 22,84 | 16 | C6 | S157-191 | 13,94 | 16 | C6 | S161-S162 | 33,00 | 35 | | | | |

Prilog 11. Duljine i presjeci dionica distribucijske mreže sa 7 niskonaponskih izvoda

| Izvod | Dionica | Duljina (m) | Presjek (mm ²) | Izvod | Dionica | Duljina (m) | Presjek (mm ²) | Izvod | Dionica | Duljina (m) | Presjek (mm ²) | Izvod | Dionica | Duljina (m) | Presjek (mm ²) | Izvod | Dionica | Duljina (m) | Presjek (mm ²) |
|-------|---------|-------------|----------------------------|-------|---------|-------------|----------------------------|-------|---------|-------------|----------------------------|-------|---------|-------------|----------------------------|-------|---------|-------------|----------------------------|
| C1 | TS-S26 | 34,94 | 70 | C1 | S35-107 | 17,10 | 16 | C1 | S41-S42 | 27,41 | 35 | C1 | S50-72 | 11,49 | 16 | C1 | S41-S57 | 30,10 | 70 |
| C1 | S26-S27 | 30,29 | 70 | C1 | S35-S36 | 21,27 | 35 | C1 | S42-84 | 19,53 | 16 | C1 | S48-S51 | 27,02 | 35 | C1 | S57-80 | 18,26 | 16 |
| C1 | S27-S28 | 23,73 | 70 | C1 | S36-99 | 10,17 | 16 | C1 | S42-93 | 12,60 | 16 | C1 | S51-78 | 13,95 | 16 | C1 | S57-S58 | 24,16 | 70 |
| C1 | S28-S29 | 30,77 | 70 | C1 | S36-100 | 14,38 | 16 | C1 | S42-S43 | 29,70 | 35 | C1 | S51-87 | 17,71 | 16 | C1 | S58-S59 | 20,31 | 35 |
| C1 | S29-103 | 15,66 | 16 | C1 | S36-S37 | 16,09 | 35 | C1 | S43-82 | 22,49 | 16 | C1 | S51-S52 | 24,25 | 35 | C1 | S59-64 | 13,57 | 16 |
| C1 | S29-S30 | 28,51 | 70 | C1 | S37-94 | 8,03 | 16 | C1 | S43-90 | 10,81 | 16 | C1 | S52-66 | 15,30 | 16 | C1 | S59-68 | 14,77 | 16 |
| C1 | S30-102 | 11,25 | 16 | C1 | S37-95 | 10,94 | 16 | C1 | S43-92 | 8,87 | 16 | C1 | S52-67 | 15,96 | 16 | C1 | S59-74 | 9,41 | 16 |
| C1 | S30-108 | 10,51 | 16 | C1 | S37-S38 | 12,73 | 35 | C1 | S43-S44 | 18,47 | 35 | C1 | S52-71 | 8,02 | 16 | C1 | S59-S60 | 22,62 | 35 |
| C1 | S30-110 | 15,42 | 16 | C1 | S38-83 | 14,20 | 16 | C1 | S44-S45 | 20,97 | 35 | C1 | S51-S53 | 19,66 | 35 | C1 | S60-57 | 16,46 | 16 |
| C1 | S30-S31 | 27,02 | 70 | C1 | S38-85 | 11,44 | 16 | C1 | S45-101 | 15,64 | 16 | C1 | S53-S54 | 22,88 | 35 | C1 | S60-61 | 16,45 | 16 |
| C1 | S31-96 | 16,11 | 16 | C1 | S38-89 | 16,31 | 16 | C1 | S41-S46 | 16,45 | 35 | C1 | S54-69 | 10,83 | 16 | C1 | S60-73 | 16,14 | 16 |
| C1 | S31-S32 | 32,58 | 35 | C1 | S32-S39 | 19,25 | 35 | C1 | S46-S47 | 23,93 | 35 | C1 | S54-76 | 14,59 | 16 | C1 | S58-S61 | 26,30 | 35 |
| C1 | S32-112 | 18,99 | 16 | C1 | S39-98 | 13,28 | 16 | C1 | S47-S48 | 21,29 | 35 | C1 | S54-S55 | 22,48 | 35 | C1 | S61-60 | 19,44 | 16 |
| C1 | S32-115 | 20,87 | 16 | C1 | S39-S40 | 22,33 | 35 | C1 | S48-81 | 11,90 | 16 | C1 | S55-62 | 11,78 | 16 | C1 | S61-65 | 12,32 | 16 |
| C1 | S32-S33 | 29,79 | 35 | C1 | S40-86 | 14,44 | 16 | C1 | S48-S49 | 17,57 | 35 | C1 | S55-63 | 12,34 | 16 | C1 | S61-S62 | 22,89 | 35 |
| C1 | S33-S34 | 26,87 | 35 | C1 | S40-88 | 9,20 | 16 | C1 | S49-77 | 9,45 | 16 | C1 | S55-S56 | 19,42 | 35 | C1 | S62-53 | 10,82 | 16 |
| C1 | S34-127 | 15,45 | 16 | C1 | S40-91 | 11,35 | 16 | C1 | S49-79 | 15,40 | 16 | C1 | S56-52 | 15,57 | 16 | C1 | S62-56 | 15,45 | 16 |
| C1 | S32-S35 | 24,35 | 35 | C1 | S31-109 | 20,96 | 16 | C1 | S49-S50 | 14,69 | 35 | C1 | S56-54 | 18,20 | 16 | C1 | S58-S63 | 25,80 | 35 |
| C1 | S35-104 | 17,81 | 16 | C1 | S31-S41 | 17,74 | 70 | C1 | S50-70 | 9,38 | 16 | C1 | S56-55 | 15,29 | 16 | C1 | S63-75 | 8,91 | 16 |

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---------|-------|----|----|---------|-------|----|----|-----------|-------|----|----|-----------|-------|----|----|-----------|-------|----|
| C1 | S63-S64 | 26,39 | 35 | C2 | S84-32 | 15,87 | 16 | C2 | S95-S96 | 21,36 | 35 | C3 | S177-196 | 15,35 | 16 | C4 | S197-S198 | 23,32 | 70 |
| C1 | S64-58 | 17,03 | 16 | C2 | S84-S85 | 25,99 | 35 | C2 | S96-6 | 16,31 | 16 | C3 | S171-S178 | 24,86 | 70 | C4 | S198-S199 | 30,43 | 70 |
| C1 | S64-59 | 18,81 | 16 | C2 | S85-16 | 9,78 | 16 | C2 | S96-11 | 16,55 | 16 | C3 | S178-S179 | 26,92 | 70 | C4 | S199-S200 | 24,86 | 70 |
| C2 | TS-S65 | 34,94 | 70 | C2 | S85-19 | 28,94 | 16 | C2 | S94-S97 | 23,82 | 35 | C3 | S179-218 | 19,44 | 16 | C4 | S200-S201 | 26,92 | 70 |
| C2 | S65-S66 | 30,29 | 70 | C2 | S85-23 | 13,04 | 16 | C2 | S97-9 | 13,71 | 16 | C3 | S179-225 | 20,39 | 16 | C4 | S201-S202 | 28,44 | 70 |
| C2 | S66-S67 | 23,73 | 70 | C2 | S85-S86 | 21,64 | 35 | C2 | S97-10 | 14,06 | 16 | C3 | S179-S180 | 28,44 | 70 | C4 | S202-S203 | 27,87 | 70 |
| C2 | S67-S68 | 30,77 | 70 | C2 | S86-7 | 16,52 | 16 | C2 | S97-14 | 14,00 | 16 | C3 | S180-231 | 22,73 | 16 | C4 | S203-S204 | 18,17 | 70 |
| C2 | S68-S69 | 28,51 | 70 | C2 | S86-12 | 18,31 | 16 | C2 | S97-S98 | 21,23 | 35 | C3 | S180-S181 | 27,87 | 70 | C4 | S204-S205 | 27,64 | 70 |
| C2 | S69-S70 | 27,02 | 70 | C2 | S81-S87 | 31,37 | 35 | C2 | S98-4 | 15,19 | 16 | C3 | S181-222 | 18,32 | 16 | C4 | S205-S206 | 29,15 | 70 |
| C2 | S70-S71 | 17,74 | 70 | C2 | S87-30 | 13,18 | 16 | C2 | S98-5 | 13,59 | 16 | C3 | S181-233 | 16,79 | 16 | C4 | S206-S207 | 31,20 | 70 |
| C2 | S71-S72 | 30,10 | 70 | C2 | S87-31 | 19,75 | 16 | C2 | S98-8 | 9,82 | 16 | C3 | S181-S182 | 18,17 | 70 | C4 | S207-S208 | 33,95 | 70 |
| C2 | S72-S73 | 24,16 | 70 | C2 | S87-46 | 22,29 | 16 | C2 | S97-S99 | 25,41 | 35 | C3 | S182-S183 | 19,26 | 35 | C4 | S208-S209 | 31,46 | 70 |
| C2 | S73-S74 | 26,30 | 70 | C2 | S87-S88 | 24,21 | 35 | C2 | S99-3 | 19,55 | 16 | C3 | S183-223 | 12,55 | 16 | C4 | S209-S210 | 32,51 | 70 |
| C2 | S74-S75 | 22,89 | 70 | C2 | S88-33 | 11,94 | 16 | C2 | S99-S100 | 22,48 | 35 | C3 | S183-229 | 11,87 | 16 | C4 | S210-254 | 27,41 | 16 |
| C2 | S75-S76 | 23,02 | 70 | C2 | S88-S89 | 24,83 | 35 | C2 | S100-1 | 17,05 | 16 | C3 | S183-S184 | 23,12 | 35 | C4 | S210-S211 | 29,52 | 70 |
| C2 | S76-48 | 16,69 | 16 | C2 | S89-47 | 15,44 | 16 | C2 | S100-2 | 19,38 | 16 | C3 | S184-227 | 9,38 | 16 | C4 | S211-256 | 24,01 | 16 |
| C2 | S76-S77 | 23,41 | 70 | C2 | S89-S90 | 13,90 | 35 | C3 | TS-S163 | 17,68 | 70 | C3 | S184-S185 | 25,49 | 35 | C4 | S211-S212 | 28,27 | 70 |
| C2 | S77-S78 | 30,50 | 35 | C2 | S90-37 | 10,74 | 16 | C3 | S163-S164 | 18,23 | 70 | C3 | S185-215 | 18,46 | 16 | C4 | S212-259 | 14,46 | 16 |
| C2 | S78-50 | 17,44 | 16 | C2 | S90-43 | 8,82 | 16 | C3 | S164-S165 | 24,45 | 70 | C3 | S182-S186 | 27,64 | 70 | C4 | S212-S213 | 22,48 | 70 |
| C2 | S78-51 | 13,98 | 16 | C2 | S90-S91 | 15,44 | 35 | C3 | S165-S166 | 23,06 | 70 | C3 | S186-234 | 15,70 | 16 | C4 | S213-S214 | 21,44 | 35 |
| C2 | S78-S79 | 24,92 | 35 | C2 | S91-35 | 16,71 | 16 | C3 | S166-S167 | 22,02 | 70 | C3 | S186-241 | 16,45 | 16 | C4 | S214-261 | 11,66 | 16 |
| C2 | S79-45 | 15,32 | 16 | C2 | S91-42 | 17,05 | 16 | C3 | S167-S168 | 23,29 | 70 | C3 | S186-S187 | 29,15 | 70 | C4 | S213-S215 | 23,72 | 70 |
| C2 | S79-49 | 10,41 | 16 | C2 | S88-S92 | 24,93 | 35 | C3 | S168-S169 | 23,00 | 70 | C3 | S187-239 | 30,30 | 16 | C4 | S215-260 | 11,51 | 16 |
| C2 | S79-S80 | 23,30 | 35 | C2 | S92-22 | 12,01 | 16 | C3 | S169-S170 | 23,32 | 70 | C3 | S187-S188 | 31,20 | 35 | C4 | S215-S216 | 21,51 | 70 |
| C2 | S80-40 | 16,87 | 16 | C2 | S92-25 | 17,13 | 16 | C3 | S170-S171 | 30,43 | 70 | C3 | S188-S189 | 28,71 | 35 | C4 | S216-262 | 18,89 | 16 |
| C2 | S80-44 | 12,65 | 16 | C2 | S92-27 | 9,17 | 16 | C3 | S171-S172 | 31,25 | 35 | C3 | S189-245 | 17,92 | 16 | C4 | S216-263 | 15,28 | 16 |
| C2 | S77-38 | 20,12 | 16 | C2 | S92-S93 | 16,11 | 35 | C3 | S172-S173 | 29,34 | 35 | C3 | S188-S190 | 24,58 | 35 | C4 | S216-265 | 13,34 | 16 |
| C2 | S77-39 | 22,02 | 16 | C2 | S93-15 | 17,36 | 16 | C3 | S173-S174 | 28,67 | 35 | C3 | S190-249 | 11,90 | 16 | C4 | S216-S217 | 19,72 | 35 |
| C2 | S77-41 | 17,63 | 16 | C2 | S93-18 | 16,88 | 16 | C3 | S174-200 | 16,85 | 16 | C3 | S190-S191 | 24,04 | 35 | C4 | S217-264 | 16,59 | 16 |
| C2 | S77-S81 | 21,03 | 70 | C2 | S93-20 | 9,17 | 16 | C3 | S174-206 | 24,69 | 16 | C3 | S191-250 | 14,36 | 16 | C4 | S217-267 | 18,62 | 16 |
| C2 | S81-34 | 17,82 | 16 | C2 | S93-21 | 10,00 | 16 | C3 | S173-S175 | 25,41 | 35 | C3 | S191-251 | 12,32 | 16 | C4 | S217-S218 | 23,46 | 35 |
| C2 | S81-36 | 16,63 | 16 | C2 | S82-26 | 13,05 | 16 | C3 | S175-184 | 13,66 | 16 | C4 | TS-S192 | 28,09 | 70 | C4 | S218-266 | 13,18 | 16 |
| C2 | S81-S82 | 25,72 | 70 | C2 | S82-S94 | 19,90 | 70 | C3 | S173-S176 | 25,14 | 35 | C4 | S192-S193 | 30,52 | 70 | C4 | S218-S219 | 19,09 | 35 |
| C2 | S82-29 | 16,99 | 16 | C2 | S94-17 | 12,96 | 16 | C3 | S176-191 | 10,74 | 16 | C4 | S193-S194 | 28,92 | 70 | C4 | S219-270 | 12,12 | 16 |
| C2 | S82-S83 | 31,10 | 35 | C2 | S94-24 | 18,24 | 16 | C3 | S176-S177 | 19,22 | 35 | C4 | S194-S195 | 15,29 | 70 | C4 | S219-S220 | 23,62 | 35 |
| C2 | S83-S84 | 31,04 | 35 | C2 | S94-S95 | 22,42 | 35 | C3 | S177-185 | 13,62 | 16 | C4 | S195-S196 | 23,29 | 70 | C4 | S220-268 | 13,02 | 16 |
| C2 | S84-28 | 25,65 | 16 | C2 | S95-13 | 8,51 | 16 | C3 | S177-189 | 11,05 | 16 | C4 | S196-S197 | 23,00 | 70 | C4 | S220-269 | 14,10 | 16 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---------|-------|----|----|-----------|-------|----|----|-----------|-------|----|----|-----------|-------|----|----|-----------|-------|----|
| C5 | TS-S1 | 19,80 | 70 | C5 | S14-153 | 13,94 | 16 | C6 | S135-S136 | 28,92 | 70 | C6 | S151-214 | 11,79 | 16 | C7 | S108-170 | 13,96 | 16 |
| C5 | S1-132 | 11,32 | 16 | C5 | S14-157 | 10,57 | 16 | C6 | S136-183 | 11,25 | 16 | C6 | S151-220 | 9,95 | 16 | C7 | S104-S109 | 30,73 | 35 |
| C5 | S1-S2 | 23,47 | 70 | C5 | S14-160 | 9,93 | 16 | C6 | S136-S137 | 28,95 | 35 | C6 | S151-S152 | 32,27 | 35 | C7 | S109-144 | 17,34 | 16 |
| C5 | S2-141 | 18,94 | 16 | C5 | S1-S15 | 17,86 | 35 | C6 | S137-173 | 15,49 | 16 | C6 | S152-219 | 17,68 | 16 | C7 | S109-146 | 15,90 | 16 |
| C5 | S2-147 | 18,65 | 16 | C5 | S15-S16 | 32,64 | 35 | C6 | S137-177 | 16,14 | 16 | C6 | S152-224 | 9,45 | 16 | C7 | S109-S110 | 23,15 | 35 |
| C5 | S2-S3 | 18,23 | 70 | C5 | S16-137 | 10,11 | 16 | C6 | S137-S138 | 20,42 | 35 | C6 | S152-226 | 15,82 | 16 | C7 | S110-145 | 17,93 | 16 |
| C5 | S3-148 | 22,15 | 16 | C5 | S16-S17 | 27,35 | 35 | C6 | S138-186 | 19,87 | 16 | C6 | S146-S153 | 31,36 | 35 | C7 | S110-S111 | 24,79 | 35 |
| C5 | S3-150 | 21,37 | 16 | C5 | S17-133 | 15,22 | 16 | C6 | S138-192 | 13,90 | 16 | C6 | S153-S154 | 33,14 | 35 | C7 | S111-134 | 16,06 | 16 |
| C5 | S3-S4 | 26,83 | 35 | C5 | S17-142 | 15,58 | 16 | C6 | S136-S139 | 20,35 | 70 | C6 | S154-S155 | 31,44 | 35 | C7 | S111-138 | 16,33 | 16 |
| C5 | S4-124 | 14,85 | 16 | C5 | S17-S18 | 35,06 | 35 | C6 | S139-195 | 11,43 | 16 | C6 | S155-S156 | 29,54 | 35 | C7 | S102-S112 | 31,67 | 70 |
| C5 | S4-129 | 12,47 | 16 | C5 | S18-139 | 14,24 | 16 | C6 | S139-S140 | 24,33 | 35 | C6 | S156-246 | 17,90 | 16 | C7 | S112-159 | 13,15 | 16 |
| C5 | S4-135 | 11,42 | 16 | C5 | S18-140 | 25,32 | 16 | C6 | S140-179 | 20,51 | 16 | C6 | S156-248 | 25,45 | 16 | C7 | S112-161 | 10,99 | 16 |
| C5 | S4-136 | 14,65 | 16 | C5 | S18-S19 | 23,25 | 35 | C6 | S140-188 | 29,95 | 16 | C6 | S156-S157 | 31,38 | 35 | C7 | S112-165 | 11,17 | 16 |
| C5 | S4-S5 | 33,78 | 35 | C5 | S19-117 | 21,35 | 16 | C6 | S139-S141 | 24,27 | 70 | C6 | S157-S158 | 31,81 | 35 | C7 | S112-S113 | 29,00 | 35 |
| C5 | S5-S6 | 34,40 | 35 | C5 | S19-123 | 18,28 | 16 | C6 | S141-S142 | 25,68 | 35 | C6 | S158-252 | 15,98 | 16 | C7 | S113-175 | 17,88 | 16 |
| C5 | S6-152 | 25,94 | 16 | C5 | S1-S20 | 21,66 | 70 | C6 | S142-204 | 18,92 | 16 | C6 | S158-S159 | 24,92 | 35 | C7 | S113-182 | 17,99 | 16 |
| C5 | S4-S7 | 20,79 | 35 | C5 | S20-125 | 19,46 | 16 | C6 | S141-S143 | 26,48 | 70 | C6 | S159-253 | 12,27 | 16 | C7 | S112-S114 | 29,48 | 70 |
| C5 | S7-120 | 12,79 | 16 | C5 | S20-130 | 18,55 | 16 | C6 | S143-207 | 10,11 | 16 | C6 | S159-S160 | 20,71 | 35 | C7 | S114-171 | 12,68 | 16 |
| C5 | S7-121 | 14,71 | 16 | C5 | S20-S21 | 19,76 | 70 | C6 | S143-209 | 13,45 | 16 | C6 | S160-255 | 12,78 | 16 | C7 | S114-181 | 12,82 | 16 |
| C5 | S7-S8 | 14,38 | 35 | C5 | S21-113 | 21,56 | 16 | C6 | S143-S144 | 11,96 | 35 | C6 | S160-257 | 10,88 | 16 | C7 | S114-S115 | 30,72 | 35 |
| C5 | S8-128 | 10,60 | 16 | C5 | S21-118 | 19,80 | 16 | C6 | S144-211 | 11,81 | 16 | C6 | S158-S161 | 24,19 | 35 | C7 | S115-167 | 15,38 | 16 |
| C5 | S8-131 | 10,69 | 16 | C5 | S21-S22 | 24,01 | 35 | C6 | S144-217 | 11,45 | 16 | C6 | S161-S162 | 20,88 | 35 | C7 | S115-180 | 11,63 | 16 |
| C5 | S2-S9 | 28,57 | 35 | C5 | S22-105 | 29,35 | 16 | C6 | S143-S145 | 22,93 | 70 | C6 | S162-258 | 12,34 | 16 | C7 | S114-S116 | 23,28 | 70 |
| C5 | S9-143 | 10,94 | 16 | C5 | S22-106 | 16,31 | 16 | C6 | S145-216 | 21,58 | 16 | C7 | TS-S101 | 33,01 | 70 | C7 | S116-187 | 8,45 | 16 |
| C5 | S9-149 | 11,59 | 16 | C5 | S22-S23 | 29,81 | 35 | C6 | S145-221 | 15,37 | 16 | C7 | S101-S102 | 34,70 | 70 | C7 | S116-190 | 10,92 | 16 |
| C5 | S9-S10 | 30,37 | 35 | C5 | S23-97 | 24,52 | 16 | C6 | S145-S146 | 24,81 | 70 | C7 | S102-S103 | 29,40 | 35 | C7 | S116-S117 | 27,82 | 70 |
| C5 | S10-156 | 20,50 | 16 | C5 | S21-S24 | 33,04 | 35 | C6 | S146-228 | 16,76 | 16 | C7 | S103-S104 | 30,42 | 35 | C7 | S117-S118 | 29,41 | 35 |
| C5 | S10-S11 | 18,43 | 35 | C5 | S24-116 | 12,26 | 16 | C6 | S141-S147 | 21,61 | 35 | C7 | S104-151 | 10,67 | 16 | C7 | S118-193 | 15,32 | 16 |
| C5 | S11-162 | 12,92 | 16 | C5 | S24-119 | 14,57 | 16 | C6 | S147-S148 | 17,38 | 35 | C7 | S104-S105 | 26,94 | 35 | C7 | S118-S119 | 23,43 | 35 |
| C5 | S11-166 | 12,25 | 16 | C5 | S24-122 | 8,77 | 16 | C6 | S148-201 | 8,91 | 16 | C7 | S105-S106 | 25,61 | 35 | C7 | S119-198 | 10,72 | 16 |
| C5 | S11-169 | 13,44 | 16 | C5 | S24-S25 | 23,82 | 35 | C6 | S148-S149 | 31,69 | 35 | C7 | S106-163 | 11,90 | 16 | C7 | S117-S120 | 34,51 | 35 |
| C5 | S10-S12 | 24,31 | 35 | C5 | S25-111 | 23,15 | 16 | C6 | S149-194 | 16,50 | 16 | C7 | S106-164 | 13,37 | 16 | C7 | S120-178 | 20,53 | 16 |
| C5 | S12-155 | 24,62 | 16 | C5 | S25-114 | 22,15 | 16 | C6 | S149-202 | 18,06 | 16 | C7 | S106-172 | 24,66 | 16 | C7 | S120-S121 | 36,02 | 35 |
| C5 | S12-168 | 13,32 | 16 | C5 | S25-126 | 19,16 | 16 | C6 | S147-S150 | 25,11 | 35 | C7 | S106-S107 | 31,01 | 35 | C7 | S121-197 | 27,58 | 16 |
| C5 | S12-176 | 24,44 | 16 | C6 | TS-S134 | 28,09 | 70 | C6 | S150-208 | 11,13 | 16 | C7 | S107-154 | 26,17 | 16 | C7 | S121-S122 | 24,07 | 35 |
| C5 | S3-S13 | 24,45 | 35 | C6 | S134-S135 | 30,52 | 70 | C6 | S150-212 | 11,74 | 16 | C7 | S107-S108 | 16,05 | 35 | C7 | S122-S123 | 22,04 | 35 |
| C5 | S13-S14 | 16,35 | 35 | C6 | S135-174 | 11,59 | 16 | C6 | S150-S151 | 33,09 | 35 | C7 | S108-158 | 12,20 | 16 | C7 | S123-210 | 12,55 | 16 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-----------|-------|----|----|-----------|-------|----|----|-----------|-------|----|----|-----------|-------|----|----|-----------|-------|----|
| C7 | S123-213 | 11,18 | 16 | C7 | S124-S125 | 31,73 | 35 | C7 | S127-S128 | 35,55 | 35 | C7 | S129-S130 | 30,75 | 35 | C7 | S131-S132 | 18,46 | 35 |
| C7 | S117-S124 | 24,95 | 70 | C7 | S125-S126 | 29,76 | 35 | C7 | S128-235 | 14,48 | 16 | C7 | S130-240 | 9,55 | 16 | C7 | S132-S133 | 22,94 | 35 |
| C7 | S124-199 | 17,98 | 16 | C7 | S126-S127 | 32,35 | 35 | C7 | S128-237 | 9,85 | 16 | C7 | S130-242 | 14,81 | 16 | C7 | S133-243 | 12,61 | 16 |
| C7 | S124-203 | 10,98 | 16 | C7 | S127-230 | 16,06 | 16 | C7 | S128-238 | 21,61 | 16 | C7 | S129-S131 | 27,34 | 35 | C7 | S133-244 | 14,34 | 16 |
| C7 | S124-205 | 18,03 | 16 | C7 | S127-232 | 8,97 | 16 | C7 | S126-S129 | 32,51 | 35 | C7 | S131-236 | 15,30 | 16 | C7 | S133-247 | 12,82 | 16 |

Prilog 12. Duljine i presjeci dionica distribucijske mreže sa 8 niskonaponskih izvoda

| Izvod | Dionica | Duljina (m) | Presjek (mm ²) | Izvod | Dionica | Duljina (m) | Presjek (mm ²) | Izvod | Dionica | Duljina (m) | Presjek (mm ²) | Izvod | Dionica | Duljina (m) | Presjek (mm ²) | Izvod | Dionica | Duljina (m) | Presjek (mm ²) |
|-------|---------|-------------|----------------------------|-------|---------|-------------|----------------------------|-------|---------|-------------|----------------------------|-------|---------|-------------|----------------------------|-------|---------|-------------|----------------------------|
| C1 | TS-S1 | 20,40 | 70 | C1 | S10-132 | 11,26 | 16 | C1 | S19-S20 | 22,75 | 35 | C2 | S33-94 | 13,53 | 16 | C2 | S45-72 | 11,73 | 16 |
| C1 | S1-147 | 19,65 | 16 | C1 | S10-S11 | 25,79 | 70 | C1 | S20-117 | 15,08 | 16 | C2 | S33-95 | 10,96 | 16 | C2 | S45-79 | 14,67 | 16 |
| C1 | S1-148 | 21,75 | 16 | C1 | S11-118 | 17,96 | 16 | C2 | TS-S21 | 27,61 | 70 | C2 | S33-99 | 12,58 | 16 | C2 | S43-S46 | 27,11 | 35 |
| C1 | S1-149 | 22,87 | 16 | C1 | S11-S12 | 18,43 | 35 | C2 | S21-S22 | 24,13 | 70 | C2 | S33-100 | 11,25 | 16 | C2 | S46-87 | 17,70 | 16 |
| C1 | S1-S2 | 16,46 | 70 | C1 | S12-106 | 15,81 | 16 | C2 | S22-S23 | 23,96 | 70 | C2 | S33-S34 | 20,02 | 35 | C2 | S46-S47 | 18,88 | 35 |
| C1 | S2-150 | 12,46 | 16 | C1 | S12-113 | 14,28 | 16 | C2 | S23-S24 | 15,94 | 70 | C2 | S34-83 | 15,92 | 16 | C2 | S47-76 | 14,46 | 16 |
| C1 | S2-153 | 16,64 | 16 | C1 | S12-S13 | 27,64 | 35 | C2 | S24-S25 | 21,53 | 70 | C2 | S34-85 | 10,49 | 16 | C2 | S47-78 | 15,94 | 16 |
| C1 | S2-157 | 13,82 | 16 | C1 | S13-97 | 18,97 | 16 | C2 | S25-S26 | 25,57 | 70 | C2 | S34-89 | 14,43 | 16 | C2 | S47-S48 | 24,71 | 35 |
| C1 | S2-S3 | 21,21 | 35 | C1 | S13-101 | 18,69 | 16 | C2 | S26-103 | 18,38 | 16 | C2 | S27-S35 | 25,69 | 70 | C2 | S48-69 | 10,40 | 16 |
| C1 | S3-156 | 14,92 | 16 | C1 | S12-S14 | 19,30 | 35 | C2 | S26-108 | 14,22 | 16 | C2 | S35-96 | 11,55 | 16 | C2 | S48-71 | 11,53 | 16 |
| C1 | S3-162 | 11,58 | 16 | C1 | S14-116 | 14,59 | 16 | C2 | S26-110 | 18,91 | 16 | C2 | S35-S36 | 29,74 | 35 | C2 | S48-S49 | 20,48 | 35 |
| C1 | S3-S4 | 21,67 | 35 | C1 | S14-119 | 17,62 | 16 | C2 | S26-S27 | 27,52 | 70 | C2 | S36-93 | 11,13 | 16 | C2 | S49-62 | 11,90 | 16 |
| C1 | S4-166 | 12,78 | 16 | C1 | S14-S15 | 21,53 | 35 | C2 | S27-102 | 14,51 | 16 | C2 | S36-S37 | 13,41 | 35 | C2 | S49-63 | 11,81 | 16 |
| C1 | S1-S5 | 19,65 | 70 | C1 | S15-105 | 18,55 | 16 | C2 | S27-109 | 22,34 | 16 | C2 | S37-82 | 17,78 | 16 | C2 | S49-66 | 13,05 | 16 |
| C1 | S5-141 | 12,83 | 16 | C1 | S15-111 | 17,76 | 16 | C2 | S27-S28 | 25,27 | 35 | C2 | S37-84 | 14,06 | 16 | C2 | S49-S50 | 21,65 | 35 |
| C1 | S5-S6 | 20,93 | 35 | C1 | S15-114 | 13,46 | 16 | C2 | S28-S29 | 27,23 | 35 | C2 | S36-S38 | 26,66 | 35 | C2 | S50-54 | 17,12 | 16 |
| C1 | S6-135 | 9,13 | 16 | C1 | S10-S16 | 28,18 | 35 | C2 | S29-112 | 9,89 | 16 | C2 | S38-90 | 12,59 | 16 | C2 | S50-55 | 15,67 | 16 |
| C1 | S6-136 | 8,13 | 16 | C1 | S16-122 | 14,36 | 16 | C2 | S29-115 | 9,39 | 16 | C2 | S38-92 | 8,12 | 16 | C2 | S50-67 | 15,46 | 16 |
| C1 | S6-S7 | 18,86 | 35 | C1 | S16-125 | 14,74 | 16 | C2 | S28-S30 | 19,97 | 35 | C2 | S35-S39 | 22,26 | 70 | C2 | S50-S51 | 21,88 | 35 |
| C1 | S7-124 | 12,12 | 16 | C1 | S16-130 | 14,61 | 16 | C2 | S30-98 | 14,90 | 16 | C2 | S39-S40 | 23,08 | 70 | C2 | S51-52 | 10,09 | 16 |
| C1 | S7-129 | 9,60 | 16 | C1 | S16-S17 | 32,10 | 35 | C2 | S30-S31 | 22,99 | 35 | C2 | S35-S41 | 29,74 | 35 | C2 | S51-S52 | 28,78 | 35 |
| C1 | S7-S8 | 15,95 | 35 | C1 | S17-126 | 19,91 | 16 | C2 | S31-86 | 14,57 | 16 | C2 | S41-S42 | 13,41 | 35 | C2 | S52-42 | 15,28 | 16 |
| C1 | S8-121 | 12,95 | 16 | C1 | S17-133 | 20,88 | 16 | C2 | S31-88 | 9,82 | 16 | C2 | S42-S43 | 22,64 | 35 | C2 | S52-43 | 15,72 | 16 |
| C1 | S8-128 | 11,18 | 16 | C1 | S17-S18 | 24,21 | 35 | C2 | S31-91 | 10,87 | 16 | C2 | S43-S44 | 16,11 | 35 | C2 | S40-S53 | 28,76 | 35 |
| C1 | S8-131 | 12,84 | 16 | C1 | S18-137 | 13,97 | 16 | C2 | S30-S32 | 24,29 | 35 | C2 | S44-77 | 10,91 | 16 | C2 | S53-73 | 14,19 | 16 |
| C1 | S7-S9 | 14,41 | 35 | C1 | S18-142 | 15,10 | 16 | C2 | S32-104 | 12,77 | 16 | C2 | S44-81 | 9,97 | 16 | C2 | S53-74 | 14,87 | 16 |
| C1 | S9-120 | 8,75 | 16 | C1 | S18-143 | 17,11 | 16 | C2 | S32-107 | 16,81 | 16 | C2 | S44-S45 | 14,86 | 35 | C2 | S53-80 | 13,44 | 16 |
| C1 | S5-S10 | 28,56 | 70 | C1 | S17-S19 | 21,53 | 35 | C2 | S32-S33 | 22,13 | 35 | C2 | S45-70 | 10,99 | 16 | C2 | S40-S54 | 29,52 | 35 |

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-----------|-------|----|----|-----------|-------|----|----|-----------|-------|----|----|-----------|-------|----|----|-----------|-------|----|
| C2 | S54-64 | 21,01 | 16 | C3 | S189-S190 | 21,41 | 70 | C4 | S100-176 | 8,15 | 16 | C4 | S118-163 | 12,39 | 16 | C5 | S155-174 | 15,46 | 16 |
| C2 | S54-68 | 10,14 | 16 | C3 | S190-218 | 19,22 | 16 | C4 | S100-S101 | 21,98 | 35 | C4 | S118-164 | 13,64 | 16 | C5 | S155-179 | 7,77 | 16 |
| C2 | S54-S55 | 25,16 | 35 | C3 | S190-225 | 19,13 | 16 | C4 | S101-182 | 12,58 | 16 | C4 | S118-S119 | 20,33 | 35 | C5 | S155-S156 | 28,06 | 35 |
| C2 | S55-65 | 15,00 | 16 | C3 | S190-S191 | 24,45 | 70 | C4 | S101-S102 | 22,26 | 35 | C4 | S119-172 | 5,28 | 16 | C5 | S156-188 | 11,02 | 16 |
| C2 | S55-75 | 16,82 | 16 | C3 | S191-231 | 17,90 | 16 | C4 | S102-193 | 11,58 | 16 | C4 | S119-S120 | 30,76 | 35 | C5 | S154-S157 | 23,79 | 70 |
| C2 | S55-S56 | 25,00 | 35 | C3 | S191-S192 | 29,86 | 70 | C4 | S102-198 | 12,98 | 16 | C4 | S120-170 | 13,00 | 16 | C5 | S157-195 | 10,17 | 16 |
| C2 | S56-56 | 15,60 | 16 | C3 | S192-233 | 18,13 | 16 | C4 | S98-S103 | 27,69 | 35 | C4 | S120-S121 | 21,69 | 35 | C5 | S157-S158 | 30,03 | 35 |
| C2 | S56-58 | 12,56 | 16 | C3 | S192-222 | 17,89 | 16 | C4 | S103-159 | 9,68 | 16 | C4 | S121-197 | 18,17 | 16 | C5 | S158-192 | 9,29 | 16 |
| C2 | S56-59 | 16,63 | 16 | C3 | S192-S193 | 24,26 | 70 | C4 | S103-165 | 10,69 | 16 | C4 | S118-S122 | 31,60 | 35 | C5 | S158-S159 | 25,78 | 35 |
| C2 | S54-S57 | 22,67 | 35 | C3 | S193-S194 | 20,51 | 35 | C4 | S103-S104 | 19,36 | 35 | C4 | S122-154 | 26,23 | 16 | C5 | S159-177 | 15,04 | 16 |
| C2 | S57-53 | 10,65 | 16 | C3 | S194-223 | 12,37 | 16 | C4 | S104-161 | 10,16 | 16 | C4 | S122-158 | 12,70 | 16 | C5 | S159-S160 | 25,93 | 35 |
| C2 | S57-60 | 11,38 | 16 | C3 | S194-229 | 11,73 | 16 | C4 | S103-S105 | 21,50 | 35 | C4 | S116-S123 | 21,60 | 70 | C5 | S160-186 | 14,15 | 16 |
| C2 | S57-S58 | 25,74 | 35 | C3 | S194-S195 | 27,98 | 35 | C4 | S105-171 | 9,47 | 16 | C4 | S123-167 | 11,66 | 16 | C5 | S160-194 | 15,03 | 16 |
| C2 | S58-47 | 19,68 | 16 | C3 | S195-227 | 9,82 | 16 | C4 | S105-S106 | 19,02 | 35 | C4 | S123-S124 | 24,09 | 35 | C5 | S160-S161 | 32,31 | 35 |
| C2 | S57-S59 | 25,94 | 35 | C3 | S195-S196 | 21,63 | 35 | C4 | S106-181 | 10,96 | 16 | C4 | S124-178 | 13,10 | 16 | C5 | S161-184 | 23,56 | 16 |
| C2 | S59-57 | 14,93 | 16 | C3 | S196-215 | 19,57 | 16 | C4 | S97-S107 | 27,78 | 70 | C4 | S124-180 | 15,17 | 16 | C5 | S159-S162 | 21,05 | 35 |
| C2 | S59-61 | 8,14 | 16 | C3 | S193-S197 | 29,36 | 70 | C4 | S107-S108 | 26,16 | 70 | C4 | S124-S125 | 29,78 | 35 | C5 | S162-S163 | 22,39 | 35 |
| C3 | TS-S176 | 23,16 | 70 | C3 | S197-234 | 17,16 | 16 | C4 | S108-S109 | 24,59 | 70 | C4 | S125-199 | 13,38 | 16 | C5 | S163-152 | 16,07 | 16 |
| C3 | S176-S177 | 18,53 | 70 | C3 | S197-241 | 15,72 | 16 | C4 | S109-S110 | 23,51 | 35 | C4 | S125-S126 | 24,16 | 35 | C5 | S157-S164 | 26,63 | 70 |
| C3 | S177-S178 | 21,28 | 70 | C3 | S197-S198 | 29,47 | 35 | C4 | S110-151 | 11,86 | 16 | C4 | S126-203 | 11,72 | 16 | C5 | S164-201 | 9,01 | 16 |
| C3 | S178-S179 | 26,81 | 70 | C3 | S198-239 | 19,80 | 16 | C4 | S110-S111 | 23,31 | 35 | C4 | S126-205 | 18,33 | 16 | C5 | S164-S165 | 27,78 | 35 |
| C3 | S179-S180 | 26,58 | 70 | C3 | S197-S199 | 29,40 | 35 | C4 | S111-140 | 12,65 | 16 | C4 | S125-S127 | 29,09 | 35 | C5 | S165-207 | 11,66 | 16 |
| C3 | S180-S181 | 31,01 | 70 | C3 | S199-S200 | 29,30 | 35 | C4 | S111-146 | 14,25 | 16 | C4 | S127-S128 | 25,48 | 35 | C5 | S165-S166 | 22,30 | 35 |
| C3 | S181-S182 | 22,99 | 70 | C3 | S200-S201 | 29,20 | 35 | C4 | S111-S112 | 28,70 | 35 | C4 | S128-210 | 8,59 | 16 | C5 | S166-209 | 8,22 | 16 |
| C3 | S182-S183 | 30,55 | 70 | C3 | S201-245 | 17,75 | 16 | C4 | S112-123 | 14,93 | 16 | C4 | S128-213 | 11,16 | 16 | C5 | S166-S167 | 26,69 | 35 |
| C3 | S183-S184 | 29,35 | 35 | C3 | S200-S202 | 24,39 | 35 | C4 | S111-S113 | 24,76 | 35 | C4 | S124-S129 | 20,59 | 35 | C5 | S167-204 | 19,34 | 16 |
| C3 | S184-S185 | 29,50 | 35 | C3 | S202-249 | 13,48 | 16 | C4 | S113-134 | 12,97 | 16 | C4 | S129-187 | 15,59 | 16 | C5 | S167-216 | 17,94 | 16 |
| C3 | S185-S186 | 28,69 | 35 | C3 | S202-S203 | 25,05 | 35 | C4 | S113-144 | 9,23 | 16 | C4 | S129-190 | 11,91 | 16 | C5 | S164-S168 | 23,12 | 70 |
| C3 | S186-200 | 18,42 | 16 | C3 | S203-250 | 13,68 | 16 | C4 | S113-S114 | 21,85 | 35 | C5 | TS-S151 | 28,57 | 70 | C5 | S168-S169 | 28,66 | 35 |
| C3 | S186-206 | 24,08 | 16 | C3 | S203-251 | 11,65 | 16 | C4 | S114-127 | 21,42 | 16 | C5 | S151-S152 | 26,81 | 70 | C5 | S169-211 | 7,03 | 16 |
| C3 | S185-S187 | 30,89 | 35 | C4 | TS-S97 | 28,22 | 70 | C4 | S114-138 | 9,72 | 16 | C5 | S152-S153 | 25,54 | 35 | C5 | S169-212 | 11,06 | 16 |
| C3 | S187-191 | 11,43 | 16 | C4 | S97-S98 | 24,78 | 35 | C4 | S114-145 | 21,01 | 16 | C5 | S153-160 | 14,70 | 16 | C5 | S169-S170 | 31,51 | 35 |
| C3 | S187-196 | 17,25 | 16 | C4 | S98-155 | 13,11 | 16 | C4 | S108-S115 | 19,23 | 35 | C5 | S153-173 | 12,17 | 16 | C5 | S170-217 | 11,03 | 16 |
| C3 | S187-S188 | 18,55 | 35 | C4 | S98-S99 | 24,50 | 35 | C4 | S115-139 | 14,87 | 16 | C5 | S152-S154 | 28,32 | 70 | C5 | S170-221 | 20,58 | 16 |
| C3 | S188-185 | 13,90 | 16 | C4 | S99-168 | 12,59 | 16 | C4 | S109-S116 | 26,84 | 70 | C5 | S154-183 | 10,64 | 16 | C5 | S170-S171 | 23,27 | 35 |
| C3 | S188-189 | 10,95 | 16 | C4 | S99-S100 | 18,26 | 35 | C4 | S116-S117 | 30,15 | 35 | C5 | S154-S155 | 28,10 | 35 | C5 | S171-228 | 10,89 | 16 |
| C3 | S183-S189 | 28,70 | 70 | C4 | S100-175 | 8,85 | 16 | C4 | S117-S118 | 25,89 | 35 | C5 | S155-169 | 12,77 | 16 | C5 | S168-208 | 10,96 | 16 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-----------|-------|----|----|-----------|-------|----|----|-----------|-------|----|----|---------|-------|----|----|---------|-------|----|
| C5 | S168-S172 | 17,77 | 35 | C6 | S144-248 | 14,30 | 16 | C7 | S224-259 | 18,90 | 16 | C8 | S73-48 | 12,46 | 16 | C8 | S85-S86 | 20,64 | 35 |
| C5 | S172-202 | 22,09 | 16 | C6 | S144-S145 | 30,31 | 35 | C7 | S224-S225 | 27,26 | 70 | C8 | S73-51 | 9,12 | 16 | C8 | S86-33 | 14,79 | 16 |
| C5 | S172-S173 | 21,43 | 35 | C6 | S145-246 | 14,47 | 16 | C7 | S225-S226 | 22,98 | 70 | C8 | S73-S74 | 27,84 | 35 | C8 | S86-37 | 9,40 | 16 |
| C5 | S173-214 | 13,82 | 16 | C6 | S144-S146 | 29,46 | 35 | C7 | S226-S227 | 19,17 | 35 | C8 | S74-45 | 14,22 | 16 | C8 | S86-S87 | 25,64 | 35 |
| C5 | S173-220 | 13,66 | 16 | C6 | S146-S147 | 27,56 | 35 | C7 | S227-260 | 15,62 | 16 | C8 | S74-49 | 11,76 | 16 | C8 | S87-35 | 13,05 | 16 |
| C5 | S173-S174 | 22,73 | 35 | C6 | S147-252 | 15,63 | 16 | C7 | S227-261 | 13,22 | 16 | C8 | S74-50 | 12,49 | 16 | C8 | S85-S88 | 20,49 | 35 |
| C5 | S174-S175 | 13,38 | 35 | C6 | S147-S148 | 29,97 | 35 | C7 | S227-S228 | 22,76 | 35 | C8 | S74-S75 | 22,64 | 35 | C8 | S88-20 | 12,60 | 16 |
| C5 | S175-219 | 13,46 | 16 | C6 | S148-S149 | 27,06 | 35 | C7 | S228-264 | 9,66 | 16 | C8 | S75-40 | 16,76 | 16 | C8 | S88-21 | 10,64 | 16 |
| C5 | S175-224 | 15,11 | 16 | C6 | S149-253 | 16,47 | 16 | C7 | S226-S229 | 23,35 | 70 | C8 | S75-44 | 10,95 | 16 | C8 | S88-22 | 9,08 | 16 |
| C5 | S175-226 | 15,05 | 16 | C6 | S149-255 | 14,87 | 16 | C7 | S229-S230 | 23,50 | 70 | C8 | S72-S76 | 21,33 | 70 | C8 | S88-25 | 14,32 | 16 |
| C6 | TS-S130 | 28,22 | 70 | C6 | S149-257 | 13,80 | 16 | C7 | S230-262 | 17,15 | 16 | C8 | S76-S77 | 22,23 | 70 | C8 | S88-27 | 12,09 | 16 |
| C6 | S130-S131 | 24,78 | 70 | C6 | S148-S150 | 23,15 | 35 | C7 | S230-263 | 12,12 | 16 | C8 | S77-34 | 18,62 | 16 | C8 | S88-S89 | 25,36 | 35 |
| C6 | S131-S132 | 24,50 | 70 | C6 | S150-258 | 11,63 | 16 | C7 | S230-S231 | 19,60 | 70 | C8 | S77-36 | 15,94 | 16 | C8 | S89-11 | 16,59 | 16 |
| C6 | S132-S133 | 18,26 | 70 | C7 | TS-S204 | 23,16 | 70 | C7 | S231-265 | 13,81 | 16 | C8 | S77-38 | 15,64 | 16 | C8 | S89-15 | 12,85 | 16 |
| C6 | S133-S134 | 21,98 | 70 | C7 | S204-S205 | 18,53 | 70 | C7 | S231-267 | 17,20 | 16 | C8 | S77-39 | 21,10 | 16 | C8 | S89-18 | 15,26 | 16 |
| C6 | S134-S135 | 22,26 | 70 | C7 | S205-S206 | 21,28 | 70 | C7 | S231-S232 | 28,18 | 35 | C8 | S77-41 | 17,42 | 16 | C8 | S78-S90 | 19,96 | 70 |
| C6 | S135-S136 | 25,17 | 70 | C7 | S206-S207 | 26,81 | 70 | C7 | S232-266 | 9,42 | 16 | C8 | S77-S78 | 31,01 | 70 | C8 | S90-17 | 12,91 | 16 |
| C6 | S136-S137 | 29,70 | 70 | C7 | S207-S208 | 26,58 | 70 | C7 | S232-S233 | 21,51 | 35 | C8 | S78-29 | 17,69 | 16 | C8 | S90-24 | 18,21 | 16 |
| C6 | S137-S138 | 32,08 | 70 | C7 | S208-S209 | 31,01 | 70 | C7 | S233-270 | 10,77 | 16 | C8 | S78-S79 | 29,42 | 35 | C8 | S90-S91 | 13,43 | 35 |
| C6 | S138-S139 | 31,19 | 35 | C7 | S209-S210 | 22,99 | 70 | C7 | S232-S234 | 21,70 | 35 | C8 | S79-S80 | 20,85 | 35 | C8 | S91-8 | 14,05 | 16 |
| C6 | S139-230 | 16,64 | 16 | C7 | S210-S211 | 30,55 | 70 | C7 | S234-268 | 8,31 | 16 | C8 | S80-32 | 9,18 | 16 | C8 | S91-10 | 13,06 | 16 |
| C6 | S139-S140 | 31,10 | 35 | C7 | S211-S212 | 28,70 | 70 | C7 | S234-269 | 10,06 | 16 | C8 | S80-S81 | 22,56 | 35 | C8 | S91-S92 | 21,18 | 35 |
| C6 | S140-235 | 15,17 | 16 | C7 | S212-S213 | 21,41 | 70 | C8 | TS-S60 | 27,61 | 70 | C8 | S81-23 | 11,82 | 16 | C8 | S92-6 | 15,92 | 16 |
| C6 | S140-237 | 11,08 | 16 | C7 | S213-S214 | 24,45 | 70 | C8 | S60-S61 | 24,13 | 70 | C8 | S81-28 | 21,42 | 16 | C8 | S92-13 | 13,63 | 16 |
| C6 | S140-238 | 26,43 | 16 | C7 | S214-S215 | 29,86 | 70 | C8 | S61-S62 | 23,96 | 70 | C8 | S81-S82 | 25,51 | 35 | C8 | S90-S93 | 24,71 | 35 |
| C6 | S138-S141 | 30,90 | 70 | C7 | S215-S216 | 24,26 | 70 | C8 | S62-S63 | 15,94 | 70 | C8 | S82-16 | 8,43 | 16 | C8 | S93-9 | 13,25 | 16 |
| C6 | S141-232 | 10,19 | 16 | C7 | S216-S217 | 29,36 | 70 | C8 | S63-S64 | 21,53 | 70 | C8 | S82-19 | 31,09 | 16 | C8 | S93-14 | 14,40 | 16 |
| C6 | S141-S142 | 28,88 | 70 | C7 | S217-S218 | 29,40 | 70 | C8 | S64-S65 | 25,69 | 70 | C8 | S82-S83 | 21,57 | 35 | C8 | S93-S94 | 20,46 | 35 |
| C6 | S142-236 | 15,80 | 16 | C7 | S218-S219 | 29,30 | 70 | C8 | S65-S66 | 27,52 | 70 | C8 | S83-7 | 12,33 | 16 | C8 | S94-4 | 15,27 | 16 |
| C6 | S142-240 | 9,69 | 16 | C7 | S219-S220 | 24,39 | 70 | C8 | S66-S67 | 25,69 | 70 | C8 | S83-12 | 13,71 | 16 | C8 | S94-5 | 12,08 | 16 |
| C6 | S142-S143 | 17,64 | 70 | C7 | S220-S221 | 28,54 | 70 | C8 | S67-S68 | 22,26 | 70 | C8 | S78-26 | 12,18 | 16 | C8 | S93-S95 | 23,87 | 35 |
| C6 | S143-242 | 17,83 | 16 | C7 | S221-S222 | 26,77 | 70 | C8 | S68-S69 | 23,08 | 70 | C8 | S77-S84 | 27,88 | 35 | C8 | S95-3 | 19,51 | 16 |
| C6 | S143-243 | 11,34 | 16 | C7 | S222-S223 | 24,35 | 70 | C8 | S69-S70 | 29,52 | 70 | C8 | S84-31 | 15,34 | 16 | C8 | S95-S96 | 23,65 | 35 |
| C6 | S143-244 | 9,35 | 16 | C7 | S223-254 | 25,97 | 16 | C8 | S70-S71 | 24,07 | 70 | C8 | S84-46 | 24,24 | 16 | C8 | S96-1 | 16,90 | 16 |
| C6 | S143-S144 | 30,05 | 70 | C7 | S223-S224 | 25,68 | 70 | C8 | S71-S72 | 23,51 | 70 | C8 | S84-S85 | 22,55 | 35 | C8 | S96-2 | 19,55 | 16 |
| C6 | S144-247 | 8,71 | 16 | C7 | S224-256 | 23,19 | 16 | C8 | S72-S73 | 28,38 | 35 | C8 | S85-30 | 12,50 | 16 | | | | |

Prilog 13. Godišnje vršno opterećenje potrošača – podaci za Matpower

| Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVAr) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVAr) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVAr) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVAr) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVAr) |
|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|
| 999 | 3 | 0.00000000 | 0.00000000 | 34 | 1 | 0.00092006 | 0.00021199 | 68 | 1 | 0.00147870 | 0.00034071 | 102 | 1 | 0.00170684 | 0.00039328 | 136 | 1 | 0.00130784 | 0.00030134 |
| 1 | 1 | 0.00640462 | 0.00147571 | 35 | 1 | 0.00217975 | 0.00050224 | 69 | 1 | 0.00122556 | 0.00028238 | 103 | 1 | 0.00190861 | 0.00043977 | 137 | 1 | 0.00206183 | 0.00047507 |
| 2 | 1 | 0.00054558 | 0.00012571 | 36 | 1 | 0.00127409 | 0.00029357 | 70 | 1 | 0.00271299 | 0.00062511 | 104 | 1 | 0.00267561 | 0.00061650 | 138 | 1 | 0.00212367 | 0.00048932 |
| 3 | 1 | 0.00193179 | 0.00044511 | 37 | 1 | 0.00058305 | 0.00013434 | 71 | 1 | 0.00245020 | 0.00056456 | 105 | 1 | 0.00128316 | 0.00029566 | 139 | 1 | 0.00101042 | 0.00023281 |
| 4 | 1 | 0.00275515 | 0.00063482 | 38 | 1 | 0.00012073 | 0.00002782 | 72 | 1 | 0.00012484 | 0.00002876 | 106 | 1 | 0.00000012 | 0.00000003 | 140 | 1 | 0.00045928 | 0.00010582 |
| 5 | 1 | 0.00105615 | 0.00024335 | 39 | 1 | 0.00134121 | 0.00030903 | 73 | 1 | 0.00217349 | 0.00050080 | 107 | 1 | 0.00341779 | 0.00078750 | 141 | 1 | 0.00029265 | 0.00006743 |
| 6 | 1 | 0.00276003 | 0.00063595 | 40 | 1 | 0.00096809 | 0.00022306 | 74 | 1 | 0.00076992 | 0.00017740 | 108 | 1 | 0.00001874 | 0.00000432 | 142 | 1 | 0.00108834 | 0.00025077 |
| 7 | 1 | 0.00138423 | 0.00031894 | 41 | 1 | 0.00205849 | 0.00047430 | 75 | 1 | 0.00028878 | 0.00006654 | 109 | 1 | 0.00145502 | 0.00033525 | 143 | 1 | 0.00076933 | 0.00017726 |
| 8 | 1 | 0.00157681 | 0.00036332 | 42 | 1 | 0.00152458 | 0.00035128 | 76 | 1 | 0.00043461 | 0.00010014 | 110 | 1 | 0.00212941 | 0.00049064 | 144 | 1 | 0.00187728 | 0.00043255 |
| 9 | 1 | 0.00283811 | 0.00065394 | 43 | 1 | 0.00098212 | 0.00022629 | 77 | 1 | 0.00129954 | 0.00029943 | 111 | 1 | 0.00123850 | 0.00028537 | 145 | 1 | 0.00274366 | 0.00063218 |
| 10 | 1 | 0.00006557 | 0.00001511 | 44 | 1 | 0.00241938 | 0.00055746 | 78 | 1 | 0.00109353 | 0.00025196 | 112 | 1 | 0.00273738 | 0.00063073 | 146 | 1 | 0.00238374 | 0.00054924 |
| 11 | 1 | 0.00142102 | 0.00032742 | 45 | 1 | 0.00148751 | 0.00034274 | 79 | 1 | 0.00228699 | 0.00052695 | 113 | 1 | 0.00011843 | 0.00002729 | 147 | 1 | 0.00501600 | 0.00115575 |
| 12 | 1 | 0.00162354 | 0.00037408 | 46 | 1 | 0.00175674 | 0.00040478 | 80 | 1 | 0.00328062 | 0.00075590 | 114 | 1 | 0.00196585 | 0.00045296 | 148 | 1 | 0.00178808 | 0.00041200 |
| 13 | 1 | 0.00011234 | 0.00002588 | 47 | 1 | 0.00185737 | 0.00042796 | 81 | 1 | 0.00068794 | 0.00015851 | 115 | 1 | 0.00000254 | 0.00000059 | 149 | 1 | 0.00150445 | 0.00034664 |
| 14 | 1 | 0.00564166 | 0.00129991 | 48 | 1 | 0.00124793 | 0.00028754 | 82 | 1 | 0.00081659 | 0.00018815 | 116 | 1 | 0.00064492 | 0.00014860 | 150 | 1 | 0.00113452 | 0.00026141 |
| 15 | 1 | 0.00026597 | 0.00006128 | 49 | 1 | 0.00125179 | 0.00028843 | 83 | 1 | 0.00106145 | 0.00024457 | 117 | 1 | 0.00100237 | 0.00023096 | 151 | 1 | 0.00076506 | 0.00017628 |
| 16 | 1 | 0.00217331 | 0.00050076 | 50 | 1 | 0.00001943 | 0.00000448 | 84 | 1 | 0.00185849 | 0.00042822 | 118 | 1 | 0.00179678 | 0.00041400 | 152 | 1 | 0.00182974 | 0.00042159 |
| 17 | 1 | 0.00188741 | 0.00043488 | 51 | 1 | 0.00038246 | 0.00008812 | 85 | 1 | 0.00137907 | 0.00031776 | 119 | 1 | 0.00078640 | 0.00018120 | 153 | 1 | 0.00053833 | 0.00012404 |
| 18 | 1 | 0.00284525 | 0.00065558 | 52 | 1 | 0.00548683 | 0.00126424 | 86 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 120 | 1 | 0.00158620 | 0.00036548 | 154 | 1 | 0.00104132 | 0.00023993 |
| 19 | 1 | 0.00016413 | 0.00003782 | 53 | 1 | 0.00070364 | 0.00016213 | 87 | 1 | 0.00370856 | 0.00085450 | 121 | 1 | 0.00210580 | 0.00048520 | 155 | 1 | 0.00003831 | 0.00000883 |
| 20 | 1 | 0.00000035 | 0.00000008 | 54 | 1 | 0.00163419 | 0.00037654 | 88 | 1 | 0.00096444 | 0.00022222 | 122 | 1 | 0.00154653 | 0.00035634 | 156 | 1 | 0.00000069 | 0.00000016 |
| 21 | 1 | 0.00081157 | 0.00018700 | 55 | 1 | 0.00246422 | 0.00056779 | 89 | 1 | 0.00139651 | 0.00032177 | 123 | 1 | 0.00027455 | 0.00006326 | 157 | 1 | 0.00267073 | 0.00061537 |
| 22 | 1 | 0.00000027 | 0.00000006 | 56 | 1 | 0.00061995 | 0.00014284 | 90 | 1 | 0.00104515 | 0.00024082 | 124 | 1 | 0.00197947 | 0.00045609 | 158 | 1 | 0.00248405 | 0.00057236 |
| 23 | 1 | 0.00219525 | 0.00050582 | 57 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 91 | 1 | 0.00224362 | 0.00051696 | 125 | 1 | 0.00080048 | 0.00018444 | 159 | 1 | 0.00065984 | 0.00015204 |
| 24 | 1 | 0.00382403 | 0.00088111 | 58 | 1 | 0.00131755 | 0.00030358 | 92 | 1 | 0.00173426 | 0.00039960 | 126 | 1 | 0.00114584 | 0.00026402 | 160 | 1 | 0.00002593 | 0.00000597 |
| 25 | 1 | 0.00488884 | 0.00112645 | 59 | 1 | 0.00194901 | 0.00044908 | 93 | 1 | 0.00191549 | 0.00044135 | 127 | 1 | 0.00138005 | 0.00031798 | 161 | 1 | 0.00232682 | 0.00053613 |
| 26 | 1 | 0.00118668 | 0.00027343 | 60 | 1 | 0.00223346 | 0.00051462 | 94 | 1 | 0.00134430 | 0.00030975 | 128 | 1 | 0.00378814 | 0.00087284 | 162 | 1 | 0.00099046 | 0.00022821 |
| 27 | 1 | 0.00251130 | 0.00057864 | 61 | 1 | 0.00175496 | 0.00040437 | 95 | 1 | 0.00181311 | 0.00041776 | 129 | 1 | 0.00115230 | 0.00026551 | 163 | 1 | 0.00164862 | 0.00037986 |
| 28 | 1 | 0.00000009 | 0.00000002 | 62 | 1 | 0.00054569 | 0.00012573 | 96 | 1 | 0.00082900 | 0.00019101 | 130 | 1 | 0.00078060 | 0.00017986 | 164 | 1 | 0.00047479 | 0.00010940 |
| 29 | 1 | 0.00108599 | 0.00025023 | 63 | 1 | 0.00002292 | 0.00000528 | 97 | 1 | 0.00011106 | 0.00002559 | 131 | 1 | 0.00283147 | 0.00065241 | 165 | 1 | 0.00037145 | 0.00008559 |
| 30 | 1 | 0.00150685 | 0.00034720 | 64 | 1 | 0.00125579 | 0.00028935 | 98 | 1 | 0.00112302 | 0.00025876 | 132 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 166 | 1 | 0.00140683 | 0.00032415 |
| 31 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 65 | 1 | 0.00015239 | 0.00003511 | 99 | 1 | 0.00240121 | 0.00055327 | 133 | 1 | 0.00125425 | 0.00028900 | 167 | 1 | 0.00092126 | 0.00021227 |
| 32 | 1 | 0.00315694 | 0.00072740 | 66 | 1 | 0.00328385 | 0.00075664 | 100 | 1 | 0.00174373 | 0.00040178 | 134 | 1 | 0.00013258 | 0.00003055 | 168 | 1 | 0.00000089 | 0.00000020 |
| 33 | 1 | 0.00121719 | 0.00028046 | 67 | 1 | 0.00238235 | 0.00054892 | 101 | 1 | 0.00113624 | 0.00026180 | 135 | 1 | 0.00105924 | 0.00024406 | 169 | 1 | 0.00162172 | 0.00037367 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|
| 170 | 1 | 0.00034661 | 0.00007986 | 191 | 1 | 0.00042008 | 0.00009679 | 212 | 1 | 0.00115930 | 0.00026712 | 233 | 1 | 0.00058462 | 0.00013470 | 254 | 1 | 0.00124954 | 0.00028791 |
| 171 | 1 | 0.00163017 | 0.00037561 | 192 | 1 | 0.00145451 | 0.00033514 | 213 | 1 | 0.00049423 | 0.00011388 | 234 | 1 | 0.00222319 | 0.00051225 | 255 | 1 | 0.00179995 | 0.00041473 |
| 172 | 1 | 0.00042456 | 0.00009783 | 193 | 1 | 0.00202990 | 0.00046771 | 214 | 1 | 0.00086044 | 0.00019826 | 235 | 1 | 0.00183758 | 0.00042340 | 256 | 1 | 0.00036752 | 0.00008468 |
| 173 | 1 | 0.00213441 | 0.00049180 | 194 | 1 | 0.00099425 | 0.00022909 | 215 | 1 | 0.00058717 | 0.00013529 | 236 | 1 | 0.00149529 | 0.00034453 | 257 | 1 | 0.00135339 | 0.00031184 |
| 174 | 1 | 0.00056507 | 0.00013020 | 195 | 1 | 0.00253463 | 0.00058401 | 216 | 1 | 0.00163566 | 0.00037688 | 237 | 1 | 0.00133204 | 0.00030692 | 258 | 1 | 0.00054222 | 0.00012493 |
| 175 | 1 | 0.00208804 | 0.00048111 | 196 | 1 | 0.00191323 | 0.00044083 | 217 | 1 | 0.00065071 | 0.00014993 | 238 | 1 | 0.00199516 | 0.00045971 | 259 | 1 | 0.00033890 | 0.00007809 |
| 176 | 1 | 0.00095123 | 0.00021917 | 197 | 1 | 0.00075196 | 0.00017326 | 218 | 1 | 0.00002946 | 0.00000679 | 239 | 1 | 0.00006082 | 0.00001401 | 260 | 1 | 0.00094045 | 0.00021669 |
| 177 | 1 | 0.00106692 | 0.00024583 | 198 | 1 | 0.00000272 | 0.00000063 | 219 | 1 | 0.00259978 | 0.00059902 | 240 | 1 | 0.00103846 | 0.00023927 | 261 | 1 | 0.00106898 | 0.00024631 |
| 178 | 1 | 0.00000689 | 0.00000159 | 199 | 1 | 0.00124155 | 0.00028607 | 220 | 1 | 0.00072366 | 0.00016674 | 241 | 1 | 0.00136354 | 0.00031418 | 262 | 1 | 0.00046608 | 0.00010739 |
| 179 | 1 | 0.00084924 | 0.00019568 | 200 | 1 | 0.00237135 | 0.00054639 | 221 | 1 | 0.00111116 | 0.00025603 | 242 | 1 | 0.00223735 | 0.00051552 | 263 | 1 | 0.00096398 | 0.00022211 |
| 180 | 1 | 0.00171946 | 0.00039619 | 201 | 1 | 0.00117106 | 0.00026983 | 222 | 1 | 0.00069304 | 0.00015969 | 243 | 1 | 0.00112516 | 0.00025925 | 264 | 1 | 0.00021086 | 0.00004859 |
| 181 | 1 | 0.00122604 | 0.00028250 | 202 | 1 | 0.00031815 | 0.00007331 | 223 | 1 | 0.00102279 | 0.00023567 | 244 | 1 | 0.00054721 | 0.00012608 | 265 | 1 | 0.00003597 | 0.00000829 |
| 182 | 1 | 0.00112105 | 0.00025831 | 203 | 1 | 0.00109470 | 0.00025223 | 224 | 1 | 0.00080160 | 0.00018470 | 245 | 1 | 0.00060921 | 0.00014037 | 266 | 1 | 0.00189306 | 0.00043619 |
| 183 | 1 | 0.00197243 | 0.00045447 | 204 | 1 | 0.00159256 | 0.00036695 | 225 | 1 | 0.00224054 | 0.00051625 | 246 | 1 | 0.00308872 | 0.00071168 | 267 | 1 | 0.00119693 | 0.00027579 |
| 184 | 1 | 0.00015654 | 0.00003607 | 205 | 1 | 0.00149298 | 0.00034400 | 226 | 1 | 0.00136587 | 0.00031471 | 247 | 1 | 0.00150678 | 0.00034718 | 268 | 1 | 0.00152865 | 0.00035222 |
| 185 | 1 | 0.00111445 | 0.00025678 | 206 | 1 | 0.00265478 | 0.00061170 | 227 | 1 | 0.00001924 | 0.00000443 | 248 | 1 | 0.00057686 | 0.00013291 | 269 | 1 | 0.00232926 | 0.00053669 |
| 186 | 1 | 0.00120997 | 0.00027879 | 207 | 1 | 0.00021446 | 0.00004941 | 228 | 1 | 0.00181034 | 0.00041713 | 249 | 1 | 0.00077220 | 0.00017793 | 270 | 1 | 0.00048099 | 0.00011083 |
| 187 | 1 | 0.00030054 | 0.00006925 | 208 | 1 | 0.00138747 | 0.00031969 | 229 | 1 | 0.00153989 | 0.00035481 | 250 | 1 | 0.00159670 | 0.00036790 | | | | |
| 188 | 1 | 0.00354249 | 0.00081624 | 209 | 1 | 0.00117713 | 0.00027123 | 230 | 1 | 0.00026341 | 0.00006069 | 251 | 1 | 0.00100805 | 0.00023227 | | | | |
| 189 | 1 | 0.00175337 | 0.00040400 | 210 | 1 | 0.00080019 | 0.00018437 | 231 | 1 | 0.00291098 | 0.00067073 | 252 | 1 | 0.00002634 | 0.00000607 | | | | |
| 190 | 1 | 0.00061885 | 0.00014259 | 211 | 1 | 0.00101687 | 0.00023430 | 232 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 253 | 1 | 0.00095693 | 0.00022049 | | | | |

Prilog 14. Dionice distribucijske mreže sa 5 niskonaponskih izvoda – podaci za Matpower

| From bus | To bus | R (p.u.) | X (p.u.) | From bus | To bus | R (p.u.) | X (p.u.) | From bus | To bus | R (p.u.) | X (p.u.) | From bus | To bus | R (p.u.) | X (p.u.) | From bus | To bus | R (p.u.) | X (p.u.) |
|----------|--------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|
| 999 | 1000 | 0.035640 | 0.006006 | 1002 | 120 | 0.216510 | 0.009861 | 1006 | 133 | 0.159843 | 0.007280 | 1009 | 115 | 0.203037 | 0.009248 | 1013 | 103 | 0.182582 | 0.008316 |
| 1000 | 137 | 0.457016 | 0.020816 | 1000 | 1003 | 0.069008 | 0.011630 | 1006 | 139 | 0.367942 | 0.016759 | 1009 | 1010 | 0.172719 | 0.017314 | 1013 | 105 | 0.297351 | 0.013544 |
| 1000 | 1001 | 0.108100 | 0.010836 | 1003 | 130 | 0.138535 | 0.006310 | 1006 | 1007 | 0.161926 | 0.016232 | 1010 | 127 | 0.353064 | 0.016082 | 1013 | 1014 | 0.137476 | 0.023170 |
| 1001 | 132 | 0.135512 | 0.006172 | 1003 | 125 | 0.171512 | 0.007812 | 1007 | 108 | 0.206683 | 0.009414 | 1010 | 134 | 0.471871 | 0.021493 | 1014 | 96 | 0.222383 | 0.010129 |
| 1001 | 136 | 0.100483 | 0.004577 | 1003 | 1004 | 0.048045 | 0.008097 | 1007 | 110 | 0.175803 | 0.008007 | 1004 | 1011 | 0.069207 | 0.011664 | 1014 | 102 | 0.231691 | 0.010553 |
| 1001 | 135 | 0.129301 | 0.005889 | 1004 | 1005 | 0.204064 | 0.020456 | 1007 | 111 | 0.147021 | 0.006696 | 1011 | 1012 | 0.147787 | 0.014815 | 1014 | 1015 | 0.061687 | 0.010396 |
| 1001 | 141 | 0.182868 | 0.008329 | 1005 | 114 | 0.180567 | 0.008224 | 1007 | 117 | 0.187988 | 0.008562 | 1012 | 97 | 0.296543 | 0.013507 | 1015 | 1016 | 0.085743 | 0.014451 |
| 1001 | 1002 | 0.140823 | 0.014117 | 1005 | 116 | 0.160449 | 0.007308 | 1006 | 1008 | 0.161762 | 0.016216 | 1012 | 101 | 0.415101 | 0.018907 | 1016 | 93 | 0.115947 | 0.005281 |
| 1002 | 129 | 0.145425 | 0.006624 | 1005 | 119 | 0.286122 | 0.013032 | 1008 | 123 | 0.190512 | 0.008677 | 1012 | 113 | 0.249551 | 0.011366 | 1016 | 1017 | 0.076409 | 0.012878 |
| 1002 | 124 | 0.166406 | 0.007579 | 1005 | 122 | 0.227187 | 0.010348 | 1008 | 1009 | 0.118067 | 0.011835 | 1012 | 118 | 0.349916 | 0.015938 | 1017 | 90 | 0.112722 | 0.005134 |
| 1002 | 128 | 0.271131 | 0.012349 | 1005 | 126 | 0.218804 | 0.009966 | 1009 | 109 | 0.346370 | 0.015777 | 1011 | 106 | 0.195055 | 0.008884 | 1017 | 92 | 0.106279 | 0.004841 |
| 1002 | 121 | 0.223453 | 0.010178 | 1005 | 1006 | 0.165074 | 0.016548 | 1009 | 112 | 0.375319 | 0.017095 | 1011 | 1013 | 0.133540 | 0.022506 | 1017 | 1018 | 0.130615 | 0.022013 |

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|
| 1018 | 87 | 0.162083 | 0.007382 | 1027 | 107 | 0.215160 | 0.009800 | 1136 | 250 | 0.198965 | 0.009062 | 1061 | 1062 | 0.187213 | 0.018767 | 1074 | 1075 | 0.103760 | 0.010401 |
| 1016 | 1019 | 0.114897 | 0.011518 | 1027 | 1028 | 0.132375 | 0.013270 | 1136 | 251 | 0.263701 | 0.012011 | 1062 | 151 | 0.216979 | 0.009883 | 1075 | 161 | 0.250862 | 0.011426 |
| 1019 | 79 | 0.211975 | 0.009655 | 1028 | 94 | 0.205679 | 0.009368 | 1134 | 1137 | 0.102429 | 0.017263 | 1062 | 1063 | 0.067573 | 0.006774 | 1075 | 167 | 0.233934 | 0.010655 |
| 1019 | 80 | 0.208778 | 0.009509 | 1028 | 95 | 0.145402 | 0.006623 | 1137 | 1138 | 0.113335 | 0.019101 | 1063 | 140 | 0.325573 | 0.014829 | 1073 | 181 | 0.143289 | 0.006526 |
| 1019 | 82 | 0.175739 | 0.008004 | 1028 | 99 | 0.122589 | 0.005583 | 1138 | 254 | 0.239044 | 0.010888 | 1063 | 1064 | 0.174810 | 0.017524 | 1073 | 187 | 0.196339 | 0.008943 |
| 1019 | 84 | 0.153358 | 0.006985 | 1028 | 100 | 0.156497 | 0.007128 | 1138 | 1139 | 0.107845 | 0.018176 | 1064 | 146 | 0.212506 | 0.009679 | 1073 | 190 | 0.223443 | 0.010177 |
| 1019 | 1020 | 0.132629 | 0.013295 | 1028 | 1029 | 0.131813 | 0.013213 | 1139 | 256 | 0.371302 | 0.016912 | 1064 | 1065 | 0.147667 | 0.014803 | 1073 | 193 | 0.151316 | 0.006892 |
| 1020 | 73 | 0.099324 | 0.004524 | 1029 | 83 | 0.156399 | 0.007123 | 1139 | 1140 | 0.093640 | 0.015782 | 1065 | 138 | 0.267502 | 0.012184 | 1073 | 1076 | 0.082790 | 0.013953 |
| 1020 | 74 | 0.114515 | 0.005216 | 1029 | 85 | 0.164148 | 0.007476 | 1140 | 259 | 0.143119 | 0.006519 | 1065 | 144 | 0.176606 | 0.008044 | 1076 | 1077 | 0.177146 | 0.017758 |
| 1020 | 1021 | 0.065959 | 0.006612 | 1029 | 89 | 0.226504 | 0.010317 | 1140 | 1141 | 0.071814 | 0.012103 | 1065 | 145 | 0.167179 | 0.007615 | 1077 | 1078 | 0.187368 | 0.018783 |
| 1021 | 60 | 0.298932 | 0.013616 | 1029 | 1030 | 0.197975 | 0.019846 | 1141 | 1142 | 0.163980 | 0.016438 | 1065 | 1066 | 0.165087 | 0.016549 | 1078 | 198 | 0.246571 | 0.011231 |
| 1021 | 61 | 0.191827 | 0.008737 | 1030 | 65 | 0.361899 | 0.016484 | 1142 | 260 | 0.233293 | 0.010626 | 1066 | 154 | 0.444230 | 0.020234 | 1078 | 204 | 0.317344 | 0.014454 |
| 1021 | 64 | 0.205199 | 0.009346 | 1030 | 75 | 0.203871 | 0.009286 | 1142 | 262 | 0.240842 | 0.010970 | 1066 | 158 | 0.245991 | 0.011204 | 1076 | 1079 | 0.082101 | 0.013837 |
| 1021 | 68 | 0.303795 | 0.013837 | 1026 | 1031 | 0.115443 | 0.011572 | 1142 | 1143 | 0.111983 | 0.011226 | 1066 | 170 | 0.358157 | 0.016313 | 1079 | 199 | 0.190934 | 0.008697 |
| 1017 | 1022 | 0.133742 | 0.013407 | 1031 | 86 | 0.241246 | 0.010988 | 1143 | 263 | 0.265099 | 0.012075 | 1066 | 1067 | 0.099416 | 0.009966 | 1079 | 203 | 0.149936 | 0.006829 |
| 1022 | 70 | 0.289955 | 0.013207 | 1031 | 88 | 0.188191 | 0.008572 | 1143 | 265 | 0.193185 | 0.008799 | 1067 | 163 | 0.131456 | 0.005987 | 1079 | 205 | 0.243825 | 0.011106 |
| 1022 | 72 | 0.288475 | 0.013139 | 1031 | 91 | 0.157278 | 0.007164 | 1143 | 1144 | 0.087581 | 0.008779 | 1067 | 164 | 0.162087 | 0.007383 | 1079 | 1080 | 0.168141 | 0.016855 |
| 1022 | 77 | 0.127225 | 0.005795 | 1031 | 98 | 0.195957 | 0.008925 | 1144 | 264 | 0.194322 | 0.008851 | 1067 | 172 | 0.288954 | 0.013161 | 1080 | 1081 | 0.175417 | 0.017585 |
| 1022 | 81 | 0.116851 | 0.005322 | 999 | 1122 | 0.066989 | 0.011290 | 1144 | 267 | 0.218105 | 0.009934 | 1059 | 1068 | 0.084861 | 0.014302 | 1081 | 197 | 0.297921 | 0.013570 |
| 1018 | 1023 | 0.117443 | 0.011773 | 1122 | 1123 | 0.095268 | 0.016056 | 1141 | 1145 | 0.182480 | 0.018293 | 1068 | 155 | 0.157763 | 0.007186 | 1081 | 210 | 0.287041 | 0.013074 |
| 1023 | 69 | 0.172776 | 0.007869 | 1123 | 1124 | 0.101269 | 0.017067 | 1145 | 261 | 0.169143 | 0.007704 | 1068 | 159 | 0.232628 | 0.010596 | 1081 | 213 | 0.285689 | 0.013013 |
| 1023 | 71 | 0.175059 | 0.007973 | 1124 | 1125 | 0.074332 | 0.012527 | 1145 | 1146 | 0.113776 | 0.011405 | 1068 | 1069 | 0.126764 | 0.012707 | 1079 | 1082 | 0.098772 | 0.016647 |
| 1023 | 76 | 0.107447 | 0.004894 | 1125 | 1126 | 0.076251 | 0.012851 | 1146 | 266 | 0.159641 | 0.007271 | 1069 | 166 | 0.173328 | 0.007895 | 1082 | 1083 | 0.095985 | 0.016177 |
| 1023 | 78 | 0.150561 | 0.006858 | 1126 | 1127 | 0.114756 | 0.019341 | 1146 | 1147 | 0.138404 | 0.013874 | 1069 | 176 | 0.191848 | 0.008738 | 1083 | 1084 | 0.138561 | 0.013890 |
| 1023 | 1024 | 0.089907 | 0.009013 | 1127 | 1128 | 0.086910 | 0.014647 | 1147 | 268 | 0.092768 | 0.004225 | 1068 | 1070 | 0.083084 | 0.014003 | 1084 | 230 | 0.234961 | 0.010702 |
| 1024 | 62 | 0.153139 | 0.006975 | 1128 | 1129 | 0.086175 | 0.014524 | 1147 | 269 | 0.201043 | 0.009157 | 1070 | 165 | 0.182901 | 0.008331 | 1084 | 232 | 0.116893 | 0.005324 |
| 1024 | 63 | 0.198665 | 0.009049 | 1129 | 1130 | 0.089881 | 0.015148 | 1147 | 1148 | 0.159553 | 0.015994 | 1070 | 168 | 0.233434 | 0.010632 | 1084 | 1085 | 0.159541 | 0.015993 |
| 1024 | 66 | 0.145404 | 0.006623 | 1130 | 1131 | 0.073423 | 0.012374 | 1148 | 270 | 0.254030 | 0.011571 | 1070 | 171 | 0.182036 | 0.008291 | 1085 | 235 | 0.218523 | 0.009953 |
| 1021 | 1025 | 0.198272 | 0.019876 | 1131 | 1132 | 0.110546 | 0.018631 | 999 | 1059 | 0.105358 | 0.017757 | 1070 | 175 | 0.203787 | 0.009282 | 1085 | 237 | 0.123772 | 0.005637 |
| 1025 | 52 | 0.397968 | 0.018127 | 1132 | 241 | 0.190060 | 0.008657 | 1059 | 143 | 0.270618 | 0.012326 | 1070 | 1071 | 0.060247 | 0.010154 | 1085 | 238 | 0.353642 | 0.016108 |
| 1025 | 54 | 0.221922 | 0.010108 | 1132 | 1133 | 0.097400 | 0.016415 | 1059 | 1060 | 0.146699 | 0.014706 | 1071 | 1072 | 0.109894 | 0.011016 | 1083 | 1086 | 0.076589 | 0.012908 |
| 1025 | 55 | 0.216570 | 0.009864 | 1133 | 239 | 0.357086 | 0.016265 | 1060 | 149 | 0.292153 | 0.013307 | 1072 | 182 | 0.154179 | 0.007022 | 1086 | 1087 | 0.141655 | 0.014200 |
| 1025 | 57 | 0.299860 | 0.013658 | 1133 | 1134 | 0.101282 | 0.017070 | 1060 | 156 | 0.213332 | 0.009717 | 1072 | 188 | 0.249454 | 0.011362 | 1087 | 236 | 0.136611 | 0.006222 |
| 1025 | 67 | 0.158834 | 0.007234 | 1134 | 245 | 0.429590 | 0.019567 | 1060 | 162 | 0.299381 | 0.013636 | 1071 | 1073 | 0.051460 | 0.008673 | 1087 | 240 | 0.186059 | 0.008474 |
| 1015 | 1026 | 0.151309 | 0.015168 | 1134 | 1135 | 0.133634 | 0.013396 | 1060 | 169 | 0.313291 | 0.014270 | 1073 | 1074 | 0.144602 | 0.014496 | 1087 | 242 | 0.368528 | 0.016786 |
| 1026 | 1027 | 0.119157 | 0.011945 | 1135 | 249 | 0.150178 | 0.006840 | 1059 | 1061 | 0.185904 | 0.018636 | 1074 | 178 | 0.385449 | 0.017557 | 1086 | 1088 | 0.095885 | 0.016160 |
| 1027 | 104 | 0.233040 | 0.010614 | 1135 | 1136 | 0.138147 | 0.013848 | 1061 | 142 | 0.290925 | 0.013251 | 1074 | 180 | 0.133054 | 0.006060 | 1088 | 1089 | 0.173738 | 0.017416 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|
| 1089 | 243 | 0.191165 | 0.008707 | 1102 | 1103 | 0.150455 | 0.015082 | 1113 | 200 | 0.258537 | 0.011776 | 1041 | 1042 | 0.125019 | 0.012532 | 1045 | 39 | 0.272084 | 0.012393 |
| 1089 | 244 | 0.338585 | 0.015422 | 1103 | 131 | 0.292769 | 0.013335 | 1113 | 206 | 0.401603 | 0.018292 | 1042 | 48 | 0.221254 | 0.010078 | 1045 | 1051 | 0.100554 | 0.016947 |
| 1089 | 247 | 0.258649 | 0.011781 | 1099 | 1104 | 0.074332 | 0.012527 | 1113 | 1114 | 0.176146 | 0.017658 | 1042 | 51 | 0.213171 | 0.009709 | 1051 | 17 | 0.175083 | 0.007975 |
| 1088 | 1090 | 0.068300 | 0.011511 | 1104 | 192 | 0.179729 | 0.008186 | 1114 | 189 | 0.316771 | 0.014428 | 1042 | 59 | 0.282499 | 0.012867 | 1051 | 18 | 0.356703 | 0.016247 |
| 1090 | 1091 | 0.153506 | 0.015388 | 1104 | 195 | 0.285227 | 0.012992 | 1114 | 196 | 0.179925 | 0.008195 | 1041 | 1043 | 0.079450 | 0.013390 | 1051 | 24 | 0.228838 | 0.010423 |
| 1091 | 246 | 0.237196 | 0.010804 | 1104 | 1105 | 0.076251 | 0.012851 | 1109 | 1115 | 0.086910 | 0.014647 | 1043 | 1044 | 0.215688 | 0.021622 | 1051 | 26 | 0.164458 | 0.007491 |
| 1091 | 248 | 0.287166 | 0.013080 | 1105 | 1106 | 0.095469 | 0.009570 | 1115 | 1116 | 0.086175 | 0.014524 | 1044 | 44 | 0.338264 | 0.015407 | 1051 | 29 | 0.250285 | 0.011400 |
| 1090 | 1092 | 0.172225 | 0.017265 | 1106 | 186 | 0.253452 | 0.011544 | 1116 | 218 | 0.241487 | 0.010999 | 1044 | 45 | 0.158681 | 0.007227 | 1051 | 1052 | 0.054597 | 0.009201 |
| 1092 | 1093 | 0.214266 | 0.021479 | 1106 | 194 | 0.185782 | 0.008462 | 1116 | 225 | 0.223770 | 0.010192 | 1044 | 49 | 0.238689 | 0.010872 | 1052 | 1053 | 0.156899 | 0.015728 |
| 1093 | 1094 | 0.172540 | 0.017296 | 1106 | 202 | 0.281288 | 0.012812 | 1116 | 1117 | 0.163200 | 0.016360 | 1044 | 50 | 0.064420 | 0.002934 | 1053 | 9 | 0.353371 | 0.016095 |
| 1094 | 252 | 0.298427 | 0.013593 | 1105 | 1107 | 0.133084 | 0.013341 | 1117 | 231 | 0.280565 | 0.012779 | 1043 | 46 | 0.286581 | 0.013053 | 1053 | 14 | 0.224021 | 0.010204 |
| 1094 | 1095 | 0.184232 | 0.018468 | 1107 | 201 | 0.213151 | 0.009708 | 1117 | 1118 | 0.133316 | 0.013364 | 1043 | 1045 | 0.067703 | 0.011410 | 1053 | 1054 | 0.147278 | 0.014764 |
| 1095 | 253 | 0.204556 | 0.009317 | 1107 | 207 | 0.255367 | 0.011631 | 1118 | 222 | 0.230636 | 0.010505 | 1045 | 1046 | 0.157826 | 0.015821 | 1054 | 19 | 0.159407 | 0.007260 |
| 1095 | 255 | 0.144657 | 0.006589 | 1107 | 208 | 0.137451 | 0.006260 | 1118 | 233 | 0.189826 | 0.008646 | 1046 | 38 | 0.229338 | 0.010446 | 1054 | 23 | 0.178957 | 0.008151 |
| 1095 | 257 | 0.248998 | 0.011341 | 1107 | 211 | 0.167805 | 0.007643 | 1118 | 1119 | 0.147195 | 0.014756 | 1046 | 41 | 0.261449 | 0.011908 | 1054 | 28 | 0.289698 | 0.013195 |
| 1094 | 1096 | 0.141070 | 0.014141 | 1107 | 212 | 0.142312 | 0.006482 | 1119 | 223 | 0.172098 | 0.007839 | 1046 | 1047 | 0.141025 | 0.014137 | 1054 | 32 | 0.242049 | 0.011025 |
| 1096 | 258 | 0.271797 | 0.012380 | 1107 | 1108 | 0.206942 | 0.020745 | 1119 | 229 | 0.151878 | 0.006918 | 1047 | 47 | 0.346416 | 0.015779 | 1054 | 40 | 0.501360 | 0.022836 |
| 999 | 1097 | 0.066989 | 0.011290 | 1108 | 209 | 0.211020 | 0.009611 | 1119 | 234 | 0.182394 | 0.008308 | 1047 | 1048 | 0.152035 | 0.015241 | 1054 | 1055 | 0.193751 | 0.019423 |
| 1097 | 147 | 0.266336 | 0.012131 | 1108 | 216 | 0.308830 | 0.014067 | 1119 | 1120 | 0.155995 | 0.015638 | 1048 | 35 | 0.134847 | 0.006142 | 1055 | 7 | 0.257482 | 0.011728 |
| 1097 | 148 | 0.260648 | 0.011872 | 1108 | 217 | 0.129478 | 0.005897 | 1120 | 227 | 0.118551 | 0.005399 | 1048 | 37 | 0.221946 | 0.010109 | 1055 | 12 | 0.241718 | 0.011010 |
| 1097 | 150 | 0.279618 | 0.012736 | 1108 | 221 | 0.245834 | 0.011197 | 1120 | 1121 | 0.106392 | 0.010665 | 1048 | 42 | 0.300924 | 0.013707 | 1055 | 16 | 0.154773 | 0.007049 |
| 1097 | 1098 | 0.095268 | 0.016056 | 1108 | 228 | 0.377258 | 0.017184 | 1121 | 215 | 0.230677 | 0.010507 | 1048 | 43 | 0.260378 | 0.011860 | 1052 | 1056 | 0.167276 | 0.016769 |
| 1098 | 153 | 0.344837 | 0.015707 | 1105 | 1109 | 0.114756 | 0.019341 | 999 | 1032 | 0.035640 | 0.006006 | 1047 | 1049 | 0.087873 | 0.008809 | 1056 | 6 | 0.188906 | 0.008604 |
| 1098 | 157 | 0.183266 | 0.008347 | 1109 | 1110 | 0.151441 | 0.015181 | 1032 | 1033 | 0.069008 | 0.011630 | 1049 | 27 | 0.166676 | 0.007592 | 1056 | 11 | 0.328392 | 0.014958 |
| 1098 | 160 | 0.316168 | 0.014401 | 1110 | 214 | 0.246538 | 0.011229 | 1033 | 1034 | 0.048045 | 0.008097 | 1049 | 33 | 0.134404 | 0.006122 | 1056 | 13 | 0.151636 | 0.006906 |
| 1098 | 1099 | 0.101269 | 0.017067 | 1110 | 219 | 0.156949 | 0.007149 | 1034 | 1035 | 0.069207 | 0.011664 | 1049 | 1050 | 0.149004 | 0.014937 | 1052 | 1057 | 0.120212 | 0.012050 |
| 1099 | 174 | 0.364807 | 0.016616 | 1110 | 220 | 0.284469 | 0.012957 | 1035 | 1036 | 0.133540 | 0.022506 | 1050 | 15 | 0.204854 | 0.009331 | 1057 | 4 | 0.380627 | 0.017337 |
| 1099 | 179 | 0.411763 | 0.018755 | 1110 | 224 | 0.271302 | 0.012357 | 1036 | 1037 | 0.137476 | 0.023170 | 1050 | 20 | 0.097639 | 0.004447 | 1057 | 5 | 0.207410 | 0.009447 |
| 1099 | 183 | 0.234833 | 0.010696 | 1110 | 226 | 0.198488 | 0.009041 | 1037 | 1038 | 0.061687 | 0.010396 | 1050 | 21 | 0.106360 | 0.004844 | 1057 | 8 | 0.217737 | 0.009917 |
| 1099 | 1100 | 0.149039 | 0.014940 | 1109 | 1111 | 0.210329 | 0.021085 | 1038 | 1039 | 0.126084 | 0.021250 | 1050 | 22 | 0.129384 | 0.005893 | 1057 | 10 | 0.178832 | 0.008145 |
| 1100 | 173 | 0.152912 | 0.006965 | 1111 | 1112 | 0.181329 | 0.018177 | 1039 | 1040 | 0.118720 | 0.020009 | 1049 | 30 | 0.206182 | 0.009391 | 1057 | 1058 | 0.184219 | 0.018467 |
| 1100 | 177 | 0.144179 | 0.006567 | 1112 | 184 | 0.175706 | 0.008003 | 1040 | 53 | 0.204143 | 0.009298 | 1050 | 25 | 0.182872 | 0.008329 | 1058 | 1 | 0.287068 | 0.013075 |
| 1100 | 1101 | 0.164990 | 0.016539 | 1112 | 185 | 0.287188 | 0.013081 | 1040 | 56 | 0.291008 | 0.013255 | 1045 | 31 | 0.292760 | 0.013335 | 1058 | 2 | 0.209450 | 0.009540 |
| 1101 | 152 | 0.359655 | 0.016382 | 1112 | 191 | 0.137892 | 0.006280 | 1040 | 58 | 0.252958 | 0.011522 | 1045 | 34 | 0.226139 | 0.010300 | 1058 | 3 | 0.220379 | 0.010038 |
| 1101 | 1102 | 0.134285 | 0.013461 | 1111 | 1113 | 0.208723 | 0.020923 | 1040 | 1041 | 0.073480 | 0.012384 | 1045 | 36 | 0.199383 | 0.009081 | | | | |

Prilog 15. Dionice distribucijske mreže sa 6 niskonaponskih izvoda – podaci za Matpower

| From bus | To bus | R (p.u.) | X (p.u.) | From bus | To bus | R (p.u.) | X (p.u.) | From bus | To bus | R (p.u.) | X (p.u.) | From bus | To bus | R (p.u.) | X (p.u.) | From bus | To bus | R (p.u.) | X (p.u.) |
|----------|--------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|
| 999 | 1000 | 0.080319 | 0.008051 | 1011 | 179 | 0.085067 | 0.003874 | 1022 | 187 | 0.179581 | 0.008179 | 1035 | 145 | 0.264796 | 0.012061 | 1047 | 1048 | 0.164686 | 0.016509 |
| 1000 | 141 | 0.150124 | 0.006838 | 1011 | 183 | 0.115995 | 0.005283 | 1022 | 190 | 0.202684 | 0.009232 | 1035 | 154 | 0.319342 | 0.014545 | 1048 | 117 | 0.151029 | 0.006879 |
| 1000 | 147 | 0.248202 | 0.011305 | 1011 | 1012 | 0.108639 | 0.010890 | 1022 | 193 | 0.160761 | 0.007322 | 1029 | 1036 | 0.165132 | 0.016554 | 1048 | 123 | 0.328475 | 0.014961 |
| 1000 | 1001 | 0.162004 | 0.016240 | 1012 | 1013 | 0.151929 | 0.015230 | 1008 | 1023 | 0.148008 | 0.014837 | 1036 | 140 | 0.256553 | 0.011685 | 1047 | 1049 | 0.154555 | 0.015493 |
| 1001 | 148 | 0.292660 | 0.013330 | 1013 | 195 | 0.350714 | 0.015974 | 1023 | 142 | 0.122861 | 0.005596 | 1036 | 151 | 0.193084 | 0.008794 | 1049 | 109 | 0.196084 | 0.008931 |
| 1001 | 150 | 0.287409 | 0.013091 | 1013 | 204 | 0.405113 | 0.018452 | 1023 | 1024 | 0.149572 | 0.014994 | 1030 | 1037 | 0.156120 | 0.015650 | 1049 | 115 | 0.188793 | 0.008599 |
| 1001 | 153 | 0.325737 | 0.014837 | 1013 | 209 | 0.286987 | 0.013072 | 1024 | 133 | 0.163490 | 0.007446 | 1037 | 1038 | 0.137397 | 0.013773 | 1049 | 1050 | 0.149079 | 0.014944 |
| 1000 | 1002 | 0.132861 | 0.013319 | 1010 | 1014 | 0.123867 | 0.012417 | 1024 | 139 | 0.188864 | 0.008602 | 1038 | 134 | 0.185751 | 0.008460 | 1050 | 107 | 0.220976 | 0.010065 |
| 1002 | 132 | 0.187239 | 0.008528 | 1014 | 157 | 0.263909 | 0.012021 | 1023 | 1025 | 0.099102 | 0.009934 | 1038 | 144 | 0.137060 | 0.006243 | 1050 | 112 | 0.176823 | 0.008054 |
| 1002 | 135 | 0.124518 | 0.005671 | 1014 | 160 | 0.330082 | 0.015035 | 1025 | 126 | 0.221119 | 0.010071 | 1038 | 146 | 0.172903 | 0.007875 | 1050 | 1051 | 0.152123 | 0.015249 |
| 1002 | 136 | 0.138660 | 0.006315 | 1014 | 1015 | 0.159758 | 0.016015 | 1025 | 137 | 0.121104 | 0.005516 | 999 | 1039 | 0.081752 | 0.013778 | 1051 | 1052 | 0.162161 | 0.016256 |
| 1002 | 1003 | 0.126384 | 0.012669 | 1015 | 173 | 0.178568 | 0.008133 | 1025 | 1026 | 0.120698 | 0.012099 | 1039 | 1040 | 0.089384 | 0.015064 | 1052 | 127 | 0.241552 | 0.011002 |
| 1003 | 121 | 0.172042 | 0.007836 | 1015 | 177 | 0.283901 | 0.012931 | 1026 | 122 | 0.136898 | 0.006235 | 1040 | 1041 | 0.072360 | 0.012195 | 1052 | 138 | 0.236547 | 0.010774 |
| 1003 | 128 | 0.236529 | 0.010773 | 1008 | 143 | 0.235672 | 0.010734 | 1026 | 125 | 0.137795 | 0.006276 | 1041 | 105 | 0.228923 | 0.010427 | 1047 | 1053 | 0.062207 | 0.010484 |
| 1003 | 1004 | 0.094197 | 0.009443 | 1008 | 1016 | 0.073114 | 0.012322 | 1026 | 130 | 0.194218 | 0.008846 | 1041 | 106 | 0.169714 | 0.007730 | 1047 | 1054 | 0.178450 | 0.017889 |
| 1004 | 118 | 0.257311 | 0.011720 | 1016 | 155 | 0.180820 | 0.008236 | 1026 | 1027 | 0.106203 | 0.010646 | 1041 | 1042 | 0.065854 | 0.011099 | 1054 | 1055 | 0.117638 | 0.011792 |
| 1004 | 120 | 0.113524 | 0.005171 | 1016 | 1017 | 0.121087 | 0.012138 | 1027 | 113 | 0.317730 | 0.014472 | 1042 | 111 | 0.228344 | 0.010401 | 1055 | 98 | 0.137013 | 0.006240 |
| 1004 | 124 | 0.161081 | 0.007337 | 1017 | 168 | 0.152599 | 0.006950 | 1027 | 116 | 0.271044 | 0.012346 | 1042 | 114 | 0.165521 | 0.007539 | 1055 | 1056 | 0.066512 | 0.006667 |
| 1003 | 1005 | 0.093791 | 0.009402 | 1017 | 175 | 0.202900 | 0.009242 | 1027 | 119 | 0.112044 | 0.005103 | 1042 | 1043 | 0.156676 | 0.015706 | 1056 | 86 | 0.153501 | 0.006991 |
| 1005 | 129 | 0.118147 | 0.005381 | 1017 | 176 | 0.166023 | 0.007562 | 1016 | 1028 | 0.091671 | 0.015450 | 1043 | 90 | 0.241804 | 0.011014 | 1056 | 88 | 0.098859 | 0.004503 |
| 1005 | 131 | 0.091288 | 0.004158 | 1017 | 1018 | 0.161493 | 0.016189 | 1028 | 1029 | 0.075744 | 0.012765 | 1043 | 1044 | 0.135307 | 0.013564 | 1056 | 91 | 0.124656 | 0.005678 |
| 1005 | 1006 | 0.135179 | 0.013551 | 1018 | 182 | 0.138858 | 0.006324 | 1029 | 1030 | 0.091128 | 0.015358 | 1044 | 87 | 0.245184 | 0.011168 | 1054 | 1057 | 0.120827 | 0.012112 |
| 1006 | 1007 | 0.151531 | 0.015190 | 1018 | 188 | 0.185191 | 0.008435 | 1030 | 167 | 0.133916 | 0.006099 | 1044 | 97 | 0.245765 | 0.011194 | 1057 | 104 | 0.192828 | 0.008783 |
| 1007 | 152 | 0.206837 | 0.009421 | 1018 | 198 | 0.295724 | 0.013470 | 1030 | 1031 | 0.149057 | 0.014942 | 1044 | 101 | 0.158479 | 0.007218 | 1057 | 1058 | 0.123943 | 0.012425 |
| 999 | 1008 | 0.078827 | 0.013285 | 1016 | 1019 | 0.135307 | 0.013564 | 1031 | 172 | 0.257889 | 0.011746 | 1042 | 1045 | 0.079207 | 0.013349 | 1058 | 94 | 0.186117 | 0.008477 |
| 1008 | 149 | 0.196690 | 0.008959 | 1019 | 159 | 0.106139 | 0.004834 | 1031 | 178 | 0.152132 | 0.006929 | 1045 | 108 | 0.148704 | 0.006773 | 1058 | 95 | 0.130993 | 0.005966 |
| 1008 | 1009 | 0.154174 | 0.015455 | 1019 | 161 | 0.328442 | 0.014960 | 1030 | 1032 | 0.132509 | 0.013283 | 1045 | 110 | 0.206456 | 0.009404 | 1058 | 99 | 0.131218 | 0.005976 |
| 1009 | 156 | 0.199023 | 0.009065 | 1019 | 165 | 0.111540 | 0.005080 | 1032 | 164 | 0.097199 | 0.004427 | 1045 | 1046 | 0.105637 | 0.010589 | 1058 | 100 | 0.148870 | 0.006780 |
| 1009 | 162 | 0.190273 | 0.008666 | 1019 | 1020 | 0.149638 | 0.015000 | 1032 | 1033 | 0.110536 | 0.011081 | 1046 | 92 | 0.198731 | 0.009052 | 1058 | 1059 | 0.103963 | 0.010422 |
| 1009 | 166 | 0.142634 | 0.006496 | 1020 | 171 | 0.156013 | 0.007106 | 1033 | 163 | 0.121979 | 0.005556 | 1046 | 93 | 0.204213 | 0.009301 | 1059 | 83 | 0.198063 | 0.009021 |
| 1009 | 1010 | 0.094820 | 0.009505 | 1020 | 1021 | 0.132296 | 0.013262 | 1033 | 1034 | 0.121635 | 0.012193 | 1046 | 103 | 0.152759 | 0.006958 | 1059 | 85 | 0.151800 | 0.006914 |
| 1010 | 169 | 0.090673 | 0.004130 | 1021 | 180 | 0.271504 | 0.012366 | 1034 | 158 | 0.149610 | 0.006814 | 1045 | 1047 | 0.084707 | 0.014276 | 1059 | 89 | 0.191964 | 0.008743 |
| 1010 | 174 | 0.145961 | 0.006648 | 1021 | 181 | 0.119635 | 0.005449 | 1034 | 170 | 0.155665 | 0.007090 | 1047 | 96 | 0.223656 | 0.010187 | 1053 | 1060 | 0.068787 | 0.011593 |
| 1010 | 1011 | 0.105376 | 0.010563 | 1020 | 1022 | 0.129352 | 0.012967 | 1034 | 1035 | 0.161237 | 0.016163 | 1047 | 102 | 0.228929 | 0.010427 | 1060 | 1061 | 0.144281 | 0.014463 |

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|
| 1061 | 79 | 0.200797 | 0.009146 | 1074 | 62 | 0.129309 | 0.005890 | 1093 | 39 | 0.263591 | 0.012006 | 1105 | 1106 | 0.107080 | 0.010734 | 1121 | 197 | 0.266544 | 0.012141 |
| 1061 | 80 | 0.189457 | 0.008629 | 1074 | 63 | 0.146893 | 0.006690 | 1093 | 41 | 0.197301 | 0.008987 | 1106 | 11 | 0.262430 | 0.011953 | 1118 | 1122 | 0.092115 | 0.015525 |
| 1061 | 82 | 0.183699 | 0.008367 | 1074 | 66 | 0.144029 | 0.006560 | 1092 | 1094 | 0.161446 | 0.016184 | 1106 | 13 | 0.148170 | 0.006749 | 1122 | 1123 | 0.090270 | 0.015214 |
| 1061 | 84 | 0.156760 | 0.007140 | 1074 | 1075 | 0.106542 | 0.010680 | 1094 | 1095 | 0.141318 | 0.014166 | 1106 | 15 | 0.223380 | 0.010174 | 1123 | 1124 | 0.084240 | 0.014197 |
| 1060 | 1062 | 0.082999 | 0.013988 | 1075 | 52 | 0.196518 | 0.008951 | 1095 | 47 | 0.135934 | 0.006191 | 1106 | 18 | 0.110719 | 0.005043 | 1124 | 1125 | 0.178554 | 0.017899 |
| 1062 | 75 | 0.242399 | 0.011041 | 1075 | 54 | 0.193836 | 0.008829 | 1095 | 1096 | 0.098170 | 0.009841 | 1098 | 1107 | 0.058403 | 0.009843 | 1125 | 1126 | 0.140823 | 0.014117 |
| 1062 | 1063 | 0.140646 | 0.014099 | 1075 | 55 | 0.227200 | 0.010348 | 1096 | 33 | 0.198262 | 0.009030 | 1107 | 17 | 0.151809 | 0.006914 | 1126 | 1127 | 0.151569 | 0.015194 |
| 1063 | 72 | 0.198569 | 0.009044 | 999 | 1076 | 0.081752 | 0.013778 | 1096 | 37 | 0.143187 | 0.006522 | 1107 | 24 | 0.220694 | 0.010052 | 1127 | 216 | 0.147727 | 0.006728 |
| 1063 | 73 | 0.151525 | 0.006901 | 1076 | 1077 | 0.089384 | 0.015064 | 1095 | 1097 | 0.179316 | 0.017976 | 1107 | 1108 | 0.126895 | 0.012720 | 1127 | 221 | 0.163823 | 0.007462 |
| 1063 | 74 | 0.104617 | 0.004765 | 1077 | 1078 | 0.072360 | 0.012195 | 1097 | 35 | 0.187538 | 0.008542 | 1108 | 9 | 0.157576 | 0.007177 | 1123 | 1128 | 0.148355 | 0.014872 |
| 1063 | 1064 | 0.054008 | 0.005414 | 1078 | 1079 | 0.065854 | 0.011099 | 1097 | 42 | 0.172735 | 0.007868 | 1108 | 10 | 0.168088 | 0.007656 | 1128 | 230 | 0.200902 | 0.009151 |
| 1064 | 64 | 0.134594 | 0.006130 | 1079 | 1080 | 0.079207 | 0.013349 | 1097 | 43 | 0.158340 | 0.007212 | 1108 | 14 | 0.176316 | 0.008031 | 1128 | 232 | 0.104141 | 0.004743 |
| 1064 | 68 | 0.253581 | 0.011550 | 1080 | 1081 | 0.084707 | 0.014276 | 1093 | 1098 | 0.083970 | 0.014152 | 1108 | 1109 | 0.120222 | 0.012051 | 1128 | 1129 | 0.151946 | 0.015232 |
| 1064 | 1065 | 0.070832 | 0.007100 | 1081 | 1082 | 0.062207 | 0.010484 | 1098 | 26 | 0.136926 | 0.006236 | 1109 | 4 | 0.183683 | 0.008366 | 1129 | 235 | 0.196670 | 0.008958 |
| 1065 | 57 | 0.166137 | 0.007567 | 1082 | 1083 | 0.068787 | 0.011593 | 1098 | 1099 | 0.150742 | 0.015111 | 1109 | 6 | 0.245351 | 0.011175 | 1129 | 237 | 0.119366 | 0.005437 |
| 1065 | 61 | 0.170111 | 0.007748 | 1083 | 1084 | 0.082999 | 0.013988 | 1099 | 29 | 0.158339 | 0.007212 | 1109 | 8 | 0.101896 | 0.004641 | 1129 | 238 | 0.326239 | 0.014860 |
| 1062 | 1066 | 0.119837 | 0.012013 | 1084 | 1085 | 0.065999 | 0.011123 | 1099 | 1100 | 0.096821 | 0.009706 | 1108 | 1110 | 0.129635 | 0.012995 | 1124 | 1130 | 0.051000 | 0.008595 |
| 1066 | 60 | 0.227638 | 0.010368 | 1085 | 1086 | 0.050238 | 0.008467 | 1100 | 32 | 0.127821 | 0.005822 | 1110 | 3 | 0.225656 | 0.010278 | 1130 | 1131 | 0.125344 | 0.012565 |
| 1066 | 65 | 0.161312 | 0.007347 | 1086 | 1087 | 0.055494 | 0.009352 | 1100 | 1101 | 0.125825 | 0.012613 | 1110 | 5 | 0.194972 | 0.008880 | 1131 | 236 | 0.151631 | 0.006906 |
| 1066 | 1067 | 0.091219 | 0.009144 | 1087 | 1088 | 0.137677 | 0.013801 | 1101 | 19 | 0.378150 | 0.017224 | 1110 | 1111 | 0.109186 | 0.010945 | 1131 | 1132 | 0.111507 | 0.011178 |
| 1067 | 53 | 0.146708 | 0.006682 | 1088 | 56 | 0.168411 | 0.007671 | 1101 | 23 | 0.140706 | 0.006409 | 1111 | 1 | 0.203067 | 0.009249 | 1132 | 240 | 0.143150 | 0.006520 |
| 1067 | 58 | 0.216567 | 0.009864 | 1088 | 59 | 0.211883 | 0.009651 | 1101 | 28 | 0.273196 | 0.012444 | 1111 | 2 | 0.234778 | 0.010694 | 1132 | 242 | 0.207414 | 0.009447 |
| 1053 | 1068 | 0.149501 | 0.014987 | 1088 | 1089 | 0.140166 | 0.014051 | 1101 | 1102 | 0.172008 | 0.017243 | 999 | 1112 | 0.078827 | 0.013285 | 1132 | 243 | 0.128402 | 0.005848 |
| 1068 | 1069 | 0.147935 | 0.014830 | 1089 | 51 | 0.182819 | 0.008327 | 1102 | 7 | 0.270430 | 0.012318 | 1112 | 1113 | 0.073114 | 0.012322 | 1132 | 244 | 0.144225 | 0.006569 |
| 1069 | 1070 | 0.127974 | 0.012829 | 1089 | 1090 | 0.114788 | 0.011507 | 1102 | 12 | 0.239966 | 0.010930 | 1113 | 1114 | 0.074519 | 0.012559 | 1130 | 1133 | 0.080774 | 0.013613 |
| 1070 | 81 | 0.219851 | 0.010014 | 1090 | 45 | 0.177951 | 0.008105 | 1102 | 16 | 0.138285 | 0.006298 | 1114 | 1115 | 0.082412 | 0.013889 | 1133 | 1134 | 0.086276 | 0.014540 |
| 1070 | 1071 | 0.127180 | 0.012749 | 1090 | 49 | 0.133070 | 0.006061 | 1093 | 1103 | 0.120541 | 0.012084 | 1115 | 1116 | 0.071239 | 0.012006 | 1134 | 246 | 0.169359 | 0.007714 |
| 1071 | 67 | 0.185492 | 0.008449 | 1090 | 50 | 0.147509 | 0.006719 | 1103 | 31 | 0.183646 | 0.008365 | 1116 | 1117 | 0.082472 | 0.013899 | 1134 | 1135 | 0.133614 | 0.013394 |
| 1071 | 70 | 0.250707 | 0.011419 | 1090 | 1091 | 0.108404 | 0.010867 | 1103 | 46 | 0.290047 | 0.013211 | 1117 | 1118 | 0.083337 | 0.014045 | 1135 | 247 | 0.162170 | 0.007386 |
| 1071 | 77 | 0.193611 | 0.008818 | 1091 | 40 | 0.216706 | 0.009870 | 1103 | 1104 | 0.130513 | 0.013083 | 1118 | 199 | 0.214116 | 0.009752 | 1135 | 248 | 0.130614 | 0.005949 |
| 1070 | 1072 | 0.119316 | 0.011961 | 1091 | 44 | 0.124207 | 0.005657 | 1104 | 27 | 0.214608 | 0.009775 | 1118 | 203 | 0.143546 | 0.006538 | 1134 | 1136 | 0.130477 | 0.013080 |
| 1072 | 76 | 0.161680 | 0.007364 | 1087 | 1092 | 0.071165 | 0.011994 | 1104 | 30 | 0.150565 | 0.006858 | 1118 | 205 | 0.227295 | 0.010353 | 1136 | 1137 | 0.146767 | 0.014713 |
| 1072 | 78 | 0.195384 | 0.008899 | 1092 | 48 | 0.231661 | 0.010552 | 1104 | 1105 | 0.115996 | 0.011628 | 1118 | 1119 | 0.149289 | 0.014965 | 1137 | 1138 | 0.155518 | 0.015590 |
| 1072 | 1073 | 0.118940 | 0.011923 | 1092 | 1093 | 0.068786 | 0.011593 | 1105 | 20 | 0.182455 | 0.008310 | 1119 | 1120 | 0.146191 | 0.014655 | 1138 | 252 | 0.214155 | 0.009754 |
| 1073 | 69 | 0.127524 | 0.005808 | 1093 | 34 | 0.233616 | 0.010641 | 1105 | 21 | 0.172293 | 0.007847 | 1120 | 210 | 0.132748 | 0.006046 | 1138 | 1139 | 0.116226 | 0.011651 |
| 1073 | 71 | 0.134456 | 0.006124 | 1093 | 36 | 0.202097 | 0.009205 | 1105 | 22 | 0.168872 | 0.007692 | 1120 | 213 | 0.179517 | 0.008176 | 1139 | 253 | 0.188565 | 0.008589 |
| 1073 | 1074 | 0.092167 | 0.009239 | 1093 | 38 | 0.174194 | 0.007934 | 1105 | 25 | 0.100189 | 0.004563 | 1119 | 1121 | 0.161723 | 0.016212 | 1139 | 255 | 0.170484 | 0.007765 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|
| 1139 | 257 | 0.186780 | 0.008507 | 1150 | 228 | 0.224885 | 0.010243 | 1158 | 206 | 0.310367 | 0.014137 | 1168 | 1169 | 0.076886 | 0.012958 | 1185 | 1186 | 0.084322 | 0.014211 |
| 1138 | 1140 | 0.127038 | 0.012735 | 1148 | 202 | 0.272619 | 0.012417 | 1153 | 1159 | 0.091355 | 0.015396 | 1169 | 1170 | 0.066851 | 0.011267 | 1186 | 256 | 0.289335 | 0.013179 |
| 1140 | 258 | 0.158472 | 0.007218 | 1148 | 1151 | 0.084554 | 0.014250 | 1159 | 218 | 0.265850 | 0.012109 | 1170 | 1171 | 0.069778 | 0.011760 | 1186 | 259 | 0.215338 | 0.009808 |
| 999 | 1141 | 0.075238 | 0.012680 | 1151 | 1152 | 0.123450 | 0.012375 | 1159 | 231 | 0.277977 | 0.012661 | 1171 | 1172 | 0.105481 | 0.017777 | 1186 | 1187 | 0.091005 | 0.015337 |
| 1141 | 1142 | 0.079151 | 0.013340 | 1152 | 214 | 0.207176 | 0.009436 | 1159 | 1160 | 0.089983 | 0.015165 | 1172 | 1173 | 0.084554 | 0.014250 | 1187 | 1188 | 0.093848 | 0.015817 |
| 1142 | 1143 | 0.076886 | 0.012958 | 1152 | 219 | 0.228988 | 0.010430 | 1160 | 222 | 0.282367 | 0.012861 | 1173 | 1174 | 0.088303 | 0.014882 | 1188 | 260 | 0.196320 | 0.008942 |
| 1143 | 1144 | 0.066851 | 0.011267 | 1152 | 220 | 0.200868 | 0.009149 | 1160 | 233 | 0.259893 | 0.011838 | 1174 | 1175 | 0.091355 | 0.015396 | 1188 | 261 | 0.147080 | 0.006699 |
| 1144 | 1145 | 0.069778 | 0.011760 | 1152 | 226 | 0.201758 | 0.009190 | 1160 | 1161 | 0.166655 | 0.016706 | 1175 | 1176 | 0.089983 | 0.015165 | 1188 | 1189 | 0.165306 | 0.016571 |
| 1145 | 1146 | 0.166047 | 0.016645 | 1151 | 1153 | 0.088303 | 0.014882 | 1161 | 1162 | 0.093856 | 0.009408 | 1176 | 1177 | 0.091784 | 0.015469 | 1189 | 264 | 0.179168 | 0.008161 |
| 1146 | 186 | 0.250365 | 0.011404 | 1153 | 224 | 0.323961 | 0.014756 | 1162 | 223 | 0.173080 | 0.007883 | 1177 | 1178 | 0.078502 | 0.013230 | 1189 | 266 | 0.188555 | 0.008588 |
| 1146 | 192 | 0.243686 | 0.011099 | 1153 | 225 | 0.245800 | 0.011196 | 1162 | 229 | 0.161595 | 0.007360 | 1178 | 1179 | 0.095898 | 0.016162 | 1189 | 1190 | 0.176293 | 0.017672 |
| 1146 | 194 | 0.185339 | 0.008442 | 1151 | 1154 | 0.179566 | 0.018001 | 1162 | 1163 | 0.148153 | 0.014852 | 1179 | 1180 | 0.097545 | 0.016440 | 1190 | 268 | 0.114467 | 0.005213 |
| 1145 | 1147 | 0.085601 | 0.008581 | 1154 | 1155 | 0.183131 | 0.018358 | 1163 | 227 | 0.111994 | 0.005101 | 1180 | 245 | 0.399973 | 0.018218 | 1190 | 269 | 0.170873 | 0.007783 |
| 1147 | 201 | 0.180740 | 0.008232 | 1155 | 1156 | 0.118591 | 0.011888 | 1163 | 1164 | 0.116272 | 0.011656 | 1180 | 1181 | 0.061590 | 0.010380 | 1188 | 1191 | 0.158055 | 0.015844 |
| 1147 | 207 | 0.175790 | 0.008007 | 1156 | 184 | 0.173627 | 0.007908 | 1164 | 215 | 0.228330 | 0.010400 | 1181 | 249 | 0.212263 | 0.009668 | 1191 | 262 | 0.329769 | 0.015020 |
| 1145 | 1148 | 0.105481 | 0.017777 | 1156 | 191 | 0.166359 | 0.007577 | 1161 | 1165 | 0.142539 | 0.014289 | 1181 | 1182 | 0.079087 | 0.013329 | 1191 | 263 | 0.298296 | 0.013587 |
| 1148 | 208 | 0.169530 | 0.007722 | 1155 | 1157 | 0.154685 | 0.015506 | 1165 | 234 | 0.190326 | 0.008669 | 1182 | 1183 | 0.157820 | 0.015821 | 1191 | 265 | 0.243230 | 0.011079 |
| 1148 | 1149 | 0.132315 | 0.013264 | 1157 | 185 | 0.158155 | 0.007203 | 1165 | 241 | 0.186583 | 0.008498 | 1183 | 250 | 0.222562 | 0.010137 | 1191 | 1192 | 0.178723 | 0.017916 |
| 1149 | 211 | 0.248941 | 0.011339 | 1157 | 189 | 0.238156 | 0.010847 | 1165 | 1166 | 0.155839 | 0.015622 | 1183 | 251 | 0.164587 | 0.007496 | 1192 | 267 | 0.202696 | 0.009232 |
| 1149 | 212 | 0.166947 | 0.007604 | 1157 | 196 | 0.168771 | 0.007687 | 1166 | 239 | 0.234322 | 0.010673 | 1182 | 1184 | 0.066603 | 0.011225 | 1192 | 270 | 0.305925 | 0.013934 |
| 1149 | 1150 | 0.154149 | 0.015453 | 1155 | 1158 | 0.132315 | 0.013264 | 999 | 1167 | 0.075238 | 0.012680 | 1184 | 1185 | 0.074905 | 0.012624 | | | | |
| 1150 | 217 | 0.204508 | 0.009315 | 1158 | 200 | 0.180512 | 0.008222 | 1167 | 1168 | 0.079151 | 0.013340 | 1185 | 254 | 0.297774 | 0.013563 | | | | |

Prilog 16. Dionice distribucijske mreže sa 7 niskonaponskih izvoda – podaci za Matpower

| From bus | To bus | R (p.u.) | X (p.u.) | From bus | To bus | R (p.u.) | X (p.u.) | From bus | To bus | R (p.u.) | X (p.u.) | From bus | To bus | R (p.u.) | X (p.u.) | From bus | To bus | R (p.u.) | X (p.u.) |
|----------|--------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|
| 999 | 1000 | 0.055070 | 0.009281 | 1003 | 135 | 0.136357 | 0.006211 | 1001 | 1008 | 0.144256 | 0.014461 | 1011 | 168 | 0.159038 | 0.007244 | 1016 | 133 | 0.181676 | 0.008275 |
| 1000 | 132 | 0.135085 | 0.006153 | 1003 | 136 | 0.174837 | 0.007963 | 1008 | 143 | 0.130623 | 0.005949 | 1011 | 176 | 0.291732 | 0.013288 | 1016 | 142 | 0.186005 | 0.008472 |
| 1000 | 1001 | 0.065286 | 0.011003 | 1003 | 1004 | 0.170575 | 0.017099 | 1008 | 149 | 0.138371 | 0.006302 | 1002 | 1012 | 0.123486 | 0.012379 | 1016 | 1017 | 0.177058 | 0.017749 |
| 1001 | 141 | 0.226047 | 0.010296 | 1004 | 1005 | 0.173739 | 0.017416 | 1008 | 1009 | 0.153373 | 0.015375 | 1012 | 1013 | 0.082549 | 0.008275 | 1017 | 139 | 0.170015 | 0.007744 |
| 1001 | 147 | 0.222627 | 0.010140 | 1005 | 152 | 0.309714 | 0.014107 | 1009 | 156 | 0.244711 | 0.011146 | 1013 | 153 | 0.166449 | 0.007581 | 1017 | 140 | 0.302206 | 0.013765 |
| 1001 | 1002 | 0.050715 | 0.008547 | 1003 | 1006 | 0.105009 | 0.010526 | 1009 | 1010 | 0.093070 | 0.009330 | 1013 | 157 | 0.126137 | 0.005745 | 1017 | 1018 | 0.117423 | 0.011771 |
| 1002 | 148 | 0.264419 | 0.012044 | 1006 | 120 | 0.152620 | 0.006951 | 1010 | 162 | 0.154243 | 0.007025 | 1013 | 160 | 0.118546 | 0.005399 | 1018 | 117 | 0.254819 | 0.011606 |
| 1002 | 150 | 0.255110 | 0.011620 | 1006 | 121 | 0.175643 | 0.008000 | 1010 | 166 | 0.146218 | 0.006660 | 1000 | 1014 | 0.090175 | 0.009039 | 1018 | 123 | 0.218253 | 0.009941 |
| 1002 | 1003 | 0.135476 | 0.013581 | 1006 | 1007 | 0.072605 | 0.007278 | 1010 | 169 | 0.160412 | 0.007306 | 1014 | 1015 | 0.164838 | 0.016524 | 1000 | 1019 | 0.060243 | 0.010153 |
| 1003 | 124 | 0.177322 | 0.008076 | 1007 | 128 | 0.126495 | 0.005761 | 1009 | 1011 | 0.122761 | 0.012306 | 1015 | 137 | 0.120680 | 0.005496 | 1019 | 125 | 0.232362 | 0.010584 |
| 1003 | 129 | 0.148884 | 0.006781 | 1007 | 131 | 0.127642 | 0.005814 | 1011 | 155 | 0.293857 | 0.013385 | 1015 | 1016 | 0.138128 | 0.013847 | 1019 | 130 | 0.221425 | 0.010085 |

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|
| 1019 | 1020 | 0.054968 | 0.009264 | 1035 | 99 | 0.121386 | 0.005529 | 1047 | 1050 | 0.136443 | 0.013678 | 1062 | 1063 | 0.133291 | 0.013362 | 1083 | 28 | 0.306227 | 0.013948 |
| 1020 | 113 | 0.257428 | 0.011725 | 1035 | 100 | 0.171651 | 0.007818 | 1050 | 78 | 0.166568 | 0.007587 | 1063 | 58 | 0.203345 | 0.009262 | 1083 | 32 | 0.189413 | 0.008627 |
| 1020 | 118 | 0.236416 | 0.010768 | 1035 | 1036 | 0.081241 | 0.008144 | 1050 | 87 | 0.211365 | 0.009627 | 1063 | 59 | 0.224582 | 0.010229 | 1083 | 1084 | 0.131268 | 0.013159 |
| 1020 | 1021 | 0.121242 | 0.012154 | 1036 | 94 | 0.095824 | 0.004364 | 1050 | 1051 | 0.122445 | 0.012274 | 999 | 1064 | 0.097185 | 0.016379 | 1084 | 16 | 0.116689 | 0.005315 |
| 1021 | 105 | 0.350408 | 0.015961 | 1036 | 95 | 0.130577 | 0.005947 | 1051 | 66 | 0.182646 | 0.008319 | 1064 | 1065 | 0.084250 | 0.014199 | 1084 | 19 | 0.345498 | 0.015737 |
| 1021 | 106 | 0.194651 | 0.008866 | 1036 | 1037 | 0.064301 | 0.006446 | 1051 | 67 | 0.190502 | 0.008677 | 1065 | 1066 | 0.065987 | 0.011121 | 1084 | 23 | 0.155715 | 0.007092 |
| 1021 | 1022 | 0.150547 | 0.015091 | 1037 | 83 | 0.169465 | 0.007719 | 1051 | 71 | 0.095770 | 0.004362 | 1066 | 1067 | 0.085588 | 0.014425 | 1084 | 1085 | 0.109290 | 0.010956 |
| 1022 | 97 | 0.292702 | 0.013332 | 1037 | 85 | 0.136574 | 0.006220 | 1050 | 1052 | 0.099291 | 0.009953 | 1067 | 1068 | 0.079302 | 0.013365 | 1085 | 7 | 0.197237 | 0.008984 |
| 1020 | 1023 | 0.166865 | 0.016727 | 1037 | 89 | 0.194755 | 0.008871 | 1052 | 1053 | 0.115529 | 0.011581 | 1068 | 1069 | 0.075142 | 0.012664 | 1085 | 12 | 0.218567 | 0.009955 |
| 1023 | 116 | 0.146303 | 0.006664 | 1031 | 1038 | 0.097221 | 0.009746 | 1053 | 69 | 0.129293 | 0.005889 | 1069 | 1070 | 0.049331 | 0.008314 | 1080 | 1086 | 0.158434 | 0.015882 |
| 1023 | 119 | 0.173901 | 0.007921 | 1038 | 98 | 0.158491 | 0.007219 | 1053 | 76 | 0.174133 | 0.007931 | 1070 | 1071 | 0.083718 | 0.014109 | 1086 | 30 | 0.157373 | 0.007168 |
| 1023 | 122 | 0.104713 | 0.004769 | 1038 | 1039 | 0.112765 | 0.011304 | 1053 | 1054 | 0.113526 | 0.011380 | 1071 | 1072 | 0.067195 | 0.011325 | 1086 | 31 | 0.235807 | 0.010740 |
| 1023 | 1024 | 0.120309 | 0.012060 | 1039 | 86 | 0.172339 | 0.007850 | 1054 | 62 | 0.140667 | 0.006407 | 1072 | 1073 | 0.073150 | 0.012328 | 1086 | 46 | 0.266083 | 0.012120 |
| 1024 | 111 | 0.276353 | 0.012587 | 1039 | 88 | 0.109851 | 0.005003 | 1054 | 63 | 0.147275 | 0.006708 | 1073 | 1074 | 0.063673 | 0.010731 | 1086 | 1087 | 0.122247 | 0.012254 |
| 1024 | 114 | 0.264457 | 0.012045 | 1039 | 91 | 0.135488 | 0.006171 | 1054 | 1055 | 0.098062 | 0.009830 | 1074 | 1075 | 0.064032 | 0.010791 | 1087 | 33 | 0.142545 | 0.006492 |
| 1024 | 126 | 0.228739 | 0.010419 | 1030 | 109 | 0.250158 | 0.011394 | 1055 | 52 | 0.185864 | 0.008466 | 1075 | 48 | 0.199257 | 0.009076 | 1087 | 1088 | 0.125397 | 0.012570 |
| 999 | 1025 | 0.097185 | 0.016379 | 1030 | 1040 | 0.049331 | 0.008314 | 1055 | 54 | 0.217206 | 0.009893 | 1075 | 1076 | 0.065120 | 0.010975 | 1088 | 47 | 0.184348 | 0.008397 |
| 1025 | 1026 | 0.084250 | 0.014199 | 1040 | 1041 | 0.138397 | 0.013873 | 1055 | 55 | 0.182553 | 0.008315 | 1076 | 1077 | 0.154041 | 0.015442 | 1088 | 1089 | 0.070202 | 0.007037 |
| 1026 | 1027 | 0.065987 | 0.011121 | 1041 | 84 | 0.233116 | 0.010618 | 1040 | 1056 | 0.083718 | 0.014109 | 1077 | 50 | 0.208156 | 0.009481 | 1089 | 37 | 0.128245 | 0.005841 |
| 1027 | 1028 | 0.085588 | 0.014425 | 1041 | 93 | 0.150375 | 0.006849 | 1056 | 80 | 0.218018 | 0.009930 | 1077 | 51 | 0.166869 | 0.007600 | 1089 | 43 | 0.105244 | 0.004793 |
| 1028 | 103 | 0.186917 | 0.008514 | 1041 | 1042 | 0.149978 | 0.015034 | 1056 | 1057 | 0.067195 | 0.011325 | 1077 | 1078 | 0.125843 | 0.012615 | 1089 | 1090 | 0.077984 | 0.007817 |
| 1028 | 1029 | 0.079302 | 0.013365 | 1042 | 82 | 0.268419 | 0.012226 | 1057 | 1058 | 0.102572 | 0.010282 | 1078 | 45 | 0.182926 | 0.008332 | 1090 | 35 | 0.199481 | 0.009086 |
| 1029 | 102 | 0.134321 | 0.006118 | 1042 | 90 | 0.129040 | 0.005877 | 1058 | 64 | 0.161978 | 0.007378 | 1078 | 49 | 0.124262 | 0.005660 | 1090 | 42 | 0.203591 | 0.009273 |
| 1029 | 108 | 0.125428 | 0.005713 | 1042 | 92 | 0.105908 | 0.004824 | 1058 | 68 | 0.176374 | 0.008033 | 1078 | 1079 | 0.117644 | 0.011793 | 1087 | 1091 | 0.125875 | 0.012618 |
| 1029 | 110 | 0.184052 | 0.008383 | 1042 | 1043 | 0.093298 | 0.009352 | 1058 | 74 | 0.112333 | 0.005116 | 1079 | 40 | 0.201342 | 0.009171 | 1091 | 22 | 0.143329 | 0.006528 |
| 1029 | 1030 | 0.075142 | 0.012664 | 1043 | 1044 | 0.105912 | 0.010617 | 1058 | 1059 | 0.114227 | 0.011451 | 1079 | 44 | 0.151045 | 0.006880 | 1091 | 25 | 0.204492 | 0.009314 |
| 1030 | 96 | 0.192315 | 0.008759 | 1044 | 101 | 0.186646 | 0.008501 | 1059 | 57 | 0.196501 | 0.008950 | 1076 | 38 | 0.240122 | 0.010937 | 1091 | 27 | 0.109514 | 0.004988 |
| 1030 | 1031 | 0.164542 | 0.016494 | 1040 | 1045 | 0.083065 | 0.008327 | 1059 | 61 | 0.196380 | 0.008945 | 1076 | 39 | 0.262806 | 0.011970 | 1091 | 1092 | 0.081369 | 0.008157 |
| 1031 | 112 | 0.226664 | 0.010324 | 1045 | 1046 | 0.120851 | 0.012115 | 1059 | 73 | 0.192701 | 0.008777 | 1076 | 41 | 0.210485 | 0.009587 | 1092 | 15 | 0.207226 | 0.009439 |
| 1031 | 115 | 0.249083 | 0.011345 | 1046 | 1047 | 0.107501 | 0.010776 | 1057 | 1060 | 0.132821 | 0.013315 | 1076 | 1080 | 0.058483 | 0.009856 | 1092 | 18 | 0.201518 | 0.009179 |
| 1031 | 1032 | 0.150448 | 0.015082 | 1047 | 81 | 0.142099 | 0.006472 | 1060 | 60 | 0.232111 | 0.010572 | 1080 | 34 | 0.212671 | 0.009687 | 1092 | 20 | 0.109476 | 0.004986 |
| 1032 | 1033 | 0.135676 | 0.013601 | 1047 | 1048 | 0.088720 | 0.008894 | 1060 | 65 | 0.147036 | 0.006697 | 1080 | 36 | 0.198548 | 0.009043 | 1092 | 21 | 0.119355 | 0.005436 |
| 1033 | 127 | 0.184454 | 0.008401 | 1048 | 77 | 0.112822 | 0.005139 | 1060 | 1061 | 0.115613 | 0.011589 | 1080 | 1081 | 0.071527 | 0.012055 | 1081 | 1093 | 0.055338 | 0.009326 |
| 1031 | 1034 | 0.122980 | 0.012328 | 1048 | 79 | 0.183869 | 0.008375 | 1061 | 53 | 0.129215 | 0.005885 | 1081 | 29 | 0.202865 | 0.009240 | 1093 | 17 | 0.154745 | 0.007048 |
| 1034 | 104 | 0.212622 | 0.009684 | 1048 | 1049 | 0.074178 | 0.007436 | 1061 | 56 | 0.184451 | 0.008401 | 1081 | 26 | 0.153548 | 0.006994 | 1093 | 24 | 0.217748 | 0.009918 |
| 1034 | 107 | 0.204132 | 0.009298 | 1049 | 70 | 0.111960 | 0.005099 | 1057 | 1062 | 0.130296 | 0.013061 | 1081 | 1082 | 0.157034 | 0.015742 | 1093 | 1094 | 0.113203 | 0.011348 |
| 1034 | 1035 | 0.107433 | 0.010769 | 1049 | 72 | 0.137102 | 0.006244 | 1062 | 75 | 0.106364 | 0.004844 | 1082 | 1083 | 0.156765 | 0.015715 | 1094 | 13 | 0.101606 | 0.004628 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|
| 1094 | 1095 | 0.107843 | 0.010811 | 1110 | 134 | 0.191772 | 0.008735 | 1125 | 1126 | 0.163383 | 0.016378 | 1140 | 1142 | 0.073658 | 0.012414 | 1158 | 253 | 0.146510 | 0.006673 |
| 1095 | 6 | 0.194676 | 0.008867 | 1110 | 138 | 0.194927 | 0.008878 | 1126 | 230 | 0.191736 | 0.008733 | 1142 | 207 | 0.120640 | 0.005495 | 1158 | 1159 | 0.104581 | 0.010484 |
| 1095 | 11 | 0.197521 | 0.008997 | 1101 | 1111 | 0.088080 | 0.014845 | 1126 | 232 | 0.107075 | 0.004877 | 1142 | 209 | 0.160540 | 0.007312 | 1159 | 255 | 0.152598 | 0.006950 |
| 1093 | 1096 | 0.120298 | 0.012059 | 1111 | 159 | 0.156920 | 0.007147 | 1126 | 1127 | 0.179541 | 0.017998 | 1142 | 1143 | 0.060377 | 0.006052 | 1159 | 257 | 0.129884 | 0.005916 |
| 1096 | 9 | 0.163630 | 0.007453 | 1111 | 161 | 0.131193 | 0.005975 | 1127 | 235 | 0.172881 | 0.007874 | 1143 | 211 | 0.140962 | 0.006420 | 1157 | 1160 | 0.122177 | 0.012247 |
| 1096 | 10 | 0.167810 | 0.007643 | 1111 | 165 | 0.133363 | 0.006074 | 1127 | 237 | 0.117630 | 0.005358 | 1143 | 217 | 0.136692 | 0.006226 | 1160 | 1161 | 0.105462 | 0.010572 |
| 1096 | 14 | 0.167179 | 0.007615 | 1111 | 1112 | 0.146425 | 0.014678 | 1127 | 238 | 0.258019 | 0.011752 | 1142 | 1144 | 0.063778 | 0.010749 | 1161 | 258 | 0.147294 | 0.006709 |
| 1096 | 1097 | 0.107214 | 0.010747 | 1112 | 175 | 0.213419 | 0.009721 | 1125 | 1128 | 0.164196 | 0.016460 | 1144 | 216 | 0.257570 | 0.011732 | 999 | 1162 | 0.049180 | 0.008288 |
| 1097 | 4 | 0.181337 | 0.008259 | 1112 | 182 | 0.214784 | 0.009783 | 1128 | 1129 | 0.155301 | 0.015568 | 1144 | 221 | 0.183436 | 0.008355 | 1162 | 1163 | 0.050715 | 0.008547 |
| 1097 | 5 | 0.162236 | 0.007389 | 1111 | 1113 | 0.081997 | 0.013819 | 1129 | 240 | 0.114034 | 0.005194 | 1144 | 1145 | 0.069013 | 0.011631 | 1163 | 1164 | 0.068009 | 0.011462 |
| 1097 | 8 | 0.117247 | 0.005340 | 1113 | 171 | 0.151368 | 0.006894 | 1129 | 242 | 0.176777 | 0.008052 | 1145 | 228 | 0.200028 | 0.009111 | 1164 | 1165 | 0.064130 | 0.010808 |
| 1096 | 1098 | 0.128345 | 0.012866 | 1113 | 181 | 0.153018 | 0.006969 | 1128 | 1130 | 0.138083 | 0.013842 | 1140 | 1146 | 0.109155 | 0.010942 | 1165 | 1166 | 0.061230 | 0.010319 |
| 1098 | 3 | 0.233347 | 0.010628 | 1113 | 1114 | 0.155120 | 0.015550 | 1130 | 236 | 0.182681 | 0.008321 | 1146 | 1147 | 0.087765 | 0.008798 | 1166 | 1167 | 0.064770 | 0.010916 |
| 1098 | 1099 | 0.113542 | 0.011382 | 1114 | 167 | 0.183545 | 0.008360 | 1130 | 1131 | 0.093235 | 0.009346 | 1147 | 201 | 0.106344 | 0.004843 | 1167 | 1168 | 0.063975 | 0.010782 |
| 1099 | 1 | 0.203564 | 0.009272 | 1114 | 180 | 0.138824 | 0.006323 | 1131 | 1132 | 0.115868 | 0.011615 | 1147 | 1148 | 0.160056 | 0.016045 | 1168 | 1169 | 0.064872 | 0.010933 |
| 1099 | 2 | 0.231389 | 0.010539 | 1113 | 1115 | 0.064757 | 0.010914 | 1132 | 243 | 0.150562 | 0.006858 | 1148 | 194 | 0.196950 | 0.008971 | 1169 | 1170 | 0.084621 | 0.014262 |
| 999 | 1100 | 0.091798 | 0.015471 | 1115 | 187 | 0.100862 | 0.004594 | 1132 | 244 | 0.171178 | 0.007797 | 1148 | 202 | 0.215538 | 0.009817 | 1170 | 1171 | 0.157817 | 0.015820 |
| 1100 | 1101 | 0.096502 | 0.016264 | 1115 | 190 | 0.130297 | 0.005935 | 1132 | 247 | 0.153086 | 0.006973 | 1146 | 1149 | 0.126804 | 0.012711 | 1171 | 1172 | 0.148181 | 0.014854 |
| 1101 | 1102 | 0.148489 | 0.014885 | 1115 | 1116 | 0.077374 | 0.013040 | 999 | 1133 | 0.078124 | 0.013167 | 1149 | 208 | 0.132875 | 0.006052 | 1172 | 1173 | 0.144769 | 0.014512 |
| 1102 | 1103 | 0.153614 | 0.015399 | 1116 | 1117 | 0.148507 | 0.014887 | 1133 | 1134 | 0.084887 | 0.014306 | 1149 | 212 | 0.140116 | 0.006382 | 1173 | 200 | 0.201091 | 0.009159 |
| 1103 | 151 | 0.127381 | 0.005802 | 1117 | 193 | 0.182888 | 0.008330 | 1134 | 174 | 0.138393 | 0.006303 | 1149 | 1150 | 0.167126 | 0.016753 | 1173 | 206 | 0.294758 | 0.013426 |
| 1103 | 1104 | 0.136043 | 0.013638 | 1117 | 1118 | 0.118315 | 0.011860 | 1134 | 1135 | 0.080435 | 0.013556 | 1150 | 214 | 0.140798 | 0.006413 | 1172 | 1174 | 0.128305 | 0.012862 |
| 1104 | 1105 | 0.129340 | 0.012966 | 1118 | 198 | 0.127924 | 0.005826 | 1135 | 183 | 0.134305 | 0.006117 | 1150 | 220 | 0.118767 | 0.005409 | 1174 | 184 | 0.163110 | 0.007429 |
| 1105 | 163 | 0.142114 | 0.006473 | 1116 | 1119 | 0.174264 | 0.017469 | 1135 | 1136 | 0.146218 | 0.014658 | 1150 | 1151 | 0.162974 | 0.016337 | 1172 | 1175 | 0.126962 | 0.012727 |
| 1105 | 164 | 0.159592 | 0.007269 | 1119 | 178 | 0.245062 | 0.011162 | 1136 | 173 | 0.184879 | 0.008421 | 1151 | 219 | 0.211023 | 0.009612 | 1175 | 191 | 0.128263 | 0.005842 |
| 1105 | 172 | 0.294335 | 0.013406 | 1119 | 1120 | 0.181905 | 0.018235 | 1136 | 177 | 0.192701 | 0.008777 | 1151 | 224 | 0.112778 | 0.005137 | 1175 | 1176 | 0.097060 | 0.009730 |
| 1105 | 1106 | 0.156614 | 0.015700 | 1120 | 197 | 0.329212 | 0.014995 | 1136 | 1137 | 0.103103 | 0.010335 | 1151 | 226 | 0.188792 | 0.008599 | 1176 | 185 | 0.162620 | 0.007407 |
| 1106 | 154 | 0.312427 | 0.014230 | 1120 | 1121 | 0.121561 | 0.012186 | 1137 | 186 | 0.237254 | 0.010806 | 1145 | 1152 | 0.158371 | 0.015876 | 1176 | 189 | 0.131909 | 0.006008 |
| 1106 | 1107 | 0.081028 | 0.008122 | 1121 | 1122 | 0.111278 | 0.011155 | 1137 | 192 | 0.165922 | 0.007557 | 1152 | 1153 | 0.167371 | 0.016778 | 1176 | 196 | 0.183245 | 0.008346 |
| 1107 | 158 | 0.145687 | 0.006636 | 1122 | 210 | 0.149795 | 0.006823 | 1135 | 1138 | 0.056590 | 0.009537 | 1153 | 1154 | 0.158760 | 0.015915 | 1170 | 1177 | 0.069140 | 0.011652 |
| 1107 | 170 | 0.166602 | 0.007588 | 1122 | 213 | 0.133409 | 0.006076 | 1138 | 195 | 0.136415 | 0.006213 | 1154 | 1155 | 0.149155 | 0.014952 | 1177 | 1178 | 0.074862 | 0.012617 |
| 1103 | 1108 | 0.155204 | 0.015558 | 1116 | 1123 | 0.069388 | 0.011694 | 1138 | 1139 | 0.122860 | 0.012316 | 1155 | 246 | 0.213733 | 0.009735 | 1178 | 218 | 0.232113 | 0.010572 |
| 1108 | 144 | 0.206981 | 0.009427 | 1123 | 199 | 0.214694 | 0.009779 | 1139 | 179 | 0.244893 | 0.011154 | 1155 | 248 | 0.303804 | 0.013838 | 1178 | 225 | 0.243349 | 0.011084 |
| 1108 | 146 | 0.189753 | 0.008643 | 1123 | 203 | 0.131101 | 0.005971 | 1139 | 188 | 0.357566 | 0.016287 | 1155 | 1156 | 0.158464 | 0.015885 | 1178 | 1179 | 0.079103 | 0.013332 |
| 1108 | 1109 | 0.116928 | 0.011721 | 1123 | 205 | 0.215241 | 0.009804 | 1138 | 1140 | 0.067492 | 0.011375 | 1156 | 1157 | 0.160627 | 0.016102 | 1179 | 231 | 0.271339 | 0.012359 |
| 1109 | 145 | 0.213991 | 0.009747 | 1123 | 1124 | 0.160226 | 0.016062 | 1140 | 1141 | 0.129660 | 0.012998 | 1157 | 252 | 0.190768 | 0.008689 | 1179 | 1180 | 0.077507 | 0.013063 |
| 1109 | 1110 | 0.125178 | 0.012548 | 1124 | 1125 | 0.150275 | 0.015064 | 1141 | 204 | 0.225908 | 0.010290 | 1157 | 1158 | 0.125835 | 0.012614 | 1180 | 222 | 0.218720 | 0.009962 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|
| 1180 | 233 | 0.200456 | 0.009130 | 1186 | 239 | 0.361647 | 0.016472 | 1194 | 1195 | 0.064770 | 0.010916 | 1207 | 1208 | 0.087504 | 0.014747 | 1215 | 262 | 0.225456 | 0.010269 |
| 1180 | 1181 | 0.050527 | 0.008515 | 1186 | 1187 | 0.157553 | 0.015794 | 1195 | 1196 | 0.063975 | 0.010782 | 1208 | 1209 | 0.090404 | 0.015236 | 1215 | 263 | 0.182456 | 0.008310 |
| 1181 | 1182 | 0.097249 | 0.009749 | 1187 | 1188 | 0.144997 | 0.014535 | 1196 | 1197 | 0.064872 | 0.010933 | 1209 | 254 | 0.327223 | 0.014904 | 1215 | 265 | 0.159290 | 0.007255 |
| 1182 | 223 | 0.149797 | 0.006823 | 1188 | 245 | 0.213912 | 0.009743 | 1197 | 1198 | 0.084621 | 0.014262 | 1209 | 1210 | 0.082100 | 0.013837 | 1215 | 1216 | 0.099563 | 0.009981 |
| 1182 | 229 | 0.141747 | 0.006456 | 1187 | 1189 | 0.124105 | 0.012441 | 1198 | 1199 | 0.069140 | 0.011652 | 1210 | 256 | 0.286645 | 0.013056 | 1216 | 264 | 0.198093 | 0.009023 |
| 1182 | 1183 | 0.116763 | 0.011705 | 1189 | 249 | 0.142007 | 0.006468 | 1199 | 1200 | 0.074862 | 0.012617 | 1210 | 1211 | 0.078639 | 0.013253 | 1216 | 267 | 0.222308 | 0.010126 |
| 1183 | 227 | 0.111982 | 0.005100 | 1189 | 1190 | 0.121403 | 0.012170 | 1200 | 1201 | 0.079103 | 0.013332 | 1211 | 259 | 0.172573 | 0.007860 | 1216 | 1217 | 0.118456 | 0.011874 |
| 1183 | 1184 | 0.128726 | 0.012904 | 1190 | 250 | 0.171440 | 0.007809 | 1201 | 1202 | 0.077507 | 0.013063 | 1211 | 1212 | 0.062528 | 0.010538 | 1217 | 266 | 0.157301 | 0.007165 |
| 1184 | 215 | 0.220375 | 0.010038 | 1190 | 251 | 0.147124 | 0.006701 | 1202 | 1203 | 0.050527 | 0.008515 | 1212 | 1213 | 0.108289 | 0.010855 | 1217 | 1218 | 0.096397 | 0.009663 |
| 1181 | 1185 | 0.076867 | 0.012955 | 999 | 1191 | 0.078124 | 0.013167 | 1203 | 1204 | 0.076867 | 0.012955 | 1213 | 261 | 0.139235 | 0.006342 | 1218 | 270 | 0.144671 | 0.006589 |
| 1185 | 234 | 0.187453 | 0.008538 | 1191 | 1192 | 0.084887 | 0.014306 | 1204 | 1205 | 0.081077 | 0.013664 | 1212 | 1214 | 0.065960 | 0.011116 | 1218 | 1219 | 0.119269 | 0.011956 |
| 1185 | 241 | 0.196416 | 0.008946 | 1192 | 1193 | 0.080435 | 0.013556 | 1205 | 1206 | 0.086771 | 0.014624 | 1214 | 260 | 0.137459 | 0.006261 | 1219 | 268 | 0.155427 | 0.007079 |
| 1185 | 1186 | 0.081077 | 0.013664 | 1193 | 1194 | 0.042537 | 0.007169 | 1206 | 1207 | 0.094422 | 0.015913 | 1214 | 1215 | 0.059818 | 0.010081 | 1219 | 269 | 0.168339 | 0.007667 |

Prilog 17. Dionice distribucijske mreže sa 8 niskonaponskih izvoda – podaci za Matpower

| From bus | To bus | R (p.u.) | X (p.u.) | From bus | To bus | R (p.u.) | X (p.u.) | From bus | To bus | R (p.u.) | X (p.u.) | From bus | To bus | R (p.u.) | X (p.u.) | From bus | To bus | R (p.u.) | X (p.u.) |
|----------|--------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|
| 999 | 1000 | 0.056746 | 0.009564 | 1006 | 129 | 0.114654 | 0.005222 | 1013 | 1014 | 0.108724 | 0.010899 | 1021 | 1022 | 0.066637 | 0.011231 | 1029 | 1031 | 0.122656 | 0.012296 |
| 1000 | 147 | 0.234525 | 0.010682 | 1006 | 1007 | 0.080555 | 0.008075 | 1014 | 105 | 0.221383 | 0.010083 | 1022 | 1023 | 0.044335 | 0.007472 | 1031 | 104 | 0.152402 | 0.006941 |
| 1000 | 148 | 0.259609 | 0.011825 | 1007 | 121 | 0.154641 | 0.007043 | 1014 | 111 | 0.211975 | 0.009655 | 1023 | 1024 | 0.059879 | 0.010092 | 1031 | 107 | 0.200664 | 0.009140 |
| 1000 | 149 | 0.273007 | 0.012435 | 1007 | 128 | 0.133420 | 0.006077 | 1014 | 114 | 0.160737 | 0.007321 | 1024 | 1025 | 0.071127 | 0.011987 | 1031 | 1032 | 0.111751 | 0.011202 |
| 1000 | 1001 | 0.045787 | 0.007717 | 1007 | 131 | 0.153273 | 0.006981 | 1009 | 1015 | 0.142304 | 0.014265 | 1025 | 103 | 0.219375 | 0.009992 | 1032 | 94 | 0.161503 | 0.007356 |
| 1001 | 150 | 0.148755 | 0.006775 | 1006 | 1008 | 0.072773 | 0.007295 | 1015 | 122 | 0.171452 | 0.007809 | 1025 | 108 | 0.169696 | 0.007729 | 1032 | 95 | 0.130880 | 0.005961 |
| 1001 | 153 | 0.198583 | 0.009045 | 1008 | 120 | 0.104398 | 0.004755 | 1015 | 125 | 0.176002 | 0.008016 | 1025 | 110 | 0.225782 | 0.010284 | 1032 | 99 | 0.150136 | 0.006838 |
| 1001 | 157 | 0.164985 | 0.007515 | 1004 | 1009 | 0.079441 | 0.013389 | 1015 | 130 | 0.174465 | 0.007946 | 1025 | 1026 | 0.076527 | 0.012897 | 1032 | 100 | 0.134332 | 0.006118 |
| 1001 | 1002 | 0.107099 | 0.010736 | 1009 | 132 | 0.134373 | 0.006120 | 1015 | 1016 | 0.162080 | 0.016248 | 1026 | 102 | 0.173159 | 0.007887 | 1032 | 1033 | 0.101093 | 0.010134 |
| 1002 | 156 | 0.178062 | 0.008110 | 1009 | 1010 | 0.071732 | 0.012089 | 1016 | 126 | 0.237617 | 0.010823 | 1026 | 109 | 0.266712 | 0.012148 | 1033 | 83 | 0.190004 | 0.008654 |
| 1002 | 162 | 0.138233 | 0.006296 | 1010 | 118 | 0.214446 | 0.009767 | 1016 | 133 | 0.249244 | 0.011353 | 1026 | 1027 | 0.127636 | 0.012795 | 1033 | 85 | 0.125267 | 0.005705 |
| 1002 | 1003 | 0.109447 | 0.010971 | 1010 | 1011 | 0.093087 | 0.009331 | 1016 | 1017 | 0.122266 | 0.012256 | 1027 | 1028 | 0.137499 | 0.013783 | 1033 | 89 | 0.172282 | 0.007847 |
| 1003 | 166 | 0.152509 | 0.006946 | 1011 | 106 | 0.188790 | 0.008599 | 1017 | 137 | 0.166825 | 0.007598 | 1028 | 112 | 0.118091 | 0.005379 | 1026 | 1034 | 0.071440 | 0.012040 |
| 1000 | 1004 | 0.054664 | 0.009213 | 1011 | 113 | 0.170504 | 0.007766 | 1017 | 142 | 0.180197 | 0.008207 | 1028 | 115 | 0.112125 | 0.005107 | 1034 | 96 | 0.137843 | 0.006278 |
| 1004 | 141 | 0.153144 | 0.006975 | 1011 | 1012 | 0.139579 | 0.013992 | 1017 | 143 | 0.204276 | 0.009304 | 1027 | 1029 | 0.100833 | 0.010108 | 1034 | 1035 | 0.150181 | 0.015055 |
| 1004 | 1005 | 0.105680 | 0.010594 | 1012 | 97 | 0.226505 | 0.010317 | 1016 | 1018 | 0.108738 | 0.010900 | 1029 | 98 | 0.177852 | 0.008101 | 1035 | 93 | 0.132842 | 0.006050 |
| 1005 | 135 | 0.109038 | 0.004966 | 1012 | 101 | 0.223102 | 0.010162 | 1018 | 1019 | 0.114879 | 0.011516 | 1029 | 1030 | 0.116098 | 0.011638 | 1035 | 1036 | 0.067696 | 0.006786 |
| 1005 | 136 | 0.097000 | 0.004418 | 1011 | 1013 | 0.097440 | 0.009768 | 1019 | 117 | 0.180070 | 0.008202 | 1030 | 86 | 0.173904 | 0.007921 | 1036 | 82 | 0.212202 | 0.009665 |
| 1005 | 1006 | 0.095244 | 0.009547 | 1013 | 116 | 0.174183 | 0.007934 | 999 | 1020 | 0.076794 | 0.012942 | 1030 | 88 | 0.117250 | 0.005340 | 1036 | 84 | 0.167896 | 0.007647 |
| 1006 | 124 | 0.144666 | 0.006589 | 1013 | 119 | 0.210368 | 0.009582 | 1020 | 1021 | 0.067114 | 0.011311 | 1030 | 91 | 0.129734 | 0.005909 | 1035 | 1037 | 0.134629 | 0.013496 |

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|
| 1037 | 90 | 0.150325 | 0.006847 | 1052 | 74 | 0.177539 | 0.008086 | 1073 | 45 | 0.169707 | 0.007730 | 1086 | 35 | 0.155818 | 0.007097 | 1099 | 175 | 0.105605 | 0.004810 |
| 1037 | 92 | 0.096985 | 0.004417 | 1052 | 80 | 0.160426 | 0.007307 | 1073 | 49 | 0.140418 | 0.006396 | 1084 | 1087 | 0.103461 | 0.010371 | 1099 | 176 | 0.097318 | 0.004432 |
| 1034 | 1038 | 0.061921 | 0.010436 | 1039 | 1053 | 0.149053 | 0.014942 | 1073 | 50 | 0.149050 | 0.006789 | 1087 | 20 | 0.150454 | 0.006853 | 1099 | 1100 | 0.110983 | 0.011125 |
| 1038 | 1039 | 0.064190 | 0.010818 | 1053 | 64 | 0.250849 | 0.011426 | 1073 | 1074 | 0.114329 | 0.011461 | 1087 | 21 | 0.126977 | 0.005783 | 1100 | 182 | 0.150189 | 0.006841 |
| 1034 | 1040 | 0.150181 | 0.015055 | 1053 | 68 | 0.121074 | 0.005514 | 1074 | 40 | 0.200125 | 0.009115 | 1087 | 22 | 0.108406 | 0.004937 | 1100 | 1101 | 0.112390 | 0.011266 |
| 1040 | 1041 | 0.067696 | 0.006786 | 1053 | 1054 | 0.127045 | 0.012735 | 1074 | 44 | 0.130708 | 0.005953 | 1087 | 25 | 0.170978 | 0.007788 | 1101 | 193 | 0.138251 | 0.006297 |
| 1041 | 1042 | 0.114311 | 0.011459 | 1054 | 65 | 0.179092 | 0.008157 | 1071 | 1075 | 0.059321 | 0.009998 | 1087 | 27 | 0.144330 | 0.006574 | 1101 | 198 | 0.154896 | 0.007055 |
| 1042 | 1043 | 0.081359 | 0.008156 | 1054 | 75 | 0.200797 | 0.009146 | 1075 | 1076 | 0.061825 | 0.010419 | 1087 | 1088 | 0.128051 | 0.012836 | 1097 | 1102 | 0.139825 | 0.014017 |
| 1043 | 77 | 0.130226 | 0.005931 | 1054 | 1055 | 0.126244 | 0.012655 | 1076 | 34 | 0.222324 | 0.010126 | 1088 | 11 | 0.198019 | 0.009019 | 1102 | 159 | 0.115572 | 0.005264 |
| 1043 | 81 | 0.118973 | 0.005419 | 1055 | 56 | 0.186198 | 0.008481 | 1076 | 36 | 0.190277 | 0.008667 | 1088 | 15 | 0.153393 | 0.006987 | 1102 | 165 | 0.127659 | 0.005814 |
| 1043 | 1044 | 0.075057 | 0.007524 | 1055 | 58 | 0.149883 | 0.006827 | 1076 | 38 | 0.186642 | 0.008501 | 1088 | 18 | 0.182176 | 0.008298 | 1102 | 1103 | 0.097764 | 0.009800 |
| 1044 | 70 | 0.131174 | 0.005974 | 1055 | 59 | 0.198540 | 0.009043 | 1076 | 39 | 0.251864 | 0.011472 | 1077 | 1089 | 0.055515 | 0.009356 | 1103 | 161 | 0.121305 | 0.005525 |
| 1044 | 72 | 0.139994 | 0.006376 | 1053 | 1056 | 0.114482 | 0.011476 | 1076 | 41 | 0.207975 | 0.009473 | 1089 | 17 | 0.154102 | 0.007019 | 1102 | 1104 | 0.108594 | 0.010886 |
| 1044 | 79 | 0.175068 | 0.007974 | 1056 | 53 | 0.127133 | 0.005790 | 1076 | 1077 | 0.086245 | 0.014535 | 1089 | 24 | 0.217429 | 0.009903 | 1104 | 171 | 0.112989 | 0.005146 |
| 1042 | 1045 | 0.136911 | 0.013725 | 1056 | 60 | 0.135801 | 0.006185 | 1077 | 29 | 0.211139 | 0.009617 | 1089 | 1090 | 0.067830 | 0.006799 | 1104 | 1105 | 0.096057 | 0.009629 |
| 1045 | 87 | 0.211308 | 0.009625 | 1056 | 1057 | 0.129985 | 0.013030 | 1077 | 1078 | 0.148588 | 0.014895 | 1090 | 8 | 0.167670 | 0.007637 | 1105 | 181 | 0.130784 | 0.005957 |
| 1045 | 1046 | 0.095331 | 0.009556 | 1057 | 47 | 0.234955 | 0.010702 | 1078 | 1079 | 0.105268 | 0.010552 | 1090 | 10 | 0.155962 | 0.007104 | 1096 | 1106 | 0.077253 | 0.013020 |
| 1046 | 76 | 0.172618 | 0.007862 | 1056 | 1058 | 0.130973 | 0.013129 | 1079 | 32 | 0.109543 | 0.004989 | 1090 | 1091 | 0.106959 | 0.010722 | 1106 | 1107 | 0.072756 | 0.012262 |
| 1046 | 78 | 0.190270 | 0.008666 | 1058 | 57 | 0.178244 | 0.008119 | 1079 | 1080 | 0.113909 | 0.011419 | 1091 | 6 | 0.190102 | 0.008659 | 1107 | 1108 | 0.068388 | 0.011526 |
| 1046 | 1047 | 0.124792 | 0.012510 | 1058 | 61 | 0.097216 | 0.004428 | 1080 | 23 | 0.141153 | 0.006429 | 1091 | 13 | 0.162681 | 0.007410 | 1108 | 1109 | 0.118724 | 0.011901 |
| 1047 | 69 | 0.124102 | 0.005652 | 999 | 1059 | 0.076794 | 0.012942 | 1080 | 28 | 0.255655 | 0.011645 | 1089 | 1092 | 0.124797 | 0.012510 | 1109 | 151 | 0.141558 | 0.006447 |
| 1047 | 71 | 0.137648 | 0.006269 | 1059 | 1060 | 0.067114 | 0.011311 | 1080 | 1081 | 0.128838 | 0.012915 | 1092 | 9 | 0.158143 | 0.007203 | 1109 | 1110 | 0.117735 | 0.011802 |
| 1047 | 1048 | 0.103432 | 0.010368 | 1060 | 1061 | 0.066637 | 0.011231 | 1081 | 16 | 0.100674 | 0.004585 | 1092 | 14 | 0.171925 | 0.007831 | 1110 | 140 | 0.151034 | 0.006879 |
| 1048 | 62 | 0.142051 | 0.006470 | 1061 | 1062 | 0.044335 | 0.007472 | 1081 | 19 | 0.371129 | 0.016904 | 1092 | 1093 | 0.103313 | 0.010356 | 1110 | 146 | 0.170102 | 0.007748 |
| 1048 | 63 | 0.140991 | 0.006422 | 1062 | 1063 | 0.059879 | 0.010092 | 1081 | 1082 | 0.108934 | 0.010920 | 1093 | 4 | 0.182340 | 0.008305 | 1110 | 1111 | 0.144918 | 0.014527 |
| 1048 | 66 | 0.155817 | 0.007097 | 1063 | 1064 | 0.071440 | 0.012040 | 1082 | 7 | 0.147140 | 0.006702 | 1093 | 5 | 0.144152 | 0.006566 | 1111 | 123 | 0.178177 | 0.008115 |
| 1048 | 1049 | 0.109307 | 0.010957 | 1064 | 1065 | 0.076527 | 0.012897 | 1082 | 12 | 0.163718 | 0.007457 | 1092 | 1094 | 0.120532 | 0.012083 | 1110 | 1112 | 0.125014 | 0.012532 |
| 1049 | 54 | 0.204362 | 0.009308 | 1065 | 1066 | 0.071440 | 0.012040 | 1077 | 26 | 0.145435 | 0.006624 | 1094 | 3 | 0.232863 | 0.010606 | 1112 | 134 | 0.154883 | 0.007054 |
| 1049 | 55 | 0.187003 | 0.008517 | 1066 | 1067 | 0.061921 | 0.010436 | 1076 | 1083 | 0.140774 | 0.014112 | 1094 | 1095 | 0.119433 | 0.011972 | 1112 | 144 | 0.110223 | 0.005020 |
| 1049 | 67 | 0.184596 | 0.008408 | 1067 | 1068 | 0.064190 | 0.010818 | 1083 | 31 | 0.183108 | 0.008340 | 1095 | 1 | 0.201727 | 0.009188 | 1112 | 1113 | 0.110346 | 0.011061 |
| 1049 | 1050 | 0.110471 | 0.011074 | 1068 | 1069 | 0.082089 | 0.013835 | 1083 | 46 | 0.289367 | 0.013180 | 1095 | 2 | 0.233398 | 0.010631 | 1113 | 127 | 0.255738 | 0.011648 |
| 1050 | 52 | 0.120491 | 0.005488 | 1069 | 1070 | 0.066934 | 0.011281 | 1083 | 1084 | 0.113863 | 0.011414 | 999 | 1096 | 0.078493 | 0.013229 | 1113 | 138 | 0.116024 | 0.005284 |
| 1050 | 1051 | 0.145347 | 0.014570 | 1070 | 1071 | 0.065373 | 0.011018 | 1084 | 30 | 0.149180 | 0.006795 | 1096 | 1097 | 0.125137 | 0.012544 | 1113 | 145 | 0.250760 | 0.011422 |
| 1051 | 42 | 0.182367 | 0.008306 | 1071 | 1072 | 0.143343 | 0.014369 | 1084 | 1085 | 0.104230 | 0.010448 | 1097 | 155 | 0.156450 | 0.007126 | 1107 | 1114 | 0.097119 | 0.009735 |
| 1051 | 43 | 0.187694 | 0.008549 | 1072 | 48 | 0.148714 | 0.006773 | 1085 | 33 | 0.176571 | 0.008042 | 1097 | 1098 | 0.123718 | 0.012402 | 1114 | 139 | 0.177529 | 0.008086 |
| 1039 | 1052 | 0.145258 | 0.014561 | 1072 | 51 | 0.108922 | 0.004961 | 1085 | 37 | 0.112217 | 0.005111 | 1098 | 168 | 0.150272 | 0.006844 | 1108 | 1115 | 0.074658 | 0.012582 |
| 1052 | 73 | 0.169333 | 0.007713 | 1072 | 1073 | 0.140589 | 0.014093 | 1085 | 1086 | 0.129502 | 0.012982 | 1098 | 1099 | 0.092191 | 0.009241 | 1115 | 1116 | 0.152248 | 0.015262 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|
| 1116 | 1117 | 0.130720 | 0.013104 | 1136 | 1137 | 0.089224 | 0.015037 | 1153 | 183 | 0.127034 | 0.005786 | 1169 | 1170 | 0.117489 | 0.011778 | 1190 | 231 | 0.213721 | 0.009734 |
| 1117 | 163 | 0.147896 | 0.006736 | 1137 | 1138 | 0.157487 | 0.015787 | 1153 | 1154 | 0.141903 | 0.014225 | 1170 | 228 | 0.129952 | 0.005919 | 1190 | 1191 | 0.083047 | 0.013996 |
| 1117 | 164 | 0.162835 | 0.007417 | 1138 | 230 | 0.198687 | 0.009050 | 1154 | 169 | 0.152394 | 0.006941 | 1167 | 208 | 0.130848 | 0.005960 | 1191 | 233 | 0.216455 | 0.009859 |
| 1117 | 1118 | 0.102643 | 0.010289 | 1138 | 1139 | 0.157030 | 0.015741 | 1154 | 174 | 0.184597 | 0.008408 | 1167 | 1171 | 0.089727 | 0.008994 | 1191 | 222 | 0.213601 | 0.009729 |
| 1118 | 172 | 0.063024 | 0.002870 | 1139 | 235 | 0.181102 | 0.008249 | 1154 | 179 | 0.092778 | 0.004226 | 1171 | 202 | 0.263712 | 0.012012 | 1191 | 1192 | 0.067473 | 0.011371 |
| 1118 | 1119 | 0.155329 | 0.015571 | 1139 | 237 | 0.132244 | 0.006023 | 1154 | 1155 | 0.141714 | 0.014206 | 1171 | 1172 | 0.108198 | 0.010846 | 1192 | 1193 | 0.103560 | 0.010381 |
| 1119 | 170 | 0.155222 | 0.007070 | 1139 | 238 | 0.315508 | 0.014371 | 1155 | 188 | 0.131591 | 0.005993 | 1172 | 214 | 0.165034 | 0.007517 | 1193 | 223 | 0.147721 | 0.006728 |
| 1119 | 1120 | 0.109532 | 0.010980 | 1137 | 1140 | 0.085949 | 0.014485 | 1153 | 1156 | 0.066155 | 0.011149 | 1172 | 220 | 0.163096 | 0.007428 | 1193 | 229 | 0.140007 | 0.006377 |
| 1120 | 197 | 0.216900 | 0.009879 | 1140 | 232 | 0.121686 | 0.005542 | 1156 | 195 | 0.121433 | 0.005531 | 1172 | 1173 | 0.114774 | 0.011505 | 1193 | 1194 | 0.141275 | 0.014162 |
| 1117 | 1121 | 0.159568 | 0.015996 | 1140 | 1141 | 0.080314 | 0.013536 | 1156 | 1157 | 0.151635 | 0.015201 | 1173 | 1174 | 0.067589 | 0.006775 | 1194 | 227 | 0.117270 | 0.005341 |
| 1121 | 154 | 0.313155 | 0.014264 | 1141 | 236 | 0.188604 | 0.008590 | 1157 | 192 | 0.110869 | 0.005050 | 1174 | 219 | 0.160733 | 0.007321 | 1194 | 1195 | 0.109239 | 0.010950 |
| 1121 | 158 | 0.151581 | 0.006904 | 1141 | 240 | 0.115719 | 0.005271 | 1157 | 1158 | 0.130173 | 0.013049 | 1174 | 224 | 0.180431 | 0.008218 | 1195 | 215 | 0.233588 | 0.010639 |
| 1115 | 1122 | 0.060070 | 0.010124 | 1141 | 1142 | 0.049056 | 0.008267 | 1158 | 177 | 0.179590 | 0.008180 | 1174 | 226 | 0.179635 | 0.008182 | 1192 | 1196 | 0.081657 | 0.013762 |
| 1122 | 167 | 0.139222 | 0.006341 | 1142 | 242 | 0.212889 | 0.009697 | 1158 | 1159 | 0.130966 | 0.013129 | 999 | 1175 | 0.064422 | 0.010857 | 1196 | 234 | 0.204882 | 0.009332 |
| 1122 | 1123 | 0.121671 | 0.012197 | 1142 | 243 | 0.135422 | 0.006168 | 1159 | 186 | 0.168927 | 0.007694 | 1175 | 1176 | 0.051537 | 0.008686 | 1196 | 241 | 0.187609 | 0.008545 |
| 1123 | 178 | 0.156351 | 0.007121 | 1142 | 244 | 0.111594 | 0.005083 | 1159 | 194 | 0.179452 | 0.008174 | 1176 | 1177 | 0.059192 | 0.009976 | 1196 | 1197 | 0.148811 | 0.014918 |
| 1123 | 180 | 0.181144 | 0.008251 | 1142 | 1143 | 0.083571 | 0.014085 | 1159 | 1160 | 0.163162 | 0.016356 | 1177 | 1178 | 0.074564 | 0.012567 | 1197 | 239 | 0.236409 | 0.010768 |
| 1123 | 1124 | 0.150401 | 0.015077 | 1143 | 247 | 0.103995 | 0.004736 | 1160 | 184 | 0.281206 | 0.012808 | 1178 | 1179 | 0.073939 | 0.012461 | 1196 | 1198 | 0.148455 | 0.014882 |
| 1124 | 199 | 0.159685 | 0.007273 | 1143 | 248 | 0.170679 | 0.007774 | 1158 | 1161 | 0.106311 | 0.010657 | 1179 | 1180 | 0.086239 | 0.014534 | 1198 | 1199 | 0.147948 | 0.014831 |
| 1124 | 1125 | 0.122024 | 0.012232 | 1143 | 1144 | 0.153053 | 0.015343 | 1161 | 1162 | 0.113051 | 0.011333 | 1180 | 1181 | 0.063929 | 0.010774 | 1199 | 1200 | 0.147464 | 0.014782 |
| 1125 | 203 | 0.139938 | 0.006374 | 1144 | 246 | 0.172761 | 0.007869 | 1162 | 152 | 0.191864 | 0.008739 | 1181 | 1182 | 0.084975 | 0.014321 | 1200 | 245 | 0.211832 | 0.009648 |
| 1125 | 205 | 0.218841 | 0.009968 | 1143 | 1145 | 0.148795 | 0.014916 | 1156 | 1163 | 0.074068 | 0.012483 | 1182 | 1183 | 0.148202 | 0.014856 | 1199 | 1201 | 0.123171 | 0.012347 |
| 1124 | 1126 | 0.146880 | 0.014724 | 1145 | 1146 | 0.139195 | 0.013954 | 1163 | 201 | 0.107549 | 0.004898 | 1183 | 1184 | 0.148951 | 0.014931 | 1201 | 249 | 0.160897 | 0.007328 |
| 1126 | 1127 | 0.128678 | 0.012899 | 1146 | 252 | 0.186525 | 0.008496 | 1163 | 1164 | 0.140298 | 0.014064 | 1184 | 1185 | 0.144903 | 0.014526 | 1201 | 1202 | 0.126518 | 0.012683 |
| 1127 | 210 | 0.102580 | 0.004672 | 1146 | 1147 | 0.151355 | 0.015172 | 1164 | 207 | 0.139196 | 0.006340 | 1185 | 200 | 0.219864 | 0.010014 | 1202 | 250 | 0.163282 | 0.007437 |
| 1127 | 213 | 0.133279 | 0.006070 | 1147 | 1148 | 0.136662 | 0.013700 | 1164 | 1165 | 0.112596 | 0.011287 | 1185 | 206 | 0.287438 | 0.013092 | 1202 | 251 | 0.139021 | 0.006332 |
| 1123 | 1128 | 0.103972 | 0.010423 | 1148 | 253 | 0.196669 | 0.008958 | 1165 | 209 | 0.098096 | 0.004468 | 1184 | 1186 | 0.156019 | 0.015640 | 999 | 1203 | 0.064422 | 0.010857 |
| 1128 | 187 | 0.186061 | 0.008475 | 1148 | 255 | 0.177496 | 0.008084 | 1165 | 1166 | 0.134774 | 0.013510 | 1186 | 191 | 0.136400 | 0.006212 | 1203 | 1204 | 0.051537 | 0.008686 |
| 1128 | 190 | 0.142126 | 0.006473 | 1148 | 257 | 0.164700 | 0.007502 | 1166 | 204 | 0.230923 | 0.010518 | 1186 | 196 | 0.205935 | 0.009380 | 1204 | 1205 | 0.059192 | 0.009976 |
| 999 | 1129 | 0.078493 | 0.013229 | 1147 | 1149 | 0.116907 | 0.011719 | 1166 | 216 | 0.214168 | 0.009755 | 1186 | 1187 | 0.093696 | 0.009392 | 1205 | 1206 | 0.074564 | 0.012567 |
| 1129 | 1130 | 0.068918 | 0.011615 | 1149 | 258 | 0.138782 | 0.006321 | 1163 | 1167 | 0.064304 | 0.010837 | 1187 | 185 | 0.165938 | 0.007558 | 1206 | 1207 | 0.073939 | 0.012461 |
| 1130 | 1131 | 0.068137 | 0.011483 | 999 | 1150 | 0.079456 | 0.013391 | 1167 | 1168 | 0.144732 | 0.014509 | 1187 | 189 | 0.130659 | 0.005951 | 1207 | 1208 | 0.086239 | 0.014534 |
| 1131 | 1132 | 0.050773 | 0.008557 | 1150 | 1151 | 0.074563 | 0.012566 | 1168 | 211 | 0.083902 | 0.003821 | 1182 | 1188 | 0.079821 | 0.013453 | 1208 | 1209 | 0.063929 | 0.010774 |
| 1132 | 1133 | 0.061123 | 0.010301 | 1151 | 1152 | 0.128992 | 0.012931 | 1168 | 212 | 0.132013 | 0.006013 | 1188 | 1189 | 0.059543 | 0.010035 | 1209 | 1210 | 0.084975 | 0.014321 |
| 1133 | 1134 | 0.061898 | 0.010432 | 1152 | 160 | 0.175425 | 0.007990 | 1168 | 1169 | 0.159147 | 0.015954 | 1189 | 218 | 0.229389 | 0.010448 | 1210 | 1211 | 0.079821 | 0.013453 |
| 1134 | 1135 | 0.069998 | 0.011797 | 1152 | 173 | 0.145286 | 0.006617 | 1169 | 217 | 0.131664 | 0.005997 | 1189 | 225 | 0.228366 | 0.010402 | 1211 | 1212 | 0.059543 | 0.010035 |
| 1135 | 1136 | 0.082614 | 0.013923 | 1151 | 1153 | 0.078755 | 0.013273 | 1169 | 221 | 0.245692 | 0.011191 | 1189 | 1190 | 0.067990 | 0.011459 | 1212 | 1213 | 0.067990 | 0.011459 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|------|------|----------|----------|
| 1213 | 1214 | 0.083047 | 0.013996 | 1220 | 1221 | 0.074466 | 0.012550 | 1224 | 1225 | 0.063908 | 0.010771 | 1228 | 1229 | 0.065371 | 0.011017 | 1231 | 266 | 0.112444 | 0.005121 |
| 1214 | 1215 | 0.067473 | 0.011371 | 1221 | 1222 | 0.067730 | 0.011415 | 1225 | 1226 | 0.096811 | 0.009705 | 1229 | 262 | 0.204699 | 0.009324 | 1231 | 1232 | 0.108646 | 0.010891 |
| 1215 | 1216 | 0.081657 | 0.013762 | 1222 | 254 | 0.310024 | 0.014121 | 1226 | 260 | 0.186416 | 0.008491 | 1229 | 263 | 0.144703 | 0.006591 | 1232 | 270 | 0.128624 | 0.005858 |
| 1216 | 1217 | 0.081760 | 0.013779 | 1222 | 1223 | 0.071420 | 0.012037 | 1226 | 261 | 0.157773 | 0.007186 | 1229 | 1230 | 0.054518 | 0.009188 | 1231 | 1233 | 0.109570 | 0.010984 |
| 1217 | 1218 | 0.081481 | 0.013732 | 1223 | 256 | 0.276846 | 0.012610 | 1226 | 1227 | 0.114943 | 0.011522 | 1230 | 265 | 0.164810 | 0.007507 | 1233 | 268 | 0.099249 | 0.004520 |
| 1218 | 1219 | 0.067835 | 0.011432 | 1223 | 259 | 0.225609 | 0.010276 | 1227 | 264 | 0.115317 | 0.005252 | 1230 | 267 | 0.205351 | 0.009353 | 1233 | 269 | 0.120115 | 0.005471 |
| 1219 | 1220 | 0.079385 | 0.013379 | 1223 | 1224 | 0.075808 | 0.012776 | 1225 | 1228 | 0.064954 | 0.010947 | 1230 | 1231 | 0.142287 | 0.014263 | | | | |

Prilog 18. Opterećenje potrošača (sabirnica) – podaci za metodu simuliranog kaljenja

| Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVAr) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVAr) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVAr) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVAr) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVAr) |
|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|
| 1 | 3 | 0.00000000 | 0.00000000 | 27 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 53 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 79 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 105 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 2 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 28 | 1 | 0.00158620 | 0.00036548 | 54 | 1 | 0.00206183 | 0.00047507 | 80 | 1 | 0.00096444 | 0.00022222 | 106 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 3 | 1 | 0.00501600 | 0.00115575 | 29 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 55 | 1 | 0.00108834 | 0.00025077 | 81 | 1 | 0.00224362 | 0.00051696 | 107 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 4 | 1 | 0.00178808 | 0.00041200 | 30 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 56 | 1 | 0.00076933 | 0.00017726 | 82 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 108 | 1 | 0.00129954 | 0.00029943 |
| 5 | 1 | 0.00150445 | 0.00034664 | 31 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 57 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 83 | 1 | 0.00267561 | 0.00061650 | 109 | 1 | 0.00068794 | 0.00015851 |
| 6 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 32 | 1 | 0.00179678 | 0.00041400 | 58 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 84 | 1 | 0.00341779 | 0.00078750 | 110 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 7 | 1 | 0.00113452 | 0.00026141 | 33 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 59 | 1 | 0.00100237 | 0.00023096 | 85 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 111 | 1 | 0.00271299 | 0.00062511 |
| 8 | 1 | 0.00053833 | 0.00012404 | 34 | 1 | 0.00000012 | 0.00000003 | 60 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 86 | 1 | 0.00134430 | 0.00030975 | 112 | 1 | 0.00012484 | 0.00002876 |
| 9 | 1 | 0.00267073 | 0.00061537 | 35 | 1 | 0.00011843 | 0.00002729 | 61 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 87 | 1 | 0.00181311 | 0.00041776 | 113 | 1 | 0.00228699 | 0.00052695 |
| 10 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 36 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 62 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 88 | 1 | 0.00240121 | 0.00055327 | 114 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 11 | 1 | 0.00000069 | 0.00000016 | 37 | 1 | 0.00011106 | 0.00002559 | 63 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 89 | 1 | 0.00174373 | 0.00040178 | 115 | 1 | 0.00370856 | 0.00085450 |
| 12 | 1 | 0.00099046 | 0.00022821 | 38 | 1 | 0.00113624 | 0.00026180 | 64 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 90 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 116 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 13 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 39 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 65 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 91 | 1 | 0.00106145 | 0.00024457 | 117 | 1 | 0.00043461 | 0.00010014 |
| 14 | 1 | 0.00140683 | 0.00032415 | 40 | 1 | 0.00064492 | 0.00014860 | 66 | 1 | 0.00190861 | 0.00043977 | 92 | 1 | 0.00137907 | 0.00031776 | 118 | 1 | 0.00109353 | 0.00025196 |
| 15 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 41 | 1 | 0.00078640 | 0.00018120 | 67 | 1 | 0.00001874 | 0.00000432 | 93 | 1 | 0.00139651 | 0.00032177 | 119 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 16 | 1 | 0.00029265 | 0.00006743 | 42 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 68 | 1 | 0.00212941 | 0.00049064 | 94 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 120 | 1 | 0.00122556 | 0.00028238 |
| 17 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 43 | 1 | 0.00128316 | 0.00029566 | 69 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 95 | 1 | 0.00082900 | 0.00019101 | 121 | 1 | 0.00245020 | 0.00056456 |
| 18 | 1 | 0.00105924 | 0.00024406 | 44 | 1 | 0.00123850 | 0.00028537 | 70 | 1 | 0.00170684 | 0.00039328 | 96 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 122 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 19 | 1 | 0.00130784 | 0.00030134 | 45 | 1 | 0.00196585 | 0.00045296 | 71 | 1 | 0.00145502 | 0.00033525 | 97 | 1 | 0.00191549 | 0.00044135 | 123 | 1 | 0.00054569 | 0.00012573 |
| 20 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 46 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 72 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 98 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 124 | 1 | 0.00002292 | 0.00000528 |
| 21 | 1 | 0.00197947 | 0.00045609 | 47 | 1 | 0.00154653 | 0.00035634 | 73 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 99 | 1 | 0.00081659 | 0.00018815 | 125 | 1 | 0.00328385 | 0.00075664 |
| 22 | 1 | 0.00115230 | 0.00026551 | 48 | 1 | 0.00080048 | 0.00018444 | 74 | 1 | 0.00273738 | 0.00063073 | 100 | 1 | 0.00185849 | 0.00042822 | 126 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 23 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 49 | 1 | 0.00078060 | 0.00017986 | 75 | 1 | 0.00000254 | 0.00000059 | 101 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 127 | 1 | 0.00163419 | 0.00037654 |
| 24 | 1 | 0.00210580 | 0.00048520 | 50 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 76 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 102 | 1 | 0.00104515 | 0.00024082 | 128 | 1 | 0.00246422 | 0.00056779 |
| 25 | 1 | 0.00378814 | 0.00087284 | 51 | 1 | 0.00114584 | 0.00026402 | 77 | 1 | 0.00112302 | 0.00025876 | 103 | 1 | 0.00173426 | 0.00039960 | 129 | 1 | 0.00238235 | 0.00054892 |
| 26 | 1 | 0.00283147 | 0.00065241 | 52 | 1 | 0.00125425 | 0.00028900 | 78 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 104 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 130 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|
| 131 | 1 | 0.00548683 | 0.00126424 | 168 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 205 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 242 | 1 | 0.00640462 | 0.00147571 | 279 | 1 | 0.00013258 | 0.00003055 |
| 132 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 169 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 206 | 1 | 0.00142102 | 0.00032742 | 243 | 1 | 0.00054558 | 0.00012571 | 280 | 1 | 0.00187728 | 0.00043255 |
| 133 | 1 | 0.00152458 | 0.00035128 | 170 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 207 | 1 | 0.00026597 | 0.00006128 | 244 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 281 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 134 | 1 | 0.00098212 | 0.00022629 | 171 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 208 | 1 | 0.00284525 | 0.00065558 | 245 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 282 | 1 | 0.00138005 | 0.00031798 |
| 135 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 172 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 209 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 246 | 1 | 0.00003831 | 0.00000883 | 283 | 1 | 0.00212367 | 0.00048932 |
| 136 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 173 | 1 | 0.00124793 | 0.00028754 | 210 | 1 | 0.00118668 | 0.00027343 | 247 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 284 | 1 | 0.00274366 | 0.00063218 |
| 137 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 174 | 1 | 0.00038246 | 0.00008812 | 211 | 1 | 0.00108599 | 0.00025023 | 248 | 1 | 0.00000089 | 0.00000020 | 285 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 138 | 1 | 0.00217349 | 0.00050080 | 175 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 212 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 249 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 286 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 139 | 1 | 0.00076992 | 0.00017740 | 176 | 1 | 0.00148751 | 0.00034274 | 213 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 250 | 1 | 0.00208804 | 0.00048111 | 287 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 140 | 1 | 0.00328062 | 0.00075590 | 177 | 1 | 0.00125179 | 0.00028843 | 214 | 1 | 0.00315694 | 0.00072740 | 251 | 1 | 0.00095123 | 0.00021917 | 288 | 1 | 0.00164862 | 0.00037986 |
| 141 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 178 | 1 | 0.00001943 | 0.00000448 | 215 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 252 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 289 | 1 | 0.00047479 | 0.00010940 |
| 142 | 1 | 0.00125579 | 0.00028935 | 179 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 216 | 1 | 0.00219525 | 0.00050582 | 253 | 1 | 0.00112105 | 0.00025831 | 290 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 143 | 1 | 0.00147870 | 0.00034071 | 180 | 1 | 0.00096809 | 0.00022306 | 217 | 1 | 0.00000009 | 0.00000002 | 254 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 291 | 1 | 0.00104132 | 0.00023993 |
| 144 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 181 | 1 | 0.00241938 | 0.00055746 | 218 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 255 | 1 | 0.00202990 | 0.00046771 | 292 | 1 | 0.00248405 | 0.00057236 |
| 145 | 1 | 0.00015239 | 0.00003511 | 182 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 219 | 1 | 0.00217331 | 0.00050076 | 256 | 1 | 0.00075196 | 0.00017326 | 293 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 146 | 1 | 0.00028878 | 0.00006654 | 183 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 220 | 1 | 0.00016413 | 0.00003782 | 257 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 294 | 1 | 0.00042456 | 0.00009783 |
| 147 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 184 | 1 | 0.00092006 | 0.00021199 | 221 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 258 | 1 | 0.00065984 | 0.00015204 | 295 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 148 | 1 | 0.00061995 | 0.00014284 | 185 | 1 | 0.00127409 | 0.00029357 | 222 | 1 | 0.00138423 | 0.00031894 | 259 | 1 | 0.00037145 | 0.00008559 | 296 | 1 | 0.00034661 | 0.00007986 |
| 149 | 1 | 0.00131755 | 0.00030358 | 186 | 1 | 0.00012073 | 0.00002782 | 223 | 1 | 0.00162354 | 0.00037408 | 260 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 297 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 150 | 1 | 0.00194901 | 0.00044908 | 187 | 1 | 0.00134121 | 0.00030903 | 224 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 261 | 1 | 0.00232682 | 0.00053613 | 298 | 1 | 0.00000272 | 0.00000063 |
| 151 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 188 | 1 | 0.00205849 | 0.00047430 | 225 | 1 | 0.00188741 | 0.00043488 | 262 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 299 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 152 | 1 | 0.00070364 | 0.00016213 | 189 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 226 | 1 | 0.00382403 | 0.00088111 | 263 | 1 | 0.00163017 | 0.00037561 | 300 | 1 | 0.00092126 | 0.00021227 |
| 153 | 1 | 0.00223346 | 0.00051462 | 190 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 227 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 264 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 301 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 154 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 191 | 1 | 0.00175674 | 0.00040478 | 228 | 1 | 0.00157681 | 0.00036332 | 265 | 1 | 0.00122604 | 0.00028250 | 302 | 1 | 0.00000689 | 0.00000159 |
| 155 | 1 | 0.00185737 | 0.00042796 | 192 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 229 | 1 | 0.00006557 | 0.00001511 | 266 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 303 | 1 | 0.00171946 | 0.00039619 |
| 156 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 193 | 1 | 0.00150685 | 0.00034720 | 230 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 267 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 304 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 157 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 194 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 231 | 1 | 0.00276003 | 0.00063595 | 268 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 305 | 1 | 0.00030054 | 0.00006925 |
| 158 | 1 | 0.00175496 | 0.00040437 | 195 | 1 | 0.00121719 | 0.00028046 | 232 | 1 | 0.00011234 | 0.00002588 | 269 | 1 | 0.00101042 | 0.00023281 | 306 | 1 | 0.00061885 | 0.00014259 |
| 159 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 196 | 1 | 0.00058305 | 0.00013434 | 233 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 270 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 307 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 160 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 197 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 234 | 1 | 0.00283811 | 0.00065394 | 271 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 308 | 1 | 0.00124155 | 0.00028607 |
| 161 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 198 | 1 | 0.00217975 | 0.00050224 | 235 | 1 | 0.00564166 | 0.00129991 | 272 | 1 | 0.00076506 | 0.00017628 | 309 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 162 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 199 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 236 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 273 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 310 | 1 | 0.00109470 | 0.00025223 |
| 163 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 200 | 1 | 0.00000035 | 0.00000008 | 237 | 1 | 0.00275515 | 0.00063482 | 274 | 1 | 0.00045928 | 0.00010582 | 311 | 1 | 0.00149298 | 0.00034400 |
| 164 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 201 | 1 | 0.00081157 | 0.00018700 | 238 | 1 | 0.00105615 | 0.00024335 | 275 | 1 | 0.00238374 | 0.00054924 | 312 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 165 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 202 | 1 | 0.00000027 | 0.00000006 | 239 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 276 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 313 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 166 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 203 | 1 | 0.00488884 | 0.00112645 | 240 | 1 | 0.00193179 | 0.00044511 | 277 | 1 | 0.00027455 | 0.00006326 | 314 | 1 | 0.00080019 | 0.00018437 |
| 167 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 204 | 1 | 0.00251130 | 0.00057864 | 241 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 278 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 315 | 1 | 0.00049423 | 0.00011388 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|
| 316 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 353 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 390 | 1 | 0.00163566 | 0.00037688 | 427 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 464 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 317 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 354 | 1 | 0.00054222 | 0.00012493 | 391 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 428 | 1 | 0.00111445 | 0.00025678 | 465 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 318 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 355 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 392 | 1 | 0.00138747 | 0.00031969 | 429 | 1 | 0.00175337 | 0.00040400 | 466 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 319 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 356 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 393 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 430 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 467 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 320 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 357 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 394 | 1 | 0.00101687 | 0.00023430 | 431 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 468 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 321 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 358 | 1 | 0.00002593 | 0.00000597 | 395 | 1 | 0.00115930 | 0.00026712 | 432 | 1 | 0.00002946 | 0.00000679 | 469 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 322 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 359 | 1 | 0.00213441 | 0.00049180 | 396 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 433 | 1 | 0.00224054 | 0.00051625 | 470 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 323 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 360 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 397 | 1 | 0.00065071 | 0.00014993 | 434 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 471 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 324 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 361 | 1 | 0.00197243 | 0.00045447 | 398 | 1 | 0.00111116 | 0.00025603 | 435 | 1 | 0.00291098 | 0.00067073 | 472 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 325 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 362 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 399 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 436 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 473 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 326 | 1 | 0.00026341 | 0.00006069 | 363 | 1 | 0.00162172 | 0.00037367 | 400 | 1 | 0.00181034 | 0.00041713 | 437 | 1 | 0.00058462 | 0.00013470 | 474 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 327 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 364 | 1 | 0.00056507 | 0.00013020 | 401 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 438 | 1 | 0.00069304 | 0.00015969 | 475 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 328 | 1 | 0.00183758 | 0.00042340 | 365 | 1 | 0.00084924 | 0.00019568 | 402 | 1 | 0.00031815 | 0.00007331 | 439 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 476 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 329 | 1 | 0.00133204 | 0.00030692 | 366 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 403 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 440 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 477 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 330 | 1 | 0.00199516 | 0.00045971 | 367 | 1 | 0.00354249 | 0.00081624 | 404 | 1 | 0.00086044 | 0.00019826 | 441 | 1 | 0.00102279 | 0.00023567 | 478 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 331 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 368 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 405 | 1 | 0.00072366 | 0.00016674 | 442 | 1 | 0.00153989 | 0.00035481 | 479 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 332 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 369 | 1 | 0.00253463 | 0.00058401 | 406 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 443 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 480 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 333 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 370 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 407 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 444 | 1 | 0.00001924 | 0.00000443 | 481 | 1 | 0.00124954 | 0.00028791 |
| 334 | 1 | 0.00149529 | 0.00034453 | 371 | 1 | 0.00145451 | 0.00033514 | 408 | 1 | 0.00259978 | 0.00059902 | 445 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 482 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 335 | 1 | 0.00103846 | 0.00023927 | 372 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 409 | 1 | 0.00080160 | 0.00018470 | 446 | 1 | 0.00058717 | 0.00013529 | 483 | 1 | 0.00036752 | 0.00008468 |
| 336 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 373 | 1 | 0.00106692 | 0.00024583 | 410 | 1 | 0.00136587 | 0.00031471 | 447 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 484 | 1 | 0.00033890 | 0.00007809 |
| 337 | 1 | 0.00223735 | 0.00051552 | 374 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 411 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 448 | 1 | 0.00222319 | 0.00051225 | 485 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 338 | 1 | 0.00112516 | 0.00025925 | 375 | 1 | 0.00120997 | 0.00027879 | 412 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 449 | 1 | 0.00136354 | 0.00031418 | 486 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 339 | 1 | 0.00054721 | 0.00012608 | 376 | 1 | 0.00099425 | 0.00022909 | 413 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 450 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 487 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 340 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 377 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 414 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 451 | 1 | 0.00006082 | 0.00001401 | 488 | 1 | 0.00094045 | 0.00021669 |
| 341 | 1 | 0.00150678 | 0.00034718 | 378 | 1 | 0.00015654 | 0.00003607 | 415 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 452 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 489 | 1 | 0.00106898 | 0.00024631 |
| 342 | 1 | 0.00057686 | 0.00013291 | 379 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 416 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 453 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 490 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 343 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 380 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 417 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 454 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 491 | 1 | 0.00021086 | 0.00004859 |
| 344 | 1 | 0.00308872 | 0.00071168 | 381 | 1 | 0.00182974 | 0.00042159 | 418 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 455 | 1 | 0.00060921 | 0.00014037 | 492 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 345 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 382 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 419 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 456 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 493 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 346 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 383 | 1 | 0.00117106 | 0.00026983 | 420 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 457 | 1 | 0.00077220 | 0.00017793 | 494 | 1 | 0.00046608 | 0.00010739 |
| 347 | 1 | 0.00002634 | 0.00000607 | 384 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 421 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 458 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 495 | 1 | 0.00096398 | 0.00022211 |
| 348 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 385 | 1 | 0.00021446 | 0.00004941 | 422 | 1 | 0.00237135 | 0.00054639 | 459 | 1 | 0.00159670 | 0.00036790 | 496 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 349 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 386 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 423 | 1 | 0.00265478 | 0.00061170 | 460 | 1 | 0.00100805 | 0.00023227 | 497 | 1 | 0.00003597 | 0.00000829 |
| 350 | 1 | 0.00095693 | 0.00022049 | 387 | 1 | 0.00117713 | 0.00027123 | 424 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 461 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 498 | 1 | 0.00119693 | 0.00027579 |
| 351 | 1 | 0.00179995 | 0.00041473 | 388 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 425 | 1 | 0.00042008 | 0.00009679 | 462 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 499 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 352 | 1 | 0.00135339 | 0.00031184 | 389 | 1 | 0.00159256 | 0.00036695 | 426 | 1 | 0.00191323 | 0.00044083 | 463 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 500 | 1 | 0.00189306 | 0.00043619 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|
| 501 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 502 | 1 | 0.00048099 | 0.00011083 | 503 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 504 | 1 | 0.00152865 | 0.00035222 | 505 | 1 | 0.00232926 | 0.00053669 |
|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|

Prilog 19. Dionice najbolje prostorne distribucijske mreže – podaci za metodu simuliranog kaljenja

| From bus | To bus | R (p.u.) | X (p.u.) | From bus | To bus | R (p.u.) | X (p.u.) | From bus | To bus | R (p.u.) | X (p.u.) | From bus | To bus | R (p.u.) | X (p.u.) | From bus | To bus | R (p.u.) | X (p.u.) |
|----------|--------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|
| 1 | 2 | 0.056746 | 0.009564 | 33 | 34 | 0.188790 | 0.008599 | 65 | 67 | 0.169696 | 0.007729 | 98 | 100 | 0.167896 | 0.007647 | 94 | 135 | 0.061921 | 0.010436 |
| 2 | 3 | 0.234525 | 0.010682 | 33 | 35 | 0.170504 | 0.007766 | 65 | 68 | 0.225782 | 0.010284 | 96 | 101 | 0.134629 | 0.013496 | 135 | 136 | 0.064190 | 0.010818 |
| 2 | 4 | 0.259609 | 0.011825 | 33 | 36 | 0.139579 | 0.013992 | 65 | 69 | 0.076527 | 0.012897 | 101 | 102 | 0.150325 | 0.006847 | 136 | 137 | 0.145258 | 0.014561 |
| 2 | 5 | 0.273007 | 0.012435 | 36 | 37 | 0.226505 | 0.010317 | 69 | 70 | 0.173159 | 0.007887 | 101 | 103 | 0.096985 | 0.004417 | 137 | 138 | 0.169333 | 0.007713 |
| 2 | 6 | 0.045787 | 0.007717 | 36 | 38 | 0.223102 | 0.010162 | 69 | 71 | 0.266712 | 0.012148 | 94 | 104 | 0.150181 | 0.015055 | 137 | 139 | 0.177539 | 0.008086 |
| 6 | 7 | 0.148755 | 0.006775 | 33 | 39 | 0.097440 | 0.009768 | 72 | 73 | 0.137499 | 0.013783 | 104 | 105 | 0.067696 | 0.006786 | 137 | 140 | 0.160426 | 0.007307 |
| 6 | 8 | 0.198583 | 0.009045 | 39 | 40 | 0.174183 | 0.007934 | 73 | 74 | 0.118091 | 0.005379 | 106 | 107 | 0.081359 | 0.008156 | 136 | 141 | 0.149053 | 0.014942 |
| 6 | 9 | 0.164985 | 0.007515 | 39 | 41 | 0.210368 | 0.009582 | 73 | 75 | 0.112125 | 0.005107 | 107 | 108 | 0.130226 | 0.005931 | 141 | 142 | 0.250849 | 0.011426 |
| 6 | 10 | 0.107099 | 0.010736 | 39 | 42 | 0.108724 | 0.010899 | 72 | 76 | 0.100833 | 0.010108 | 107 | 109 | 0.118973 | 0.005419 | 141 | 143 | 0.121074 | 0.005514 |
| 10 | 11 | 0.178062 | 0.008110 | 42 | 43 | 0.221383 | 0.010083 | 76 | 77 | 0.177852 | 0.008101 | 107 | 110 | 0.075057 | 0.007524 | 144 | 145 | 0.179092 | 0.008157 |
| 10 | 12 | 0.138233 | 0.006296 | 42 | 44 | 0.211975 | 0.009655 | 76 | 78 | 0.116098 | 0.011638 | 110 | 111 | 0.131174 | 0.005974 | 144 | 146 | 0.200797 | 0.009146 |
| 10 | 13 | 0.109447 | 0.010971 | 42 | 45 | 0.160737 | 0.007321 | 78 | 79 | 0.173904 | 0.007921 | 110 | 112 | 0.139994 | 0.006376 | 144 | 147 | 0.126244 | 0.012655 |
| 13 | 14 | 0.152509 | 0.006946 | 46 | 47 | 0.171452 | 0.007809 | 78 | 80 | 0.117250 | 0.005340 | 110 | 113 | 0.175068 | 0.007974 | 147 | 148 | 0.186198 | 0.008481 |
| 2 | 15 | 0.054664 | 0.009213 | 46 | 48 | 0.176002 | 0.008016 | 78 | 81 | 0.129734 | 0.005909 | 114 | 115 | 0.211308 | 0.009625 | 147 | 149 | 0.149883 | 0.006827 |
| 15 | 16 | 0.153144 | 0.006975 | 46 | 49 | 0.174465 | 0.007946 | 76 | 82 | 0.122656 | 0.012296 | 114 | 116 | 0.095331 | 0.009556 | 147 | 150 | 0.198540 | 0.009043 |
| 15 | 17 | 0.105680 | 0.010594 | 46 | 50 | 0.162080 | 0.016248 | 82 | 83 | 0.152402 | 0.006941 | 116 | 117 | 0.172618 | 0.007862 | 141 | 151 | 0.114482 | 0.011476 |
| 17 | 18 | 0.109038 | 0.004966 | 50 | 51 | 0.237617 | 0.010823 | 82 | 84 | 0.200664 | 0.009140 | 116 | 118 | 0.190270 | 0.008666 | 151 | 152 | 0.127133 | 0.005790 |
| 17 | 19 | 0.097000 | 0.004418 | 50 | 52 | 0.249244 | 0.011353 | 82 | 85 | 0.111751 | 0.011202 | 116 | 119 | 0.124792 | 0.012510 | 151 | 153 | 0.135801 | 0.006185 |
| 17 | 20 | 0.095244 | 0.009547 | 50 | 53 | 0.122266 | 0.012256 | 85 | 86 | 0.161503 | 0.007356 | 119 | 120 | 0.124102 | 0.005652 | 151 | 154 | 0.129985 | 0.013030 |
| 20 | 21 | 0.144666 | 0.006589 | 53 | 54 | 0.166825 | 0.007598 | 85 | 87 | 0.130880 | 0.005961 | 119 | 121 | 0.137648 | 0.006269 | 154 | 155 | 0.234955 | 0.010702 |
| 20 | 22 | 0.114654 | 0.005222 | 53 | 55 | 0.180197 | 0.008207 | 85 | 88 | 0.150136 | 0.006838 | 119 | 122 | 0.103432 | 0.010368 | 151 | 156 | 0.130973 | 0.013129 |
| 20 | 23 | 0.080555 | 0.008075 | 53 | 56 | 0.204276 | 0.009304 | 85 | 89 | 0.134332 | 0.006118 | 122 | 123 | 0.142051 | 0.006470 | 156 | 157 | 0.178244 | 0.008119 |
| 23 | 24 | 0.154641 | 0.007043 | 50 | 57 | 0.108738 | 0.010900 | 85 | 90 | 0.101093 | 0.010134 | 122 | 124 | 0.140991 | 0.006422 | 156 | 158 | 0.097216 | 0.004428 |
| 23 | 25 | 0.133420 | 0.006077 | 57 | 58 | 0.114879 | 0.011516 | 90 | 91 | 0.190004 | 0.008654 | 122 | 125 | 0.155817 | 0.007097 | 1 | 159 | 0.076794 | 0.012942 |
| 23 | 26 | 0.153273 | 0.006981 | 58 | 59 | 0.180070 | 0.008202 | 90 | 92 | 0.125267 | 0.005705 | 126 | 127 | 0.204362 | 0.009308 | 159 | 160 | 0.067114 | 0.011311 |
| 20 | 27 | 0.072773 | 0.007295 | 1 | 60 | 0.076794 | 0.012942 | 90 | 93 | 0.172282 | 0.007847 | 126 | 128 | 0.187003 | 0.008517 | 160 | 161 | 0.066637 | 0.011231 |
| 27 | 28 | 0.104398 | 0.004755 | 60 | 61 | 0.067114 | 0.011311 | 69 | 94 | 0.071440 | 0.012040 | 126 | 129 | 0.184596 | 0.008408 | 161 | 162 | 0.044335 | 0.007472 |
| 15 | 29 | 0.079441 | 0.013389 | 61 | 62 | 0.066637 | 0.011231 | 94 | 95 | 0.137843 | 0.006278 | 126 | 130 | 0.110471 | 0.011074 | 162 | 163 | 0.059879 | 0.010092 |
| 29 | 30 | 0.134373 | 0.006120 | 62 | 63 | 0.044335 | 0.007472 | 94 | 96 | 0.150181 | 0.015055 | 130 | 131 | 0.120491 | 0.005488 | 163 | 164 | 0.071440 | 0.012040 |
| 29 | 31 | 0.071732 | 0.012089 | 63 | 64 | 0.059879 | 0.010092 | 96 | 97 | 0.132842 | 0.006050 | 130 | 132 | 0.145347 | 0.014570 | 164 | 165 | 0.076527 | 0.012897 |
| 31 | 32 | 0.214446 | 0.009767 | 64 | 65 | 0.071127 | 0.011987 | 96 | 98 | 0.067696 | 0.006786 | 132 | 133 | 0.182367 | 0.008306 | 165 | 166 | 0.071440 | 0.012040 |
| 31 | 33 | 0.093087 | 0.009331 | 65 | 66 | 0.219375 | 0.009992 | 98 | 99 | 0.212202 | 0.009665 | 132 | 134 | 0.187694 | 0.008549 | 166 | 167 | 0.061921 | 0.010436 |

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|----------|----------|-----|-----|----------|----------|-----|-----|----------|----------|-----|-----|----------|----------|-----|-----|----------|----------|
| 167 | 168 | 0.064190 | 0.010818 | 205 | 208 | 0.182176 | 0.008298 | 247 | 248 | 0.150272 | 0.006844 | 285 | 286 | 0.152248 | 0.015262 | 325 | 326 | 0.198687 | 0.009050 |
| 168 | 169 | 0.082089 | 0.013835 | 183 | 209 | 0.086245 | 0.014535 | 247 | 249 | 0.092191 | 0.009241 | 287 | 288 | 0.147896 | 0.006736 | 325 | 327 | 0.157030 | 0.015741 |
| 169 | 170 | 0.066934 | 0.011281 | 209 | 210 | 0.145435 | 0.006624 | 249 | 250 | 0.105605 | 0.004810 | 287 | 289 | 0.162835 | 0.007417 | 327 | 328 | 0.181102 | 0.008249 |
| 170 | 171 | 0.065373 | 0.011018 | 209 | 211 | 0.211139 | 0.009617 | 249 | 251 | 0.097318 | 0.004432 | 287 | 290 | 0.159568 | 0.015996 | 327 | 329 | 0.132244 | 0.006023 |
| 172 | 173 | 0.148714 | 0.006773 | 209 | 212 | 0.148588 | 0.014895 | 249 | 252 | 0.110983 | 0.011125 | 290 | 291 | 0.313155 | 0.014264 | 327 | 330 | 0.315508 | 0.014371 |
| 172 | 174 | 0.108922 | 0.004961 | 213 | 214 | 0.109543 | 0.004989 | 252 | 253 | 0.150189 | 0.006841 | 290 | 292 | 0.151581 | 0.006904 | 324 | 331 | 0.085949 | 0.014485 |
| 175 | 176 | 0.169707 | 0.007730 | 213 | 215 | 0.113909 | 0.011419 | 252 | 254 | 0.112390 | 0.011266 | 287 | 293 | 0.102643 | 0.010289 | 331 | 332 | 0.121686 | 0.005542 |
| 175 | 177 | 0.140418 | 0.006396 | 215 | 216 | 0.141153 | 0.006429 | 254 | 255 | 0.138251 | 0.006297 | 293 | 294 | 0.063024 | 0.002870 | 331 | 333 | 0.080314 | 0.013536 |
| 175 | 178 | 0.149050 | 0.006789 | 215 | 217 | 0.255655 | 0.011645 | 254 | 256 | 0.154896 | 0.007055 | 293 | 295 | 0.155329 | 0.015571 | 333 | 334 | 0.188604 | 0.008590 |
| 175 | 179 | 0.114329 | 0.011461 | 215 | 218 | 0.128838 | 0.012915 | 245 | 257 | 0.139825 | 0.014017 | 295 | 296 | 0.155222 | 0.007070 | 333 | 335 | 0.115719 | 0.005271 |
| 179 | 180 | 0.200125 | 0.009115 | 218 | 219 | 0.100674 | 0.004585 | 257 | 258 | 0.115572 | 0.005264 | 295 | 297 | 0.109532 | 0.010980 | 333 | 336 | 0.049056 | 0.008267 |
| 179 | 181 | 0.130708 | 0.005953 | 218 | 220 | 0.371129 | 0.016904 | 257 | 259 | 0.127659 | 0.005814 | 297 | 298 | 0.216900 | 0.009879 | 336 | 337 | 0.212889 | 0.009697 |
| 171 | 182 | 0.059321 | 0.009998 | 218 | 221 | 0.108934 | 0.010920 | 257 | 260 | 0.097764 | 0.009800 | 299 | 300 | 0.139222 | 0.006341 | 336 | 338 | 0.135422 | 0.006168 |
| 182 | 183 | 0.061825 | 0.010419 | 221 | 222 | 0.147140 | 0.006702 | 260 | 261 | 0.121305 | 0.005525 | 299 | 301 | 0.121671 | 0.012197 | 336 | 339 | 0.111594 | 0.005083 |
| 183 | 184 | 0.222324 | 0.010126 | 221 | 223 | 0.163718 | 0.007457 | 257 | 262 | 0.108594 | 0.010886 | 301 | 302 | 0.156351 | 0.007121 | 336 | 340 | 0.083571 | 0.014085 |
| 183 | 185 | 0.190277 | 0.008667 | 209 | 224 | 0.055515 | 0.009356 | 262 | 263 | 0.112989 | 0.005146 | 301 | 303 | 0.181144 | 0.008251 | 340 | 341 | 0.103995 | 0.004736 |
| 183 | 186 | 0.186642 | 0.008501 | 224 | 225 | 0.154102 | 0.007019 | 262 | 264 | 0.096057 | 0.009629 | 301 | 304 | 0.103972 | 0.010423 | 340 | 342 | 0.170679 | 0.007774 |
| 183 | 187 | 0.251864 | 0.011472 | 224 | 226 | 0.217429 | 0.009903 | 264 | 265 | 0.130784 | 0.005957 | 304 | 305 | 0.186061 | 0.008475 | 340 | 343 | 0.153053 | 0.015343 |
| 183 | 188 | 0.207975 | 0.009473 | 227 | 228 | 0.167670 | 0.007637 | 244 | 266 | 0.077253 | 0.013020 | 304 | 306 | 0.142126 | 0.006473 | 343 | 344 | 0.172761 | 0.007869 |
| 183 | 189 | 0.140774 | 0.014112 | 227 | 229 | 0.155962 | 0.007104 | 266 | 267 | 0.072756 | 0.012262 | 301 | 307 | 0.150401 | 0.015077 | 340 | 345 | 0.148795 | 0.014916 |
| 189 | 190 | 0.183108 | 0.008340 | 227 | 230 | 0.106959 | 0.010722 | 267 | 268 | 0.097119 | 0.009735 | 307 | 308 | 0.159685 | 0.007273 | 345 | 346 | 0.139195 | 0.013954 |
| 189 | 191 | 0.289367 | 0.013180 | 230 | 231 | 0.190102 | 0.008659 | 268 | 269 | 0.177529 | 0.008086 | 307 | 309 | 0.122024 | 0.012232 | 346 | 347 | 0.186525 | 0.008496 |
| 192 | 193 | 0.149180 | 0.006795 | 230 | 232 | 0.162681 | 0.007410 | 267 | 270 | 0.068388 | 0.011526 | 309 | 310 | 0.139938 | 0.006374 | 346 | 348 | 0.151355 | 0.015172 |
| 192 | 194 | 0.104230 | 0.010448 | 224 | 233 | 0.124797 | 0.012510 | 271 | 272 | 0.141558 | 0.006447 | 309 | 311 | 0.218841 | 0.009968 | 348 | 349 | 0.136662 | 0.013700 |
| 194 | 195 | 0.176571 | 0.008042 | 233 | 234 | 0.158143 | 0.007203 | 271 | 273 | 0.117735 | 0.011802 | 307 | 312 | 0.146880 | 0.014724 | 349 | 350 | 0.196669 | 0.008958 |
| 194 | 196 | 0.112217 | 0.005111 | 233 | 235 | 0.171925 | 0.007831 | 273 | 274 | 0.151034 | 0.006879 | 312 | 313 | 0.128678 | 0.012899 | 349 | 351 | 0.177496 | 0.008084 |
| 194 | 197 | 0.129502 | 0.012982 | 233 | 236 | 0.103313 | 0.010356 | 273 | 275 | 0.170102 | 0.007748 | 313 | 314 | 0.102580 | 0.004672 | 349 | 352 | 0.164700 | 0.007502 |
| 197 | 198 | 0.155818 | 0.007097 | 236 | 237 | 0.182340 | 0.008305 | 273 | 276 | 0.144918 | 0.014527 | 313 | 315 | 0.133279 | 0.006070 | 348 | 353 | 0.116907 | 0.011719 |
| 192 | 199 | 0.103461 | 0.010371 | 236 | 238 | 0.144152 | 0.006566 | 276 | 277 | 0.178177 | 0.008115 | 1 | 316 | 0.078493 | 0.013229 | 353 | 354 | 0.138782 | 0.006321 |
| 199 | 200 | 0.150454 | 0.006853 | 233 | 239 | 0.120532 | 0.012083 | 273 | 278 | 0.125014 | 0.012532 | 316 | 317 | 0.068918 | 0.011615 | 1 | 355 | 0.079456 | 0.013391 |
| 199 | 201 | 0.126977 | 0.005783 | 239 | 240 | 0.232863 | 0.010606 | 278 | 279 | 0.154883 | 0.007054 | 317 | 318 | 0.068137 | 0.011483 | 355 | 356 | 0.074563 | 0.012566 |
| 199 | 202 | 0.108406 | 0.004937 | 239 | 241 | 0.119433 | 0.011972 | 278 | 280 | 0.110223 | 0.005020 | 318 | 319 | 0.050773 | 0.008557 | 356 | 357 | 0.128992 | 0.012931 |
| 199 | 203 | 0.170978 | 0.007788 | 241 | 242 | 0.201727 | 0.009188 | 278 | 281 | 0.110346 | 0.011061 | 319 | 320 | 0.061123 | 0.010301 | 357 | 358 | 0.175425 | 0.007990 |
| 199 | 204 | 0.144330 | 0.006574 | 241 | 243 | 0.233398 | 0.010631 | 281 | 282 | 0.255738 | 0.011648 | 320 | 321 | 0.061898 | 0.010432 | 357 | 359 | 0.145286 | 0.006617 |
| 199 | 205 | 0.128051 | 0.012836 | 1 | 244 | 0.078493 | 0.013229 | 281 | 283 | 0.116024 | 0.005284 | 322 | 323 | 0.082614 | 0.013923 | 356 | 360 | 0.078755 | 0.013273 |
| 205 | 206 | 0.198019 | 0.009019 | 244 | 245 | 0.125137 | 0.012544 | 281 | 284 | 0.250760 | 0.011422 | 323 | 324 | 0.089224 | 0.015037 | 360 | 361 | 0.127034 | 0.005786 |
| 205 | 207 | 0.153393 | 0.006987 | 245 | 246 | 0.156450 | 0.007126 | 270 | 285 | 0.074658 | 0.012582 | 324 | 325 | 0.157487 | 0.015787 | 362 | 363 | 0.152394 | 0.006941 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|----------|----------|-----|-----|----------|----------|-----|-----|----------|----------|-----|-----|----------|----------|-----|-----|----------|----------|
| 362 | 364 | 0.184597 | 0.008408 | 401 | 403 | 0.108198 | 0.010846 | 440 | 441 | 0.147721 | 0.006728 | 477 | 478 | 0.079385 | 0.013379 | 57 | 273 | 0.356363 | 0.035725 |
| 362 | 365 | 0.092778 | 0.004226 | 403 | 404 | 0.165034 | 0.007517 | 440 | 442 | 0.140007 | 0.006377 | 478 | 479 | 0.074466 | 0.012550 | 297 | 307 | 0.298772 | 0.029951 |
| 362 | 366 | 0.141714 | 0.014206 | 403 | 405 | 0.163096 | 0.007428 | 440 | 443 | 0.141275 | 0.014162 | 479 | 480 | 0.067730 | 0.011415 | 323 | 309 | 0.287079 | 0.028778 |
| 366 | 367 | 0.131591 | 0.005993 | 403 | 406 | 0.114774 | 0.011505 | 443 | 444 | 0.117270 | 0.005341 | 480 | 481 | 0.310024 | 0.014121 | 322 | 388 | 0.342279 | 0.034312 |
| 360 | 368 | 0.066155 | 0.011149 | 406 | 407 | 0.067589 | 0.006775 | 443 | 445 | 0.109239 | 0.010950 | 480 | 482 | 0.071420 | 0.012037 | 357 | 379 | 0.230264 | 0.023083 |
| 368 | 369 | 0.121433 | 0.005531 | 407 | 408 | 0.160733 | 0.007321 | 445 | 446 | 0.233588 | 0.010639 | 482 | 483 | 0.276846 | 0.012610 | 316 | 53 | 0.104102 | 0.010435 |
| 370 | 371 | 0.110869 | 0.005050 | 407 | 409 | 0.180431 | 0.008218 | 439 | 447 | 0.081657 | 0.013762 | 482 | 484 | 0.225609 | 0.010276 | 249 | 366 | 0.120625 | 0.012092 |
| 370 | 372 | 0.130173 | 0.013049 | 407 | 410 | 0.179635 | 0.008182 | 447 | 448 | 0.204882 | 0.009332 | 482 | 485 | 0.075808 | 0.012776 | 377 | 420 | 0.246089 | 0.024669 |
| 372 | 373 | 0.179590 | 0.008180 | 1 | 411 | 0.064422 | 0.010857 | 447 | 449 | 0.187609 | 0.008545 | 485 | 486 | 0.063908 | 0.010771 | 421 | 440 | 0.386598 | 0.038755 |
| 372 | 374 | 0.130966 | 0.013129 | 411 | 412 | 0.051537 | 0.008686 | 447 | 450 | 0.148811 | 0.014918 | 486 | 487 | 0.096811 | 0.009705 | 469 | 407 | 0.194754 | 0.019523 |
| 374 | 375 | 0.168927 | 0.007694 | 412 | 413 | 0.059192 | 0.009976 | 450 | 451 | 0.236409 | 0.010768 | 487 | 488 | 0.186416 | 0.008491 | 478 | 458 | 0.135723 | 0.013605 |
| 374 | 376 | 0.179452 | 0.008174 | 413 | 414 | 0.074564 | 0.012567 | 452 | 453 | 0.147948 | 0.014831 | 487 | 489 | 0.157773 | 0.007186 | 224 | 227 | 0.067830 | 0.006799 |
| 374 | 377 | 0.163162 | 0.016356 | 414 | 415 | 0.073939 | 0.012461 | 453 | 454 | 0.147464 | 0.014782 | 487 | 490 | 0.114943 | 0.011522 | 189 | 192 | 0.113863 | 0.011414 |
| 377 | 378 | 0.281206 | 0.012808 | 415 | 416 | 0.086239 | 0.014534 | 454 | 455 | 0.211832 | 0.009648 | 490 | 491 | 0.115317 | 0.005252 | 212 | 213 | 0.105268 | 0.010552 |
| 372 | 379 | 0.106311 | 0.010657 | 416 | 417 | 0.063929 | 0.010774 | 453 | 456 | 0.123171 | 0.012347 | 486 | 492 | 0.064954 | 0.010947 | 172 | 175 | 0.140589 | 0.014093 |
| 379 | 380 | 0.113051 | 0.011333 | 417 | 418 | 0.084975 | 0.014321 | 456 | 457 | 0.160897 | 0.007328 | 492 | 493 | 0.065371 | 0.011017 | 122 | 126 | 0.109307 | 0.010957 |
| 380 | 381 | 0.191864 | 0.008739 | 419 | 420 | 0.148951 | 0.014931 | 456 | 458 | 0.126518 | 0.012683 | 493 | 494 | 0.204699 | 0.009324 | 171 | 172 | 0.143343 | 0.014369 |
| 368 | 382 | 0.074068 | 0.012483 | 420 | 421 | 0.144903 | 0.014526 | 458 | 459 | 0.163282 | 0.007437 | 493 | 495 | 0.144703 | 0.006591 | 141 | 144 | 0.127045 | 0.012735 |
| 382 | 383 | 0.107549 | 0.004898 | 421 | 422 | 0.219864 | 0.010014 | 458 | 460 | 0.139021 | 0.006332 | 493 | 496 | 0.054518 | 0.009188 | 105 | 106 | 0.114311 | 0.011459 |
| 384 | 385 | 0.139196 | 0.006340 | 421 | 423 | 0.287438 | 0.013092 | 1 | 461 | 0.064422 | 0.010857 | 496 | 497 | 0.164810 | 0.007507 | 106 | 114 | 0.136911 | 0.013725 |
| 384 | 386 | 0.112596 | 0.011287 | 420 | 424 | 0.156019 | 0.015640 | 461 | 462 | 0.051537 | 0.008686 | 496 | 498 | 0.205351 | 0.009353 | 69 | 72 | 0.127636 | 0.012795 |
| 386 | 387 | 0.098096 | 0.004468 | 424 | 425 | 0.136400 | 0.006212 | 462 | 463 | 0.059192 | 0.009976 | 496 | 499 | 0.142287 | 0.014263 | 270 | 271 | 0.118724 | 0.011901 |
| 386 | 388 | 0.134774 | 0.013510 | 424 | 426 | 0.205935 | 0.009380 | 463 | 464 | 0.074564 | 0.012567 | 499 | 500 | 0.112444 | 0.005121 | 29 | 46 | 0.142304 | 0.014265 |
| 388 | 389 | 0.230923 | 0.010518 | 424 | 427 | 0.093696 | 0.009392 | 464 | 465 | 0.073939 | 0.012461 | 499 | 501 | 0.108646 | 0.010891 | 286 | 287 | 0.130720 | 0.013104 |
| 388 | 390 | 0.214168 | 0.009755 | 427 | 428 | 0.165938 | 0.007558 | 465 | 466 | 0.086239 | 0.014534 | 501 | 502 | 0.128624 | 0.005858 | 285 | 299 | 0.060070 | 0.010124 |
| 382 | 391 | 0.064304 | 0.010837 | 427 | 429 | 0.130659 | 0.005951 | 466 | 467 | 0.063929 | 0.010774 | 499 | 503 | 0.109570 | 0.010984 | 321 | 322 | 0.069998 | 0.011797 |
| 391 | 392 | 0.130848 | 0.005960 | 418 | 430 | 0.079821 | 0.013453 | 467 | 468 | 0.084975 | 0.014321 | 503 | 504 | 0.099249 | 0.004520 | 382 | 384 | 0.140298 | 0.014064 |
| 391 | 393 | 0.144732 | 0.014509 | 430 | 431 | 0.059543 | 0.010035 | 468 | 469 | 0.079821 | 0.013453 | 503 | 505 | 0.120115 | 0.005471 | 368 | 370 | 0.151635 | 0.015201 |
| 393 | 394 | 0.083902 | 0.003821 | 431 | 432 | 0.229389 | 0.010448 | 469 | 470 | 0.059543 | 0.010035 | 205 | 230 | 0.133806 | 0.013414 | 360 | 362 | 0.141903 | 0.014225 |
| 393 | 395 | 0.132013 | 0.006013 | 431 | 433 | 0.228366 | 0.010402 | 470 | 471 | 0.067990 | 0.011459 | 179 | 213 | 0.177855 | 0.017830 | 245 | 247 | 0.123718 | 0.012402 |
| 393 | 396 | 0.159147 | 0.015954 | 431 | 434 | 0.067990 | 0.011459 | 471 | 472 | 0.083047 | 0.013996 | 194 | 132 | 0.248035 | 0.024864 | 418 | 419 | 0.148202 | 0.014856 |
| 396 | 397 | 0.131664 | 0.005997 | 434 | 435 | 0.213721 | 0.009734 | 472 | 473 | 0.067473 | 0.011371 | 147 | 172 | 0.151515 | 0.015189 | 439 | 440 | 0.103560 | 0.010381 |
| 396 | 398 | 0.245692 | 0.011191 | 434 | 436 | 0.083047 | 0.013996 | 473 | 474 | 0.081657 | 0.013762 | 110 | 126 | 0.251951 | 0.025257 | 391 | 401 | 0.089727 | 0.008994 |
| 396 | 399 | 0.117489 | 0.011778 | 436 | 437 | 0.216455 | 0.009859 | 474 | 475 | 0.081760 | 0.013779 | 101 | 106 | 0.046779 | 0.004689 | 447 | 452 | 0.148455 | 0.014882 |
| 399 | 400 | 0.129952 | 0.005919 | 436 | 438 | 0.213601 | 0.009729 | 475 | 476 | 0.081481 | 0.013732 | 36 | 114 | 0.322029 | 0.032282 | | | | |
| 401 | 402 | 0.263712 | 0.012012 | 436 | 439 | 0.067473 | 0.011371 | 476 | 477 | 0.067835 | 0.011432 | 73 | 276 | 0.203123 | 0.020362 | | | | |

Prilog 20. Minimalno godišnje opterećenje potrošača – podaci za Matpower

| Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVar) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVar) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVar) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVar) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVar) |
|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|
| 999 | 3 | 0.00000000 | 0.00000000 | 34 | 1 | 0.00051660 | 0.00014630 | 68 | 1 | 0.00083089 | 0.00023531 | 102 | 1 | 0.00095872 | 0.00027150 | 136 | 1 | 0.00075205 | 0.00021298 |
| 1 | 1 | 0.00359612 | 0.00101841 | 35 | 1 | 0.00122482 | 0.00034686 | 69 | 1 | 0.00068838 | 0.00019495 | 103 | 1 | 0.00107204 | 0.00030360 | 137 | 1 | 0.00116829 | 0.00033085 |
| 2 | 1 | 0.00030657 | 0.00008682 | 36 | 1 | 0.00071539 | 0.00020259 | 70 | 1 | 0.00152446 | 0.00043172 | 104 | 1 | 0.00150232 | 0.00042545 | 138 | 1 | 0.00120332 | 0.00034078 |
| 3 | 1 | 0.00108549 | 0.00030741 | 37 | 1 | 0.00032762 | 0.00009278 | 71 | 1 | 0.00137625 | 0.00038975 | 105 | 1 | 0.00072074 | 0.00020411 | 139 | 1 | 0.00057253 | 0.00016214 |
| 4 | 1 | 0.00154814 | 0.00043843 | 38 | 1 | 0.00006784 | 0.00001921 | 72 | 1 | 0.00007015 | 0.00001987 | 106 | 1 | 0.00000007 | 0.00000002 | 140 | 1 | 0.00026024 | 0.00007370 |
| 5 | 1 | 0.00059346 | 0.00016807 | 39 | 1 | 0.00075307 | 0.00021327 | 73 | 1 | 0.00122130 | 0.00034587 | 107 | 1 | 0.00191905 | 0.00054347 | 141 | 1 | 0.00016828 | 0.00004766 |
| 6 | 1 | 0.00155089 | 0.00043920 | 40 | 1 | 0.00054357 | 0.00015394 | 74 | 1 | 0.00043262 | 0.00012252 | 108 | 1 | 0.00001078 | 0.00000305 | 142 | 1 | 0.00061668 | 0.00017464 |
| 7 | 1 | 0.00077723 | 0.00022011 | 41 | 1 | 0.00115669 | 0.00032757 | 75 | 1 | 0.00016215 | 0.00004592 | 109 | 1 | 0.00082445 | 0.00023348 | 143 | 1 | 0.00043592 | 0.00012345 |
| 8 | 1 | 0.00088602 | 0.00025092 | 42 | 1 | 0.00085668 | 0.00024261 | 76 | 1 | 0.00024412 | 0.00006913 | 110 | 1 | 0.00119607 | 0.00033872 | 144 | 1 | 0.00106372 | 0.00030124 |
| 9 | 1 | 0.00159357 | 0.00045129 | 43 | 1 | 0.00055186 | 0.00015629 | 77 | 1 | 0.00072994 | 0.00020671 | 111 | 1 | 0.00069565 | 0.00019701 | 145 | 1 | 0.00155463 | 0.00044026 |
| 10 | 1 | 0.00003684 | 0.00001043 | 44 | 1 | 0.00135846 | 0.00038471 | 78 | 1 | 0.00061423 | 0.00017395 | 112 | 1 | 0.00155107 | 0.00043926 | 146 | 1 | 0.00135069 | 0.00038251 |
| 11 | 1 | 0.00079848 | 0.00022613 | 45 | 1 | 0.00083522 | 0.00023653 | 79 | 1 | 0.00128458 | 0.00036379 | 113 | 1 | 0.00006652 | 0.00001884 | 147 | 1 | 0.00288437 | 0.00081684 |
| 12 | 1 | 0.00091160 | 0.00025816 | 46 | 1 | 0.00098713 | 0.00027955 | 80 | 1 | 0.00184269 | 0.00052184 | 114 | 1 | 0.00110419 | 0.00031270 | 148 | 1 | 0.00102821 | 0.00029118 |
| 13 | 1 | 0.00006312 | 0.00001788 | 47 | 1 | 0.00104367 | 0.00029556 | 81 | 1 | 0.00038641 | 0.00010943 | 115 | 1 | 0.00000144 | 0.00000041 | 149 | 1 | 0.00085246 | 0.00024141 |
| 14 | 1 | 0.00316773 | 0.00089709 | 48 | 1 | 0.00070070 | 0.00019844 | 82 | 1 | 0.00045867 | 0.00012989 | 116 | 1 | 0.00036224 | 0.00010259 | 150 | 1 | 0.00065239 | 0.00018475 |
| 15 | 1 | 0.00014945 | 0.00004232 | 49 | 1 | 0.00070287 | 0.00019905 | 83 | 1 | 0.00059599 | 0.00016878 | 117 | 1 | 0.00056302 | 0.00015944 | 151 | 1 | 0.00043350 | 0.00012277 |
| 16 | 1 | 0.00122029 | 0.00034558 | 50 | 1 | 0.00001091 | 0.00000309 | 84 | 1 | 0.00104389 | 0.00029563 | 118 | 1 | 0.00100923 | 0.00028581 | 152 | 1 | 0.00105216 | 0.00029797 |
| 17 | 1 | 0.00106055 | 0.00030034 | 51 | 1 | 0.00021475 | 0.00006082 | 85 | 1 | 0.00077433 | 0.00021929 | 119 | 1 | 0.00044171 | 0.00012509 | 153 | 1 | 0.00030956 | 0.00008767 |
| 18 | 1 | 0.00159877 | 0.00045276 | 52 | 1 | 0.00308310 | 0.00087312 | 86 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 120 | 1 | 0.00089095 | 0.00025231 | 154 | 1 | 0.00059004 | 0.00016710 |
| 19 | 1 | 0.00009216 | 0.00002610 | 53 | 1 | 0.00039538 | 0.00011197 | 87 | 1 | 0.00208306 | 0.00058991 | 121 | 1 | 0.00118281 | 0.00033497 | 155 | 1 | 0.00002171 | 0.00000615 |
| 20 | 1 | 0.00000020 | 0.00000006 | 54 | 1 | 0.00091827 | 0.00026005 | 88 | 1 | 0.00054152 | 0.00015336 | 122 | 1 | 0.00086867 | 0.00024600 | 156 | 1 | 0.00000039 | 0.00000011 |
| 21 | 1 | 0.00045603 | 0.00012915 | 55 | 1 | 0.00138467 | 0.00039213 | 89 | 1 | 0.00078412 | 0.00022206 | 123 | 1 | 0.00015557 | 0.00004406 | 157 | 1 | 0.00153576 | 0.00043492 |
| 22 | 1 | 0.00000015 | 0.00000004 | 56 | 1 | 0.00034809 | 0.00009858 | 90 | 1 | 0.00058705 | 0.00016625 | 124 | 1 | 0.00111184 | 0.00031487 | 158 | 1 | 0.00140753 | 0.00039861 |
| 23 | 1 | 0.00123261 | 0.00034907 | 57 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 91 | 1 | 0.00125977 | 0.00035676 | 125 | 1 | 0.00044962 | 0.00012733 | 159 | 1 | 0.00037388 | 0.00010588 |
| 24 | 1 | 0.00214715 | 0.00060806 | 58 | 1 | 0.00073979 | 0.00020950 | 92 | 1 | 0.00097412 | 0.00027587 | 126 | 1 | 0.00064361 | 0.00018227 | 160 | 1 | 0.00001491 | 0.00000422 |
| 25 | 1 | 0.00274708 | 0.00077796 | 59 | 1 | 0.00109434 | 0.00030991 | 93 | 1 | 0.00107591 | 0.00030469 | 127 | 1 | 0.00077488 | 0.00021944 | 161 | 1 | 0.00131844 | 0.00037338 |
| 26 | 1 | 0.00066681 | 0.00018884 | 60 | 1 | 0.00125500 | 0.00035541 | 94 | 1 | 0.00075481 | 0.00021376 | 128 | 1 | 0.00212776 | 0.00060257 | 162 | 1 | 0.00056122 | 0.00015893 |
| 27 | 1 | 0.00141112 | 0.00039962 | 61 | 1 | 0.00098613 | 0.00027927 | 95 | 1 | 0.00101804 | 0.00028830 | 129 | 1 | 0.00064723 | 0.00018329 | 163 | 1 | 0.00093415 | 0.00026455 |
| 28 | 1 | 0.00000005 | 0.00000001 | 62 | 1 | 0.00030651 | 0.00008680 | 96 | 1 | 0.00046564 | 0.00013187 | 130 | 1 | 0.00044231 | 0.00012526 | 164 | 1 | 0.00026903 | 0.00007619 |
| 29 | 1 | 0.00060977 | 0.00017268 | 63 | 1 | 0.00001288 | 0.00000365 | 97 | 1 | 0.00006238 | 0.00001767 | 131 | 1 | 0.00159041 | 0.00045040 | 165 | 1 | 0.00021047 | 0.00005961 |
| 30 | 1 | 0.00084671 | 0.00023979 | 64 | 1 | 0.00070564 | 0.00019983 | 98 | 1 | 0.00063634 | 0.00018021 | 132 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 166 | 1 | 0.00079715 | 0.00022575 |
| 31 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 65 | 1 | 0.00008556 | 0.00002423 | 99 | 1 | 0.00134825 | 0.00038182 | 133 | 1 | 0.00071069 | 0.00020126 | 167 | 1 | 0.00052201 | 0.00014783 |
| 32 | 1 | 0.00177258 | 0.00050199 | 66 | 1 | 0.00184523 | 0.00052256 | 100 | 1 | 0.00097908 | 0.00027727 | 134 | 1 | 0.00007512 | 0.00002127 | 168 | 1 | 0.00000050 | 0.00000014 |
| 33 | 1 | 0.00068395 | 0.00019369 | 67 | 1 | 0.00133867 | 0.00037910 | 101 | 1 | 0.00063821 | 0.00018074 | 135 | 1 | 0.00060910 | 0.00017249 | 169 | 1 | 0.00091891 | 0.00026023 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|
| 170 | 1 | 0.00019640 | 0.00005562 | 191 | 1 | 0.00024156 | 0.00006841 | 212 | 1 | 0.00066664 | 0.00018879 | 233 | 1 | 0.00033618 | 0.00009520 | 254 | 1 | 0.00071853 | 0.00020348 |
| 171 | 1 | 0.00092370 | 0.00026159 | 192 | 1 | 0.00083639 | 0.00023686 | 213 | 1 | 0.00028004 | 0.00007931 | 234 | 1 | 0.00127841 | 0.00036204 | 255 | 1 | 0.00101990 | 0.00028883 |
| 172 | 1 | 0.00024057 | 0.00006813 | 193 | 1 | 0.00115019 | 0.00032573 | 214 | 1 | 0.00049478 | 0.00014012 | 235 | 1 | 0.00104122 | 0.00029487 | 256 | 1 | 0.00021133 | 0.00005985 |
| 173 | 1 | 0.00122736 | 0.00034758 | 194 | 1 | 0.00057173 | 0.00016191 | 215 | 1 | 0.00033764 | 0.00009562 | 236 | 1 | 0.00084727 | 0.00023994 | 257 | 1 | 0.00076687 | 0.00021717 |
| 174 | 1 | 0.00032018 | 0.00009067 | 195 | 1 | 0.00143619 | 0.00040672 | 216 | 1 | 0.00094056 | 0.00026636 | 237 | 1 | 0.00075477 | 0.00021375 | 258 | 1 | 0.00030724 | 0.00008701 |
| 175 | 1 | 0.00118314 | 0.00033506 | 196 | 1 | 0.00110018 | 0.00031157 | 217 | 1 | 0.00037418 | 0.00010597 | 238 | 1 | 0.00113051 | 0.00032016 | 259 | 1 | 0.00019488 | 0.00005519 |
| 176 | 1 | 0.00053899 | 0.00015264 | 197 | 1 | 0.00042608 | 0.00012066 | 218 | 1 | 0.00001694 | 0.00000480 | 239 | 1 | 0.00003497 | 0.00000990 | 260 | 1 | 0.00054079 | 0.00015315 |
| 177 | 1 | 0.00061352 | 0.00017375 | 198 | 1 | 0.00000154 | 0.00000044 | 219 | 1 | 0.00149496 | 0.00042337 | 240 | 1 | 0.00058842 | 0.00016664 | 261 | 1 | 0.00061470 | 0.00017408 |
| 178 | 1 | 0.00000390 | 0.00000110 | 199 | 1 | 0.00070349 | 0.00019923 | 220 | 1 | 0.00041613 | 0.00011785 | 241 | 1 | 0.00078408 | 0.00022205 | 262 | 1 | 0.00026801 | 0.00007590 |
| 179 | 1 | 0.00048120 | 0.00013627 | 200 | 1 | 0.00136361 | 0.00038617 | 221 | 1 | 0.00063895 | 0.00018095 | 242 | 1 | 0.00126774 | 0.00035902 | 263 | 1 | 0.00055432 | 0.00015698 |
| 180 | 1 | 0.00097429 | 0.00027592 | 201 | 1 | 0.00067340 | 0.00019070 | 222 | 1 | 0.00039852 | 0.00011286 | 243 | 1 | 0.00063755 | 0.00018055 | 264 | 1 | 0.00012125 | 0.00003434 |
| 181 | 1 | 0.00069471 | 0.00019674 | 202 | 1 | 0.00018295 | 0.00005181 | 223 | 1 | 0.00058814 | 0.00016656 | 244 | 1 | 0.00031006 | 0.00008781 | 265 | 1 | 0.00002068 | 0.00000586 |
| 182 | 1 | 0.00063522 | 0.00017989 | 203 | 1 | 0.00062029 | 0.00017566 | 224 | 1 | 0.00046095 | 0.00013054 | 245 | 1 | 0.00035032 | 0.00009921 | 266 | 1 | 0.00108858 | 0.00030828 |
| 183 | 1 | 0.00111763 | 0.00031651 | 204 | 1 | 0.00090239 | 0.00025555 | 225 | 1 | 0.00128839 | 0.00036487 | 246 | 1 | 0.00175015 | 0.00049563 | 267 | 1 | 0.00068827 | 0.00019492 |
| 184 | 1 | 0.00009002 | 0.00002549 | 205 | 1 | 0.00084596 | 0.00023957 | 226 | 1 | 0.00078542 | 0.00022243 | 247 | 1 | 0.00085378 | 0.00024179 | 268 | 1 | 0.00087903 | 0.00024894 |
| 185 | 1 | 0.00064085 | 0.00018148 | 206 | 1 | 0.00152659 | 0.00043232 | 227 | 1 | 0.00001107 | 0.00000313 | 248 | 1 | 0.00032686 | 0.00009257 | 269 | 1 | 0.00133941 | 0.00037931 |
| 186 | 1 | 0.00069578 | 0.00019704 | 207 | 1 | 0.00012332 | 0.00003492 | 228 | 1 | 0.00104101 | 0.00029481 | 249 | 1 | 0.00044404 | 0.00012575 | 270 | 1 | 0.00027658 | 0.00007833 |
| 187 | 1 | 0.00017029 | 0.00004823 | 208 | 1 | 0.00079784 | 0.00022595 | 229 | 1 | 0.00088549 | 0.00025077 | 250 | 1 | 0.00091816 | 0.00026002 | | | | |
| 188 | 1 | 0.00200727 | 0.00056845 | 209 | 1 | 0.00067689 | 0.00019169 | 230 | 1 | 0.00014925 | 0.00004227 | 251 | 1 | 0.00057966 | 0.00016416 | | | | |
| 189 | 1 | 0.00100825 | 0.00028553 | 210 | 1 | 0.00045341 | 0.00012840 | 231 | 1 | 0.00167391 | 0.00047405 | 252 | 1 | 0.00001493 | 0.00000423 | | | | |
| 190 | 1 | 0.00035066 | 0.00009930 | 211 | 1 | 0.00058473 | 0.00016559 | 232 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 253 | 1 | 0.00054222 | 0.00015356 | | | | |

Prilog 21. Vršno opterećenje potrošača u periodu proljeća – podaci za Matpower

| Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVA _r) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVA _r) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVA _r) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVA _r) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVA _r) |
|-----|------|------------|------------------------|-----|------|------------|------------------------|-----|------|------------|------------------------|-----|------|------------|------------------------|-----|------|------------|------------------------|
| 999 | 3 | 0.00000000 | 0.00000000 | 12 | 1 | 0.00134824 | 0.00018276 | 24 | 1 | 0.00325893 | 0.00044176 | 36 | 1 | 0.00180411 | 0.00024455 | 48 | 1 | 0.00126693 | 0.00017174 |
| 1 | 1 | 0.00751658 | 0.00101890 | 13 | 1 | 0.00031192 | 0.00004228 | 25 | 1 | 0.00354398 | 0.00048040 | 37 | 1 | 0.00051681 | 0.00007005 | 49 | 1 | 0.00124874 | 0.00016927 |
| 2 | 1 | 0.00046333 | 0.00006281 | 14 | 1 | 0.00480082 | 0.00065077 | 26 | 1 | 0.00097107 | 0.00013163 | 38 | 1 | 0.00013947 | 0.00001891 | 50 | 1 | 0.00000539 | 0.00000073 |
| 3 | 1 | 0.00160894 | 0.00021810 | 15 | 1 | 0.00020432 | 0.00002770 | 27 | 1 | 0.00158789 | 0.00021524 | 39 | 1 | 0.00111962 | 0.00015177 | 51 | 1 | 0.00023023 | 0.00003121 |
| 4 | 1 | 0.00243275 | 0.00032977 | 16 | 1 | 0.00184728 | 0.00025040 | 28 | 1 | 0.00000020 | 0.00000003 | 40 | 1 | 0.00100591 | 0.00013635 | 52 | 1 | 0.00405197 | 0.00054926 |
| 5 | 1 | 0.00110625 | 0.00014996 | 17 | 1 | 0.00176536 | 0.00023930 | 29 | 1 | 0.00067662 | 0.00009172 | 41 | 1 | 0.00137386 | 0.00018623 | 53 | 1 | 0.00056633 | 0.00007677 |
| 6 | 1 | 0.00226576 | 0.00030713 | 18 | 1 | 0.00201009 | 0.00027247 | 30 | 1 | 0.00085573 | 0.00011600 | 42 | 1 | 0.00179076 | 0.00024274 | 54 | 1 | 0.00153837 | 0.00020853 |
| 7 | 1 | 0.00121957 | 0.00016532 | 19 | 1 | 0.00000542 | 0.00000073 | 31 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 43 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 55 | 1 | 0.00224363 | 0.00030413 |
| 8 | 1 | 0.00146930 | 0.00019917 | 20 | 1 | 0.00000094 | 0.00000013 | 32 | 1 | 0.00382739 | 0.00051881 | 44 | 1 | 0.00235426 | 0.00031913 | 56 | 1 | 0.00046325 | 0.00006280 |
| 9 | 1 | 0.00239100 | 0.00032411 | 21 | 1 | 0.00069947 | 0.00009481 | 33 | 1 | 0.00103856 | 0.00014078 | 45 | 1 | 0.00112021 | 0.00015185 | 57 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 10 | 1 | 0.00004095 | 0.00000555 | 22 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 34 | 1 | 0.00076392 | 0.00010355 | 46 | 1 | 0.00149318 | 0.00020241 | 58 | 1 | 0.00097266 | 0.00013185 |
| 11 | 1 | 0.00122407 | 0.00016593 | 23 | 1 | 0.00168427 | 0.00022831 | 35 | 1 | 0.00189198 | 0.00025646 | 47 | 1 | 0.00153090 | 0.00020752 | 59 | 1 | 0.00172229 | 0.00023346 |

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|
| 60 | 1 | 0.00211401 | 0.00028656 | 97 | 1 | 0.00016070 | 0.00002178 | 134 | 1 | 0.00021226 | 0.00002877 | 171 | 1 | 0.00154839 | 0.00020989 | 208 | 1 | 0.00145151 | 0.00019676 |
| 61 | 1 | 0.00153370 | 0.00020790 | 98 | 1 | 0.00087588 | 0.00011873 | 135 | 1 | 0.00095040 | 0.00012883 | 172 | 1 | 0.00039073 | 0.00005296 | 209 | 1 | 0.00116749 | 0.00015826 |
| 62 | 1 | 0.00037632 | 0.00005101 | 99 | 1 | 0.00208225 | 0.00028226 | 136 | 1 | 0.00126689 | 0.00017173 | 173 | 1 | 0.00179087 | 0.00024276 | 210 | 1 | 0.00061106 | 0.00008283 |
| 63 | 1 | 0.00000055 | 0.00000008 | 100 | 1 | 0.00273891 | 0.00037127 | 137 | 1 | 0.00176268 | 0.00023894 | 174 | 1 | 0.00050783 | 0.00006884 | 211 | 1 | 0.00093970 | 0.00012738 |
| 64 | 1 | 0.00077550 | 0.00010512 | 101 | 1 | 0.00129022 | 0.00017489 | 138 | 1 | 0.00190097 | 0.00025768 | 175 | 1 | 0.00201184 | 0.00027271 | 212 | 1 | 0.00096504 | 0.00013081 |
| 65 | 1 | 0.00007019 | 0.00000951 | 102 | 1 | 0.00139207 | 0.00018870 | 139 | 1 | 0.00084735 | 0.00011486 | 176 | 1 | 0.00072143 | 0.00009779 | 213 | 1 | 0.00040223 | 0.00005452 |
| 66 | 1 | 0.00203425 | 0.00027575 | 103 | 1 | 0.00169017 | 0.00022911 | 140 | 1 | 0.00038923 | 0.00005276 | 177 | 1 | 0.00088678 | 0.00012021 | 214 | 1 | 0.00082207 | 0.00011143 |
| 67 | 1 | 0.00168353 | 0.00022821 | 104 | 1 | 0.00173397 | 0.00023505 | 141 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 178 | 1 | 0.00000782 | 0.00000106 | 215 | 1 | 0.00058217 | 0.00007892 |
| 68 | 1 | 0.00125474 | 0.00017008 | 105 | 1 | 0.00118626 | 0.00016080 | 142 | 1 | 0.00089890 | 0.00012185 | 179 | 1 | 0.00069143 | 0.00009373 | 216 | 1 | 0.00157303 | 0.00021323 |
| 69 | 1 | 0.00109469 | 0.00014839 | 106 | 1 | 0.00000010 | 0.00000001 | 143 | 1 | 0.00065372 | 0.00008861 | 180 | 1 | 0.00143670 | 0.00019475 | 217 | 1 | 0.00057629 | 0.00007812 |
| 70 | 1 | 0.00219437 | 0.00029745 | 107 | 1 | 0.00280266 | 0.00037991 | 144 | 1 | 0.00178350 | 0.00024176 | 181 | 1 | 0.00106790 | 0.00014476 | 218 | 1 | 0.00003230 | 0.00000438 |
| 71 | 1 | 0.00219954 | 0.00029815 | 108 | 1 | 0.00002191 | 0.00000297 | 145 | 1 | 0.00210889 | 0.00028587 | 182 | 1 | 0.00110788 | 0.00015018 | 219 | 1 | 0.00214987 | 0.00029142 |
| 72 | 1 | 0.00005076 | 0.00000688 | 109 | 1 | 0.00127129 | 0.00017233 | 146 | 1 | 0.00209607 | 0.00028413 | 183 | 1 | 0.00164296 | 0.00022271 | 220 | 1 | 0.00076357 | 0.00010350 |
| 73 | 1 | 0.00201854 | 0.00027362 | 110 | 1 | 0.00176762 | 0.00023961 | 147 | 1 | 0.00459000 | 0.00062219 | 184 | 1 | 0.00024738 | 0.00003353 | 221 | 1 | 0.00090194 | 0.00012226 |
| 74 | 1 | 0.00093390 | 0.00012659 | 111 | 1 | 0.00105588 | 0.00014313 | 148 | 1 | 0.00170145 | 0.00023064 | 185 | 1 | 0.00110639 | 0.00014998 | 222 | 1 | 0.00065462 | 0.00008874 |
| 75 | 1 | 0.00021534 | 0.00002919 | 112 | 1 | 0.00215840 | 0.00029258 | 149 | 1 | 0.00118055 | 0.00016003 | 186 | 1 | 0.00109157 | 0.00014797 | 223 | 1 | 0.00096380 | 0.00013065 |
| 76 | 1 | 0.00022596 | 0.00003063 | 113 | 1 | 0.00024425 | 0.00003311 | 150 | 1 | 0.00098275 | 0.00013321 | 187 | 1 | 0.00026467 | 0.00003588 | 224 | 1 | 0.00074871 | 0.00010149 |
| 77 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 114 | 1 | 0.00147940 | 0.00020054 | 151 | 1 | 0.00068108 | 0.00009232 | 188 | 1 | 0.00279221 | 0.00037849 | 225 | 1 | 0.00204571 | 0.00027730 |
| 78 | 1 | 0.00088121 | 0.00011945 | 115 | 1 | 0.00000391 | 0.00000053 | 152 | 1 | 0.00165576 | 0.00022444 | 189 | 1 | 0.00146215 | 0.00019820 | 226 | 1 | 0.00108161 | 0.00014662 |
| 79 | 1 | 0.00190400 | 0.00025809 | 116 | 1 | 0.00045655 | 0.00006189 | 153 | 1 | 0.00035752 | 0.00004846 | 190 | 1 | 0.00060640 | 0.00008220 | 227 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 80 | 1 | 0.00274746 | 0.00037243 | 117 | 1 | 0.00080736 | 0.00010944 | 154 | 1 | 0.00084397 | 0.00011440 | 191 | 1 | 0.00042628 | 0.00005778 | 228 | 1 | 0.00164955 | 0.00022360 |
| 81 | 1 | 0.00061610 | 0.00008351 | 118 | 1 | 0.00153367 | 0.00020789 | 155 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 192 | 1 | 0.00131786 | 0.00017864 | 229 | 1 | 0.00151777 | 0.00020574 |
| 82 | 1 | 0.00065227 | 0.00008842 | 119 | 1 | 0.00064640 | 0.00008762 | 156 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 193 | 1 | 0.00179160 | 0.00024286 | 230 | 1 | 0.00058307 | 0.00007904 |
| 83 | 1 | 0.00086355 | 0.00011706 | 120 | 1 | 0.00127470 | 0.00017279 | 157 | 1 | 0.00235863 | 0.00031972 | 194 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 231 | 1 | 0.00302530 | 0.00041009 |
| 84 | 1 | 0.00160094 | 0.00021701 | 121 | 1 | 0.00179241 | 0.00024297 | 158 | 1 | 0.00213392 | 0.00028926 | 195 | 1 | 0.00209203 | 0.00028358 | 232 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 85 | 1 | 0.00107047 | 0.00014511 | 122 | 1 | 0.00129413 | 0.00017542 | 159 | 1 | 0.00053943 | 0.00007312 | 196 | 1 | 0.00165632 | 0.00022452 | 233 | 1 | 0.00048610 | 0.00006589 |
| 86 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 123 | 1 | 0.00004035 | 0.00000547 | 160 | 1 | 0.00001081 | 0.00000147 | 197 | 1 | 0.00060427 | 0.00008191 | 234 | 1 | 0.00220436 | 0.00029881 |
| 87 | 1 | 0.00288845 | 0.00039154 | 124 | 1 | 0.00167106 | 0.00022652 | 161 | 1 | 0.00185190 | 0.00025103 | 198 | 1 | 0.00000622 | 0.00000084 | 235 | 1 | 0.00158093 | 0.00021430 |
| 88 | 1 | 0.00082060 | 0.00011124 | 125 | 1 | 0.00068085 | 0.00009229 | 162 | 1 | 0.00085189 | 0.00011548 | 199 | 1 | 0.00110455 | 0.00014973 | 236 | 1 | 0.00115861 | 0.00015705 |
| 89 | 1 | 0.00108790 | 0.00014747 | 126 | 1 | 0.00096986 | 0.00013147 | 163 | 1 | 0.00152552 | 0.00020679 | 200 | 1 | 0.00213606 | 0.00028955 | 237 | 1 | 0.00120221 | 0.00016296 |
| 90 | 1 | 0.00084154 | 0.00011407 | 127 | 1 | 0.00115928 | 0.00015714 | 164 | 1 | 0.00046566 | 0.00006312 | 201 | 1 | 0.00105505 | 0.00014301 | 238 | 1 | 0.00163160 | 0.00022117 |
| 91 | 1 | 0.00134757 | 0.00018267 | 128 | 1 | 0.00270455 | 0.00036661 | 165 | 1 | 0.00029076 | 0.00003941 | 202 | 1 | 0.00047105 | 0.00006385 | 239 | 1 | 0.00001685 | 0.00000228 |
| 92 | 1 | 0.00135653 | 0.00018388 | 129 | 1 | 0.00112981 | 0.00015315 | 166 | 1 | 0.00108656 | 0.00014729 | 203 | 1 | 0.00074722 | 0.00010129 | 240 | 1 | 0.00080886 | 0.00010964 |
| 93 | 1 | 0.00159772 | 0.00021658 | 130 | 1 | 0.00076220 | 0.00010332 | 167 | 1 | 0.00078757 | 0.00010676 | 204 | 1 | 0.00138639 | 0.00018793 | 241 | 1 | 0.00112747 | 0.00015283 |
| 94 | 1 | 0.00112135 | 0.00015200 | 131 | 1 | 0.00206292 | 0.00027964 | 168 | 1 | 0.00000010 | 0.00000001 | 205 | 1 | 0.00141160 | 0.00019135 | 242 | 1 | 0.00199333 | 0.00027020 |
| 95 | 1 | 0.00160348 | 0.00021736 | 132 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 169 | 1 | 0.00123523 | 0.00016744 | 206 | 1 | 0.00211592 | 0.00028682 | 243 | 1 | 0.00098819 | 0.00013395 |
| 96 | 1 | 0.00071760 | 0.00009727 | 133 | 1 | 0.00083580 | 0.00011330 | 170 | 1 | 0.00032610 | 0.00004420 | 207 | 1 | 0.00018034 | 0.00002445 | 244 | 1 | 0.00041932 | 0.00005684 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|
| 245 | 1 | 0.00061767 | 0.00008373 | 251 | 1 | 0.00095085 | 0.00012889 | 257 | 1 | 0.00096043 | 0.00013019 | 263 | 1 | 0.00091265 | 0.00012371 | 269 | 1 | 0.00221083 | 0.00029969 |
| 246 | 1 | 0.00256963 | 0.00034832 | 252 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 258 | 1 | 0.00050586 | 0.00006857 | 264 | 1 | 0.00014704 | 0.00001993 | 270 | 1 | 0.00076616 | 0.00010385 |
| 247 | 1 | 0.00128110 | 0.00017366 | 253 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 259 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 265 | 1 | 0.00008908 | 0.00001207 | | | | |
| 248 | 1 | 0.00057963 | 0.00007857 | 254 | 1 | 0.00108574 | 0.00014718 | 260 | 1 | 0.00085285 | 0.00011561 | 266 | 1 | 0.00172512 | 0.00023384 | | | | |
| 249 | 1 | 0.00066736 | 0.00009046 | 255 | 1 | 0.00156245 | 0.00021179 | 261 | 1 | 0.00057488 | 0.00007793 | 267 | 1 | 0.00028986 | 0.00003929 | | | | |
| 250 | 1 | 0.00138037 | 0.00018711 | 256 | 1 | 0.00032303 | 0.00004379 | 262 | 1 | 0.00047979 | 0.00006504 | 268 | 1 | 0.00109025 | 0.00014779 | | | | |

Prilog 22. Vršno opterećenje potrošača u periodu ljeta – podaci za Matpower

| Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVar) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVar) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVar) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVar) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVar) |
|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|
| 999 | 3 | 0.00000000 | 0.00000000 | 27 | 1 | 0.00330517 | 0.00076156 | 54 | 1 | 0.00167274 | 0.00038542 | 81 | 1 | 0.00063458 | 0.00014622 | 108 | 1 | 0.00000799 | 0.00000184 |
| 1 | 1 | 0.00533071 | 0.00122827 | 28 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 55 | 1 | 0.00273075 | 0.00062920 | 82 | 1 | 0.00079858 | 0.00018400 | 109 | 1 | 0.00154829 | 0.00035675 |
| 2 | 1 | 0.00025908 | 0.00005969 | 29 | 1 | 0.00130727 | 0.00030121 | 56 | 1 | 0.00076078 | 0.00017529 | 83 | 1 | 0.00103399 | 0.00023824 | 110 | 1 | 0.00198755 | 0.00045796 |
| 3 | 1 | 0.00211723 | 0.00048784 | 30 | 1 | 0.00164642 | 0.00037936 | 57 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 84 | 1 | 0.00170300 | 0.00039239 | 111 | 1 | 0.00139387 | 0.00032117 |
| 4 | 1 | 0.00261309 | 0.00060209 | 31 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 58 | 1 | 0.00128660 | 0.00029645 | 85 | 1 | 0.00033528 | 0.00007725 | 112 | 1 | 0.00276623 | 0.00063738 |
| 5 | 1 | 0.00122911 | 0.00028320 | 32 | 1 | 0.00175319 | 0.00040396 | 59 | 1 | 0.00185948 | 0.00042845 | 86 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 113 | 1 | 0.00000161 | 0.00000037 |
| 6 | 1 | 0.00255013 | 0.00058758 | 33 | 1 | 0.00114832 | 0.00026459 | 60 | 1 | 0.00185749 | 0.00042799 | 87 | 1 | 0.00386598 | 0.00089077 | 114 | 1 | 0.00174617 | 0.00040234 |
| 7 | 1 | 0.00143105 | 0.00032973 | 34 | 1 | 0.00100525 | 0.00023162 | 61 | 1 | 0.00191086 | 0.00044029 | 88 | 1 | 0.00095242 | 0.00021945 | 115 | 1 | 0.00000323 | 0.00000074 |
| 8 | 1 | 0.00133642 | 0.00030793 | 35 | 1 | 0.00208710 | 0.00048089 | 62 | 1 | 0.00051189 | 0.00011795 | 89 | 1 | 0.00150449 | 0.00034665 | 116 | 1 | 0.00064488 | 0.00014859 |
| 9 | 1 | 0.00256014 | 0.00058989 | 36 | 1 | 0.00126494 | 0.00029146 | 63 | 1 | 0.00003377 | 0.00000778 | 90 | 1 | 0.00090518 | 0.00020857 | 117 | 1 | 0.00098606 | 0.00022720 |
| 10 | 1 | 0.00005286 | 0.00001218 | 37 | 1 | 0.00040693 | 0.00009376 | 64 | 1 | 0.00140305 | 0.00032328 | 91 | 1 | 0.00252091 | 0.00058085 | 118 | 1 | 0.00174738 | 0.00040262 |
| 11 | 1 | 0.00235446 | 0.00054250 | 38 | 1 | 0.00013958 | 0.00003216 | 65 | 1 | 0.00017475 | 0.00004026 | 92 | 1 | 0.00175694 | 0.00040482 | 119 | 1 | 0.00068459 | 0.00015774 |
| 12 | 1 | 0.00137317 | 0.00031640 | 39 | 1 | 0.00131750 | 0.00030357 | 66 | 1 | 0.00364252 | 0.00083928 | 93 | 1 | 0.00203566 | 0.00046904 | 120 | 1 | 0.00157042 | 0.00036184 |
| 13 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 40 | 1 | 0.00095854 | 0.00022086 | 67 | 1 | 0.00232025 | 0.00053462 | 94 | 1 | 0.00120066 | 0.00027665 | 121 | 1 | 0.00212106 | 0.00048872 |
| 14 | 1 | 0.00556868 | 0.00128310 | 41 | 1 | 0.00207839 | 0.00047889 | 68 | 1 | 0.00158141 | 0.00036438 | 95 | 1 | 0.00166197 | 0.00038294 | 122 | 1 | 0.00153113 | 0.00035279 |
| 15 | 1 | 0.00030205 | 0.00006960 | 42 | 1 | 0.00151793 | 0.00034975 | 69 | 1 | 0.00112819 | 0.00025995 | 96 | 1 | 0.00077722 | 0.00017908 | 123 | 1 | 0.00033641 | 0.00007751 |
| 16 | 1 | 0.00227619 | 0.00052446 | 43 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 70 | 1 | 0.00290023 | 0.00066825 | 97 | 1 | 0.00000956 | 0.00000220 | 124 | 1 | 0.00207878 | 0.00047898 |
| 17 | 1 | 0.00169102 | 0.00038963 | 44 | 1 | 0.00233718 | 0.00053852 | 71 | 1 | 0.00252960 | 0.00058285 | 98 | 1 | 0.00107231 | 0.00024707 | 125 | 1 | 0.00081084 | 0.00018683 |
| 18 | 1 | 0.00193102 | 0.00044493 | 45 | 1 | 0.00145650 | 0.00033560 | 72 | 1 | 0.00012559 | 0.00002894 | 99 | 1 | 0.00243759 | 0.00056165 | 126 | 1 | 0.00116741 | 0.00026899 |
| 19 | 1 | 0.00023215 | 0.00005349 | 46 | 1 | 0.00184594 | 0.00042533 | 73 | 1 | 0.00190030 | 0.00043785 | 100 | 1 | 0.00094555 | 0.00021787 | 127 | 1 | 0.00162858 | 0.00037525 |
| 20 | 1 | 0.00000004 | 0.00000001 | 47 | 1 | 0.00189099 | 0.00043571 | 74 | 1 | 0.00041826 | 0.00009637 | 101 | 1 | 0.00130084 | 0.00029973 | 128 | 1 | 0.00397098 | 0.00091496 |
| 21 | 1 | 0.00074511 | 0.00017168 | 48 | 1 | 0.00086752 | 0.00019989 | 75 | 1 | 0.00015266 | 0.00003518 | 102 | 1 | 0.00187802 | 0.00043272 | 129 | 1 | 0.00119538 | 0.00027543 |
| 22 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 49 | 1 | 0.00110638 | 0.00025493 | 76 | 1 | 0.00038764 | 0.00008932 | 103 | 1 | 0.00170613 | 0.00039311 | 130 | 1 | 0.00072374 | 0.00016676 |
| 23 | 1 | 0.00226086 | 0.00052093 | 50 | 1 | 0.00000851 | 0.00000196 | 77 | 1 | 0.00267854 | 0.00061717 | 104 | 1 | 0.00334936 | 0.00077174 | 131 | 1 | 0.00244686 | 0.00056379 |
| 24 | 1 | 0.00367950 | 0.00084780 | 51 | 1 | 0.00046001 | 0.00010599 | 78 | 1 | 0.00127418 | 0.00029359 | 105 | 1 | 0.00125892 | 0.00029007 | 132 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 25 | 1 | 0.00516990 | 0.00119121 | 52 | 1 | 0.00557604 | 0.00128479 | 79 | 1 | 0.00227036 | 0.00052312 | 106 | 1 | 0.00000001 | 0.00000000 | 133 | 1 | 0.00108850 | 0.00025080 |
| 26 | 1 | 0.00104191 | 0.00024007 | 53 | 1 | 0.00065912 | 0.00015187 | 80 | 1 | 0.00324983 | 0.00074880 | 107 | 1 | 0.00311407 | 0.00071752 | 134 | 1 | 0.00006874 | 0.00001584 |

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|
| 135 | 1 | 0.00096400 | 0.00022212 | 163 | 1 | 0.00168405 | 0.00038803 | 191 | 1 | 0.00089995 | 0.00020736 | 219 | 1 | 0.00258041 | 0.00059456 | 247 | 1 | 0.00153337 | 0.00035331 |
| 136 | 1 | 0.00110052 | 0.00025357 | 164 | 1 | 0.00034546 | 0.00007960 | 192 | 1 | 0.00124352 | 0.00028652 | 220 | 1 | 0.00065770 | 0.00015154 | 248 | 1 | 0.00057350 | 0.00013214 |
| 137 | 1 | 0.00212076 | 0.00048865 | 165 | 1 | 0.00035436 | 0.00008165 | 193 | 1 | 0.00195350 | 0.00045011 | 221 | 1 | 0.00123369 | 0.00028426 | 249 | 1 | 0.00081101 | 0.00018687 |
| 138 | 1 | 0.00211100 | 0.00048640 | 166 | 1 | 0.00148321 | 0.00034175 | 194 | 1 | 0.00173377 | 0.00039948 | 222 | 1 | 0.00074512 | 0.00017169 | 250 | 1 | 0.00142640 | 0.00032866 |
| 139 | 1 | 0.00110883 | 0.00025549 | 167 | 1 | 0.00074388 | 0.00017140 | 195 | 1 | 0.00269050 | 0.00061993 | 223 | 1 | 0.00094322 | 0.00021733 | 251 | 1 | 0.00088684 | 0.00020434 |
| 140 | 1 | 0.00044243 | 0.00010194 | 168 | 1 | 0.00000011 | 0.00000003 | 196 | 1 | 0.00198004 | 0.00045623 | 224 | 1 | 0.00086004 | 0.00019816 | 252 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 141 | 1 | 0.00044407 | 0.00010232 | 169 | 1 | 0.00162636 | 0.00037473 | 197 | 1 | 0.00073268 | 0.00016882 | 225 | 1 | 0.00223848 | 0.00051577 | 253 | 1 | 0.00128973 | 0.00029717 |
| 142 | 1 | 0.00106671 | 0.00024578 | 170 | 1 | 0.00031343 | 0.00007222 | 198 | 1 | 0.00000040 | 0.00000009 | 226 | 1 | 0.00119227 | 0.00027471 | 254 | 1 | 0.00132171 | 0.00030454 |
| 143 | 1 | 0.00085655 | 0.00019736 | 171 | 1 | 0.00173007 | 0.00039863 | 199 | 1 | 0.00119559 | 0.00027548 | 227 | 1 | 0.00000058 | 0.00000013 | 255 | 1 | 0.00174784 | 0.00040273 |
| 144 | 1 | 0.00174886 | 0.00040296 | 172 | 1 | 0.00043279 | 0.00009972 | 200 | 1 | 0.00205590 | 0.00047371 | 228 | 1 | 0.00175755 | 0.00040496 | 256 | 1 | 0.00043738 | 0.00010078 |
| 145 | 1 | 0.00272213 | 0.00062721 | 173 | 1 | 0.00236037 | 0.00054386 | 201 | 1 | 0.00132671 | 0.00030569 | 229 | 1 | 0.00151592 | 0.00034929 | 257 | 1 | 0.00160106 | 0.00036890 |
| 146 | 1 | 0.00245735 | 0.00056621 | 174 | 1 | 0.00053839 | 0.00012405 | 202 | 1 | 0.00034825 | 0.00008024 | 230 | 1 | 0.00000612 | 0.00000141 | 258 | 1 | 0.00054677 | 0.00012598 |
| 147 | 1 | 0.00521879 | 0.00120248 | 175 | 1 | 0.00183578 | 0.00042299 | 203 | 1 | 0.00105656 | 0.00024344 | 231 | 1 | 0.00290343 | 0.00066899 | 259 | 1 | 0.00059486 | 0.00013706 |
| 148 | 1 | 0.00186478 | 0.00042967 | 176 | 1 | 0.00105171 | 0.00024233 | 204 | 1 | 0.00185964 | 0.00042849 | 232 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 260 | 1 | 0.00095799 | 0.00022073 |
| 149 | 1 | 0.00166925 | 0.00038462 | 177 | 1 | 0.00107179 | 0.00024695 | 205 | 1 | 0.00143207 | 0.00032997 | 233 | 1 | 0.00063692 | 0.00014675 | 261 | 1 | 0.00110666 | 0.00025499 |
| 150 | 1 | 0.00102325 | 0.00023577 | 178 | 1 | 0.00000287 | 0.00000066 | 206 | 1 | 0.00284959 | 0.00065658 | 234 | 1 | 0.00208215 | 0.00047976 | 262 | 1 | 0.00032717 | 0.00007538 |
| 151 | 1 | 0.00074185 | 0.00017093 | 179 | 1 | 0.00092535 | 0.00021321 | 207 | 1 | 0.00025253 | 0.00005819 | 235 | 1 | 0.00174666 | 0.00040245 | 263 | 1 | 0.00108976 | 0.00025109 |
| 152 | 1 | 0.00207636 | 0.00047842 | 180 | 1 | 0.00181980 | 0.00041931 | 208 | 1 | 0.00126302 | 0.00029102 | 236 | 1 | 0.00195611 | 0.00045071 | 264 | 1 | 0.00001275 | 0.00000294 |
| 153 | 1 | 0.00050349 | 0.00011601 | 181 | 1 | 0.00121984 | 0.00028107 | 209 | 1 | 0.00108495 | 0.00024999 | 237 | 1 | 0.00106351 | 0.00024505 | 265 | 1 | 0.00000165 | 0.00000038 |
| 154 | 1 | 0.00109471 | 0.00025223 | 182 | 1 | 0.00083931 | 0.00019339 | 210 | 1 | 0.00076269 | 0.00017573 | 238 | 1 | 0.00228405 | 0.00052628 | 266 | 1 | 0.00199888 | 0.00046057 |
| 155 | 1 | 0.00005883 | 0.00001356 | 183 | 1 | 0.00165781 | 0.00038198 | 211 | 1 | 0.00101612 | 0.00023413 | 239 | 1 | 0.00002966 | 0.00000683 | 267 | 1 | 0.00260760 | 0.00060082 |
| 156 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 184 | 1 | 0.00004144 | 0.00000955 | 212 | 1 | 0.00110947 | 0.00025564 | 240 | 1 | 0.00110330 | 0.00025422 | 268 | 1 | 0.00111534 | 0.00025699 |
| 157 | 1 | 0.00274067 | 0.00063149 | 185 | 1 | 0.00099311 | 0.00022883 | 213 | 1 | 0.00047525 | 0.00010950 | 241 | 1 | 0.00129903 | 0.00029931 | 269 | 1 | 0.00313925 | 0.00072332 |
| 158 | 1 | 0.00229430 | 0.00052864 | 186 | 1 | 0.00114313 | 0.00026339 | 214 | 1 | 0.00079078 | 0.00018221 | 242 | 1 | 0.00209885 | 0.00048360 | 270 | 1 | 0.00058877 | 0.00013566 |
| 159 | 1 | 0.00063616 | 0.00014658 | 187 | 1 | 0.00033256 | 0.00007663 | 215 | 1 | 0.00052273 | 0.00012044 | 243 | 1 | 0.00108328 | 0.00024960 | | | | |
| 160 | 1 | 0.00000656 | 0.00000151 | 188 | 1 | 0.00382890 | 0.00088223 | 216 | 1 | 0.00166652 | 0.00038399 | 244 | 1 | 0.00054440 | 0.00012544 | | | | |
| 161 | 1 | 0.00280868 | 0.00064716 | 189 | 1 | 0.00154604 | 0.00035623 | 217 | 1 | 0.00068420 | 0.00015765 | 245 | 1 | 0.00045741 | 0.00010539 | | | | |
| 162 | 1 | 0.00108051 | 0.00024896 | 190 | 1 | 0.00063806 | 0.00014702 | 218 | 1 | 0.00002721 | 0.00000627 | 246 | 1 | 0.00319980 | 0.00073728 | | | | |

Prilog 23. Vršno opterećenje potrošača u periodu jeseni – podaci za Matpower

| Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVAr) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVAr) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVAr) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVAr) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVAr) |
|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|
| 999 | 3 | 0.00000000 | 0.00000000 | 5 | 1 | 0.00093078 | 0.00016743 | 10 | 1 | 0.00004250 | 0.00000765 | 15 | 1 | 0.00022369 | 0.00004024 | 20 | 1 | 0.00000009 | 0.00000002 |
| 1 | 1 | 0.00412459 | 0.00074196 | 6 | 1 | 0.00250078 | 0.00044986 | 11 | 1 | 0.00084820 | 0.00015258 | 16 | 1 | 0.00193288 | 0.00034770 | 21 | 1 | 0.00053287 | 0.00009586 |
| 2 | 1 | 0.00053851 | 0.00009687 | 7 | 1 | 0.00111175 | 0.00019999 | 12 | 1 | 0.00143514 | 0.00025816 | 17 | 1 | 0.00157731 | 0.00028374 | 22 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 3 | 1 | 0.00164610 | 0.00029611 | 8 | 1 | 0.00135757 | 0.00024421 | 13 | 1 | 0.00005607 | 0.00001009 | 18 | 1 | 0.00270804 | 0.00048714 | 23 | 1 | 0.00171566 | 0.00030862 |
| 4 | 1 | 0.00219006 | 0.00039396 | 9 | 1 | 0.00251236 | 0.00045194 | 14 | 1 | 0.00492799 | 0.00088648 | 19 | 1 | 0.00007480 | 0.00001345 | 24 | 1 | 0.00296476 | 0.00053332 |

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---|------------|------------|----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|
| 25 | 1 | 0.00416156 | 0.00074861 | 62 | 1 | 0.00048773 | 0.00008774 | 99 | 1 | 0.00203590 | 0.00036623 | 136 | 1 | 0.00120241 | 0.00021630 | 173 | 1 | 0.00175214 | 0.00031519 |
| 26 | 1 | 0.00105964 | 0.00019061 | 63 | 1 | 0.00003106 | 0.00000559 | 100 | 1 | 0.00118491 | 0.00021315 | 137 | 1 | 0.00166101 | 0.00029879 | 174 | 1 | 0.00050458 | 0.00009077 |
| 27 | 1 | 0.00215036 | 0.00038682 | 64 | 1 | 0.00106327 | 0.00019127 | 101 | 1 | 0.00108550 | 0.00019527 | 138 | 1 | 0.00170095 | 0.00030598 | 175 | 1 | 0.00198760 | 0.00035754 |
| 28 | 1 | 0.00000010 | 0.00000002 | 65 | 1 | 0.00016182 | 0.00002911 | 102 | 1 | 0.00140802 | 0.00025328 | 139 | 1 | 0.00080839 | 0.00014542 | 176 | 1 | 0.00091006 | 0.00016371 |
| 29 | 1 | 0.00083722 | 0.00015060 | 66 | 1 | 0.00316468 | 0.00056928 | 103 | 1 | 0.00150676 | 0.00027105 | 140 | 1 | 0.00041418 | 0.00007451 | 177 | 1 | 0.00096384 | 0.00017338 |
| 30 | 1 | 0.00138268 | 0.00024873 | 67 | 1 | 0.00202960 | 0.00036510 | 104 | 1 | 0.00265059 | 0.00047681 | 141 | 1 | 0.00037848 | 0.00006808 | 178 | 1 | 0.00000967 | 0.00000174 |
| 31 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 68 | 1 | 0.00077558 | 0.00013952 | 105 | 1 | 0.00090068 | 0.00016202 | 142 | 1 | 0.00098401 | 0.00017701 | 179 | 1 | 0.00077766 | 0.00013989 |
| 32 | 1 | 0.00106205 | 0.00019105 | 69 | 1 | 0.00107523 | 0.00019342 | 106 | 1 | 0.00000028 | 0.00000005 | 143 | 1 | 0.00058054 | 0.00010443 | 180 | 1 | 0.00139809 | 0.00025150 |
| 33 | 1 | 0.00098778 | 0.00017769 | 70 | 1 | 0.00212693 | 0.00038261 | 107 | 1 | 0.00306705 | 0.00055172 | 144 | 1 | 0.00146554 | 0.00026363 | 181 | 1 | 0.00093812 | 0.00016876 |
| 34 | 1 | 0.00062873 | 0.00011310 | 71 | 1 | 0.00199956 | 0.00035969 | 108 | 1 | 0.00002360 | 0.00000425 | 145 | 1 | 0.00260605 | 0.00046879 | 182 | 1 | 0.00070819 | 0.00012739 |
| 35 | 1 | 0.00172939 | 0.00031109 | 72 | 1 | 0.00021241 | 0.00003821 | 109 | 1 | 0.00112621 | 0.00020259 | 146 | 1 | 0.00171428 | 0.00030838 | 183 | 1 | 0.00162366 | 0.00029207 |
| 36 | 1 | 0.00064578 | 0.00011617 | 73 | 1 | 0.00170368 | 0.00030647 | 110 | 1 | 0.00179298 | 0.00032253 | 147 | 1 | 0.00386212 | 0.00069475 | 184 | 1 | 0.00015219 | 0.00002738 |
| 37 | 1 | 0.00053678 | 0.00009656 | 74 | 1 | 0.00069040 | 0.00012419 | 111 | 1 | 0.00094231 | 0.00016951 | 148 | 1 | 0.00148375 | 0.00026691 | 185 | 1 | 0.00095885 | 0.00017249 |
| 38 | 1 | 0.00004898 | 0.00000881 | 75 | 1 | 0.00032056 | 0.00005766 | 112 | 1 | 0.00226933 | 0.00040822 | 149 | 1 | 0.00120334 | 0.00021647 | 186 | 1 | 0.00104982 | 0.00018885 |
| 39 | 1 | 0.00112494 | 0.00020236 | 76 | 1 | 0.00037086 | 0.00006671 | 113 | 1 | 0.00001232 | 0.00000222 | 150 | 1 | 0.00114525 | 0.00020602 | 187 | 1 | 0.00024768 | 0.00004455 |
| 40 | 1 | 0.00087713 | 0.00015778 | 77 | 1 | 0.00150172 | 0.00027014 | 114 | 1 | 0.00184764 | 0.00033237 | 151 | 1 | 0.00057958 | 0.00010426 | 188 | 1 | 0.00313455 | 0.00056386 |
| 41 | 1 | 0.00192315 | 0.00034595 | 78 | 1 | 0.00083047 | 0.00014939 | 115 | 1 | 0.00000100 | 0.00000018 | 152 | 1 | 0.00138398 | 0.00024896 | 189 | 1 | 0.00148350 | 0.00026686 |
| 42 | 1 | 0.00119059 | 0.00021417 | 79 | 1 | 0.00184509 | 0.00033191 | 116 | 1 | 0.00050277 | 0.00009044 | 153 | 1 | 0.00056554 | 0.00010173 | 190 | 1 | 0.00047330 | 0.00008514 |
| 43 | 1 | 0.00249345 | 0.00044854 | 80 | 1 | 0.00278656 | 0.00050127 | 117 | 1 | 0.00083751 | 0.00015066 | 154 | 1 | 0.00079253 | 0.00014257 | 191 | 1 | 0.00007088 | 0.00001275 |
| 44 | 1 | 0.00188990 | 0.00033997 | 81 | 1 | 0.00053259 | 0.00009581 | 118 | 1 | 0.00149900 | 0.00026965 | 155 | 1 | 0.00003599 | 0.00000647 | 192 | 1 | 0.00134917 | 0.00024270 |
| 45 | 1 | 0.00118804 | 0.00021371 | 82 | 1 | 0.00066454 | 0.00011954 | 119 | 1 | 0.00068513 | 0.00012325 | 156 | 1 | 0.00000001 | 0.00000000 | 193 | 1 | 0.00159846 | 0.00028754 |
| 46 | 1 | 0.00122191 | 0.00021981 | 83 | 1 | 0.00094807 | 0.00017054 | 120 | 1 | 0.00138966 | 0.00024998 | 157 | 1 | 0.00221540 | 0.00039852 | 194 | 1 | 0.00128877 | 0.00023183 |
| 47 | 1 | 0.00151228 | 0.00027204 | 84 | 1 | 0.00165905 | 0.00029844 | 121 | 1 | 0.00188835 | 0.00033969 | 158 | 1 | 0.00201162 | 0.00036186 | 195 | 1 | 0.00201610 | 0.00036267 |
| 48 | 1 | 0.00100670 | 0.00018109 | 85 | 1 | 0.00217154 | 0.00039063 | 122 | 1 | 0.00127785 | 0.00022987 | 159 | 1 | 0.00056361 | 0.00010139 | 196 | 1 | 0.00145594 | 0.00026190 |
| 49 | 1 | 0.00108428 | 0.00019505 | 86 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 123 | 1 | 0.00000201 | 0.00000036 | 160 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 197 | 1 | 0.00066382 | 0.00011941 |
| 50 | 1 | 0.00002929 | 0.00000527 | 87 | 1 | 0.00311009 | 0.00055946 | 124 | 1 | 0.00159254 | 0.00028648 | 161 | 1 | 0.00199048 | 0.00035806 | 198 | 1 | 0.00000029 | 0.00000005 |
| 51 | 1 | 0.00031863 | 0.00005732 | 88 | 1 | 0.00068586 | 0.00012338 | 125 | 1 | 0.00061324 | 0.00011031 | 162 | 1 | 0.00084294 | 0.00015163 | 199 | 1 | 0.00101976 | 0.00018344 |
| 52 | 1 | 0.00492773 | 0.00088643 | 89 | 1 | 0.00124964 | 0.00022479 | 126 | 1 | 0.00098727 | 0.00017760 | 163 | 1 | 0.00127799 | 0.00022989 | 200 | 1 | 0.00198725 | 0.00035748 |
| 53 | 1 | 0.00059803 | 0.00010758 | 90 | 1 | 0.00090785 | 0.00016331 | 127 | 1 | 0.00094117 | 0.00016930 | 164 | 1 | 0.00040254 | 0.00007241 | 201 | 1 | 0.00097430 | 0.00017526 |
| 54 | 1 | 0.00109731 | 0.00019739 | 91 | 1 | 0.00230822 | 0.00041522 | 128 | 1 | 0.00342264 | 0.00061569 | 165 | 1 | 0.00035403 | 0.00006369 | 202 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 55 | 1 | 0.00196341 | 0.00035319 | 92 | 1 | 0.00146334 | 0.00026324 | 129 | 1 | 0.00095633 | 0.00017203 | 166 | 1 | 0.00130887 | 0.00023545 | 203 | 1 | 0.00093164 | 0.00016759 |
| 56 | 1 | 0.00053908 | 0.00009697 | 93 | 1 | 0.00157278 | 0.00028292 | 130 | 1 | 0.00081935 | 0.00014739 | 167 | 1 | 0.00082929 | 0.00014918 | 204 | 1 | 0.00174544 | 0.00031398 |
| 57 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 94 | 1 | 0.00123766 | 0.00022264 | 131 | 1 | 0.00227837 | 0.00040985 | 168 | 1 | 0.00000003 | 0.00000001 | 205 | 1 | 0.00110347 | 0.00019850 |
| 58 | 1 | 0.00090646 | 0.00016306 | 95 | 1 | 0.00156988 | 0.00028240 | 132 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 169 | 1 | 0.00138609 | 0.00024934 | 206 | 1 | 0.00230500 | 0.00041464 |
| 59 | 1 | 0.00168653 | 0.00030338 | 96 | 1 | 0.00068645 | 0.00012348 | 133 | 1 | 0.00126600 | 0.00022774 | 170 | 1 | 0.00029736 | 0.00005349 | 207 | 1 | 0.00020645 | 0.00003714 |
| 60 | 1 | 0.00194345 | 0.00034960 | 97 | 1 | 0.00014868 | 0.00002675 | 134 | 1 | 0.00011002 | 0.00001979 | 171 | 1 | 0.00102445 | 0.00018428 | 208 | 1 | 0.00106953 | 0.00019239 |
| 61 | 1 | 0.00160277 | 0.00028832 | 98 | 1 | 0.00102736 | 0.00018481 | 135 | 1 | 0.00103735 | 0.00018661 | 172 | 1 | 0.00033152 | 0.00005964 | 209 | 1 | 0.00103644 | 0.00018644 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|
| 210 | 1 | 0.00072799 | 0.00013096 | 223 | 1 | 0.00091392 | 0.00016440 | 236 | 1 | 0.00123079 | 0.00022140 | 249 | 1 | 0.00069496 | 0.00012501 | 262 | 1 | 0.00042416 | 0.00007630 |
| 211 | 1 | 0.00084544 | 0.00015208 | 224 | 1 | 0.00063684 | 0.00011456 | 237 | 1 | 0.00113931 | 0.00020495 | 250 | 1 | 0.00164745 | 0.00029635 | 263 | 1 | 0.00066655 | 0.00011990 |
| 212 | 1 | 0.00091651 | 0.00016487 | 225 | 1 | 0.00180109 | 0.00032399 | 238 | 1 | 0.00153414 | 0.00027597 | 251 | 1 | 0.00085761 | 0.00015427 | 264 | 1 | 0.00022735 | 0.00004090 |
| 213 | 1 | 0.00043859 | 0.00007890 | 226 | 1 | 0.00132748 | 0.00023880 | 239 | 1 | 0.00011654 | 0.00002096 | 252 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 265 | 1 | 0.00003712 | 0.00000668 |
| 214 | 1 | 0.00080408 | 0.00014464 | 227 | 1 | 0.00001836 | 0.00000330 | 240 | 1 | 0.00090137 | 0.00016214 | 253 | 1 | 0.00165822 | 0.00029829 | 266 | 1 | 0.00158201 | 0.00028458 |
| 215 | 1 | 0.00051912 | 0.00009338 | 228 | 1 | 0.00152294 | 0.00027396 | 241 | 1 | 0.00128431 | 0.00023103 | 254 | 1 | 0.00095638 | 0.00017204 | 267 | 1 | 0.00115999 | 0.00020867 |
| 216 | 1 | 0.00126453 | 0.00022747 | 229 | 1 | 0.00121382 | 0.00021835 | 242 | 1 | 0.00185792 | 0.00033421 | 255 | 1 | 0.00148048 | 0.00026632 | 268 | 1 | 0.00240925 | 0.00043339 |
| 217 | 1 | 0.00055658 | 0.00010012 | 230 | 1 | 0.00001345 | 0.00000242 | 243 | 1 | 0.00091602 | 0.00016478 | 256 | 1 | 0.00030720 | 0.00005526 | 269 | 1 | 0.00174199 | 0.00031336 |
| 218 | 1 | 0.00002052 | 0.00000369 | 231 | 1 | 0.00231366 | 0.00041620 | 244 | 1 | 0.00049567 | 0.00008916 | 257 | 1 | 0.00121235 | 0.00021809 | 270 | 1 | 0.00020579 | 0.00003702 |
| 219 | 1 | 0.00211316 | 0.00038013 | 232 | 1 | 0.00000001 | 0.00000000 | 245 | 1 | 0.00058413 | 0.00010508 | 258 | 1 | 0.00038532 | 0.00006931 | | | | |
| 220 | 1 | 0.00061300 | 0.00011027 | 233 | 1 | 0.00053847 | 0.00009686 | 246 | 1 | 0.00218736 | 0.00039348 | 259 | 1 | 0.00046409 | 0.00008348 | | | | |
| 221 | 1 | 0.00088466 | 0.00015914 | 234 | 1 | 0.00284651 | 0.00051205 | 247 | 1 | 0.00100767 | 0.00018127 | 260 | 1 | 0.00072416 | 0.00013027 | | | | |
| 222 | 1 | 0.00059041 | 0.00010621 | 235 | 1 | 0.00143159 | 0.00025752 | 248 | 1 | 0.00039410 | 0.00007089 | 261 | 1 | 0.00112894 | 0.00020308 | | | | |

Prilog 24. Vršno opterećenje potrošača u periodu zime – podaci za Matpower

| Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVar) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVar) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVar) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVar) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVar) |
|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|
| 999 | 3 | 0.00000000 | 0.00000000 | 20 | 1 | 0.00000011 | 0.00000001 | 40 | 1 | 0.00058533 | 0.00007031 | 60 | 1 | 0.00201618 | 0.00024219 | 80 | 1 | 0.00294029 | 0.00035320 |
| 1 | 1 | 0.00577103 | 0.00069325 | 21 | 1 | 0.00093923 | 0.00011283 | 41 | 1 | 0.00200473 | 0.00024082 | 61 | 1 | 0.00120988 | 0.00014534 | 81 | 1 | 0.00067510 | 0.00008110 |
| 2 | 1 | 0.00066631 | 0.00008004 | 22 | 1 | 0.00000103 | 0.00000012 | 42 | 1 | 0.00089971 | 0.00010808 | 62 | 1 | 0.00057999 | 0.00006967 | 82 | 1 | 0.00081034 | 0.00009734 |
| 3 | 1 | 0.00154171 | 0.00018520 | 23 | 1 | 0.00222546 | 0.00026733 | 43 | 1 | 0.00085767 | 0.00010303 | 63 | 1 | 0.00001784 | 0.00000214 | 83 | 1 | 0.00094305 | 0.00011328 |
| 4 | 1 | 0.00261116 | 0.00031367 | 24 | 1 | 0.00378538 | 0.00045472 | 44 | 1 | 0.00204082 | 0.00024515 | 64 | 1 | 0.00128874 | 0.00015481 | 84 | 1 | 0.00165645 | 0.00019898 |
| 5 | 1 | 0.00048434 | 0.00005818 | 25 | 1 | 0.00468080 | 0.00056228 | 45 | 1 | 0.00157500 | 0.00018920 | 65 | 1 | 0.00014165 | 0.00001702 | 85 | 1 | 0.00118294 | 0.00014210 |
| 6 | 1 | 0.00252560 | 0.00030339 | 26 | 1 | 0.00115923 | 0.00013925 | 46 | 1 | 0.00175588 | 0.00021093 | 66 | 1 | 0.00295272 | 0.00035470 | 86 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 7 | 1 | 0.00118678 | 0.00014256 | 27 | 1 | 0.00203020 | 0.00024388 | 47 | 1 | 0.00171867 | 0.00020646 | 67 | 1 | 0.00251858 | 0.00030255 | 87 | 1 | 0.00343020 | 0.00041206 |
| 8 | 1 | 0.00144196 | 0.00017322 | 28 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 48 | 1 | 0.00128076 | 0.00015385 | 68 | 1 | 0.00174055 | 0.00020908 | 88 | 1 | 0.00100290 | 0.00012047 |
| 9 | 1 | 0.00265045 | 0.00031839 | 29 | 1 | 0.00110961 | 0.00013329 | 49 | 1 | 0.00099924 | 0.00012003 | 69 | 1 | 0.00106478 | 0.00012791 | 89 | 1 | 0.00115452 | 0.00013869 |
| 10 | 1 | 0.00010104 | 0.00001214 | 30 | 1 | 0.00154510 | 0.00018561 | 50 | 1 | 0.00002545 | 0.00000306 | 70 | 1 | 0.00251811 | 0.00030249 | 90 | 1 | 0.00107654 | 0.00012932 |
| 11 | 1 | 0.00073647 | 0.00008847 | 31 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 51 | 1 | 0.00037326 | 0.00004484 | 71 | 1 | 0.00202433 | 0.00024317 | 91 | 1 | 0.00186563 | 0.00022411 |
| 12 | 1 | 0.00162791 | 0.00019555 | 32 | 1 | 0.00464379 | 0.00055784 | 52 | 1 | 0.00509465 | 0.00061200 | 72 | 1 | 0.00005012 | 0.00000602 | 92 | 1 | 0.00163616 | 0.00019655 |
| 13 | 1 | 0.00000664 | 0.00000080 | 33 | 1 | 0.00117724 | 0.00014142 | 53 | 1 | 0.00069276 | 0.00008322 | 73 | 1 | 0.00212949 | 0.00025581 | 93 | 1 | 0.00165334 | 0.00019861 |
| 14 | 1 | 0.00483071 | 0.00058029 | 34 | 1 | 0.00091452 | 0.00010986 | 54 | 1 | 0.00155241 | 0.00018648 | 74 | 1 | 0.00065345 | 0.00007850 | 94 | 1 | 0.00122547 | 0.00014721 |
| 15 | 1 | 0.00022485 | 0.00002701 | 35 | 1 | 0.00208748 | 0.00025076 | 55 | 1 | 0.00187718 | 0.00022550 | 75 | 1 | 0.00033077 | 0.00003973 | 95 | 1 | 0.00162213 | 0.00019486 |
| 16 | 1 | 0.00169887 | 0.00020408 | 36 | 1 | 0.00080268 | 0.00009642 | 56 | 1 | 0.00046358 | 0.00005569 | 76 | 1 | 0.00058417 | 0.00007017 | 96 | 1 | 0.00077889 | 0.00009357 |
| 17 | 1 | 0.00168510 | 0.00020242 | 37 | 1 | 0.00060707 | 0.00007292 | 57 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 77 | 1 | 0.00060888 | 0.00007314 | 97 | 1 | 0.00005775 | 0.00000694 |
| 18 | 1 | 0.00349076 | 0.00041933 | 38 | 1 | 0.00010667 | 0.00001281 | 58 | 1 | 0.00158564 | 0.00019048 | 78 | 1 | 0.00094793 | 0.00011387 | 98 | 1 | 0.00108131 | 0.00012989 |
| 19 | 1 | 0.00030229 | 0.00003631 | 39 | 1 | 0.00123174 | 0.00014796 | 59 | 1 | 0.00167664 | 0.00020141 | 79 | 1 | 0.00216836 | 0.00026048 | 99 | 1 | 0.00201745 | 0.00024235 |

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|
| 100 | 1 | 0.00120536 | 0.00014480 | 135 | 1 | 0.00094207 | 0.00011317 | 170 | 1 | 0.00031064 | 0.00003732 | 205 | 1 | 0.00145363 | 0.00017462 | 240 | 1 | 0.00094773 | 0.00011385 |
| 101 | 1 | 0.00033254 | 0.00003995 | 136 | 1 | 0.00124364 | 0.00014939 | 171 | 1 | 0.00162365 | 0.00019504 | 206 | 1 | 0.00255197 | 0.00030656 | 241 | 1 | 0.00131644 | 0.00015814 |
| 102 | 1 | 0.00144013 | 0.00017300 | 137 | 1 | 0.00192089 | 0.00023075 | 172 | 1 | 0.00038013 | 0.00004566 | 207 | 1 | 0.00015017 | 0.00001804 | 242 | 1 | 0.00212767 | 0.00025559 |
| 103 | 1 | 0.00191353 | 0.00022986 | 138 | 1 | 0.00196523 | 0.00023607 | 173 | 1 | 0.00200237 | 0.00024054 | 208 | 1 | 0.00134599 | 0.00016169 | 243 | 1 | 0.00107997 | 0.00012973 |
| 104 | 1 | 0.00186926 | 0.00022455 | 139 | 1 | 0.00089843 | 0.00010792 | 174 | 1 | 0.00048376 | 0.00005811 | 209 | 1 | 0.00104802 | 0.00012589 | 244 | 1 | 0.00051956 | 0.00006241 |
| 105 | 1 | 0.00125045 | 0.00015021 | 140 | 1 | 0.00041033 | 0.00004929 | 175 | 1 | 0.00164399 | 0.00019749 | 210 | 1 | 0.00079111 | 0.00009503 | 245 | 1 | 0.00057750 | 0.00006937 |
| 106 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 141 | 1 | 0.00025752 | 0.00003093 | 176 | 1 | 0.00075309 | 0.00009047 | 211 | 1 | 0.00095767 | 0.00011504 | 246 | 1 | 0.00328051 | 0.00039407 |
| 107 | 1 | 0.00320139 | 0.00038457 | 142 | 1 | 0.00097794 | 0.00011748 | 177 | 1 | 0.00101698 | 0.00012217 | 212 | 1 | 0.00131010 | 0.00015738 | 247 | 1 | 0.00166440 | 0.00019994 |
| 108 | 1 | 0.00001425 | 0.00000171 | 143 | 1 | 0.00070253 | 0.00008439 | 178 | 1 | 0.00000362 | 0.00000044 | 213 | 1 | 0.00046925 | 0.00005637 | 248 | 1 | 0.00054038 | 0.00006491 |
| 109 | 1 | 0.00132693 | 0.00015940 | 144 | 1 | 0.00177925 | 0.00021373 | 179 | 1 | 0.00067223 | 0.00008075 | 214 | 1 | 0.00074829 | 0.00008989 | 249 | 1 | 0.00067615 | 0.00008122 |
| 110 | 1 | 0.00206071 | 0.00024754 | 145 | 1 | 0.00246640 | 0.00029628 | 180 | 1 | 0.00157462 | 0.00018915 | 215 | 1 | 0.00053909 | 0.00006476 | 250 | 1 | 0.00140630 | 0.00016893 |
| 111 | 1 | 0.00105352 | 0.00012656 | 146 | 1 | 0.00238629 | 0.00028665 | 181 | 1 | 0.00121714 | 0.00014621 | 216 | 1 | 0.00155235 | 0.00018648 | 251 | 1 | 0.00102727 | 0.00012340 |
| 112 | 1 | 0.00272984 | 0.00032792 | 147 | 1 | 0.00492137 | 0.00059118 | 182 | 1 | 0.00140616 | 0.00016892 | 217 | 1 | 0.00058755 | 0.00007058 | 252 | 1 | 0.00010074 | 0.00001210 |
| 113 | 1 | 0.00015344 | 0.00001843 | 148 | 1 | 0.00155608 | 0.00018693 | 183 | 1 | 0.00220901 | 0.00026536 | 218 | 1 | 0.00002910 | 0.00000350 | 253 | 1 | 0.00049693 | 0.00005969 |
| 114 | 1 | 0.00194101 | 0.00023316 | 149 | 1 | 0.00141155 | 0.00016956 | 184 | 1 | 0.00012719 | 0.00001528 | 219 | 1 | 0.00279350 | 0.00033557 | 254 | 1 | 0.00127280 | 0.00015290 |
| 115 | 1 | 0.00000102 | 0.00000012 | 150 | 1 | 0.00101667 | 0.00012213 | 185 | 1 | 0.00105122 | 0.00012628 | 220 | 1 | 0.00063230 | 0.00007595 | 255 | 1 | 0.00171648 | 0.00020619 |
| 116 | 1 | 0.00071746 | 0.00008619 | 151 | 1 | 0.00076852 | 0.00009232 | 186 | 1 | 0.00118380 | 0.00014220 | 221 | 1 | 0.00110194 | 0.00013237 | 256 | 1 | 0.00029149 | 0.00003502 |
| 117 | 1 | 0.00095693 | 0.00011495 | 152 | 1 | 0.00167021 | 0.00020063 | 187 | 1 | 0.00024198 | 0.00002907 | 222 | 1 | 0.00056812 | 0.00006825 | 257 | 1 | 0.00113822 | 0.00013673 |
| 118 | 1 | 0.00163977 | 0.00019698 | 153 | 1 | 0.00055575 | 0.00006676 | 188 | 1 | 0.00306364 | 0.00036802 | 223 | 1 | 0.00094906 | 0.00011401 | 258 | 1 | 0.00052726 | 0.00006334 |
| 119 | 1 | 0.00078947 | 0.00009484 | 154 | 1 | 0.00105238 | 0.00012642 | 189 | 1 | 0.00199894 | 0.00024012 | 224 | 1 | 0.00072127 | 0.00008664 | 259 | 1 | 0.00018727 | 0.00002250 |
| 120 | 1 | 0.00143503 | 0.00017238 | 155 | 1 | 0.00004772 | 0.00000573 | 190 | 1 | 0.00051687 | 0.00006209 | 225 | 1 | 0.00220854 | 0.00026530 | 260 | 1 | 0.00095156 | 0.00011431 |
| 121 | 1 | 0.00170834 | 0.00020522 | 156 | 1 | 0.00000262 | 0.00000031 | 191 | 1 | 0.00019342 | 0.00002323 | 226 | 1 | 0.00143234 | 0.00017206 | 261 | 1 | 0.00113438 | 0.00013627 |
| 122 | 1 | 0.00142871 | 0.00017162 | 157 | 1 | 0.00256642 | 0.00030829 | 192 | 1 | 0.00144757 | 0.00017389 | 227 | 1 | 0.00005327 | 0.00000640 | 262 | 1 | 0.00048320 | 0.00005804 |
| 123 | 1 | 0.00067351 | 0.00008091 | 158 | 1 | 0.00254535 | 0.00030576 | 193 | 1 | 0.00200135 | 0.00024041 | 228 | 1 | 0.00176132 | 0.00021158 | 263 | 1 | 0.00091311 | 0.00010969 |
| 124 | 1 | 0.00174702 | 0.00020986 | 159 | 1 | 0.00064732 | 0.00007776 | 194 | 1 | 0.00064504 | 0.00007749 | 229 | 1 | 0.00144820 | 0.00017397 | 264 | 1 | 0.00038903 | 0.00004673 |
| 125 | 1 | 0.00076416 | 0.00009180 | 160 | 1 | 0.00008295 | 0.00000996 | 195 | 1 | 0.00239381 | 0.00028756 | 230 | 1 | 0.00032885 | 0.00003950 | 265 | 1 | 0.00000001 | 0.00000000 |
| 126 | 1 | 0.00096863 | 0.00011636 | 161 | 1 | 0.00178368 | 0.00021427 | 196 | 1 | 0.00200915 | 0.00024135 | 231 | 1 | 0.00250974 | 0.00030148 | 266 | 1 | 0.00169173 | 0.00020322 |
| 127 | 1 | 0.00124326 | 0.00014935 | 162 | 1 | 0.00080497 | 0.00009670 | 197 | 1 | 0.00071728 | 0.00008616 | 232 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 267 | 1 | 0.00039391 | 0.00004732 |
| 128 | 1 | 0.00348113 | 0.00041817 | 163 | 1 | 0.00147403 | 0.00017707 | 198 | 1 | 0.00000268 | 0.00000032 | 233 | 1 | 0.00049517 | 0.00005948 | 268 | 1 | 0.00088488 | 0.00010630 |
| 129 | 1 | 0.00082093 | 0.00009861 | 164 | 1 | 0.00049158 | 0.00005905 | 199 | 1 | 0.00116516 | 0.00013997 | 234 | 1 | 0.00091883 | 0.00011037 | 269 | 1 | 0.00153919 | 0.00018490 |
| 130 | 1 | 0.00047913 | 0.00005756 | 165 | 1 | 0.00034046 | 0.00004090 | 200 | 1 | 0.00259034 | 0.00031117 | 235 | 1 | 0.00189681 | 0.00022786 | 270 | 1 | 0.00022276 | 0.00002676 |
| 131 | 1 | 0.00337151 | 0.00040500 | 166 | 1 | 0.00120482 | 0.00014473 | 201 | 1 | 0.00097382 | 0.00011698 | 236 | 1 | 0.00108953 | 0.00013088 | | | | |
| 132 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 167 | 1 | 0.00095732 | 0.00011500 | 202 | 1 | 0.00038458 | 0.00004620 | 237 | 1 | 0.00139301 | 0.00016734 | | | | |
| 133 | 1 | 0.00133868 | 0.00016081 | 168 | 1 | 0.00000313 | 0.00000038 | 203 | 1 | 0.00124320 | 0.00014934 | 238 | 1 | 0.00179967 | 0.00021619 | | | | |
| 134 | 1 | 0.00007442 | 0.00000894 | 169 | 1 | 0.00163063 | 0.00019588 | 204 | 1 | 0.00070856 | 0.00008512 | 239 | 1 | 0.00005461 | 0.00000656 | | | | |

Prilog 25. Opterećenje potrošača pri maksimalnoj vrijednosti nesimetrije – podaci za Matpower

| Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVar) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVar) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVar) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVar) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVar) |
|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|
| 999 | 3 | 0.00000000 | 0.00000000 | 34 | 1 | 0.00064110 | 0.00009135 | 68 | 1 | 0.00103114 | 0.00014693 | 102 | 1 | 0.00118985 | 0.00016954 | 136 | 1 | 0.00094944 | 0.00013529 |
| 1 | 1 | 0.00446280 | 0.00063591 | 35 | 1 | 0.00152001 | 0.00021659 | 69 | 1 | 0.00085434 | 0.00012174 | 103 | 1 | 0.00133051 | 0.00018959 | 137 | 1 | 0.00146409 | 0.00020862 |
| 2 | 1 | 0.00038045 | 0.00005421 | 36 | 1 | 0.00088780 | 0.00012650 | 70 | 1 | 0.00189185 | 0.00026957 | 104 | 1 | 0.00186439 | 0.00026566 | 138 | 1 | 0.00150800 | 0.00021488 |
| 3 | 1 | 0.00134710 | 0.00019195 | 37 | 1 | 0.00040658 | 0.00005793 | 71 | 1 | 0.00170805 | 0.00024338 | 105 | 1 | 0.00089450 | 0.00012746 | 139 | 1 | 0.00071749 | 0.00010224 |
| 4 | 1 | 0.00192125 | 0.00027376 | 38 | 1 | 0.00008419 | 0.00001200 | 72 | 1 | 0.00008705 | 0.00001240 | 106 | 1 | 0.00000008 | 0.00000001 | 140 | 1 | 0.00032613 | 0.00004647 |
| 5 | 1 | 0.00073649 | 0.00010494 | 39 | 1 | 0.00093457 | 0.00013317 | 73 | 1 | 0.00151564 | 0.00021597 | 107 | 1 | 0.00238155 | 0.00033935 | 141 | 1 | 0.00021245 | 0.00003027 |
| 6 | 1 | 0.00192465 | 0.00027425 | 40 | 1 | 0.00067457 | 0.00009612 | 74 | 1 | 0.00053689 | 0.00007650 | 108 | 1 | 0.00001360 | 0.00000194 | 142 | 1 | 0.00077282 | 0.00011012 |
| 7 | 1 | 0.00096454 | 0.00013744 | 41 | 1 | 0.00143545 | 0.00020454 | 75 | 1 | 0.00020122 | 0.00002867 | 109 | 1 | 0.00103320 | 0.00014722 | 143 | 1 | 0.00054630 | 0.00007784 |
| 8 | 1 | 0.00109956 | 0.00015668 | 42 | 1 | 0.00106314 | 0.00015149 | 76 | 1 | 0.00030297 | 0.00004317 | 110 | 1 | 0.00148443 | 0.00021152 | 144 | 1 | 0.00133304 | 0.00018995 |
| 9 | 1 | 0.00197762 | 0.00028180 | 43 | 1 | 0.00068486 | 0.00009759 | 77 | 1 | 0.00090592 | 0.00012909 | 111 | 1 | 0.00086337 | 0.00012302 | 145 | 1 | 0.00194826 | 0.00027761 |
| 10 | 1 | 0.00004572 | 0.00000652 | 44 | 1 | 0.00168585 | 0.00024022 | 78 | 1 | 0.00076231 | 0.00010862 | 112 | 1 | 0.00194379 | 0.00027698 | 146 | 1 | 0.00169268 | 0.00024119 |
| 11 | 1 | 0.00099092 | 0.00014120 | 45 | 1 | 0.00103651 | 0.00014770 | 79 | 1 | 0.00159428 | 0.00022717 | 113 | 1 | 0.00008256 | 0.00001176 | 147 | 1 | 0.00364142 | 0.00051887 |
| 12 | 1 | 0.00113130 | 0.00016120 | 46 | 1 | 0.00122503 | 0.00017456 | 80 | 1 | 0.00228695 | 0.00032587 | 114 | 1 | 0.00137041 | 0.00019527 | 148 | 1 | 0.00129808 | 0.00018497 |
| 13 | 1 | 0.00007834 | 0.00001116 | 47 | 1 | 0.00129520 | 0.00018456 | 81 | 1 | 0.00047957 | 0.00006833 | 115 | 1 | 0.00000181 | 0.00000026 | 149 | 1 | 0.00106830 | 0.00015222 |
| 14 | 1 | 0.00393116 | 0.00056016 | 48 | 1 | 0.00086957 | 0.00012391 | 82 | 1 | 0.00056925 | 0.00008111 | 116 | 1 | 0.00044958 | 0.00006406 | 150 | 1 | 0.00082362 | 0.00011736 |
| 15 | 1 | 0.00018547 | 0.00002643 | 49 | 1 | 0.00087226 | 0.00012429 | 83 | 1 | 0.00073963 | 0.00010539 | 117 | 1 | 0.00069876 | 0.00009957 | 151 | 1 | 0.00054327 | 0.00007741 |
| 16 | 1 | 0.00151438 | 0.00021579 | 50 | 1 | 0.00001354 | 0.00000193 | 84 | 1 | 0.00129556 | 0.00018461 | 118 | 1 | 0.00125255 | 0.00017848 | 152 | 1 | 0.00132832 | 0.00018927 |
| 17 | 1 | 0.00131615 | 0.00018754 | 51 | 1 | 0.00026650 | 0.00003797 | 85 | 1 | 0.00096095 | 0.00013693 | 119 | 1 | 0.00054821 | 0.00007812 | 153 | 1 | 0.00039081 | 0.00005569 |
| 18 | 1 | 0.00198408 | 0.00028272 | 52 | 1 | 0.00382613 | 0.00054519 | 86 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 120 | 1 | 0.00110575 | 0.00015756 | 154 | 1 | 0.00073943 | 0.00010536 |
| 19 | 1 | 0.00011437 | 0.00001630 | 53 | 1 | 0.00049067 | 0.00006992 | 87 | 1 | 0.00258527 | 0.00036838 | 121 | 1 | 0.00146797 | 0.00020917 | 155 | 1 | 0.00002720 | 0.00000388 |
| 20 | 1 | 0.00000024 | 0.00000003 | 54 | 1 | 0.00113957 | 0.00016238 | 88 | 1 | 0.00067203 | 0.00009576 | 122 | 1 | 0.00107810 | 0.00015362 | 156 | 1 | 0.00000049 | 0.00000007 |
| 21 | 1 | 0.00056594 | 0.00008064 | 55 | 1 | 0.00171838 | 0.00024486 | 89 | 1 | 0.00097310 | 0.00013866 | 123 | 1 | 0.00019496 | 0.00002778 | 157 | 1 | 0.00193884 | 0.00027627 |
| 22 | 1 | 0.00000019 | 0.00000003 | 56 | 1 | 0.00043198 | 0.00006155 | 90 | 1 | 0.00072858 | 0.00010382 | 124 | 1 | 0.00137990 | 0.00019663 | 158 | 1 | 0.00176390 | 0.00025134 |
| 23 | 1 | 0.00152967 | 0.00021797 | 57 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 91 | 1 | 0.00156338 | 0.00022277 | 125 | 1 | 0.00055802 | 0.00007951 | 159 | 1 | 0.00046855 | 0.00006676 |
| 24 | 1 | 0.00266462 | 0.00037969 | 58 | 1 | 0.00091808 | 0.00013082 | 92 | 1 | 0.00120897 | 0.00017227 | 126 | 1 | 0.00079877 | 0.00011382 | 160 | 1 | 0.00001882 | 0.00000268 |
| 25 | 1 | 0.00340914 | 0.00048578 | 59 | 1 | 0.00135809 | 0.00019352 | 93 | 1 | 0.00133530 | 0.00019027 | 127 | 1 | 0.00096163 | 0.00013703 | 161 | 1 | 0.00165226 | 0.00023543 |
| 26 | 1 | 0.00082751 | 0.00011791 | 60 | 1 | 0.00155746 | 0.00022193 | 94 | 1 | 0.00093672 | 0.00013348 | 128 | 1 | 0.00264074 | 0.00037629 | 162 | 1 | 0.00070332 | 0.00010022 |
| 27 | 1 | 0.00175120 | 0.00024953 | 61 | 1 | 0.00122379 | 0.00017438 | 95 | 1 | 0.00126339 | 0.00018002 | 129 | 1 | 0.00080328 | 0.00011446 | 163 | 1 | 0.00117067 | 0.00016681 |
| 28 | 1 | 0.00000006 | 0.00000001 | 62 | 1 | 0.00038041 | 0.00005420 | 96 | 1 | 0.00057790 | 0.00008235 | 130 | 1 | 0.00055430 | 0.00007898 | 164 | 1 | 0.00033714 | 0.00004804 |
| 29 | 1 | 0.00075673 | 0.00010783 | 63 | 1 | 0.00001599 | 0.00000228 | 97 | 1 | 0.00007742 | 0.00001103 | 131 | 1 | 0.00197384 | 0.00028126 | 165 | 1 | 0.00026377 | 0.00003758 |
| 30 | 1 | 0.00105077 | 0.00014973 | 64 | 1 | 0.00087570 | 0.00012478 | 98 | 1 | 0.00079745 | 0.00011363 | 132 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 166 | 1 | 0.00099898 | 0.00014235 |
| 31 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 65 | 1 | 0.00010619 | 0.00001513 | 99 | 1 | 0.00167319 | 0.00023842 | 133 | 1 | 0.00089063 | 0.00012691 | 167 | 1 | 0.00065418 | 0.00009322 |
| 32 | 1 | 0.00219978 | 0.00031345 | 66 | 1 | 0.00228993 | 0.00032630 | 100 | 1 | 0.00121505 | 0.00017313 | 134 | 1 | 0.00009414 | 0.00001341 | 168 | 1 | 0.00000063 | 0.00000009 |
| 33 | 1 | 0.00084878 | 0.00012095 | 67 | 1 | 0.00166129 | 0.00023672 | 101 | 1 | 0.00079208 | 0.00011287 | 135 | 1 | 0.00076897 | 0.00010957 | 169 | 1 | 0.00115157 | 0.00016409 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|
| 170 | 1 | 0.00024613 | 0.00003507 | 191 | 1 | 0.00030496 | 0.00004346 | 212 | 1 | 0.00084160 | 0.00011992 | 233 | 1 | 0.00042441 | 0.00006048 | 254 | 1 | 0.00090712 | 0.00012926 |
| 171 | 1 | 0.00115757 | 0.00016494 | 192 | 1 | 0.00105591 | 0.00015046 | 213 | 1 | 0.00035095 | 0.00005001 | 234 | 1 | 0.00161395 | 0.00022998 | 255 | 1 | 0.00127813 | 0.00018212 |
| 172 | 1 | 0.00030148 | 0.00004296 | 193 | 1 | 0.00144142 | 0.00020539 | 214 | 1 | 0.00062464 | 0.00008901 | 235 | 1 | 0.00130485 | 0.00018593 | 256 | 1 | 0.00026680 | 0.00003802 |
| 173 | 1 | 0.00154950 | 0.00022079 | 194 | 1 | 0.00072178 | 0.00010285 | 215 | 1 | 0.00042626 | 0.00006074 | 236 | 1 | 0.00106179 | 0.00015130 | 257 | 1 | 0.00096103 | 0.00013694 |
| 174 | 1 | 0.00040125 | 0.00005718 | 195 | 1 | 0.00179982 | 0.00025646 | 216 | 1 | 0.00118743 | 0.00016920 | 237 | 1 | 0.00094587 | 0.00013478 | 258 | 1 | 0.00038503 | 0.00005486 |
| 175 | 1 | 0.00148270 | 0.00021127 | 196 | 1 | 0.00138893 | 0.00019791 | 217 | 1 | 0.00047239 | 0.00006731 | 238 | 1 | 0.00141675 | 0.00020188 | 259 | 1 | 0.00024603 | 0.00003506 |
| 176 | 1 | 0.00067546 | 0.00009625 | 197 | 1 | 0.00053396 | 0.00007609 | 218 | 1 | 0.00002138 | 0.00000305 | 239 | 1 | 0.00004415 | 0.00000629 | 260 | 1 | 0.00068273 | 0.00009728 |
| 177 | 1 | 0.00077454 | 0.00011037 | 198 | 1 | 0.00000193 | 0.00000028 | 219 | 1 | 0.00188734 | 0.00026893 | 240 | 1 | 0.00073740 | 0.00010507 | 261 | 1 | 0.00077604 | 0.00011058 |
| 178 | 1 | 0.00000489 | 0.00000070 | 199 | 1 | 0.00088161 | 0.00012562 | 220 | 1 | 0.00052535 | 0.00007486 | 241 | 1 | 0.00098988 | 0.00014105 | 262 | 1 | 0.00033835 | 0.00004821 |
| 179 | 1 | 0.00060304 | 0.00008593 | 200 | 1 | 0.00172151 | 0.00024530 | 221 | 1 | 0.00080666 | 0.00011494 | 242 | 1 | 0.00158873 | 0.00022638 | 263 | 1 | 0.00069981 | 0.00009972 |
| 180 | 1 | 0.00122098 | 0.00017398 | 201 | 1 | 0.00085015 | 0.00012114 | 222 | 1 | 0.00050312 | 0.00007169 | 243 | 1 | 0.00079897 | 0.00011385 | 264 | 1 | 0.00015308 | 0.00002181 |
| 181 | 1 | 0.00087060 | 0.00012405 | 202 | 1 | 0.00023096 | 0.00003291 | 223 | 1 | 0.00074251 | 0.00010580 | 244 | 1 | 0.00038857 | 0.00005537 | 265 | 1 | 0.00002611 | 0.00000372 |
| 182 | 1 | 0.00079605 | 0.00011343 | 203 | 1 | 0.00077734 | 0.00011076 | 224 | 1 | 0.00058193 | 0.00008292 | 245 | 1 | 0.00044226 | 0.00006302 | 266 | 1 | 0.00137429 | 0.00019583 |
| 183 | 1 | 0.00140061 | 0.00019958 | 204 | 1 | 0.00113087 | 0.00016114 | 225 | 1 | 0.00162654 | 0.00023177 | 246 | 1 | 0.00219328 | 0.00031253 | 267 | 1 | 0.00086892 | 0.00012381 |
| 184 | 1 | 0.00011364 | 0.00001619 | 205 | 1 | 0.00106016 | 0.00015106 | 226 | 1 | 0.00099156 | 0.00014129 | 247 | 1 | 0.00106995 | 0.00015246 | 268 | 1 | 0.00110974 | 0.00015813 |
| 185 | 1 | 0.00080904 | 0.00011528 | 206 | 1 | 0.00192727 | 0.00027462 | 227 | 1 | 0.00001397 | 0.00000199 | 248 | 1 | 0.00040962 | 0.00005837 | 269 | 1 | 0.00169095 | 0.00024095 |
| 186 | 1 | 0.00087839 | 0.00012516 | 207 | 1 | 0.00015569 | 0.00002218 | 228 | 1 | 0.00131424 | 0.00018727 | 249 | 1 | 0.00056059 | 0.00007988 | 270 | 1 | 0.00034918 | 0.00004976 |
| 187 | 1 | 0.00021341 | 0.00003041 | 208 | 1 | 0.00100725 | 0.00014353 | 229 | 1 | 0.00111790 | 0.00015929 | 250 | 1 | 0.00115914 | 0.00016517 | | | | |
| 188 | 1 | 0.00251550 | 0.00035844 | 209 | 1 | 0.00085455 | 0.00012177 | 230 | 1 | 0.00018704 | 0.00002665 | 251 | 1 | 0.00073180 | 0.00010428 | | | | |
| 189 | 1 | 0.00127288 | 0.00018138 | 210 | 1 | 0.00056821 | 0.00008097 | 231 | 1 | 0.00211326 | 0.00030112 | 252 | 1 | 0.00001871 | 0.00000267 | | | | |
| 190 | 1 | 0.00043944 | 0.00006262 | 211 | 1 | 0.00073820 | 0.00010519 | 232 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 253 | 1 | 0.00067951 | 0.00009683 | | | | |

Prilog 26. Opterećenje potrošača pri minimalnoj vrijednosti nesimetrije – podaci za Matpower

| Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVar) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVar) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVar) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVar) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVar) |
|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|
| 999 | 3 | 0.00000000 | 0.00000000 | 12 | 1 | 0.00119381 | 0.00018510 | 24 | 1 | 0.00281187 | 0.00043598 | 36 | 1 | 0.00093686 | 0.00014526 | 48 | 1 | 0.00091763 | 0.00014228 |
| 1 | 1 | 0.00470942 | 0.00073020 | 13 | 1 | 0.00008264 | 0.00001281 | 25 | 1 | 0.00359651 | 0.00055764 | 37 | 1 | 0.00042892 | 0.00006650 | 49 | 1 | 0.00092046 | 0.00014272 |
| 2 | 1 | 0.00040136 | 0.00006223 | 14 | 1 | 0.00414841 | 0.00064321 | 26 | 1 | 0.00087299 | 0.00013536 | 38 | 1 | 0.00008882 | 0.00001377 | 50 | 1 | 0.00001429 | 0.00000222 |
| 3 | 1 | 0.00142114 | 0.00022035 | 15 | 1 | 0.00019566 | 0.00003034 | 27 | 1 | 0.00184746 | 0.00028645 | 39 | 1 | 0.00098621 | 0.00015291 | 51 | 1 | 0.00028123 | 0.00004360 |
| 4 | 1 | 0.00202685 | 0.00031426 | 16 | 1 | 0.00159807 | 0.00024778 | 28 | 1 | 0.00000006 | 0.00000001 | 40 | 1 | 0.00071185 | 0.00011037 | 52 | 1 | 0.00403643 | 0.00062585 |
| 5 | 1 | 0.00077697 | 0.00012047 | 17 | 1 | 0.00138849 | 0.00021529 | 29 | 1 | 0.00079854 | 0.00012381 | 41 | 1 | 0.00151435 | 0.00023480 | 53 | 1 | 0.00051763 | 0.00008026 |
| 6 | 1 | 0.00203044 | 0.00031482 | 18 | 1 | 0.00209313 | 0.00032454 | 30 | 1 | 0.00110853 | 0.00017188 | 42 | 1 | 0.00112157 | 0.00017390 | 54 | 1 | 0.00120220 | 0.00018640 |
| 7 | 1 | 0.00101785 | 0.00015782 | 19 | 1 | 0.00012069 | 0.00001871 | 31 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 43 | 1 | 0.00072250 | 0.00011202 | 55 | 1 | 0.00181282 | 0.00028108 |
| 8 | 1 | 0.00115999 | 0.00017986 | 20 | 1 | 0.00000026 | 0.00000004 | 32 | 1 | 0.00232135 | 0.00035993 | 44 | 1 | 0.00177901 | 0.00027584 | 56 | 1 | 0.00045586 | 0.00007068 |
| 9 | 1 | 0.00208691 | 0.00032358 | 21 | 1 | 0.00059704 | 0.00009257 | 33 | 1 | 0.00089543 | 0.00013884 | 45 | 1 | 0.00109379 | 0.00016959 | 57 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 10 | 1 | 0.00004824 | 0.00000748 | 22 | 1 | 0.00000020 | 0.00000003 | 34 | 1 | 0.00067653 | 0.00010490 | 46 | 1 | 0.00129236 | 0.00020038 | 58 | 1 | 0.00096882 | 0.00015022 |
| 11 | 1 | 0.00104538 | 0.00016209 | 23 | 1 | 0.00161421 | 0.00025028 | 35 | 1 | 0.00160355 | 0.00024863 | 47 | 1 | 0.00136639 | 0.00021186 | 59 | 1 | 0.00143314 | 0.00022221 |

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|
| 60 | 1 | 0.00164306 | 0.00025476 | 97 | 1 | 0.00008167 | 0.00001266 | 134 | 1 | 0.00009929 | 0.00001540 | 171 | 1 | 0.00122090 | 0.00018930 | 208 | 1 | 0.00106146 | 0.00016458 |
| 61 | 1 | 0.00129105 | 0.00020018 | 98 | 1 | 0.00084108 | 0.00013041 | 135 | 1 | 0.00081035 | 0.00012565 | 172 | 1 | 0.00031797 | 0.00004930 | 209 | 1 | 0.00090054 | 0.00013963 |
| 62 | 1 | 0.00040129 | 0.00006222 | 99 | 1 | 0.00176565 | 0.00027377 | 136 | 1 | 0.00100054 | 0.00015513 | 173 | 1 | 0.00163289 | 0.00025318 | 210 | 1 | 0.00059929 | 0.00009292 |
| 63 | 1 | 0.00001686 | 0.00000261 | 100 | 1 | 0.00128219 | 0.00019880 | 137 | 1 | 0.00154420 | 0.00023943 | 174 | 1 | 0.00042320 | 0.00006562 | 211 | 1 | 0.00077793 | 0.00012062 |
| 64 | 1 | 0.00092383 | 0.00014324 | 101 | 1 | 0.00083556 | 0.00012955 | 138 | 1 | 0.00159050 | 0.00024661 | 175 | 1 | 0.00156382 | 0.00024247 | 212 | 1 | 0.00088690 | 0.00013751 |
| 65 | 1 | 0.00011205 | 0.00001737 | 102 | 1 | 0.00125517 | 0.00019462 | 139 | 1 | 0.00075675 | 0.00011733 | 176 | 1 | 0.00071241 | 0.00011046 | 213 | 1 | 0.00037015 | 0.00005739 |
| 66 | 1 | 0.00241579 | 0.00037457 | 103 | 1 | 0.00140355 | 0.00021762 | 140 | 1 | 0.00034398 | 0.00005333 | 177 | 1 | 0.00081623 | 0.00012656 | 214 | 1 | 0.00065826 | 0.00010206 |
| 67 | 1 | 0.00175259 | 0.00027174 | 104 | 1 | 0.00196742 | 0.00030505 | 141 | 1 | 0.00022389 | 0.00003471 | 178 | 1 | 0.00000516 | 0.00000080 | 215 | 1 | 0.00044921 | 0.00006965 |
| 68 | 1 | 0.00108781 | 0.00016867 | 105 | 1 | 0.00094361 | 0.00014631 | 142 | 1 | 0.00081510 | 0.00012638 | 179 | 1 | 0.00063603 | 0.00009862 | 216 | 1 | 0.00125133 | 0.00019402 |
| 69 | 1 | 0.00090124 | 0.00013974 | 106 | 1 | 0.00000009 | 0.00000001 | 143 | 1 | 0.00057619 | 0.00008934 | 180 | 1 | 0.00128778 | 0.00019967 | 217 | 1 | 0.00049781 | 0.00007719 |
| 70 | 1 | 0.00199583 | 0.00030946 | 107 | 1 | 0.00251316 | 0.00038967 | 144 | 1 | 0.00140597 | 0.00021800 | 181 | 1 | 0.00091823 | 0.00014237 | 218 | 1 | 0.00002253 | 0.00000349 |
| 71 | 1 | 0.00180182 | 0.00027937 | 108 | 1 | 0.00001434 | 0.00000222 | 145 | 1 | 0.00205485 | 0.00031861 | 182 | 1 | 0.00083960 | 0.00013018 | 219 | 1 | 0.00198891 | 0.00030838 |
| 72 | 1 | 0.00009184 | 0.00001424 | 109 | 1 | 0.00108972 | 0.00016896 | 146 | 1 | 0.00178528 | 0.00027681 | 183 | 1 | 0.00147723 | 0.00022905 | 220 | 1 | 0.00055362 | 0.00008584 |
| 73 | 1 | 0.00159894 | 0.00024792 | 110 | 1 | 0.00156592 | 0.00024280 | 147 | 1 | 0.00383739 | 0.00059499 | 184 | 1 | 0.00011976 | 0.00001857 | 221 | 1 | 0.00085007 | 0.00013180 |
| 74 | 1 | 0.00056639 | 0.00008782 | 111 | 1 | 0.00091076 | 0.00014121 | 148 | 1 | 0.00136794 | 0.00021210 | 185 | 1 | 0.00085259 | 0.00013219 | 222 | 1 | 0.00053020 | 0.00008221 |
| 75 | 1 | 0.00021234 | 0.00003292 | 112 | 1 | 0.00205014 | 0.00031788 | 149 | 1 | 0.00112674 | 0.00017470 | 186 | 1 | 0.00092567 | 0.00014353 | 223 | 1 | 0.00078247 | 0.00012132 |
| 76 | 1 | 0.00031960 | 0.00004955 | 113 | 1 | 0.00008709 | 0.00001350 | 150 | 1 | 0.00086795 | 0.00013458 | 187 | 1 | 0.00022508 | 0.00003490 | 224 | 1 | 0.00061325 | 0.00009509 |
| 77 | 1 | 0.00095565 | 0.00014817 | 114 | 1 | 0.00144564 | 0.00022415 | 151 | 1 | 0.00057299 | 0.00008884 | 188 | 1 | 0.00265312 | 0.00041137 | 225 | 1 | 0.00171408 | 0.00026577 |
| 78 | 1 | 0.00080416 | 0.00012469 | 115 | 1 | 0.00000190 | 0.00000030 | 152 | 1 | 0.00139980 | 0.00021704 | 189 | 1 | 0.00134138 | 0.00020798 | 226 | 1 | 0.00104493 | 0.00016202 |
| 79 | 1 | 0.00168180 | 0.00026076 | 116 | 1 | 0.00047426 | 0.00007353 | 153 | 1 | 0.00041184 | 0.00006386 | 190 | 1 | 0.00046348 | 0.00007186 | 227 | 1 | 0.00001472 | 0.00000228 |
| 80 | 1 | 0.00241249 | 0.00037406 | 117 | 1 | 0.00073712 | 0.00011429 | 154 | 1 | 0.00077989 | 0.00012092 | 191 | 1 | 0.00032138 | 0.00004983 | 228 | 1 | 0.00138497 | 0.00021474 |
| 81 | 1 | 0.00050590 | 0.00007844 | 118 | 1 | 0.00132131 | 0.00020487 | 155 | 1 | 0.00002869 | 0.00000445 | 192 | 1 | 0.00111274 | 0.00017253 | 229 | 1 | 0.00117806 | 0.00018266 |
| 82 | 1 | 0.00060050 | 0.00009311 | 119 | 1 | 0.00057830 | 0.00008967 | 156 | 1 | 0.00000052 | 0.00000008 | 193 | 1 | 0.00152028 | 0.00023572 | 230 | 1 | 0.00019728 | 0.00003059 |
| 83 | 1 | 0.00078050 | 0.00012102 | 120 | 1 | 0.00116645 | 0.00018086 | 157 | 1 | 0.00204319 | 0.00031680 | 194 | 1 | 0.00076063 | 0.00011794 | 231 | 1 | 0.00222699 | 0.00034530 |
| 84 | 1 | 0.00136669 | 0.00021191 | 121 | 1 | 0.00154856 | 0.00024011 | 158 | 1 | 0.00186041 | 0.00028846 | 195 | 1 | 0.00189829 | 0.00029433 | 232 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 85 | 1 | 0.00101405 | 0.00015723 | 122 | 1 | 0.00113728 | 0.00017634 | 159 | 1 | 0.00049418 | 0.00007662 | 196 | 1 | 0.00146368 | 0.00022695 | 233 | 1 | 0.00044725 | 0.00006935 |
| 86 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 123 | 1 | 0.00020562 | 0.00003188 | 160 | 1 | 0.00001984 | 0.00000308 | 197 | 1 | 0.00056318 | 0.00008732 | 234 | 1 | 0.00170081 | 0.00026371 |
| 87 | 1 | 0.00272719 | 0.00042285 | 124 | 1 | 0.00145565 | 0.00022570 | 161 | 1 | 0.00174266 | 0.00027020 | 198 | 1 | 0.00000204 | 0.00000032 | 235 | 1 | 0.00137624 | 0.00021339 |
| 88 | 1 | 0.00070917 | 0.00010996 | 125 | 1 | 0.00058866 | 0.00009127 | 162 | 1 | 0.00074179 | 0.00011502 | 199 | 1 | 0.00092985 | 0.00014417 | 236 | 1 | 0.00111988 | 0.00017364 |
| 89 | 1 | 0.00102687 | 0.00015922 | 126 | 1 | 0.00084262 | 0.00013065 | 163 | 1 | 0.00123472 | 0.00019144 | 200 | 1 | 0.00181416 | 0.00028129 | 237 | 1 | 0.00099762 | 0.00015468 |
| 90 | 1 | 0.00076858 | 0.00011917 | 127 | 1 | 0.00101477 | 0.00015734 | 164 | 1 | 0.00035559 | 0.00005513 | 201 | 1 | 0.00089590 | 0.00013891 | 238 | 1 | 0.00149426 | 0.00023169 |
| 91 | 1 | 0.00164977 | 0.00025580 | 128 | 1 | 0.00278571 | 0.00043193 | 165 | 1 | 0.00027820 | 0.00004313 | 202 | 1 | 0.00024339 | 0.00003774 | 239 | 1 | 0.00004653 | 0.00000721 |
| 92 | 1 | 0.00127534 | 0.00019774 | 129 | 1 | 0.00084738 | 0.00013139 | 166 | 1 | 0.00105363 | 0.00016337 | 203 | 1 | 0.00081987 | 0.00012712 | 240 | 1 | 0.00077775 | 0.00012059 |
| 93 | 1 | 0.00140860 | 0.00021840 | 130 | 1 | 0.00058463 | 0.00009065 | 167 | 1 | 0.00068997 | 0.00010698 | 204 | 1 | 0.00119274 | 0.00018493 | 241 | 1 | 0.00104315 | 0.00016174 |
| 94 | 1 | 0.00098849 | 0.00015327 | 131 | 1 | 0.00208220 | 0.00032285 | 168 | 1 | 0.00000066 | 0.00000010 | 205 | 1 | 0.00111816 | 0.00017337 | 242 | 1 | 0.00167565 | 0.00025981 |
| 95 | 1 | 0.00133321 | 0.00020671 | 132 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 169 | 1 | 0.00121458 | 0.00018832 | 206 | 1 | 0.00203099 | 0.00031491 | 243 | 1 | 0.00084268 | 0.00013066 |
| 96 | 1 | 0.00060963 | 0.00009452 | 133 | 1 | 0.00093936 | 0.00014565 | 170 | 1 | 0.00025959 | 0.00004025 | 207 | 1 | 0.00016407 | 0.00002544 | 244 | 1 | 0.00040983 | 0.00006354 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|
| 245 | 1 | 0.00046607 | 0.00007226 | 251 | 1 | 0.00077119 | 0.00011957 | 257 | 1 | 0.00101361 | 0.00015716 | 263 | 1 | 0.00073747 | 0.00011435 | 269 | 1 | 0.00178196 | 0.00027629 |
| 246 | 1 | 0.00231327 | 0.00035867 | 252 | 1 | 0.00001973 | 0.00000306 | 258 | 1 | 0.00040609 | 0.00006296 | 264 | 1 | 0.00016132 | 0.00002501 | 270 | 1 | 0.00036797 | 0.00005705 |
| 247 | 1 | 0.00112849 | 0.00017497 | 253 | 1 | 0.00071669 | 0.00011112 | 259 | 1 | 0.00025927 | 0.00004020 | 265 | 1 | 0.00002752 | 0.00000427 | | | | |
| 248 | 1 | 0.00043203 | 0.00006699 | 254 | 1 | 0.00095594 | 0.00014822 | 260 | 1 | 0.00071947 | 0.00011155 | 266 | 1 | 0.00144825 | 0.00022455 | | | | |
| 249 | 1 | 0.00059076 | 0.00009160 | 255 | 1 | 0.00134806 | 0.00020902 | 261 | 1 | 0.00081780 | 0.00012680 | 267 | 1 | 0.00091568 | 0.00014198 | | | | |
| 250 | 1 | 0.00122152 | 0.00018940 | 256 | 1 | 0.00028116 | 0.00004359 | 262 | 1 | 0.00035656 | 0.00005529 | 268 | 1 | 0.00116946 | 0.00018133 | | | | |

Prilog 27. Opterećenje potrošača pri prosječnoj vrijednosti nesimetrije – podaci za Matpower

| Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVar) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVar) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVar) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVar) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVar) |
|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|-----|------|------------|------------|
| 999 | 3 | 0.00000000 | 0.00000000 | 27 | 1 | 0.00201221 | 0.00028453 | 54 | 1 | 0.00130942 | 0.00018515 | 81 | 1 | 0.00055104 | 0.00007792 | 108 | 1 | 0.00001563 | 0.00000221 |
| 1 | 1 | 0.00512795 | 0.00072509 | 28 | 1 | 0.00000007 | 0.00000001 | 55 | 1 | 0.00197449 | 0.00027919 | 82 | 1 | 0.00065409 | 0.00009249 | 109 | 1 | 0.00118680 | 0.00016781 |
| 2 | 1 | 0.00043715 | 0.00006181 | 29 | 1 | 0.00086951 | 0.00012295 | 56 | 1 | 0.00049637 | 0.00007019 | 83 | 1 | 0.00084987 | 0.00012017 | 110 | 1 | 0.00170567 | 0.00024118 |
| 3 | 1 | 0.00154787 | 0.00021887 | 30 | 1 | 0.00120738 | 0.00017072 | 57 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 84 | 1 | 0.00148866 | 0.00021050 | 111 | 1 | 0.00099204 | 0.00014027 |
| 4 | 1 | 0.00220760 | 0.00031215 | 31 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 58 | 1 | 0.00105491 | 0.00014916 | 85 | 1 | 0.00110417 | 0.00015613 | 112 | 1 | 0.00223278 | 0.00031571 |
| 5 | 1 | 0.00084625 | 0.00011966 | 32 | 1 | 0.00252765 | 0.00035741 | 59 | 1 | 0.00156050 | 0.00022065 | 86 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 113 | 1 | 0.00009486 | 0.00001341 |
| 6 | 1 | 0.00221151 | 0.00031271 | 33 | 1 | 0.00097529 | 0.00013791 | 60 | 1 | 0.00178959 | 0.00025305 | 87 | 1 | 0.00297058 | 0.00042004 | 114 | 1 | 0.00157465 | 0.00022266 |
| 7 | 1 | 0.00110830 | 0.00015671 | 34 | 1 | 0.00073666 | 0.00010416 | 61 | 1 | 0.00140619 | 0.00019883 | 88 | 1 | 0.00077219 | 0.00010919 | 115 | 1 | 0.00000207 | 0.00000029 |
| 8 | 1 | 0.00126344 | 0.00017865 | 35 | 1 | 0.00174655 | 0.00024696 | 62 | 1 | 0.00043710 | 0.00006181 | 89 | 1 | 0.00111813 | 0.00015810 | 116 | 1 | 0.00051658 | 0.00007304 |
| 9 | 1 | 0.00227237 | 0.00032131 | 36 | 1 | 0.00102012 | 0.00014424 | 63 | 1 | 0.00001837 | 0.00000260 | 90 | 1 | 0.00083717 | 0.00011838 | 117 | 1 | 0.00080290 | 0.00011353 |
| 10 | 1 | 0.00005254 | 0.00000743 | 37 | 1 | 0.00046717 | 0.00006606 | 64 | 1 | 0.00100621 | 0.00014228 | 91 | 1 | 0.00179639 | 0.00025401 | 118 | 1 | 0.00143923 | 0.00020351 |
| 11 | 1 | 0.00113861 | 0.00016100 | 38 | 1 | 0.00009674 | 0.00001368 | 65 | 1 | 0.00012201 | 0.00001725 | 92 | 1 | 0.00138915 | 0.00019643 | 119 | 1 | 0.00062991 | 0.00008907 |
| 12 | 1 | 0.00129991 | 0.00018381 | 39 | 1 | 0.00107386 | 0.00015184 | 66 | 1 | 0.00263123 | 0.00037205 | 93 | 1 | 0.00153431 | 0.00021695 | 120 | 1 | 0.00127055 | 0.00017966 |
| 13 | 1 | 0.00009001 | 0.00001273 | 40 | 1 | 0.00077511 | 0.00010960 | 67 | 1 | 0.00190889 | 0.00026992 | 94 | 1 | 0.00107634 | 0.00015219 | 121 | 1 | 0.00168676 | 0.00023851 |
| 14 | 1 | 0.00451708 | 0.00063871 | 41 | 1 | 0.00164939 | 0.00023322 | 68 | 1 | 0.00118482 | 0.00016753 | 95 | 1 | 0.00145169 | 0.00020527 | 122 | 1 | 0.00123878 | 0.00017516 |
| 15 | 1 | 0.00021311 | 0.00003013 | 42 | 1 | 0.00122159 | 0.00017273 | 69 | 1 | 0.00098168 | 0.00013881 | 96 | 1 | 0.00066403 | 0.00009389 | 123 | 1 | 0.00022394 | 0.00003166 |
| 16 | 1 | 0.00174009 | 0.00024605 | 43 | 1 | 0.00078694 | 0.00011127 | 70 | 1 | 0.00217382 | 0.00030738 | 97 | 1 | 0.00008896 | 0.00001258 | 124 | 1 | 0.00158556 | 0.00022420 |
| 17 | 1 | 0.00151231 | 0.00021384 | 44 | 1 | 0.00193711 | 0.00027391 | 71 | 1 | 0.00196262 | 0.00027751 | 98 | 1 | 0.00091601 | 0.00012952 | 125 | 1 | 0.00064119 | 0.00009066 |
| 18 | 1 | 0.00227979 | 0.00032236 | 45 | 1 | 0.00119100 | 0.00016841 | 72 | 1 | 0.00010003 | 0.00001414 | 99 | 1 | 0.00192256 | 0.00027185 | 126 | 1 | 0.00091782 | 0.00012978 |
| 19 | 1 | 0.00013142 | 0.00001858 | 46 | 1 | 0.00140761 | 0.00019904 | 73 | 1 | 0.00174154 | 0.00024625 | 100 | 1 | 0.00139614 | 0.00019741 | 127 | 1 | 0.00110496 | 0.00015624 |
| 20 | 1 | 0.00000028 | 0.00000004 | 47 | 1 | 0.00148824 | 0.00021044 | 74 | 1 | 0.00061691 | 0.00008723 | 101 | 1 | 0.00091013 | 0.00012869 | 128 | 1 | 0.00303432 | 0.00042905 |
| 21 | 1 | 0.00065028 | 0.00009195 | 48 | 1 | 0.00099918 | 0.00014128 | 75 | 1 | 0.00023122 | 0.00003269 | 102 | 1 | 0.00136719 | 0.00019332 | 129 | 1 | 0.00092300 | 0.00013051 |
| 22 | 1 | 0.00000022 | 0.00000003 | 49 | 1 | 0.00100226 | 0.00014172 | 76 | 1 | 0.00034812 | 0.00004922 | 103 | 1 | 0.00152880 | 0.00021617 | 130 | 1 | 0.00063671 | 0.00009003 |
| 23 | 1 | 0.00175766 | 0.00024853 | 50 | 1 | 0.00001556 | 0.00000220 | 77 | 1 | 0.00104094 | 0.00014719 | 104 | 1 | 0.00214226 | 0.00030292 | 131 | 1 | 0.00226802 | 0.00032070 |
| 24 | 1 | 0.00306176 | 0.00043293 | 51 | 1 | 0.00030622 | 0.00004330 | 78 | 1 | 0.00087592 | 0.00012386 | 105 | 1 | 0.00102782 | 0.00014533 | 132 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 |
| 25 | 1 | 0.00391724 | 0.00055390 | 52 | 1 | 0.00439639 | 0.00062165 | 79 | 1 | 0.00183189 | 0.00025903 | 106 | 1 | 0.00000009 | 0.00000001 | 133 | 1 | 0.00102304 | 0.00014466 |
| 26 | 1 | 0.00095084 | 0.00013445 | 53 | 1 | 0.00056380 | 0.00007972 | 80 | 1 | 0.00262779 | 0.00037157 | 107 | 1 | 0.00273650 | 0.00038694 | 134 | 1 | 0.00010814 | 0.00001529 |

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|
| 135 | 1 | 0.00088315 | 0.00012488 | 163 | 1 | 0.00134471 | 0.00019014 | 191 | 1 | 0.00035025 | 0.00004953 | 219 | 1 | 0.00216759 | 0.00030650 | 247 | 1 | 0.00122902 | 0.00017378 |
| 136 | 1 | 0.00109042 | 0.00015419 | 164 | 1 | 0.00038727 | 0.00005476 | 192 | 1 | 0.00121271 | 0.00017148 | 220 | 1 | 0.00060336 | 0.00008531 | 248 | 1 | 0.00047052 | 0.00006653 |
| 137 | 1 | 0.00168176 | 0.00023780 | 165 | 1 | 0.00030298 | 0.00004284 | 193 | 1 | 0.00165571 | 0.00023412 | 221 | 1 | 0.00092644 | 0.00013100 | 249 | 1 | 0.00064383 | 0.00009104 |
| 138 | 1 | 0.00173219 | 0.00024493 | 166 | 1 | 0.00114750 | 0.00016226 | 194 | 1 | 0.00082896 | 0.00011722 | 222 | 1 | 0.00057783 | 0.00008170 | 250 | 1 | 0.00133126 | 0.00018824 |
| 139 | 1 | 0.00082416 | 0.00011654 | 167 | 1 | 0.00075143 | 0.00010625 | 195 | 1 | 0.00206740 | 0.00029233 | 223 | 1 | 0.00085276 | 0.00012058 | 251 | 1 | 0.00084047 | 0.00011884 |
| 140 | 1 | 0.00037462 | 0.00005297 | 168 | 1 | 0.00000072 | 0.00000010 | 196 | 1 | 0.00159517 | 0.00022556 | 224 | 1 | 0.00066834 | 0.00009450 | 252 | 1 | 0.00002149 | 0.00000304 |
| 141 | 1 | 0.00024400 | 0.00003450 | 169 | 1 | 0.00132278 | 0.00018704 | 197 | 1 | 0.00061335 | 0.00008673 | 225 | 1 | 0.00186806 | 0.00026414 | 253 | 1 | 0.00078053 | 0.00011037 |
| 142 | 1 | 0.00088772 | 0.00012552 | 170 | 1 | 0.00028272 | 0.00003998 | 198 | 1 | 0.00000222 | 0.00000031 | 226 | 1 | 0.00113880 | 0.00016103 | 254 | 1 | 0.00104181 | 0.00014731 |
| 143 | 1 | 0.00062752 | 0.00008873 | 171 | 1 | 0.00132967 | 0.00018801 | 199 | 1 | 0.00101268 | 0.00014319 | 227 | 1 | 0.00001604 | 0.00000227 | 255 | 1 | 0.00146815 | 0.00020760 |
| 144 | 1 | 0.00153123 | 0.00021652 | 172 | 1 | 0.00034630 | 0.00004897 | 200 | 1 | 0.00197714 | 0.00027957 | 228 | 1 | 0.00150939 | 0.00021343 | 256 | 1 | 0.00030642 | 0.00004333 |
| 145 | 1 | 0.00223790 | 0.00031644 | 173 | 1 | 0.00177958 | 0.00025163 | 201 | 1 | 0.00097638 | 0.00013806 | 229 | 1 | 0.00128389 | 0.00018154 | 257 | 1 | 0.00110391 | 0.00015609 |
| 146 | 1 | 0.00194433 | 0.00027493 | 174 | 1 | 0.00046090 | 0.00006517 | 202 | 1 | 0.00026526 | 0.00003751 | 230 | 1 | 0.00021485 | 0.00003038 | 258 | 1 | 0.00044227 | 0.00006254 |
| 147 | 1 | 0.00418213 | 0.00059135 | 175 | 1 | 0.00170314 | 0.00024082 | 203 | 1 | 0.00089291 | 0.00012626 | 231 | 1 | 0.00242705 | 0.00034318 | 259 | 1 | 0.00028256 | 0.00003995 |
| 148 | 1 | 0.00149083 | 0.00021080 | 176 | 1 | 0.00077588 | 0.00010971 | 204 | 1 | 0.00129899 | 0.00018368 | 232 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 260 | 1 | 0.00078411 | 0.00011087 |
| 149 | 1 | 0.00122712 | 0.00017351 | 177 | 1 | 0.00088956 | 0.00012578 | 205 | 1 | 0.00121777 | 0.00017219 | 233 | 1 | 0.00048743 | 0.00006892 | 261 | 1 | 0.00089127 | 0.00012603 |
| 150 | 1 | 0.00094592 | 0.00013375 | 178 | 1 | 0.00000562 | 0.00000079 | 206 | 1 | 0.00221345 | 0.00031298 | 234 | 1 | 0.00185361 | 0.00026210 | 262 | 1 | 0.00038860 | 0.00005495 |
| 151 | 1 | 0.00062403 | 0.00008824 | 179 | 1 | 0.00069269 | 0.00009795 | 207 | 1 | 0.00017881 | 0.00002528 | 235 | 1 | 0.00149885 | 0.00021194 | 263 | 1 | 0.00080372 | 0.00011365 |
| 152 | 1 | 0.00152556 | 0.00021571 | 180 | 1 | 0.00140250 | 0.00019831 | 208 | 1 | 0.00115681 | 0.00016357 | 236 | 1 | 0.00121965 | 0.00017246 | 264 | 1 | 0.00017581 | 0.00002486 |
| 153 | 1 | 0.00044884 | 0.00006347 | 181 | 1 | 0.00100004 | 0.00014140 | 209 | 1 | 0.00098144 | 0.00013878 | 237 | 1 | 0.00108649 | 0.00015363 | 265 | 1 | 0.00002999 | 0.00000424 |
| 154 | 1 | 0.00084936 | 0.00012010 | 182 | 1 | 0.00091440 | 0.00012930 | 210 | 1 | 0.00065268 | 0.00009229 | 238 | 1 | 0.00162738 | 0.00023011 | 266 | 1 | 0.00157836 | 0.00022318 |
| 155 | 1 | 0.00003125 | 0.00000442 | 183 | 1 | 0.00160883 | 0.00022749 | 211 | 1 | 0.00084782 | 0.00011988 | 239 | 1 | 0.00005071 | 0.00000717 | 267 | 1 | 0.00099795 | 0.00014111 |
| 156 | 1 | 0.00000056 | 0.00000008 | 184 | 1 | 0.00013052 | 0.00001846 | 212 | 1 | 0.00096657 | 0.00013667 | 240 | 1 | 0.00084703 | 0.00011977 | 268 | 1 | 0.00127452 | 0.00018022 |
| 157 | 1 | 0.00222674 | 0.00031486 | 185 | 1 | 0.00092918 | 0.00013139 | 213 | 1 | 0.00040312 | 0.00005700 | 241 | 1 | 0.00113686 | 0.00016075 | 269 | 1 | 0.00194204 | 0.00027460 |
| 158 | 1 | 0.00202614 | 0.00028650 | 186 | 1 | 0.00100882 | 0.00014265 | 214 | 1 | 0.00071740 | 0.00010144 | 242 | 1 | 0.00182492 | 0.00025804 | 270 | 1 | 0.00040103 | 0.00005671 |
| 159 | 1 | 0.00053821 | 0.00007610 | 187 | 1 | 0.00024514 | 0.00003466 | 215 | 1 | 0.00048956 | 0.00006922 | 243 | 1 | 0.00091775 | 0.00012977 | | | | |
| 160 | 1 | 0.00002162 | 0.00000306 | 188 | 1 | 0.00288948 | 0.00040857 | 216 | 1 | 0.00136375 | 0.00019283 | 244 | 1 | 0.00044634 | 0.00006311 | | | | |
| 161 | 1 | 0.00189790 | 0.00026836 | 189 | 1 | 0.00146189 | 0.00020671 | 217 | 1 | 0.00054253 | 0.00007671 | 245 | 1 | 0.00050793 | 0.00007182 | | | | |
| 162 | 1 | 0.00080788 | 0.00011423 | 190 | 1 | 0.00050477 | 0.00007137 | 218 | 1 | 0.00002456 | 0.00000347 | 246 | 1 | 0.00251935 | 0.00035624 | | | | |

Prilog 28. Opterećenje potrošača pri najvjerojatnijoj vrijednosti nesimetrije – podaci za Matpower

| Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVA _r) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVA _r) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVA _r) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVA _r) | Bus | Type | Pd (MW) | Qd (MVA _r) |
|-----|------|------------|------------------------|-----|------|------------|------------------------|-----|------|------------|------------------------|-----|------|------------|------------------------|-----|------|------------|------------------------|
| 999 | 3 | 0.00000000 | 0.00000000 | 5 | 1 | 0.00070201 | 0.00009922 | 10 | 1 | 0.00004358 | 0.00000616 | 15 | 1 | 0.00017678 | 0.00002498 | 20 | 1 | 0.00000023 | 0.00000003 |
| 1 | 1 | 0.00425515 | 0.00060138 | 6 | 1 | 0.00183457 | 0.00025928 | 11 | 1 | 0.00094454 | 0.00013349 | 16 | 1 | 0.00144392 | 0.00020407 | 21 | 1 | 0.00053945 | 0.00007624 |
| 2 | 1 | 0.00036264 | 0.00005125 | 7 | 1 | 0.00091967 | 0.00012998 | 12 | 1 | 0.00107866 | 0.00015245 | 17 | 1 | 0.00125454 | 0.00017730 | 22 | 1 | 0.00000018 | 0.00000003 |
| 3 | 1 | 0.00128404 | 0.00018147 | 8 | 1 | 0.00104809 | 0.00014813 | 13 | 1 | 0.00007467 | 0.00001055 | 18 | 1 | 0.00189121 | 0.00026728 | 23 | 1 | 0.00145850 | 0.00020613 |
| 4 | 1 | 0.00183132 | 0.00025882 | 9 | 1 | 0.00188561 | 0.00026649 | 14 | 1 | 0.00374825 | 0.00052974 | 19 | 1 | 0.00010905 | 0.00001541 | 24 | 1 | 0.00254064 | 0.00035907 |

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---|------------|------------|----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|
| 25 | 1 | 0.00324956 | 0.00045926 | 62 | 1 | 0.00036258 | 0.00005124 | 99 | 1 | 0.00159533 | 0.00022547 | 136 | 1 | 0.00090514 | 0.00012792 | 173 | 1 | 0.00147719 | 0.00020877 |
| 26 | 1 | 0.00078878 | 0.00011148 | 63 | 1 | 0.00001524 | 0.00000215 | 100 | 1 | 0.00115851 | 0.00016373 | 137 | 1 | 0.00139547 | 0.00019722 | 174 | 1 | 0.00038244 | 0.00005405 |
| 27 | 1 | 0.00166924 | 0.00023591 | 64 | 1 | 0.00083471 | 0.00011797 | 101 | 1 | 0.00075496 | 0.00010670 | 138 | 1 | 0.00143731 | 0.00020314 | 175 | 1 | 0.00141320 | 0.00019973 |
| 28 | 1 | 0.00000006 | 0.00000001 | 65 | 1 | 0.00010124 | 0.00001431 | 102 | 1 | 0.00113409 | 0.00016028 | 139 | 1 | 0.00068386 | 0.00009665 | 176 | 1 | 0.00064380 | 0.00009099 |
| 29 | 1 | 0.00072152 | 0.00010197 | 66 | 1 | 0.00218274 | 0.00030849 | 103 | 1 | 0.00126815 | 0.00017923 | 140 | 1 | 0.00031085 | 0.00004393 | 177 | 1 | 0.00073840 | 0.00010436 |
| 30 | 1 | 0.00100159 | 0.00014155 | 67 | 1 | 0.00158353 | 0.00022380 | 104 | 1 | 0.00177764 | 0.00025123 | 141 | 1 | 0.00020254 | 0.00002862 | 178 | 1 | 0.00000466 | 0.00000066 |
| 31 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 68 | 1 | 0.00098287 | 0.00013891 | 105 | 1 | 0.00085258 | 0.00012050 | 142 | 1 | 0.00073660 | 0.00010410 | 179 | 1 | 0.00057477 | 0.00008123 |
| 32 | 1 | 0.00209743 | 0.00029643 | 69 | 1 | 0.00081431 | 0.00011509 | 106 | 1 | 0.00000008 | 0.00000001 | 143 | 1 | 0.00052069 | 0.00007359 | 180 | 1 | 0.00116374 | 0.00016447 |
| 33 | 1 | 0.00080905 | 0.00011434 | 70 | 1 | 0.00180330 | 0.00025486 | 107 | 1 | 0.00227074 | 0.00032092 | 144 | 1 | 0.00127056 | 0.00017957 | 181 | 1 | 0.00082979 | 0.00011727 |
| 34 | 1 | 0.00061127 | 0.00008639 | 71 | 1 | 0.00162801 | 0.00023009 | 108 | 1 | 0.00001297 | 0.00000183 | 145 | 1 | 0.00185693 | 0.00026244 | 182 | 1 | 0.00075874 | 0.00010723 |
| 35 | 1 | 0.00144886 | 0.00020477 | 72 | 1 | 0.00008298 | 0.00001173 | 109 | 1 | 0.00098477 | 0.00013918 | 146 | 1 | 0.00161333 | 0.00022801 | 183 | 1 | 0.00133495 | 0.00018867 |
| 36 | 1 | 0.00084649 | 0.00011963 | 73 | 1 | 0.00144470 | 0.00020418 | 110 | 1 | 0.00141486 | 0.00019996 | 147 | 1 | 0.00347149 | 0.00049063 | 184 | 1 | 0.00010834 | 0.00001531 |
| 37 | 1 | 0.00038754 | 0.00005477 | 74 | 1 | 0.00051176 | 0.00007233 | 111 | 1 | 0.00082291 | 0.00011630 | 148 | 1 | 0.00123750 | 0.00017490 | 185 | 1 | 0.00077129 | 0.00010901 |
| 38 | 1 | 0.00008025 | 0.00001134 | 75 | 1 | 0.00019186 | 0.00002712 | 112 | 1 | 0.00185268 | 0.00026184 | 149 | 1 | 0.00101822 | 0.00014391 | 186 | 1 | 0.00083740 | 0.00011835 |
| 39 | 1 | 0.00089108 | 0.00012594 | 76 | 1 | 0.00028877 | 0.00004081 | 113 | 1 | 0.00007869 | 0.00001112 | 150 | 1 | 0.00078519 | 0.00011097 | 187 | 1 | 0.00020341 | 0.00002875 |
| 40 | 1 | 0.00064318 | 0.00009090 | 77 | 1 | 0.00086346 | 0.00012203 | 114 | 1 | 0.00130619 | 0.00018460 | 151 | 1 | 0.00051780 | 0.00007318 | 188 | 1 | 0.00239759 | 0.00033885 |
| 41 | 1 | 0.00136826 | 0.00019338 | 78 | 1 | 0.00072659 | 0.00010269 | 115 | 1 | 0.00000172 | 0.00000024 | 152 | 1 | 0.00126633 | 0.00017897 | 189 | 1 | 0.00121348 | 0.00017150 |
| 42 | 1 | 0.00101338 | 0.00014322 | 79 | 1 | 0.00151956 | 0.00021476 | 116 | 1 | 0.00042851 | 0.00006056 | 153 | 1 | 0.00037257 | 0.00005266 | 190 | 1 | 0.00041884 | 0.00005920 |
| 43 | 1 | 0.00065281 | 0.00009226 | 80 | 1 | 0.00217977 | 0.00030807 | 117 | 1 | 0.00066601 | 0.00009413 | 154 | 1 | 0.00070477 | 0.00009961 | 191 | 1 | 0.00029073 | 0.00004109 |
| 44 | 1 | 0.00160741 | 0.00022717 | 81 | 1 | 0.00045710 | 0.00006460 | 118 | 1 | 0.00119385 | 0.00016873 | 155 | 1 | 0.00002593 | 0.00000366 | 192 | 1 | 0.00100664 | 0.00014227 |
| 45 | 1 | 0.00098828 | 0.00013967 | 82 | 1 | 0.00054257 | 0.00007668 | 119 | 1 | 0.00052252 | 0.00007385 | 156 | 1 | 0.00000047 | 0.00000007 | 193 | 1 | 0.00137385 | 0.00019417 |
| 46 | 1 | 0.00116769 | 0.00016503 | 83 | 1 | 0.00070522 | 0.00009967 | 120 | 1 | 0.00105393 | 0.00014895 | 157 | 1 | 0.00184837 | 0.00026123 | 194 | 1 | 0.00068810 | 0.00009725 |
| 47 | 1 | 0.00123458 | 0.00017448 | 84 | 1 | 0.00123485 | 0.00017452 | 121 | 1 | 0.00139918 | 0.00019775 | 158 | 1 | 0.00168122 | 0.00023761 | 195 | 1 | 0.00171546 | 0.00024245 |
| 48 | 1 | 0.00082911 | 0.00011718 | 85 | 1 | 0.00091624 | 0.00012949 | 122 | 1 | 0.00102758 | 0.00014523 | 159 | 1 | 0.00044659 | 0.00006312 | 196 | 1 | 0.00132412 | 0.00018714 |
| 49 | 1 | 0.00083167 | 0.00011754 | 86 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 123 | 1 | 0.00018582 | 0.00002626 | 160 | 1 | 0.00001794 | 0.00000254 | 197 | 1 | 0.00050894 | 0.00007193 |
| 50 | 1 | 0.00001291 | 0.00000182 | 87 | 1 | 0.00246411 | 0.00034825 | 124 | 1 | 0.00131523 | 0.00018588 | 161 | 1 | 0.00157481 | 0.00022257 | 198 | 1 | 0.00000184 | 0.00000026 |
| 51 | 1 | 0.00025410 | 0.00003591 | 88 | 1 | 0.00064076 | 0.00009056 | 125 | 1 | 0.00053187 | 0.00007517 | 162 | 1 | 0.00067035 | 0.00009474 | 199 | 1 | 0.00084029 | 0.00011876 |
| 52 | 1 | 0.00364704 | 0.00051544 | 89 | 1 | 0.00092782 | 0.00013113 | 126 | 1 | 0.00076134 | 0.00010760 | 163 | 1 | 0.00111580 | 0.00015770 | 200 | 1 | 0.00164118 | 0.00023195 |
| 53 | 1 | 0.00046770 | 0.00006610 | 90 | 1 | 0.00069444 | 0.00009815 | 127 | 1 | 0.00091689 | 0.00012958 | 164 | 1 | 0.00032134 | 0.00004541 | 201 | 1 | 0.00081047 | 0.00011454 |
| 54 | 1 | 0.00108623 | 0.00015352 | 91 | 1 | 0.00149063 | 0.00021067 | 128 | 1 | 0.00251699 | 0.00035573 | 165 | 1 | 0.00025140 | 0.00003553 | 202 | 1 | 0.00022018 | 0.00003112 |
| 55 | 1 | 0.00163794 | 0.00023149 | 92 | 1 | 0.00115231 | 0.00016286 | 129 | 1 | 0.00076563 | 0.00010821 | 166 | 1 | 0.00095215 | 0.00013457 | 203 | 1 | 0.00074090 | 0.00010471 |
| 56 | 1 | 0.00041188 | 0.00005821 | 93 | 1 | 0.00127272 | 0.00017987 | 130 | 1 | 0.00052832 | 0.00007467 | 167 | 1 | 0.00062351 | 0.00008812 | 204 | 1 | 0.00107786 | 0.00015233 |
| 57 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 94 | 1 | 0.00089314 | 0.00012623 | 131 | 1 | 0.00188134 | 0.00026589 | 168 | 1 | 0.00000060 | 0.00000008 | 205 | 1 | 0.00101046 | 0.00014281 |
| 58 | 1 | 0.00087536 | 0.00012371 | 95 | 1 | 0.00120461 | 0.00017025 | 132 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 169 | 1 | 0.00109759 | 0.00015512 | 206 | 1 | 0.00183733 | 0.00025967 |
| 59 | 1 | 0.00129490 | 0.00018301 | 96 | 1 | 0.00055082 | 0.00007785 | 133 | 1 | 0.00084889 | 0.00011997 | 170 | 1 | 0.00023459 | 0.00003315 | 207 | 1 | 0.00014842 | 0.00002098 |
| 60 | 1 | 0.00148456 | 0.00020981 | 97 | 1 | 0.00007379 | 0.00001043 | 134 | 1 | 0.00008973 | 0.00001268 | 171 | 1 | 0.00110331 | 0.00015593 | 208 | 1 | 0.00096025 | 0.00013571 |
| 61 | 1 | 0.00116651 | 0.00016486 | 98 | 1 | 0.00076007 | 0.00010742 | 135 | 1 | 0.00073308 | 0.00010361 | 172 | 1 | 0.00028735 | 0.00004061 | 209 | 1 | 0.00081467 | 0.00011514 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|-----|---|------------|------------|
| 210 | 1 | 0.00054157 | 0.00007654 | 223 | 1 | 0.00070786 | 0.00010004 | 236 | 1 | 0.00101202 | 0.00014303 | 249 | 1 | 0.00053443 | 0.00007553 | 262 | 1 | 0.00032256 | 0.00004559 |
| 211 | 1 | 0.00070376 | 0.00009946 | 224 | 1 | 0.00055478 | 0.00007841 | 237 | 1 | 0.00090153 | 0.00012741 | 250 | 1 | 0.00110505 | 0.00015618 | 263 | 1 | 0.00066715 | 0.00009429 |
| 212 | 1 | 0.00080233 | 0.00011339 | 225 | 1 | 0.00155064 | 0.00021915 | 238 | 1 | 0.00135034 | 0.00019084 | 251 | 1 | 0.00069765 | 0.00009860 | 264 | 1 | 0.00014594 | 0.00002063 |
| 213 | 1 | 0.00033450 | 0.00004727 | 226 | 1 | 0.00094529 | 0.00013360 | 239 | 1 | 0.00004209 | 0.00000595 | 252 | 1 | 0.00001783 | 0.00000252 | 265 | 1 | 0.00002490 | 0.00000352 |
| 214 | 1 | 0.00059550 | 0.00008416 | 227 | 1 | 0.00001332 | 0.00000188 | 240 | 1 | 0.00070284 | 0.00009933 | 253 | 1 | 0.00064766 | 0.00009153 | 266 | 1 | 0.00131016 | 0.00018516 |
| 215 | 1 | 0.00040637 | 0.00005743 | 228 | 1 | 0.00125291 | 0.00017707 | 241 | 1 | 0.00094368 | 0.00013337 | 254 | 1 | 0.00086479 | 0.00012222 | 267 | 1 | 0.00082837 | 0.00011707 |
| 216 | 1 | 0.00113202 | 0.00015999 | 229 | 1 | 0.00106573 | 0.00015062 | 242 | 1 | 0.00151426 | 0.00021401 | 255 | 1 | 0.00121822 | 0.00017217 | 268 | 1 | 0.00105795 | 0.00014952 |
| 217 | 1 | 0.00045034 | 0.00006365 | 230 | 1 | 0.00017828 | 0.00002520 | 243 | 1 | 0.00076152 | 0.00010763 | 256 | 1 | 0.00025435 | 0.00003595 | 269 | 1 | 0.00161205 | 0.00022783 |
| 218 | 1 | 0.00002039 | 0.00000288 | 231 | 1 | 0.00201464 | 0.00028473 | 244 | 1 | 0.00037036 | 0.00005234 | 257 | 1 | 0.00091599 | 0.00012946 | 270 | 1 | 0.00033288 | 0.00004705 |
| 219 | 1 | 0.00179927 | 0.00025429 | 232 | 1 | 0.00000000 | 0.00000000 | 245 | 1 | 0.00042163 | 0.00005959 | 258 | 1 | 0.00036698 | 0.00005187 | | | | |
| 220 | 1 | 0.00050083 | 0.00007078 | 233 | 1 | 0.00040461 | 0.00005718 | 246 | 1 | 0.00209047 | 0.00029545 | 259 | 1 | 0.00023454 | 0.00003315 | | | | |
| 221 | 1 | 0.00076901 | 0.00010868 | 234 | 1 | 0.00153864 | 0.00021746 | 247 | 1 | 0.00101980 | 0.00014413 | 260 | 1 | 0.00065087 | 0.00009199 | | | | |
| 222 | 1 | 0.00047964 | 0.00006779 | 235 | 1 | 0.00124369 | 0.00017577 | 248 | 1 | 0.00039042 | 0.00005518 | 261 | 1 | 0.00073983 | 0.00010456 | | | | |

ŽIVOTOPIS

Amir Softić je rođen 30. siječnja 1964. godine u Tuzli, Bosna i Hercegovina. Osnovnu školu i matematičku gimnaziju završio je u Tuzli. Na Fakultetu elektrotehnike i mašinstva, Sveučilišta u Tuzli, obranio je diplomski rad pod nazivom “Selektivnost relejne zaštite u rudničkim jamskim mrežama“, u ožujku 1996. godine. U periodu 2000–2005. godine bio je stalno uposlen u JU Mješovita srednja elektrotehnička škola u Tuzli, na mjestu profesora elektrotehničke skupine predmeta. Od 2005. godine pa sve do danas radi u JP Elektroprivreda BiH, Podružnica „Elektrodistribucija“ Tuzla, Sektor Operatora distribucije, u Službi za energetske analize i kvalitetu električne energije, na mjestu Inženjera za poslove pristupa distribucijskoj mreži. Na poslijediplomskom znanstvenom studiju Fakulteta elektrotehnike u Tuzli, na odsjeku Energetska elektrotehnika, usmjeravajući modul Elektroenergetske mreže i sustavi, obranio je magistarski rad pod nazivom “Rekonfiguracija distributivnih mreža primjenom metoda stohastičke optimizacije“ i stekao zvanje Magistra tehničkih znanosti iz područja elektrotehnike, 30. siječnja 2009. godine. Kao autor ili koautor učestvovao je u izradi više znanstvenih i stručnih radova objavljenih u različitim međunarodnim časopisima i konferencijama. Objavljeni znanstveni i stručni radovi su slijedeći:

1. Marinko Stojkov, Amir Softić, Mirza Atić: „*Optimizacija uklopnog stanja u distribucijskom elektroenergetskom sustavu*“, Tehnički vjesnik–Technical Gazzete, Vol. 22, No 5, pp. 1297– 1303, Croatia, October 2015
2. Šeila Gruhonjić Ferhabegović, Amir Softić, Zlatan Jerković, Almira Kukavica, Aladin Subašić: „*Tretman neutralne tačke srednjenaponske distributivne mreže sa osvrtom na stanje u Podružnici Elektrodistribucija Tuzla*“, BHK CIGRÉ, XII Savjetovanje Bosanskohercegovačkog komiteta, Neum, BiH, 04–08.10.2015
3. Amir Softić, Marinko Stojkov, Admir Jahić: „*Planning of Low–Voltage Distribution Networks Using Hierarchical Methods*“, International Review of Electrical Engineering (IREE), Vol. 10, No 1, pp. 62–70, Italy, January–February 2015
4. Hidajet Salkić, Amir Softić: „*Nejonizirajuće zračenje u okolini elektroenergetskih postrojenja*“, Deveto regionalno savjetovanje o elektrodistributivnim mrežama, CIRED, Vrnjačka Banja, Srbija, 2014
5. Hidajet Salkić, Nerdina Mehinović, Amir Softić: „*Elimination of the Influence of Electromagnetic Radiation in Transformer Station Located in the Facility*“, International Review of Electrical Engineering (IREE), Vol. 8, No 1, pp. 216–226, Italy, 2013
6. Amir Softić, Šeila Gruhonjić Ferhatbegović, Hidajet Salkić, Ivo Divković, Husnija Imamović: „*Analiza uticaja solarne elektrane na distributivnu mrežu*“, BHK CIGRÉ, XI Savjetovanje Bosanskohercegovačkog komiteta, Neum, BiH, 15.09–19.09.2013
7. Šeila Gruhonjić Ferhatbegović, Amir Softić: „*Provjera zone djelovanja zaštite niskonaponskih distributivnih izlaza*“, BHK CIGRÉ, XI Savjetovanje Bosanskohercegovačkog komiteta, Neum, BiH, 15.09–19.09.2013

Poboljšani model za planiranje niskonaponskih distribucijskih mreža kombiniranjem hijerarhijskih i stohastičkih optimizacijskih metoda

8. Šeila Gruhonjić Ferhatbegović, Amir Softić: „Uvođenje 20 kV naponskog nivoa u distributivnoj mreži općine Gračanica“, BHK CIGRÉ, XI Savjetovanje Bosanskohercegovačkog komiteta, Neum, BiH, 15.09–19.09.2013
9. Šeila Gruhonjić Ferhatbegović, Amir Softić, Almira Kukavica: „Mogući koncept prelaska na direktnu transformaciju na području općine Tuzla“, BHK CIGRÉ, XI Savjetovanje Bosanskohercegovačkog komiteta, Neum, BiH, 15.09–19.09.2013
10. Amir Softić, Ana Mikulić: „Organizacija plana mjera za smanjenje broja prekida u elektrodistributivnoj mreži“, 22. znanstveno–stručni skup OTO 2013, pp. 59–68, Osijek, Croatia, 25.04–26.04.2013
11. Marinko Stojkov, Mirza Atić, Amir Softić: „Primjena neizrazite logike za kompenzaciju reaktivne energije sinkronim motorima s promjenjivim opterećenjem“, Tehnički vjesnik–Technical Gazzete, Vol. 19, No 4, pp. 753–758, Croatia, Prosinac 2012
12. Hidajet Salkić, Amir Softić, Adnan Muharemović, Irfan Turković, Mario Klarić: „Calculation and Measurement of Electromagnetic Fields“, Electromagnetic Radiation, ISBN: 978–953–51–0639–5, Intech, Chapter 9, pp. 195–224, 05.06.2012
13. Hidajet Salkić, Adnan Muharemović, Amir Softić, Aida Muharemović, Omer Hadžić: „Distribution Calculation of Wind Turbine Low Frequency Electromagnetic Fields“, Electrotechnical Conference (MELECON), 16th IEEE Mediterranean, Yasmine Hammamet, Tunisia, 25–28. March 2012
14. Izet Džananović, Ivo Divković, Nusret Kurtalić, Šeila Gruhonjić Ferhatbegović, Amir Softić: „Aktivnosti u pogledu dostizanja norme EN 50160 u Podružnici Elektrodistribucija Tuzla“, BHK CIGRÉ, X Savjetovanje Bosanskohercegovačkog komiteta, Sarajevo, BiH, 25.09–29.09.2011
15. Hidajet Salkić, Zehrudin Sikira, Zlatko Salkić, Amir Softić, Dino Bačinović: „Elimination of Electromagnetic Interference in Transformer Station“, 19th Expert Meeting „KOMUNALNA ENERGETIKA/POWER ENGINEERING“, Maribor, Slovenia, 2010
16. Izet Džananović, Sabahudin Salihović, Amir Softić, Dženana Malkočević: „Uticaj nerazvijenosti prenosne mreže na kvalitet električne energije na području Elektrodistribucije Tuzla“, BHK CIGRÉ, VIII Savjetovanje Bosanskohercegovačkog komiteta, Neum, BiH, 21.10–25.10.2007
17. Izet Džananović, Sabahudin Salihović, Ivo Divković, Amir Softić: „Ograničenje struja zemljospoja u SN mrežama na područjima Poslovnih jedinica distribucije Tuzla i Gračanica“, BHK CIGRÉ, VIII Savjetovanje Bosanskohercegovačkog komiteta, Neum, BiH, 21.10–25.10.2007
18. Hidajet Salkić, Amir Softić, Elmir Mujkanović: „Gasna CHP postrojenja“, Drugo regionalno savjetovanje o elektrodistributivnim mrežama, CIRED, Zlatibor, Srbija, 17.10–20.10.2006

PROGRAMSKI KOD

% %ALGORITAM NEIZRAZITOG GRUPIRANJA

function [createfigure]=Kuzici_Clusteri

%Ucitavanje podataka

load Kuzici.dat

load Centar.dat

%Pronalazenje centra konzuma

findcluster

pause;

%Graficki prikaz podataka

figure plot(Kuzici(:,1),Kuzici(:,2),'o','markersize',2,'color','r','LineWidth',1);

hold on

plot(Centar(1,1),Centar(1,2),'o','markersize',10,'color','black','LineWidth',2);

H=' TS';

text(Centar(1,1),Centar(1,2),H,'FontSize',12);

xlabel('koordinata x');

ylabel('koordinata y');

title('Centar konzuma');

pause;

%Pronalazenje clustera

n=input('Unesi broj clustera:');

figure

[center,U]=fcm(Kuzici,n);

maxU=max(U);

l=0;

for i=1:n

 indexi=find(U(i,:)==maxU);

 [X]=Kuzici(indexi,1);

 [Y]=Kuzici(indexi,2);

 Clusteri=[X Y];

 A=['Cluster',num2str(i),'.dat'];

 save(A,'Clusteri','-ascii','-tabs');

 [C]=dec2binvec(i-1,3);

 if i>7

 [C]=dec2binvec(i-8,3);

 end

 line(X,Y,'linestyle','none','marker','o','markersize',2,'color',[C]);

 hold on

 plot(center(i,1),center(i,2),'kx','markersize',10,'LineWidth',2);

 hold on

 G=[' ', 'C',num2str(i)];

 text(center(i,1),center(i,2),G,'FontSize',12);

 [P]=center(i,1);

 [Q]=center(i,2);

 Centri=[P Q];

 B=['Centar',num2str(i),'.dat'];

```

save(B,'Centri','-ascii','-tabs');
plot(Centar(1,1),Centar(1,2),'ko','markersize',10,'color','black','LineWidth',2);
hold on
H=' TS';
text(Centar(1,1),Centar(1,2),H,'FontSize',12);
xdata=[Centar(1,1),center(i,1)];
ydata=[Centar(1,2),center(i,2)];
line(xdata,ydata,'color','black','LineWidth',1);
hold on
l=l+1;
end
xlabel('koordinata x');
ylabel('koordinata y');
title('Centri clustera');
hold on
pause;

%Pronalazenje podclustera
k=input('Unesi broj podclustera:');
for m=1:l
    A=['Cluster',num2str(m),'.dat'];
    load (A,'-ascii')
    B=['Centar',num2str(m),'.dat'];
    load (B,'-ascii')
    if m==1
        D=Cluster1;
        E=Centar1;
    else
        if m==2
            D=Cluster2;
            E=Centar2;
        else
            if m==3
                D=Cluster3;
                E=Centar3;
            else
                if m==4
                    D=Cluster4;
                    E=Centar4;
                else
                    if m==5
                        D=Cluster5;
                        E=Centar5;
                    else
                        if m==6
                            D=Cluster6;
                            E=Centar6;
                        else
                            if m==7
                                D=Cluster7;
                                E=Centar7;
                            end
                        end
                    end
                end
            end
        end
    end
end

```



```

line(X,Y,'linestyle','none','marker','o','markersize',2,'color',[C]);
hold on
plot(center(i,1),center(i,2),'kx','markersize',5,'LineWidth',2);
hold on
Z=[' C',num2str(m),num2str(i)];
text(center(i,1),center(i,2),Z,'FontSize',8);
[R]=center(i,1);
[V]=center(i,2);
PodCentri=[R V];
W=['PodCentar',num2str(m),num2str(i),'.dat'];
save(W,'PodCentri','-ascii','-tabs');
plot(E(1,1),E(1,2),'kx','markersize',10,'color','black','LineWidth',2);
hold on
R=[' C',num2str(m)];
text(E(1,1),E(1,2),R,'FontSize',10);
xdata=[E(1,1),center(i,1)];
ydata=[E(1,2),center(i,2)];
line(xdata,ydata,'linestyle','--','color','black','LineWidth',1);
hold on
plot(Centar(1,1),Centar(1,2),'ko','markersize',10,'color','black','LineWidth',2);
hold on
H=' TS';
text(Centar(1,1),Centar(1,2),H,'FontSize',12);
xdata=[Centar(1,1),E(1,1)];
ydata=[Centar(1,2),E(1,2)];
line(xdata,ydata,'color','black','LineWidth',2);
hold on
end
end
xlabel('koordinata x');
ylabel('koordinata y');
title('Centri podclustera');
hold on
pause;

%Clusteri i podclusteri zajedno
figure
for m=1:l
A=['Cluster',num2str(m),'.dat'];
load (A,'-ascii')
B=['Centar',num2str(m),'.dat'];
load (B,'-ascii')
if m==1
D=Cluster1;
E=Centar1;
else
if m==2
D=Cluster2;
E=Centar2;
else
if m==3

```

```
D=Cluster3;
E=Centar3;
else
  if m==4
    D=Cluster4;
    E=Centar4;
  else
    if m==5
      D=Cluster5;
      E=Centar5;
    else
      if m==6
        D=Cluster6;
        E=Centar6;
      else
        if m==7
          D=Cluster7;
          E=Centar7;
        else
          if m==8
            D=Cluster8;
            E=Centar8;
          else
            if m==9
              D=Cluster9;
              E=Centar9;
            else
              if m==10
                D=Cluster10;
                E=Centar10;
              else
                if m==11
                  D=Cluster11;
                  E=Centar11;
                else
                  if m==12
                    D=Cluster12;
                    E=Centar12;
                  else
                    if m==13
                      D=Cluster13;
                      E=Centar13;
                    else
                      if m==14
                        D=Cluster14;
                        E=Centar14;
                      end
                    end
                  end
                end
              end
            end
          end
        end
      end
    end
  end
end
```


%%ALGORITAM SIMULIRANOG KALJENJA

```
function[gubici,uklj,isklj,cv_uklj,cv_isklj,isim,branch,broj_pokusaja,vrijeme]=  
Softic(casename,n_prek,n_uklj)
```

```
%Podaci za algoritam simuliranog kaljenja
```

```
T=1000;
```

```
%Read data
```

```
[baseMVA, bus, gen, branch] = feval(casename);
```

```
pr_baseMVA=baseMVA;
```

```
pr_bus=bus;
```

```
pr_gen=gen;
```

```
pr_branch=branch;
```

```
gubici=[];
```

```
uspj_korak=0;
```

```
broj_pokusaja=[];
```

```
vrijeme=[];
```

```
pokusaj=0;
```

```
uklj=[];
```

```
isklj=[];
```

```
cv_uklj=[];
```

```
cv_isklj=[];
```

```
korak=0;
```

```
%Start simulacije
```

```
t0 = clock;
```

```
isim=0;
```

```
while 1
```

```
    isim=isim+1;
```

```
%isim
```

```
    if isim>2 && brojacp < n_prek-n_uklj
```

```
        break
```

```
    end
```

```
%Read data
```

```
    baseMVA=pr_baseMVA;
```

```
    bus=pr_bus;
```

```
    gen=pr_gen;
```

```
    branch=pr_branch;
```

```
if isim>1
```

```
    if korak>0
```

```
        for ii=1:korak
```

```
            branch(uklj(ii),11)=1;
```

```
            branch(isklj(ii),11)=0;
```

```
        end
```

```
    end
```

end

```
n_branch=size(branch,1);  
n_bus=size(bus,1);
```

%Formiranje matrice za nalazenje puta

```
matrica_put=zeros(n_bus);  
for ii=1:n_bus  
    for jj=1:n_bus  
        matrica_put(ii,jj)=inf;  
    end  
end  
for ii=1:n_bus  
    matrica_put(ii,ii)=0;  
end  
for kk=1:n_branch  
    if branch(kk,11)==1  
        matrica_put(branch(kk,1),branch(kk,2))=1;  
        matrica_put(branch(kk,2),branch(kk,1))=1;  
    end  
end
```

%Nalazenje grane koja ce se ukljuciti: grana1 izmedju cvor1 i cvor2
nadji=ceil((n_prek-n_uklj)*rand);

%nadji

```
brojacp=0;  
nasao=0;  
for ii=(n_branch - n_prek + 1):n_branch  
    if branch(ii,11)==0  
        brojacp=brojacp+1;
```

%brojacp

```
    if brojacp==nadji  
        nasao=1;  
        cvor1=branch(ii,1);  
        cvor2=branch(ii,2);  
        grana1=ii;  
    end  
end  
end
```

%nasao

%Nalazenje puta izmedju cvor1 i cvor2 preko ukljucenih grana

```
[sp, spcost] = dijkstra(matrica_put, cvor1, cvor2);
```

%cvor1

%cvor2

%sp

%Broj prekidaca u nadjenom putu

```
brojac=0;
```

```

put=size(sp,2)-1;
%put
for ii=(n_branch-n_prek+1):n_branch
    if branch(ii,1)==1
        for jj=1:put
            if (branch(ii,1)==sp(jj)) && (branch(ii,2)==sp(jj+1))
                brojac=brojac+1;
            end
            if (branch(ii,1)==sp(jj+1)) && (branch(ii,2)==sp(jj))
                brojac=brojac+1;
            end
        end
    end
end
end

%brojacp

%Nalazenje slucajnog prekidaca izmedju nadjenih u putu
nadji=ceil(brojac*rand);

%nadji
brojac=0;
for ii=(n_branch-n_prek+1):n_branch
    if branch(ii,1)==1
        for jj=1:put
            if (branch(ii,1)==sp(jj)) && (branch(ii,2)==sp(jj+1))
                brojac=brojac+1;
                if brojac==nadji
                    cvor3=branch(ii,1);
                    cvor4=branch(ii,2);
                    grana2=ii;
                end
            end
            if (branch(ii,1)==sp(jj+1)) && (branch(ii,2)==sp(jj))
                brojac=brojac+1;
                if brojac==nadji
                    cvor3=branch(ii,1);
                    cvor4=branch(ii,2);
                    grana2=ii;
                end
            end
        end
    end
end
end
end

%cvor3
%cvor4
%grana2

korak=korak+1;
uklj(korak)=grana1;

```

```

isklj(korak)=grana2;
cv_uklj(korak,1)=cvor1;
cv_uklj(korak,2)=cvor2;
cv_isklj(korak,1)=cvor3;
cv_isklj(korak,2)=cvor4;
branch(grana1,11)=1;
branch(grana2,11)=0;
end

[MVABase, bus, gen, branch, success, et] = runpf(baseMVA, bus, gen, branch)
if success==1
    uspj_korak=uspj_korak+1;
    gubici(uspj_korak)=sum(abs(branch(:,12)+branch(:,14)));
    if uspj_korak>1
        pokusaj=pokusaj+1;
        razlika=gubici(uspj_korak)-gubici(uspj_korak-1);
        if razlika>0
            prihvanje=exp(-razlika/T);
            granica_prihv=rand;
            if prihvanje<granica_prihv
                korak=korak-1;
                uspj_korak=uspj_korak-1;
            else
                broj_pokusaja(uspj_korak-1)=pokusaj;
                vrijeme(uspj_korak-1)=etime(clock,t0);
                pokusaj=0;
            end
        else
            broj_pokusaja(uspj_korak-1)=pokusaj;
            vrijeme(uspj_korak-1)=etime(clock,t0);
            pokusaj=0;
        end
    end
end
else
    korak=korak-1;
end

% T=0.95*T
T=0.95*T;

if T<1.e-06
    break
end
end
return;

```