

Univerzitet Crne Gore
Elektrotehnički fakultet, Podgorica



FILIP ŠARIĆ

**HIBRIDNI METOD ZA PROCJENU GUBITAKA
SNAGE I ENERGIJE U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI
SREDNJEG NAPONA NA BAZI RASPOLOŽIVIH
DALJINSKI OČITANIH MJERENJA**

-MASTER RAD-

Podgorica, Septembar 2024. godine

PODACI I INFORMACIJE O STUDENTU

Ime i prezime: Filip Šarić

Datum i mjesto rođenja: 02.09.1998. godine, Podgorica, Crna Gora

Naziv završenog studijskog programa i godina završetka studija: Energetika i automatika, 2020. godine

INFORMACIJE O MASTER RADU

Naziv master studija: Energetika i automatika, smjer Elektroenergetski sistemi

Naslov rada: Hibridni metod za procjenu gubitaka snage i energije u distributivnoj mreži srednjeg napona na bazi raspoloživih daljinskih očitanih mjerena

Fakultet/Akademija na kojem je rad odbranjen: Elektrotehnički fakultet, Podgorica

UDK, OCJENA I ODBRANA MASTER RADA

Datum prijave master rada: 23.12.2022. godine

Datum sjednice Vijeća univerzitetske jedinice na kojoj je prihvaćena tema:

24.04.2024. godine

Mentor: Prof. dr Zoran Miljanić

Komisija za ocjenu/odbranu rada:

Prof. dr Vladan Radulović, ETF Podgorica, predsjednik

Prof. dr Zoran Miljanić, ETF Podgorica, mentor

Doc. dr Snežana Vujošević, ETF Podgorica, član

Datum odbrane: 18.11.2024. godine

Master rad

Filip Šarić

Ime i prezime autora: Filip Šarić, BSc

ETIČKA IZJAVA

U skladu sa članom 22 Zakona o akademskom integritetu i članom 18 Pravila studiranja na master studijama, pod krivičnom i materijalnom odgovornošću, izjavljujem da je master rad pod naslovom

„Hibridni metod za procjenu gubitaka snage i energije u distributivnoj mreži srednjeg napona na bazi raspoloživih daljinskih očitanih mjerenja”

moje originalno djelo.

Podnositelj izjave,
Filip Šarić, BSc

U Podgorici, dana 24.09.2024. godine



Lista korišćenih skraćenica

BFOA	Bacterial Foraging Optimization Algorithm
VAR	Voltage and Reactive
GIS	Geographic Information System
ADMS	Advanced Distribution Management System
SCADA	System Control and Data Acquisition
DSCADA	Distribution System Control and Data Acquisition
AMI	Advanced Metering Infrastructure
PV	Photo Voltaic
LsF	Load Factor
LdF	Loss Factor
ADMD	After Diversity Maximum Demand
SFSA	Stochastic Fractal Search Algorithm
OIE	Obnovljivi Izvori Energije
GA	Genetic Algorithm
PSO	Particle Swarm Optimization
SVD	State Vector Dimension
DBSCAN	Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise
TBP	Tehnička Baza Podataka
TS	Trafostanica
TR	Transformator

Predgovor

Gubici snage i energije su neizbjegna pojava u sistemu, i kao takve, potrebno ih je svesti na što manju moguću mjeru, kako bi se optimalno eksplorisao energetski sistem.

Značaj eksploracije električne mreže se sagleda u osiguravanju efikasnog i pouzdanog snabdijevanja potrošača električnom energijom. Efikasna eksploracija omogućava minimizaciju troškova proizvodnje, prenosa i distribucije električne energije, pri čemu se redukcijom gubitaka električne energije direktno utiče na povećanje performansi sistema. Krajnji efekat jeste iskorišćenje električne energije na najbolji mogući način i doprinos cjelokupnoj održivosti sistema.

U master radu je predstavljeno rješenje – hibridni metod, koji služi da izvrši proračun i aproksimaciju gubitaka snage i energije distributivnog sistema upotrebom raspoložive mjerne infrastrukture i metoda za proračun i aproksimaciju gubitaka snage i energije. Cilj metode jeste jednostavnost primjene, praktičnost, i optimizacija tehnoekonomske resurse srednjenačinske distributivne mreže - lokalizacijom dionica sa povećanim gubicima i njihovom analizom, razmatraju se načini za redukciju gubitaka na elementima od interesa. Na taj način, efikasnom redukcijom gubitaka, životni vijek elemenata je produžen, dok finansijska sredstva za „pokrivanje“ gubitaka se alociraju u druge sfere elektroenergetskog sistema.

Pouzdano određivanje gubitaka na distributivnom srednjenačinskom nivou je izazovno zbog topologije srednjenačinske mreže i broja elemenata koje mreža posjeduje, što podstiče upotrebu aproksimacija i naprednih tehnologija za monitoring.

Kombinacijom raspoloživih informacija koje su dostupne preko napredne mjerne infrastrukture i tehničke baze podataka, uz upotrebu metoda za proračun gubitaka snage i energije, vrši se proračun, aproksimacija i analiza krajnje dobijenih rezultata gubitaka snage i energije u srednjenačinskoj distributivnoj mreži, koju karakteriše problem deficit-a mjerjenja parametara režima. Upravo se otežavajući faktor deficit-a mjerjenja teži kompenzovati predstavljenom hibridnom metodom, u cilju dobijanja što preciznijih i indikativnih rezultata.

Master rad, kao jedna od mnogih kruna koju možemo staviti na našu glavu, predstavlja ozbiljno životno iskustvo. Za izradu istog je potrebno mnogo uloženog vremena koje je varijabilnog kvaliteta – nekada se i za par sati naprave najveći pomaci, a sa druge strane mogu proći i brojni dani bez ikakvog napretka u rješavanju problematike od interesa. Svaki od tih trenutaka je ključan u cilju postizanja želenog epiloga - da se na najbolji mogući način doprinese naučnoj oblasti koja se istražuje.

Najveću zahvalnost imam prema svojem mentoru, prof. dr. Zoranu Miljaniću, sa kojim sam uspješno izgradio zajedničku viziju. Od pisanja prijave rada, pa do dobijanja finalnih rezultata, nesebično je dijelio svoje iskustvo i ekspertizu, iskazivao visok entuzijazam i vjeru u konačni kvalitet i naučni doprinos samog rada, što je predstavljalo glavnu motivaciju u definisanju mene kao naučnika.

Zahvalan sam svojem ujaku Tigranu, ujni Tanji, porodici, svojim prijateljima i kolegama, koji su mi pružali podršku i bili tu za mene tokom dosadašnjih studija.

Filip Šarić

Maj 2024. godine

Ovaj master rad, kao vječni pečat u vremenu, posvjećujem svojoj majci Tamari, koja je čitavo svoje nepovratno, a sada i nenadoknadio vrijeme, uložila u mene.

Izvod rada

Motiv ovog rada je kreiranje hibridne metode za proračun gubitaka snage i energije u distributivnoj mreži srednjeg napona, u uslovima ograničenih mjerjenja, sa ciljem unapređenja njihove lokalizacije, prognoze, i redukcije. Kao ulazni podaci, razmatraju se predefinisani parametri mreže, konfiguracija mreže, ali i izmjerene vrijednosti napona, aktivne i reaktivne snage. Kao rezultat se dobijaju gubici snage i energije, po elementima, koji su proračunati ili aproksimirani, u zavisnosti od nivoa raspoloživih mjerjenja.

Problem pri proračunu, odnosno aproksimaciji gubitaka snage i energije na srednjennaponskom nivou, jeste nedostatak raspoloživih mjerjenja na nižim naponskim nivoima, i složenost mreže (radikalna karakteristika distributivne mreže sa velikim brojem elemenata). Ovim radom se predlaže kombinovana, hibridna metoda koja vrši proračun gubitaka snage i energije u srednjennaponskoj mreži. Prednost ove metode jeste njena sveobuhvatnost i primjenljivost za različite nivoe raspoloživosti mjernih podataka (konfiguracija mreže, parametri mreže, karakteristike konzuma) kao i dostupnih izmjerениh vrijednosti parametara (naponi, aktivna i reaktivna snaga) na petnaestominutnoj rezoluciji, na počecima i krajevima elemenata srednjennaponske mreže (vodova i transformatora).

Upotreba samo raspoloživih mjerjenja podrazumijeva potpunu pokrivenost mreže odgovarajućim mjerjenjima, dok zanemarivanje raspoloživih mjerjenja podrazumijeva aproksimacije koje dovode u pitanje preciznost rezultata. Kombinovanjem raspoloživih mjerjenja, zajedno sa matematičkim aparatom Trapezoidnog pravila i DistFlow metode, formira se hibridni algoritam kojeg karakteriše brzina (uslijed upotrebe već dostupnih podataka) a kao rješenje se dobijaju precizni i indikativni rezultati gubitaka snage i energije po individualnim elementima, na godišnjem i mjesecnom nivou, po uzorcima mjerjenja na 15-o minutnoj rezoluciji.

Na taj način, izvršena je lokalizacija problematičnih elemenata, čijim se saniranjem ubrzava proces redukcije gubitaka, povećava pouzdanost mreže, smanjuje trošak pokrivanja gubitaka. Za svrhu testiranja metode, razmatra se 35 kV i 10 kV mreža, zasnovana na realnoj srednjennaponskoj mreži.

Dobijeni rezultati gubitaka snage i energije u različitim vremenskim periodima su analizirani sa namjerom predlaganja eksplotacionih ili planerskih mjera. Na taj način se vrši realokacija kapitala sa polja gubitaka u svrhe adekvatnijeg planiranja elektrodistributivnog sistema, efikasnije eksplotacije elektrodistributivnog sistema, ali i smanjenja troškova koji su uzrokovani kupovinom električne energije na berzi.

Ključne riječi: Hibridni metod, distributivna mreža, srednji napon, gubici, snaga, energija

Abstract

The motive behind this thesis is, despite the deficit of available measurements, to create a method for calculating power and energy losses in a medium-voltage distribution network, aiming for more reliable forecasts and reductions. The input data considered are predefined network parameters, network configuration, as well as measured values of voltage, active, and reactive power. The results are power and energy losses, for every element in the network, which are calculated or approximated, depending on the level of available measurements.

The problem in calculating or approximating power and energy losses at the medium-voltage level is the lack of available measurements at lower voltage levels and the complexity of the network. This paper proposes a combined method that calculates losses in the medium-voltage network. The advantage that this method has is its broad application using different levels of measured data (network configuration, network parameters, load characteristics) and available parameters (voltage, active and reactive power) measured at a fifteen - minute resolution at the beginning and end of elements in the medium-voltage network (lines and transformers).

Using only available measurements implies complete network coverage with appropriate measurements, while not considering available measurements involves approximations that question the accuracy of the results. By combining available measurements with the mathematical tools of the Trapezoidal Rule and the DistFlow method, an algorithm is formed which is characterized by speed (due to the use of existing data), and accurate and indicative results of power and energy losses which are presented on an annual and monthly basis, based on measurement samples at a fifteen-minute resolution.

In this way, problematic elements are localized, and by fixing them, the process of reducing losses is accelerated, network reliability is increased, and the cost of covering losses is reduced. For testing the method, a 35 kV and 10 kV network based on a real medium-voltage network is considered.

The obtained results of power and energy losses in different time periods are analyzed with the intention of proposing operational or planning measures. This reallocates capital from the field of losses for more suitable planning of the power distribution system, more efficient operation of the power distribution system, and also reduces the costs caused by purchasing electrical energy on the market.

Keywords: Hybrid method, distribution network, medium voltage, losses, power, energy

Sadržaj

1.Uvod	1
2. Proračun i aproksimacija gubitaka snage i energije	4
2.1 Kombinovanje metoda za proračun i aproksimaciju gubitaka sa naprednom mjernom infrastrukturom	4
2.2 Analiza gubitaka snage i energije i preduzimanje mjera za redukciju	10
3. Gubici električne energije	14
3.1 Tehnički gubici	14
3.2 Netehnički gubici	16
3.3 Mjere za redukciju gubitaka snage i energije u srednjenačinskoj mreži	17
4. Metode za proračun i aproksimaciju gubitaka snage i energije. Metode za proračun tokova snaga	21
4.1 Metode za proračun gubitaka	23
4.1.1 Determinističke metode	23
4.1.2 Statističke metode	30
4.1.3 Metode zasnovane na fuzzy proračunima	31
4.1.4 Top Down i Bottom Up metode	32
4.1.5 Metoda globalnih pokazatelja	33
4.2 Metode za proračun tokova snaga za distributivnu mrežu	33
4.2.1 Newton Raphson metod	34
4.2.2 Gauss Seidel metod	36
4.2.3 Shirmohammadijev metod	37
4.2.4 DistFlow metod	38
5. Hibridni metod	40
5.1 Modelovanje mreže	42
5.2 Proračun gubitaka snage i energije	44
5.3 Aproksimacija gubitaka snage i energije	47
6. Implementacija hibridnog metoda	50
7. Prikaz i analiza rezultata	54
7.1 Srednjenačinska mreža 35 kV naponskog nivoa	54
7.2 Srednjenačinska mreža 10 kV naponskog nivoa	57
8. Zaključak	59
Literatura	61
Prilog	66

Popis slika

Slika 1. Grafički prikaz Top-Down i Bottom – Up metodologije.....	32
Slika 2. Hijerarhijsko označavanje čvorova.....	37
Slika 3. Primjer radijalne mreže sa označenim tokovima snaga.....	38
Slika 4. Blok šema algoritma funkcionisanja hibridnog metoda.....	41
Slika 5. Ekvivalentna „I“ šema modela voda.....	42
Slika 6. Ekvivalentna „ Γ “ šema modela transformatora.....	42
Slika 7. Grafički prikaz trapezoidnog pravila.....	45
Slika 8. Nasumično generisani uprošćeni dijagram opterećenja.....	46
Slika 9, 10, 11 Uticaj rezolucije odbiraka na preciznost rezultata.....	46
Slika 12. Algoritam za proračun gubitaka snage i energije za 35 kV mrežu.....	46
Slika 13. Algoritam za aproksimaciju gubitaka snage i energije za 10 kV mrežu.....	49
Slika 14. Prikaz testne 35 kV mreže.....	51
Slika 15. Prikaz testne 10 kV mreže.....	52
Slika 16. Grafički prikaz mjesecnih gubitaka energije 35 kV mreže.....	55
Slika 17. Godišnji gubici energije elemenata 35 kV mreže.....	55
Slika 18. Poređenje gubitaka energije transformatora na mjesecnom nivou.....	56
Slika 19. Gustina mjerenih gubitaka snage transformatora na godišnjem nivou.....	56
Slika 20. Grafički prikaz mjesecnih gubitaka energije 10 kV mreže.....	57
Slika 21. Godišnji gubici energije elemenata 10 kV mreže.....	57

Popis tabela

Tabela 1. Popis literature, primjenjeni metod i nivo prisutne AMI.....	9
Tabela 2. Popis literature, primjenjeni metod i rješenje za redukciju gubitaka.....	13
Tabela 3. Greška u procjeni gubitaka u zavisnosti od rezolucije mjerjenja.....	13
Tabela 4. Specifikacije transformatora 35/10 kV.....	47
Tabela 5. Specifikacije transformatora 10/0.4 kV.....	47
Tabela 6. Gubici energije cijelokupne 35 kV mreže.....	54
Tabela 7. Gubici energije cijelokupne 10 kV mreže.....	58
Tabela 8. Ukupni gubici 10 kV mreže (zanemareni gubici transformacija).....	58

1. Uvod

Istraživanje tematike gubitaka snage i energije je prvo bitno vođeno osnovnim motivom – efikasnošću funkcionisanja elektroenergetskog sistema. Vremenom, kako se svijet razvijao, zajedno sa njim su rasli i zahtjevi za električnom energijom, što je dovelo do širenja električnih mreža. Navedeni izazovi su bili prepoznati od strane inženjera, i konstantno se radilo na tome da se omogući ekonomičnost i održivost sistema pri snabdijevanju konzuma zahtijevanom količinom električne energije.

Elektrodistributivne mreže predstavljaju ključnu komponentu elektroenergetskog sistema, funkcionišući kao veza između prenosne mreže i krajnjih korisnika. Njihova osnovna funkcija jeste obezbjeđivanje pouzdanog snabdijevanja električnom energijom za kuće, preduzeća i industrijske objekte, igrajući ključnu ulogu u isporuci električne energije za različite potrebe. Međutim, distribucija električne energije je podložna gubicima snage i energije, što značajno utiče na ukupnu efikasnost sistema i troškove isporuke.

Gubici snage u distributivnim mrežama proizilaze iz aktivnih i reaktivnih elemenata koji figurišu u njoj. Aktivni gubici nastaju zbog otpora provodnika i drugih komponenata u distributivnom sistemu i mjeru se u procentima snage koja se gubi u vidu toplove prilikom distribucije električne energije krajnjim potrošačima. Reaktivni gubici proizilaze iz toka reaktivne snage potrebne za održavanje elektromagnetskih polja neophodnih za rad induktivnih uređaja.

Gubici energije u distributivnim mrežama odnose se na kumulativnu količinu električne energije koja se gubi u vidu toplove tokom procesa distribucije u određenom vremenskom periodu. Ovi gubici javljaju se širom mreže, obuhvatajući nadzemne i podzemne vodove, transformatore i druge distributivne komponente.

Faktori koji utiču na gubitke energije su:

- Dužina provodnika
- Površina poprečnog presjeka provodnika
- Naponski nivo mreže
- Karakteristike opterećenja
- Karakteristike mreže
- Faktor snage
- Kvalitet opreme

Analiza i minimizacija gubitaka snage i energije imaju značajne ekonomske, ekološke i operativne benefite:

- Ekonomija – Izgubljena energija se mora “pokriti” kupovinom električne energije na berzi. Ta kupljena energija se mogla potencijalno iskoristiti da ispuni potrebe potrošača, ili da smanji potrebu za dodatnom proizvodnjom električne energije, što utiče na smanjenje troškova i za proizvođače i za potrošače.
- Ekologija - Povećani gubici doprinose povećanim emisijama štetnih materija, gasova, čime se dalje pogoršava efekat staklene bašte i degradira okolina. Redukcijom gubitaka se smanjuje karbonski otisak i pospješuje se održivost elektroenergetskog sistema.
- Kvalitet pogona mreže - Povećani gubici dodatno naprežu elemente sistema i brže ih degradiraju, što negativno utiče na održivost elektroenergetskog sistema.

Predmet istraživanja obuhvata analizu gubitaka snage i energije u srednjenaponskoj elektroenergetskoj mreži, konkretno na naponskim nivoima 35 kV i 10 kV, i na odgovarajućim energetskim elementima, uključujući vazdušne vodove, kablovske vodove i distributivne transformatore. Analiziranjem odgovarajuće jednopolne šeme mreže, uklopnih stanja mreže i dostupnih mjerena, razvijen je algoritam za proračun gubitaka snage i energije po pojedinim elementima, ali i čitavih naponskih nivoa.

Glavni izazov jeste procjena gubitaka u slučaju nedostatka mjerena, što je naročito izraženo na naponskom nivou od 10 kV u srednjenaponskim mrežama. Prioritet je identifikacija elemenata sa povećanim gubicima na tom nivou, u cilju efikasnog smanjenja gubitaka, što doprinosi poboljšanju upravljanja i eksploracije elektroenergetske mreže, kao i optimizaciji tehnokonomskih troškova.

Analizom postojećih tehnika za procjenu gubitaka, razvijen je hibridni algoritam koji u velikoj mjeri uvažava informacije napredne mjerne infrastrukture. Kao osnova, razmatrane su metode koje su zasnovane na informacijama sistemskih parametara (aktivna otpornost, reaktivna otpornost, dužina vodova, topologija mreže, karakteristike transformatora) i režimskih parametara (dnevni dijagrami opterećenja, naponi).

Podijeljenost sistemskih parametara na determinističke i probabilističke (statističke) uslovjava upotrebu odgovarajućih metoda za proračun gubitaka. Determinističke informacije obuhvataju fizičke parametre sistema, dok je funkcionisanje samog sistema stohastičke prirode, zavisno od nasumičnih promena mnogih faktora.

Cilj istraživanja je formiranje hibridnog algoritma koji, koristeći podatke konfiguracije mreže i njenih parametara, omogućava proračun i procjenu gubitaka snage i energije, na godišnjem i mjesecnom nivou, po svim elementima, sumarno, uzimajući u obzir postojeću mjeru infrastrukture na srednjenaponskom nivou. Kroz upotrebu dostupnih mjernih informacija na 15-o minutnoj rezoluciji, rezultati algoritma postaju pouzdaniji, indikativniji i precizniji.

Krajnji efekat istraživanja je unapređenje analize gubitaka na pojedinim elementima i celokupnom distributivnom sistemu srednjeg napona. Analizom rezultata dobijenih pomoću hibridnog algoritma, moguće je lokalizovati elemente sa najlošijom statistikom gubitaka u srednjenaponskoj mreži, čime se omogućava prioritetsko saniranje u skladu sa težinom gubitaka i značajem elementa u planiranju.

Predloženi hibridni metod je modelovan koristeći Microsoft Excel (za formatiranje i obradu podataka) i MATLAB softverskog paketa (za proračun i aproksimaciju) u skladu sa testnim sistemom zasnovanim na realnom elektrodistributivnom sistemu, opravdavajući opštost metode i njenu primjenu u proizvoljnim distributivnim sistemima.

Struktura rada je organizovana kroz osam poglavlja:

- U prvom poglavlju je predstavljen uvod u tematiku od interesa istraživanja
- U drugom poglavlju je predstavljen pregled dosadašnjih istraživanja vezanih za temu od interesa uz ključna zapažanja istraživača
- U trećem poglavlju su predstavljeni gubici električne energije, njihova osnovna podjela na tehničke i netehničke gubitke i njihova dalja klasifikacija, uz predstavljanja načina za redukciju gubitaka kao i krajnje efekte redukcije gubitaka
- U četvrtom poglavlju je opisan opšti cilj proračuna i aproksimacije gubitaka snage i energije. Predstavljene su metode za proračun tokova snaga i njihovi rezultati, na kojima su zasnovane metode za proračun gubitaka snage i energije. Predstavljena je

klasifikacija metoda za proračun tokova snaga i metoda za proračun gubitaka snage i energije.

- U petom poglavlju su detaljno opisane glavne karakteristike hibridnog metoda za proračun i aproksimaciju gubitaka snage i energije. Predstavljen je njegov princip rada, način modelovanja mreže za analizu gubitaka u distributivnoj mreži, i matematički model proračuna i aproksimacije gubitaka snage i energije. Na osnovu raspoloživih podataka, kao metod za proračun gubitaka je upotrijebljen DistFlow metod uz kombinovanu primjenu sa Trapezoidnim pravilom, dok je za aproksimaciju uzet u obzir uticaj opterećenja okolnih trafostanica 10/0.4 kV za formiranje dijagrama opterećenja trafostanica 10/0.4 kV za koje su dijagrami opterećenja nepoznati.
- U šestom poglavlju se prikazuje praktična primjena hibridnog metoda na testnom sistemu koji je zasnovan na realnom distributivnom sistemu. Predstavljene su karakteristike sistema, informacije sa kojima se raspolaze, usvojene aproksimacije. Vremenski period analize je 2021. godina, dok je vremenska rezolucija mjerena podataka koji su upotrijebljeni u analizi 15-o minutna, što pozitivno utiče na indikativnost i preciznost rezultata.
- U sedmom poglavlju su predstavljeni i analizirani rezultati koji su dobijeni primjenom hibridnog algoritma na opštem testnom sistemu. Prikazani su gubici snage i energije na svim individualnim elementima 10 kV i 35 kV mreže, što obezbjeđuje indikativnost rezultata. Prikazani su gubici snage i energije, kvantitativno i procentualno, po naponskim nivoima, na mjesecnoj i godišnjoj rezoluciji. Analizirane su uočene specifičnosti pojedinih elemenata na osnovu rezultata.
- U osmom poglavlju je predstavljen zaključak, u kojem je dat osvrt na opštu problematiku gubitaka i alat koji je predložen za rješavanje istog. Nakon zaključka slijedi popis korišćene literature, i prilog.

2. Proračun i aproksimacija gubitaka snage i energije

Mjerenje parametara elemenata konstantno rastućih i usložnjavajućih sistema nižih naponskih nivoa je kompleksno (složenost mreže, nemogućnost jednovremenog očitavanja instrumenata, ekomska neisplativost ugradnje velikog broja mjernih instrumenata), što predstavlja izazov za proračun gubitaka u srednjennaponskim distributivnim mrežama. Greške u mjerjenim podacima, raznovremeno očitavanje uređaja, nedostatak mjerne opreme i složenost mreže doprinose smanjenju stepena tačnosti informacija, što utiče na odabir pristupa za proračun gubitaka, gde se kao osnova koriste poznate informacije iz baza podataka o fizičkim parametrima sistema. Navedene otežavajuće okolnosti su motivisale autore da na razne načine uspiju da riješe te probleme, tako što će formirati metodu koja koristi konkretna mjerjenja karakterističnog sistema, pri čemu je moguće koristiti istu metodu na sistemima koja imaju jednako ili bolje razvijenu naprednu mjernu infrastrukturu.

2.1 Kombinovanje metoda za proračun i aproksimaciju gubitaka sa naprednom mjernom infrastrukturom

U zavisnosti od raspoloživih početnih informacija, postupak proračuna i aproksimacije gubitaka snage i energije se odvija uz veću ili manju upotrebu napredne mjerne infrastrukture, u cilju formiranja metoda koje će preciznije proračunati iste, ili da uprkos deficitu mjerjenih parametara sistema omoguće dovoljno dobar uvid u gubitke na odgovarajućem vremenskom intervalu (godina, mjesec), ili se detektuju elementi sa povećanim gubicima, za koje se naknadno vrši dodatna analiza.

U [1] i [2] je naglašen problem deficitu raspoloživih mjerjenja u distributivnoj mreži srednjeg napona, a posebno na niskom naponskom nivou. Kao razlozi su navedeni: poteškoće u implementaciji mjernih sistema, ekomska neisplativost implementacije istih, nepovoljne lokacije za implementaciju. Razvija se metod koji kombinuje analitički pristup za proračun i raspoloživa mjerjenja napojnog izvoda, kako bi aproksimirali gubitke u distributivnim transformatorima u Bottom – Up varijanti: računaju se gubici individualnih transformatora upotrebom faktora gubitaka LsF (*Loss Factor*) i faktora opterećenja LdF (*Load Factor*), potom se sumiraju kako bi se dobili ukupni gubici transformatorskih jedinica. Faktor gubitaka LsF opisuje prosječne energetske gubitke tokom perioda prenosa električne energije. Idealan način za proračun ovih gubitaka bio bi integracija kvadrata trenutnih odnosa stvarnog opterećenja prema nominalnom opterećenju, ali je ovo u praksi teško izvodljivo. Zbog toga je razvijena metoda koja koristi LdF i dodatne faktore za procjenu gubitaka. Praktična formula za LsF uključuje kvadrat faktora opterećenja uz korekciju na osnovu minimalnog i maksimalnog opterećenja. Ovaj faktor se koristi za proračun gubitaka u namotajima transformatora, koji se povećavaju sa kvadratom trenutnog opterećenja. Faktor opterećenja LdF se odnosi na odnos prosječne snage koja se koristi tokom određenog perioda prema maksimalnoj traženoj snazi u istom periodu. Ovaj faktor mjeri stepen iskorišćenosti sistema za snabdijevanje energijom. Povećavanjem ovog faktora može se odložiti potreba za povećanjem kapaciteta postojećih transformatora ili čak izgradnjom novih kapaciteta za generisanje i prenos energije. Na ovaj način, LdF pruža uvid u efikasnost sistema.

Pristup za proračun tehničkih i netehničkih gubitaka u distributivnim mrežama korišćenjem ekvivalentne operativne impedanse preko koje je sistem predstavljen (ekvivalentiran) je opisan u [3]. Ovaj pristup omogućava da se za sistem u realnom vremenu proračunaju aktivni i reaktivni gubici snage i energije uz minimalno angažovanje računarskih resursa, množenjem kvadrata struje injektirane u vod i odgovarajuće impedanse. Ekvivalentna operativna impedansa predstavlja kompleksnu funkcionalnu vezu između ukupnih gubitaka električne mreže i kvadrata efektivne vrijednosti struje injektirane u interesnoj tački mreže, gdje najčešće ta impedansa predstavlja cijeli sistem koji se analizira. Metoda ekvivalentne operativne impedanse se koristi za proračun tehničkih i netehničkih gubitaka pomoću izraza koji uključuje aktivne, reaktivne gubitke i injektiranu struju. Ova metoda omogućava izračunavanje gubitaka tako što množi kvadrat efektivne struje injektirane u mrežu sa operativnim otporom i reaktansom, čime se dobija odgovarajući aktivni i reaktivni gubitak sa minimalnim angažovanjem računarske snage. Za povećanje preciznosti rezultata, koriste se mjereni podaci i podaci iz baze podataka sistema: transformatori (tačka priključenja, broj namotaja, nominalna snaga, regulacioni odcjep, otpornost i reaktansa), vodovi (tačka priključenja, broj i redoslijed faza, dužina, električni parametri voda).

Strategija za redukciju gubitaka snage i energije u srednjenačanskoj distributivnoj mreži je predstavljena u [4], ističući njihovu važnost u efikasnosti i finansijskoj stabilnosti energetskog sektora. Kombinovanjem tehničkih baza podataka sistema iz kataloga proizvođača, podacima iz GIS – a, zajedno sa mjerenim vrijednostima, uz odgovarajući softver, analiziraju se gubici snage i energije. Usljed nedostatka raspoloživih mjerena kod distributivnih transformatora, za proračun gubitaka u transformatorima se koristi ADMD (*After Diversity Maximum Demand*) metoda opisana kao način za procjenu opterećenja na distributivnim transformatorima. ADMD predstavlja prosječnu maksimalnu potražnju nekoliko potrošača uzimajući u obzir varijacije u njihovim vremenima korišćenja električne energije. ADMD se izračunava dijeljenjem maksimalne potražnje grupe potrošača sa brojem potrošača. Ovaj parametar se zatim koristi za izračunavanje opterećenja na transformatoru tako što se pomnoži sa brojem tačaka napajanja, ili mjernih mjesta na datom distributivnom transformatoru. Ova metoda omogućava procjenu ukupnog opterećenja kada precizni podaci nisu dostupni na terenu, pružajući pristupačno rješenje za procjenu potrebne snage transformatora u stvarnim uslovima. Kao rezultat, predlažu se adekvatne mjere redukcije ugradnjom baterija kondenzatora koje nisu koncentrisane na jednom mjestu, već raspodijeljene po mjestima gdje je potrebna reaktivna kompenzacija snage (dugi vodovi sa visokim gubicima), ali i postavljanje vodova bolje provodnosti.

Autori su izvršili proračun tehničkih gubitaka snage i energije na osnovu modela mreže (odgovarajućih uklopnih stanja) i vrijednosti distribuiranih opterećenja (opterećenja su raspoređena duž voda) upotrebom metode vršnih opterećenja, i prikazali ih u [5]. Metoda je zasnovana na postojećim dostupnim mjerenjima, proračunom i modelom mreže. Vrši se proračun tokova snaga u srednjenačanskoj (10 kV) i niskonačanskoj (0,4 kV) mreži i procjeni tehničkih gubitaka u transformatorima. Tehnički gubici se razdvajaju prema načinskim nivoima, čime se dobija preciznija slika gubitaka u različitim djelovima distributivne mreže. Kao rezultat, dobijene su odgovarajuće lokacije koje imaju povećane gubitke, odnosno prioritetna područja koja bi trebalo prioritetno kontrolisati. Predlažu se optimalne raspodjele opterećenja, izgradnja nove infrastrukture, sprovođenje kontrole mjernih mjesta kod krajnjih kupaca. Prednost metode jeste njena jednostavna primjena, dok su mane reprezentativnost rezultata samo na godišnjoj rezoluciji (usljeđ nejednovremenosti

očitavanja) i rad sa velikim brojem podataka, što motiviše da se gubici lokalizuju kako bi se detaljnije odradila analiza nekom drugom metodom na dionicama od interesa.

U [6] je odrađena analiza tehničkih gubitaka u distributivnoj mreži, proračunom tokova snaga, uz korekcije pomoću mjerena sa strane potrošača, čime se uzima u obzir neovlašćena potrošnja. Upotrebom dnevnih dijagrama opterećenja potrošača i proračunom tokova snaga, dobija se dijagram opterećenja svakog elementa mreže od interesa (Bottom – Up pristup). Poređenjem ovako dobijenih dijagrama opterećenja elemenata, sa dijagramima opterećenja koja su dobijena na osnovu mjerena, ustanovljena su 4 faktora koja utiču na razliku između stvarnih i aproksimiranih dijagrama opterećenja: greške pri prikupljanju mjerih informacija, netehnički gubici, nejednovremenost očitavanja raspoloživih mjerena, i promjena topologije mreže. Kako bi se redukovala razlika između realnih i aproksimiranih dijagrama opterećenja, vrši se proračun korekcionih faktora, čije množenje sa vrijednostima opterećenja dovodi do ujednačavanja mjerene energije i procijenjene energije. Glavni cilj primjene korekcionih faktora je usklađivanje energije iz procijenjene krive opterećenja sa energijom iz mjerih podataka, bez mijenjanja samog profila krive. Kroz ovaj proces omogućava se preciznije određivanje tehničkih i netehničkih gubitaka u mreži. Korekcioni faktori primjenjuju se na procijenjene vrijednosti energije na niskonaponskim potrošačima, jer su razlike između procijenjene i mjerene energije u velikoj mjeri vezane za te potrošače. Metoda proračuna korekcionih faktora polazi od toga da se procijenjena energija na kraju određenog segmenta distributivne mreže izračuna kao zbir energije naplaćene potrošačima, energije varijabilnih i fiksnih gubitaka, te energije potrošene od strane potrošača na srednjem naponu. Korekcioni faktor se računa rješavanjem kvadratne jednačine koja povezuje procijenjene i mjerene vrijednosti energije. Primjenom korekcionih faktora, ukupna energija procijenjene krive opterećenja postaje jednak energiji mjerene krive, čime se smanjuju razlike.

Za razliku od prethodnih metoda, u [7] su analizirani tehnički gubici u distributivnoj 35 kV mreži korišćenjem visoke prisutnosti informacija napredne mjerne infrastrukture, uz značaj informacije gdje i kako investirati kako bi redukovali iste. Polazna osnova za preciznost proračuna gubitaka jesu mjerena SCADA sistema (prosječne vrijednosti struja po vodovima, prosječne vrijednosti struje, aktivne i reaktivne snage transformatora, kao i prosječne vrijednosti napona u čvorovima mjerih na satnom intervalu), podataka iz tehničke baze podataka sistema(impedanse i admitanse vodova, aktivni i reaktivni gubici transformatora, topologija mreže) i podataka komercijalne baze podataka sa strane potrošnje (registrovane vrijednosti aktivne, reaktivne snage i vršnih opterećenja na mjesecnom nivou). Za proračun tokova snaga se koriste jednostavne jednačine za proračun pada napona na vodu, kao i za proračun aktivnih i reaktivnih gubitaka (omogućeno raspoloživim mjeranjima), što je prednost pri posjedovanju velikog broja raspoloživih mjerena.

U [8] se predstavlja metoda za procjenu tehničkih gubitaka u distributivnoj mreži i uticaj parametara krive opterećenja (faktor opterećenja, faktor gubitaka, koeficijent varijacije, koeficijent gubitaka) koji utiču na proces aproksimacije gubitaka. Faktor opterećenja predstavlja odnos između prosječnog opterećenja sistema u određenom periodu i maksimalnog opterećenja zabilježenog u tom periodu. Ovaj faktor daje sliku o tome koliko je sistem opterećen u prosjeku u odnosu na svoje kapacitete, pri čemu veći faktor opterećenja znači stabilnije opterećenje i manju vjerovatnoću za ekstremne gubitke. Formula za izračunavanje faktora opterećenja je jednostavan odnos prosječnog opterećenja prema maksimalnom opterećenju. Faktor gubitaka se koristi za izračunavanje energetskih gubitaka u djelovima sistema gdje je protok struje proporcionalan opterećenju. Ovaj faktor omogućava procjenu ukupnih gubitaka tokom određenog vremenskog perioda, na osnovu gubitaka pri

maksimalnom opterećenju. Faktor gubitaka je povezan sa kvadratom faktora opterećenja, jer su gubici proporcionalni kvadratu struje. Time, faktor gubitaka daje realniju sliku ukupnih gubitaka nego samo maksimalno opterećenje, jer uzima u obzir promjene u opterećenju tokom vremena. Koeficijent varijacije je mjera disperzije opterećenja tokom vremena. On prikazuje koliko se opterećenje u sistemu razlikuje od svog prosjeka. Veći koeficijent varijacije znači da su opterećenja u sistemu nestabilna, što može dovesti do većih tehničkih gubitaka. Ovaj koeficijent se računa kao odnos standardne devijacije opterećenja prema medijani opterećenja. Koficijent varijacije je bezdimenzioni broj. Koeficijent gubitaka je dodatni parametar koji se koristi za poboljšanje procjene tehničkih gubitaka. On predstavlja korektivni faktor koji se primjenjuje u formulama za izračunavanje energetskih gubitaka, i koristi se posebno kada je potrebno uzeti u obzir i prosječnu potrošnju, a ne samo trenutna ili maksimalna opterećenja. Koeficijent gubitaka pomaže da se procjena gubitaka prilagodi specifičnostima sistema, kao što su promjene u opterećenju i struktura mreže. Prednost ove metode jeste jednostavna primjena i upotreba malog seta dostupnih početnih podataka, dok su mane stohastičnost vršnog opterećenja i njegovo mjerjenje sa nižom preciznošću, što je upravo razlog navođenja autora da bi trebalo izbjegavati estimaciju gubitaka energije na osnovu podataka o vršnom opterećenju.

U [9] se vrši proračun gubitaka električne energije uz primjenu metode vršnog opterećenja (tau metoda), uvažavajući bitan faktor konfiguracije dijagrama opterećenja i njegovih odgovarajućih parametara (podatak o maksimalnom aktivnom opterećenju, podatak o minimalnom aktivnom opterećenju, podatak o energiji u toku konkretnog obračunskog perioda, vrijeme korišćenja maksimalnog aktivnog opterećenja, odnos minimalnog i maksimalnog opterećenja, koeficijent ravnomernosti dijagrama opterećenja). Pokazalo se da je metodu vršnih opterećenja poželjno koristiti u mrežama kod kojih je ograničena informaciona baza parametara elemenata i režima rada. Za odabir odgovarajućeg parametra vremena trajanja opterećenja se razmatraju prethodno pomenuti parametri dijagrama opterećenja, čime se povećava njegova preciznost i uticaj na krajnji rezultat. U [10] se razmatra metodologija za procjenu tehničkih gubitaka u distributivnim mrežama. Predlaže se energetski model koji se zasniva na karakteristikama vodova i profilima opterećenja. Metoda uključuje modelovanje vodova sa specifičnim parametrima, poput faktora opterećenja, dužine voda, raspodjеле opterećenja duž voda i vršnog opterećenja. Za procjenu tehničkih gubitaka, koriste se funkcije vršnih gubitaka snage koje se zatim množe sa faktorom opterećenja, faktorom gubitaka i vremenskim periodom. Pristup zahtijeva minimalni skup ulaznih podataka i pruža dovoljno precizne rezultate (dužina voda, raspored opterećenja duž voda, vršno opterećenje, profil opterećenja, nominalna snaga transformatora, vršno opterećenje transformatora, gubici u bakru, gubici u gvožđu) gdje je proračun izvršen pomoću faktora gubitaka i opterećenja. Autori su pokazali da dužina vodova i vršno opterećenje ne utiču mnogo na grešku rezultata (preuzeti iz tehničke baze podataka), dok su veći uticaji na osjetljivost rezultata od strane faktora snage, faktora gubitaka i faktora opterećenja, zato što su oni razmatrani na sistemskom nivou.

Praktična metoda teorijskog proračuna gubitaka distributivnim mrežama 10 kV zasnovanu na DSCADA (Distributivna SCADA) je predstavljena u [11]. Predložena metoda razmatra informacije o potrošačima i potrošnji energije kako bi se dobili stvarni podaci o opterećenju. Problem nedostatka mjerjenja u čvorovima se rješava na dva načina: dijagram opterećenja se formira na osnovu poznatog podatka dijagrama opterećenja napojnog voda i njegove distribucije na „nizvodne” elemente, na osnovu proporcionalnog odnosa opterećenja transformatora i njegove instalisane snage (gruba aproksimacija), dok je drugi način pronalaženje tipa konzuma koji transformator napaja, i upotrebom odgovarajućih konzumskih koeficijenata za formiranje karakterističnih dijagrama opterećenja istih. Uzimanje u obzir

promjene napona tokom rada mreže, dodatno poboljšava tačnost proračuna gubitaka. U postupku proračuna koristi se metoda ažuriranja naprijed – nazad, kako bi se iterativno računale promjene u naponu i opterećenju u različitim čvorovima mreže. Ova metoda omogućava proračun ne samo ukupnih gubitaka u mreži, već i detaljnu analizu gubitaka u različitim granama mreže, kao i gubitke u transformatorima. Takođe, metodologija omogućava preciznu procjenu kako fiksni tako i varijabilnih gubitaka, što je od ključnog značaja za optimizaciju rada mreže.

U [12] je predstavljena nova metoda za proračun gubitaka snage i energije u elektrodistributivnim sistemima. Princip je zasnovan na sekcionisanju distributivnog sistema u 8 segmenata i 2 modula. Prvi modul metode se sastoji iz 8 segmenata, od kojih se svaki individualno uzima u obzir pri proračunu gubitaka: gubici u obračunskim mjernim uređajima (fiksna vrijednost u zavisnosti od tipa uređaja), gubici od tačke priključenja do krajnjeg potrošača (zasnovani na tipičnim parametrima dužine i otpornosti vodova, kao i dijagramima opterećenja), gubici u niskonaponskoj mreži su određeni proračunom tokova snaga u svakom očitanom mjerenuju na odgovarajućoj vremenskoj rezoluciji dnevnog dijagrama opterećenja, gubici u distributivnim transformatorima su proračunati uz razmatranje gubitaka i u gvožđu i u bakru(uz podatke nominalnih snaga transformatora i njihovih dijagrama opterećenja), tehnički gubici u srednjenačkoj distributivnoj mreži se računaju proračunom tokova snaga na osnovu dijagrama opterećenja sa primarne strane distributivnih transformatora, razlika između primljene energije (ulaz u distributivni sistem) i naplaćene energije krajnjim potrošačima(izlazna energija) se pripisuje netehničkim gubicima. Drugi modul metode, kao inicijalni podatak, uzima sve podatke o gubicima pojedinačnih segmenata i kao rezultat formira globalni bilans energije za čitav elektrodistributivni sistem od interesa. Prednost ove metode jeste detaljan i precizan rezultat u pogledu gubitaka, dok je manja preuslov visoko razvijene mjerne infrastrukture.

U [13] je postavljen akcenat na iskorišćenju već postojećih sistema kako bi se što preciznije proračunali gubici u distributivnom sistemu. Korišćenjem GIS (*Geographic Information System*), ADMS (*Advanced Distribution Management System*), SCADA (*System Control and Data Acquisition*), AMI (*Advanced Measurement Infrastructure*) izvršena je detaljnija analiza distributivnih sistema, što omogućava bolji uvid u ponasanje i analizu sistema, i njegovo krajnje planiranje. Kao problem, predstavljeno je da niži naponski nivoi nemaju dovoljno informacija i nemaju detaljno razrađene modele, što utiče na teže formiranje modela i simulacije distributivnog sistema u cilju kvalitetnijeg i efikasnijeg planiranja elektrodistributivnih sistema. Za formiranje metode se ističu tri bitna koraka: sakupljanje podataka iz dostupnih sistema i baza podataka, modelovanje distributivne mreže i finalno izvršenje proračuna tokova snaga metodom distribucije opterećenja - integrисано modelovanje srednjenačkih i niskonaponskih mrež za proračun energetskih gubitaka pomoću odgovarajućeg softvera. Upotreba GIS i AMI sistema za proračun gubitaka je predstavljena u [14]. Upotreba GIS sistema omogućava formiranje modela mreže i njegovu interpretaciju u softveru za analizu električnih mreža od izbora, dok napredni mjerni sistemi mjeri parametre od interesa (naponi, aktivne i reaktivne snage) i omogućavaju pristup mjeranim podacima u odgovarajućoj vremenskoj rezoluciji. Poteškoće pri evaluaciji gubitaka energije upotrebom raspoloživih mjeranja: nejednovremenost mjereneh vrijednosti, greške pri očitavanju, mjerena koja nedostaju, neispravna merna oprema, problem skladištenja podataka. Svaki deficit mjeranja za sobom povlači uvođenje aproksimacija koje utiču na tačnost konačnog rezultata. Autori ukazuju da je zbog obima podataka mjernih sistema preporučljivija analiza na kraćem vremenskom periodu, kako bi se iskoristila indikativnost rezultata u periodima visokog opterećenja ili perioda visokih troškova, i da se na osnovu njih odradi detaljnija analiza, u cilju optimalnog rasporeda računarskih resursa.

U sledećoj tabeli (1) je prikazan popis pomenute literature, metoda koju autori koriste, kao i nivo prisutne napredne mjerne infrastrukture. Evidentan je nedostatak detaljne AMI u većini literatura. Stepen prisustva AMI je označen sa:

- Nizak – Mjerenje je prisutno na glavnom napojnom vodu, i na samim krajnjim tačkama izvoda (mjesto predaje energije trafostanicama, mjesto predaje energije potrošačima)
- Visok – Kompletan pokrivenost mjerenjem (napojne tačke elemenata, predajne tačke elemenata)
- Srednji – Nivo mjerenja koji posjeduje karakteristike kategorije „Nizak”, a ne posjeduje potpunu pokrivenost kategorije „Visok”

Literatura	Metodologija	Stepen primjene AMI
[1], [2]	Bottom - Up (Faktor opterećenja, Faktor gubitaka)	Nizak
[3]	Ekvivalentna Operativna Impedansa	Srednji
[4]	After Diversity Maximum Demand	Srednji
[5]	Metoda vršnih opterećenja	Nizak
[6]	Bottom - Up	Srednji
[7]	Jednačine pada napona na elementu	Visok
[8]	Faktor opterećenja, Faktor gubitaka	Nizak
[9]	Metoda vršnih opterećenja	Nizak
[10]	Analiza potrošačkih profila	Nizak
[11]	Top - Down	Nizak
[12]	Top - Down i Bottom - Up	Visok
[13]	Analiza distribucije opterećenja	Nizak
[14]	Analiza dijagrama opterećenja	Nizak
[15]	Bottom - Up	Nizak

Tabela 1. Popis literature, primjenjeni metod i nivo prisutne AMI

Autori su u [15] predložili algoritam za proračun gubitaka snage i energije distributivne mreže, u cilju analize i omogućavanja monitoringa i planiranja distributivne mreže. Elementi (vodovi, transformatori) su modelovani „π” i „Γ” šemom respektivno, dok su potrebni početni podaci za analizu preuzeti iz tehničkih baza podataka o vodovima i transformatorima. Za analizu mreže su preduzete dvije hipoteze. Prva - da se srednjenačinski vodovi i transformatori posmatraju odvojeno i iterativno se analiziraju. Druga - da se u svakoj iteraciji računa struja opterećenja pri čemu se za struju transformatora razmatraju dvije varijante (opterećenje je proporcionalno njihovoj nominalnoj snazi, ili je opterećenje predstavljeno nasumično generisanim vrijednostima). Poznavanjem struja opterećenja i kompleksnih vrijednosti napona potrošača koji su dobijeni prethodno pomenutim iterativnim proračunom, tokovi snaga trafo rejona se direktno računaju. Algoritam razmatra više podmreža koje se posmatraju individualno i spaja ih u jednu kompletanu mrežu za koju vrši proračun gubitaka energije za određeni vremenski period T, upotrebom Spline interpolacije funkcije gubitaka i njene integracije sa Rombergovom metodom. Kao rezultat analize zaključeno je sledeće: u situaciji kada opterećenja potrošača nisu poznata, za proračun gubitaka snage i energije se mogu koristiti opterećenja koja su aproksimirana proporcionalno nominalnoj snazi transformatora distributivnih trafostanica.

2.2 Analiza gubitaka snage i energije i preduzimanje mjera za redukciju

Nakon izvršenja proračuna i aproksimacije gubitaka snage i energije uz odgovarajuće prisustvo raspoloživih mjerena, rezultati se analiziraju i razmatraju se određeni zahvati kojima će se pozitivno uticati na redukciju gubitaka. U narednom dijelu je predstavljen dio literature sa jedinstvenim zapažanjima i pristupima za redukciju gubitaka snage i energije.

U [16] je izvršena analiza proračuna i aproksimacije gubitaka. Za mjere redukcije gubitaka srednjenačinske mreže se ne razmatraju topološke promjene na 35 kV nivou uslijed malog broja elemenata, već je fokus na 10 kV nivou. Kao jedan od načina za redukciju gubitaka razmatraju se režimi rada (paralelan ili individualni rad) 35/10 kV transformatora u zavisnosti od razmatranog vremenskog perioda, gdje se posmatra promjena korisnosti transformatora tokom određenog perioda, i poređenjem iste u odnosu na maksimalnu korisnost. Na osnovu toga, izdvojena su tri perioda regulacije: sezonska, nedeljna i dnevna. Pravilna optimizacija opterećenja između više transformatora, odnosno paralelni rad ili promjena uklopnih stanja transformatora, može smanjiti tehničke gubitke, jer ovakve promjene utiču na to da se gubici efikasnije raspodele kroz mrežu. Analizom topologije 10 kV mreže, razmatraju se konfiguracije mreže koje imaju najmanje gubitke energije, pri čemu se vodi računa o adekvatnoj preraspodjeli snaga u transformatorskim jedinicama prenosnog odnosa 35/10 kV. Radikalna topologija, koja je česta u distributivnim mrežama, predstavlja jednostavan način distribucije električne energije, ali je često manje efikasna jer se energija distribuira na većim udaljenostima, što povećava gubitke u vodovima. Promjene u topologiji mreže mogu smanjiti gubitke - prelazak sa radikalne na zamkastu topologiju ili korišćenje dvostrano napajanih mreža omogućava fleksibilniji protok energije i smanjuje opterećenje pojedinih djelova mreže, čime se smanjuju gubici. Pored toga, prilikom rekonstrukcije mreže ili uvođenja novih komponenti, promjena topologije može omogućiti efikasniji protok snaga i manji nivo gubitaka. Na osnovu dobijenih rezultata predlažu se tri ciljna zahvata: povećanje presjeka vodova, promjena topologije mreže i ugradnja novih trafostanica.

Metod optimalnog postavljanja kondenzatorskih baterija u distributivnim transformatorima radi smanjenja gubitaka snage i energije je predstavljen u [17] gdje se izvodi eksplicitna formula za direktni proračun gubitaka snage u radikalnim distributivnim sistemima. Formiran je model optimalnog postavljanja kondenzatorskih baterija koristeći BFOA (Bacterial Foraging Optimization Algorithm) koji se može implementirati pomoću komercijalnih softverskih paketa (MATLAB), a operativna kontrola kondenzatorskih baterija se može postići lokalnim automatskim prebacivanjem prema VAR (Voltage and Reactive Power Control) mjerjenjima. Instalacije baterija su optimizovane kako bi se postiglo maksimalno smanjenje gubitaka. Za ekonomski aspekt studije, primijenjena je analiza neto sadašnje vrijednosti (NPV) kako bi se procijenila isplativost instalacija u odnosu na troškove u životnom ciklusu projekta. Ugradnjom kondenzatorskih baterija se redukuje struja koja protiče od napojne trafostanice čime se redukuju gubici, oslobađa kapacitet transformatora (omogućava se ugradnja većeg broja manjih transformatorskih jedinica čime se smanjuju gubici praznog hoda), i poboljšava naponski profil u tački priključenja.

U [18] se razmatra analiza gubitaka energije u distributivnim mrežama i identifikacija izvora gubitaka, odnosno njihova lokalizacija. Imajući u obzir da se u nižim naponskim nivoima usložnjava problematika proračuna gubitaka (uslijed broja elemenata i deficit-a mjerena), kao metoda je odabrana metoda ekvivalentne otpornosti. Naglašava se značaj podjela mreže na rejone gubitaka radi precizne evaluacije gubitaka (njihovih izvora),

proračuna tehničkih gubitaka i procjene komercijalnih gubitaka istih. Za odabir rejona gubitaka se predlažu dva kriterijuma: da su rejoni što moguće manji u cilju lakše i detaljnije analize gubitaka istih, da su potrošački profili potrošača jednog rejona homogeni, kako bi se osigurala preciznost proračuna tehničkih gubitaka. Sugeriše se upotreba dodatnih mjernih tačaka radi detaljnije analize. Rejoni omogućavaju detaljniju analizu energetskih gubitaka, pri čemu se za svaki rejon procjenjuju tehnički i komercijalni gubici. Proces uključuje mjerjenje ulazne i izlazne energije iz svakog rejona, proračun tehničkih gubitaka i identifikaciju neuravnoteženih gubitaka, odnosno komercijalnih gubitaka. Na osnovu ovih procjena, rejoni sa najvišim stopama gubitaka se dalje detaljno istražuju. Nakon lokalizacije problematičnih rejona, metode za redukciju gubitaka uključuju poboljšanje tehničkog stanja mreže, kao što su zamjena dotrajalih vodova i unapređenje sistema mjerjenja, instalacija novih brojila, poboljšanje procesa naplate. Posebna pažnja posvijećena je identifikaciji i smanjenju komercijalnih gubitaka, kroz bolji nadzor nad mjernim sistemima i poboljšanje naplatnih procedura.

Metodologija koja se fokusira na smanjenje gubitaka snage i energije u distributivnim mrežama na osnovu analize slabih tačaka, generisanja strategija za redukciju i optimizaciju gubitaka, predstavljena je u [19]. Korišćenjem klasterorskog algoritma, generišu se tipični dijagrami opterećenja za sve distributivne transformatore, što pomaže u kreiranju realne slike o opterećenju u različitim vremenskim intervalima. Na osnovu toga identifikuju se slabe tačke, koje uključuju dotrajale grane sa značajnim energetskim gubicima, transformatore sa niskim faktorom snage i grane koje su preopterećene. Generisanje odgovarajućih strategija za smanjenje gubitaka je zasnovano na rezultatima analize slabih tačaka. Ove strategije uključuju tri glavna aspekta: zamjenu distributivnih vodova (fokus je na eliminisanju dotrajalih i zastarjelih vodova koji dovode do visokih gubitaka, pri čemu se mogu ugraditi novi provodnici ili kablovi sa većim presjekom), zamjenu distributivnih transformatora (predlaže se zamjena onih sa visokim gubicima, poput starijih modela, sa novijim, energetski efikasnijim verzijama) i kompenzaciju reaktivne snage (usmjerena je na optimizaciju faktora snage kod transformatora koji imaju vrijednosti ispod zadatog cilja, pri čemu se instalira oprema za kompenzaciju koja smanjuje gubitke). Optimizacioni model za smanjenje gubitaka formira se kombinovanjem prethodno navedenih strategija. Model uzima u obzir ukupne koristi od smanjenja gubitaka, kao i ekonomске aspekte implementacije svake pojedinačne strategije. Cilj je da se minimizuju ukupni troškovi uz maksimalno smanjenje gubitaka energije. Troškovi uključuju zamjenu vodova, transformatora i kompenzaciju reaktivne snage, dok koristi obuhvataju smanjenje troškova uslijed nižih energetskih gubitaka. Ključna mjera za rješavanje ovog modela je odnos troškova i koristi (*cost - benefit*), gdje se biraju strategije sa najnižim odnosom između ulaganja i koristi, kako bi se postigla optimalna kombinacija za smanjenje gubitaka u mreži.

Važnost redukcije gubitaka sa tehnico - ekonomskog stanovišta je prikazana u [20]. U radu je primjenjena metoda analize tokova snage uz korišćenje Kirhofovog zakona struja i pojednostavljene Gausove metode, zbog specifične konfiguracije mreže, što je onemogućilo direktnu primjenu standardnih metoda. Proračun gubitaka u vodovima izvršen je na osnovu procjene struja i napona, koristeći dostupne podatke o aktivnoj i reaktivnoj snazi. Mjerjenja su vršena na niskonaponskoj strani transformatora, dok su u slučajevima gdje nije bilo moguće obaviti mjerjenja, vrijednosti struja i napona procijenjene pomoću odnosa transformacije. Na taj način su izračunati naponi i struje u različitim djelovima mreže, što je omogućilo proračun gubitaka u vodovima i transformatorima. Gubici u transformatorima su procijenjeni na osnovu tipičnih vrijednosti efikasnosti, u zavisnosti od nivoa opterećenja, s obzirom na nedostatak mjerjenja na srednjonaponskoj strani. Kao rezultat dokazano je da su podopterećeni transformatori, zbog niske efikasnosti pri radu, glavni uticaji povećanih gubitaka u

distributivnoj mreži, i da bi se za potrebe redukcija gubitaka, trebali koristiti transformatori sa adekvatnim nominalnim snagama koje su bliske očekivanjim nivoima potrošnje, u cilju veće efikasnosti. U konkretnom primjeru, prosječno opterećenje transformatora u odnosu na nominalnu snagu iznosi od 10% do 20% (pri čemu je efikasnost transformatora oko 90% tek pri opterećenju od 50%). Predlažu se izmjene svih neadekvatno dimenzionisanih transformatora, sa akcentom na bolje planiranje i poznavanje konzuma (njegovog rasta i zahtjeva za električnom energijom).

U [21] je odrđena analiza gubitaka u distributivnoj mreži kada je prisustvo PV (Photo Voltaic) generacije, gdje se razmatraju razne lokacije PV izvora. Proračun gubitaka snage i energije je odrđen upotrebom metode srednje struje, koja je modifikovana varijanta metode srednjekvadratne struje, gdje se smatra da je ukupni gubitak mreže pri proračunom sa srednjom strujom, jednak gubitku u istom vremenskom intervalu pri realnom opterećenju. Kako su gubici dobijeni ovom metodom malo manji u odnosu na metodu srednjekvadratnih opterećenja, uvodi se modifikovani koeficijent koji će kompenzovati razliku. Autori su ustanovili da na gubitke utiče kako instalisana snaga proizvodnje, tako i lokacija na kojoj je ugrađena – što je instalisana snaga PV proizvodnje veća, to su gubici manji. Uočeno je da, u slučaju kada je PV proizvodnja ugrađena na kraju izvoda, gubici u mreži su se povećali pri snazi PV proizvodnje u iznosu od 30% od injektirane snage na napojnom izvodu. Razmatrajući lokaciju PV proizvodnje, ustanovljeno je da su gubici u mreži najmanji kada je PV proizvodnja ugrađena na krajevima mreže.

Nova efektivna metoda za maksimizovanje redukcije gubitaka u distributivnim mrežama koje imaju visoku penetraciju distribuirane proizvodnje je izložena u [22]. Koristi se algoritam SFSA (Stochastic Fractal Search Algorithm), za analizu dva slučaja (jedinstven i različit faktor snage distribuirane proizvodnje), analizirana su optimalna podešavanja distribuirane proizvodnje (lokacija, veličina, broj jedinica). U prvom slučaju, distributivni generatori rade sa jedinstvenim faktorom snage. U ovom scenariju, mreža je optimizovana kako bi se smanjili gubici aktivne snage. Prema rezultatima, ovaj pristup značajno smanjuje gubitke, ali je ograničen jer ne pruža reaktivnu snagu, što znači da nije u mogućnosti da dodatno poboljša profil napona u mreži. Iako dolazi do smanjenja gubitaka, efekat na stabilnost napona je ograničen jer distributivni generatori ne učestvuju u upravljanju reaktivnom snagom. U drugom slučaju, distributivni generatori rade sa nejedinstvenim faktorom snage - omogućavajući im da proizvode i aktivnu i reaktivnu snagu. Ovaj model pokazuje daleko bolje rezultate u smanjenju gubitaka energije i poboljšanju naponskog profila. Korišćenjem reaktivne snage, distributivni generatori pomažu u kompenzaciji reaktivnih komponenti u mreži, čime se smanjuju ukupni gubici i stabilizuje napon na svim čvoristima mreže. Ovaj pristup je pokazao značajne prednosti u efikasnosti distributivne mreže, naročito u pogledu smanjenja gubitaka, a u isto vrijeme održava napon unutar optimalnih granica.

Kao zaključak autori navode da je najbolja varijanta da distribuirana proizvodnja radi sa „optimalnim“ faktorom snage, a ne konstantnim, uzimajući u obzir stohastičnost sistema, kako bi se redukovali gubici i poboljšao naponski profil.

U sledećoj tabeli 2 je prikazan popis literature, metodologiju koju autori predlažu za redukciju gubitaka, i predloženu akciju za preduzimanje.

Tabela 2. Popis literature, primjenjeni metod i rešenje za redukciju gubitaka

Literatura	Metodologija	Način redukcije gubitaka
[16]	Promjena topologije mreže	Povećanje presjeka vodova, ugradnja novih trafostanica, preraspodjela opterećenja transformatora
[17]	Bacterial Foraging Optimization Algorithm	Ugradnja baterija kondenzatora
[18]	Metoda ekvivalentne otpornosti	Formiranje rejona gubitaka zbog potreba lokalizacije
[19]	Proračun tokova snaga baziran na cost - benefit odnosu	Identifikacija slabih tačaka i sanacija istih
[20]	Kirhofov zakon, uprošćeni Gausov zakon	Upotreba transformatora adekvatnih dimenzija
[21]	Metod srednje struje	Ugradnja PV jedinica adekvatnih dimenzija na krajevima vodova,
[22]	Stochastic Fractal Search Algorithm	Ugradnja PV jedinica sa optimalnim (ne uniformim) faktorom snage

Interesantno zapažanje sa aspekta rezolucije sakupljanja mjerenih vrijednosti je postignuto od strane autora u radu [23], gdje je izvršena analiza gubitaka u niskonaponskim mrežama na osnovu simuliranja opterećenja različitih frekvencija mjerenja, odnosno prikupljanja podataka. Formira se model za predikciju gubitaka koji uzima u obzir varijacije opterećenja i njihove projekcije, na osnovu dostupnih mjerenja na odgovarajućim vremenskim rezolucijama. Poznavanjem prvočitno mjerene vrijednosti parametara sistema (naponi, aktivne i reaktivne snage) na 15-o minutnoj rezoluciji, mjerenja se extrapoliraju na vremenskim rezolucijama od 1 minuta, 5 minuta, 30 minuta, 60 minuta, 1 dan, pri čemu su koeficijenti varijacije opterećenja proračunati sa linearnom regresijom metoda najmanjih kvadrata, gdje su varijacije pri većim vremenskim rezolucijama manje, na uštrb obima podataka. Rezultati su prikazani u sledećoj tabeli:

Tabela 3. Greška u procjeni gubitaka u zavisnosti od rezolucije mjerenja

Rezolucija mjerenja	Dnevna	60 min	30 min	15 min	5 min
Greška	28.78%	17.34%	14.08%	9.65%	4.12%

Na osnovu sažetka dostupne literature može se izvesti nekoliko zaključaka:

- Redukcija gubitaka je savremena tema, naročito uzimajući u obzir penetraciju OIE u distributivnom sistemu i njihovih uticaja na tokove snage i gubitke. Teži se ka preciznjem određivanju gubitaka u distributivnoj mreži uprkos otežavajućoj okolnosti nedostatka informacija uslijed prirode sistema koji se analizira.
- Pomoću raznih metoda se računaju gubici snage i energije, akcentujući upotrebu informacija već dostupnih baza podataka, naprednih sistema mjerenja, kako bi se dobili indikativni rezultati što veće preciznosti.
- Proračun i aproksimacija gubitaka je motivisana redukcijom istih kako bi se optimizovali tehno-ekonomski resursi, zarad eksplorativne i planerske dobrobiti.

3. Gubici električne energije

Gubici električne energije u distributivnom sistemu, odnosno u posmatranoj mreži za distribuciju električne energije, definisani su kao razlika između energije koja ulazi u mrežu i energije koja se isporučuje potrošačima. Za analizu se uzimaju u obzir izmjerene vrijednosti energije na ulazu u distributivnu mrežu i izmjerene vrijednosti na izlazu, odnosno na svim obračunskim mjerjenjima koja se odnose na potrošače [24] [25].

Gubici električne energije se mogu podijeliti na dvije osnovne grupe:

- Tehnički gubici - proistekli iz različitih elemenata distributivne mreže koji su pod naponom i pomoću kojih se vrši distribucija električne energije (nadzemni i podzemni vodovi, transformatori, kondenzatori).
- Netehnički gubici - proistekli iz neizmjerene (neočitane, neobračunate) potrošnje električne energije kod potrošača. Gubici koji predstavljaju razliku između preuzete i fakturisane energije se nazivaju obračunskim gubicima.

3.1 Tehnički gubici

Tehnički gubici se klasificuju prema različitim kriterijumima:

- Elementi distributivne mreže – Tu spadaju gubici u vazdušnim vodovima, kablovima, transformatorima, kondenzatorima i drugim elementima.
- Funkcionalna zavisnost – Podjela je izvršena prema prema zavisnosti od parametara (struje, napona).

Navedene klasifikacije omogućavaju detaljnu analizu i identifikaciju različitih izvora tehničkih gubitaka električne energije u distributivnom sistemu. Osnovna podjela tehničkih gubitaka električne energije je izvršena prema sljedećim kategorijama [26]:

Kategorija 1: Stalni gubici električne energije

Stalni gubici postoje nezavisno od količine potrošene električne energije ili veličine opterećenja u distributivnoj mreži. Manifestuju se kao rezultat održavanja elemenata elektroenergetskog sistema u stalnom stanju pogonske pripravnosti za napajanje potrošača električnom energijom. Stalni gubici su prisutni tokom cijelog vremena dok je elektroenergetski sistem u funkciji, odnosno dok su elementi sistema pod naponom.

U stalne gubitke spadaju:

- Gubici u jezgrima transformatora
- Gubici uzrokovani koronom i pražnjenjem preko izolatora na dalekovodima
- Dielektrični gubici u kablovima i kondenzatorima

Proračun gubitaka uzrokovanih magnetizacijom transformatora se vrši mjeranjem u praznom hodu transformatora, a zavisnost od napona može se prikazati formulom [27]:

$$P_{Fe} = P_{Fen} \left(\frac{U}{U_n} \right)^2 \quad (1)$$

Gdje su:

P_{Fen} - Gubici aktivne snage pri nazivnom naponu U_n određeni ispitivanjem praznog hoda

P_{Fe} - Gubici aktivne snage pri posmatranom naponu U

Dielektrični gubici kod kablova i kondenzatora takođe spadaju u stalne gubitke, ali su znatno manji u poređenju sa stalnim gubicima u transformatorima. Ovi gubici su značajniji kod kablova, ključnih elemenata distributivnih mreža, i zavise od vrste izolacionog materijala, konstrukcije kabla, temperature izolacije i opterećenja kabla. Zavisnost dielektričnih gubitaka kablova od napona može se opisati sledećom formulom [28]:

$$P_d = U^2 \omega C_1 L \tan(\delta) \quad (2)$$

Gdje su:

P_d – Dielektrični gubici u kablu

U - Pogonski napon kabla

C_1 - Jedinični kapacitet kabla

ω - Kružna frekvencija

L - Dužina kabla

$\tan(\delta)$ - Faktor dielektričnih gubitaka (zavisi od vrste i temperature izolacije)

Kategorija 2: Gubici električne energije zavisni od opterećenja

Promjenljivi gubici postoje samo kada postoji potrošnja električne energije, odnosno opterećenje u distributivnoj mreži. Oni su direktno povezani sa promjenama u opterećenju mreže [29].

Gubici zavisni od opterećenja mreže su jednaki nuli kada mreža nije opterećena. Međutim, kako opterećenje mreže raste, promjenljivi gubici rastu kvadratom jačine struje opterećenja. Ovi gubici se najviše javljaju u provodnicima vodova i namotajima transformatora, čineći veći dio ukupnih gubitaka, te je važno precizno matematički prikazati njihove karakteristike.

U provodnicima trofaznog sistema, gubici aktivne snage su proporcionalni kvadratu struje opterećenja i mogu se izraziti formulom [30]:

$$P_l = 3I^2R = S^2 \frac{R}{U^2} \quad (3)$$

Gde su:

P_l - Gubici aktivne snage u provodnicima

I - Jačina struje kroz element

R - Aktivni otpor elementa

S - Pravidna snaga

U – Linijski napon

U transformatorima, promjenljivi gubici su predstavljeni gubicima u bakru koji nastaju proticanjem struje kroz namotaje. Gubici u bakru su predstavljeni zbirom gubitaka koji nastaju pri opterećenju na primarnoj i sekundarnoj strani transformatora [31]:

$$P_{cu} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 \quad (4)$$

Gdje su:

I_1 - Struja koja protiče kroz primar

R_1 – Otpornost primara

I_2 - Struja koja protiče kroz sekundar

R_2 – Otpornost sekundara

3.2 Netehnički gubici

Netehnički gubici su gubici koji nisu povezani sa tehničkim parametrima sistema, i ne mogu se direktno odrediti jednom metodom, već samo indirektno kao razlika između ukupnih gubitaka i tehničkih gubitaka, i predstavljaju onu količinu električne energije koja je isporučena, a iz nekog određenog razloga nije mjerena [26].

Njihova detekcija je od velike važnosti, a redukcijom se utiče na smanjenje finansijskih gubitaka, ali i povećanja energetske efikasnosti sistema (tehno – ekomska stabilnost sistema). Pored povećavanja globalnih sistemskih gubitaka, netehnički gubici utiču negativno na kvalitet napona, povećane troškove angažovanja proizvodnih jedinica, što može usloviti uvođenje tarifa za pokrivanje gubitaka u sistemu od strane operatora distributivnog sistema, koje plaća krajnji potrošač [32].

Netehnički gubici se mogu javiti na dva načina:

Način 1: Greška uzrokovana nepažnjom distributera ili tehničkim neispravnostima na mjernim uređajima:

- Neočitana potrošnja na obračunskom mjernom mjestu.
- Nefakturisana potrošena električna energija kupca.
- Smanjeno mjerjenje električne energije zbog starosti ili isteka roka validnosti baždarenja brojila.
- Kvarovi na sekundarnom mjernom ožičenju ili pomoćnim mjernim uređajima kod složenijih obračunskih mjerena.

Način 2: Namjerno onemogućavanje tačnog mjerena prodate električne energije:

- Potrošnja električne energije mimo mjernih uređaja putem ilegalnih priključenja sa unutrašnjih kućnih priključaka.
- Namjernog onemogućavanja ispravnog mjerena mjernog uređaja djelovanjem na brojilo eksternim ili internim manipulacijama.
- Samovoljnog priključenja električne instalacije i potrošača na distributivnu mrežu.

Zbog velikog broja obračunskih mjernih mjesta u distributivnoj mreži, aktivnosti na kontroli i smanjenju netehničkih gubitaka su obično kontinuirane i dugotrajne.

3.3 Mjere za redukciju gubitaka snage i energije u srednjenaponskoj mreži

Smanjenje gubitaka u distributivnom sistemu odnosi se na napore i tehnologije koje se primjenjuju kako bi se minimalizovala količina električne energije koja se izgubi prilikom proizvodnje, prenosa i distribucije električne energije do krajnjih potrošača. Redukcija je ključna za poboljšanje ukupne energetske efikasnosti, smanjenje ekološkog uticaja i obezbjeđivanje pouzdanog i ekonomski isplativog snabdijevanja električnom energijom [33].

3.3.1 Mjere redukcija na 35 kV nivou

Mjere za smanjenje tehničkih gubitaka u elektrodistributivnim sistemima na naponskom nivou 35 kV mogu se sprovesti kroz nekoliko strategija:

Strategija 1: Optimizacija tokova snaga

Efikasno smanjenje gubitaka može se postići optimizacijom tokova snaga. U situacijama gdje promjena topologije 35 kV mreže nije izvodljiva zbog malog broja objekata, tokovi snaga se mogu optimizovati posredstvom 10 kV mreže. Značaj optimizacije tokova snaga je povećan sa porastom distribuirane proizvodnje, a time i njena kompleksnost izrade uslijed faktora stohastičnosti obnovljivih izvora energije [34].

Gubici su najveći u vodovima velike dužine, malog presjeka i vodovima s visokim opterećenjem. Optimizacija topologije 10 kV mreže može se koristiti kako bi se dio opterećenja vodova s visokim gubicima prebacio na vod srednjeg opterećenja, većeg presjeka i kraće dužine, čime se postiže smanjenje ukupnih gubitaka.

Zadatak optimizacije tokova snage jeste ostvariti najmanji trošak uz najmanju moguću devijaciju napona od referentne vrijednosti, najmanjih gubitaka, cijene angažovanja elemenata. Isti se ostvaruju upotrebom specifičnih ograničenja (prenosni kapaciteti, dozvoljene vrijednosti napona) i odabirom nekog od algoritama za optimizaciju tokova snaga.

Da bi se ostvarila optimizacija tokova snaga, potrebno je [35]:

- Razumjeti uticaj distribuirane generacije na naponske prilike
- Razmatrati položaj distribuirane generacije u mreži
- Odabratи način rješavanja optimizacionog problema upotrebom:
 - Matematičke optimizacione metode (linearno programiranje, kvadratno programiranje, i druge). Ove metode mogu omogućiti brzu konvergenciju i laku implementaciju, ali mogu zahtijevati visoke računarske resurse.
 - Heurističke optimizacione metode (Genetski algoritam (GA), Metoda roja čestica (Particle Swarm Optimization), i druge). Ove metode zavise od nasumičnih faktora i u nekim slučajevima ne garantuju konvergenciju, tako da je ta mana kompenzovana što kvalitetnijim poznavanjem problematike (ponašanje analiziranog elementa, iskustvena statistika, način funkcionisanja, uticaj spoljnih faktora).

Strategija 2: Optimalno angažovanje transformatora 35/10 kV

Sa obzirom na to da su energetski transformatori prenosnog odnosa 35/10 kV velike i skupe jedinice, gubici se mogu učinkovito smanjiti kvalitetnom regulacijom paralelnog rada transformatora. Veće trafostanice prenosnog odnosa 35/10 kV imaju dva transformatora sa mogućnošću paralelnog rada, u cilju povećanja pouzdanosti sistema – primjena faktora rezerve „n-1”.

Regulacija paralelnog rada odnosi se na proces uključivanja i isključivanja jednog od dva paralelna transformatorska uređaja s ciljem postizanja maksimalne korisnosti transformatora, odnosno minimalnih ukupnih gubitaka.

Za omogućavanje paralelnog rada transformatora, ključna su tri faktora [36]:

1. Broj regulacionih odcjepa
2. Nominalna snaga transformatora
3. Impedansa transformatora

Poželjno je da dva transformatora koja rade paralelno posjeduju sve tri iste karakteristike, u suprotnom dolazi do neadekvatne raspodjele opterećenja i cirkulacionih struja, što može dovesti do problema sa preopterećenjem transformatorskih jedinica. Međutim, kako se sistem mijenja i raste, nove transformatorske jedinice (koje mogu biti drugačijih karakteristika) se implementiraju u sistem.

Pri sledećim uslovima, paralelan rad transformatora se ne preporučuje:

- Raspodjela opterećenja je takva da, pri opterećenju koje je jednako zbiru nominalnih snaga transformatora, jedan transformator preuzima veće opterećenje od drugog.
- Cirkulacione struje u praznom hodu premašuju 10% dozvoljenog vršnog opterećenja bilo kojeg transformatora.
- Zbir cirkulacionih struja i struje pri punom opterećenju premašuju dozvoljenu vrijednosti opterećenja bilo kojeg transformatora.

Važno je voditi računa o troškovima održavanja transformatorskih prekidača i naprezanjima transformatora, koja se povećavaju s učestalijim uključivanjem i isključivanjem. Ti faktori takođe trebaju biti uzeti u obzir pri planiranju ušteda putem ovog načina regulacije.

Strategija 3: Maksimalna korisnost transformatora

Životni vijek transformatora iznosi od 30-40 godina, zato je od velike važnosti optimalno angažovanje u cilju tehnokonomske dobrobiti [37].

Maksimalna korisnost transformatora (S_{max}) postiže se pri optimalnom opterećenju (gubici u bakru su jednaki gubicima u gvožđu). Navedeno se može izraziti sledećom formulom [38]:

$$S_{max} = S_n \sqrt{\frac{P_{Fe}}{P_{Cu}}} \quad (5)$$

Gdje su:

P_{Fe} i P_{Cu} - Gubici transformatora u gvožđu i bakru

S_n - Nazivna snaga transformatora, izražena u kVA

Povećanje energetske efikasnosti transformatora se postiže [39]:

- Redukcijom gubitaka praznog hoda – Ostvaruje se poboljšanjem dizajna i procesa sklapanja, odabirom odgovarajućeg materijala jezgra sa povoljnijim magnetnim karakteristikama.
- Redukcijom gubitaka pri opterećenju – Ostvaruje se povećanjem poprečnog presjeka namotaja.
- Redukcijom gubitaka pri hlađenju transformatora – Ostvaruje se redukcijom drugih gubitaka u transformatoru (povećano zagrijavanje transformatora izuskuje veću potrošnju energije ventilatora za hlađenje).

3.3.2 Mjere redukcije gubitaka snage i energije na 10 kV nivou

Mjere za smanjenje tehničkih gubitaka u elektrodistributivnoj 10 kV mreži se mogu realizovati kroz sljedeće strategije:

Strategija 1: Optimizacija topologije 10 kV mreže tokom pogona

Posmatra se topologija 10 kV mreže i predlažu načini za redukciju gubitaka manipulacijom mrežnog stanja:

-Analiziraju se tokovi snaga u 10 kV vodovima, a potrebne promjene uklopnog stanja vrše se kod vodova gdje je to moguće (prstenasta konfiguracija ili dvostrano napajanje).

-Topološke promjene se vrše u situacijama gdje je moguće, kako bi se smanjili gubici. To uključuje promjene u prstenastoj konfiguraciji, izgradnju novih dionica, ili implementaciju novih transformatorskih jedinica 10/0.4 kV prenosnog odnosa.

U istraživanju opisanom u [40] za postizanje preciznije optimizacije topologije mreže ustanovljeno je sledeće:

1. Početna prepostavka o najboljoj mogućoj konfiguraciji (trenutna topologija) je bitna za precizniji rezultat.
2. Potrebno je imati informaciju o mjestima gdje se vrši spajanje prstena, kao i dionicama koje moraju konstantno biti u pogonu.
3. Potrebno je razmatrati, pored energetski najefikasnije topologije, faktor pouzdanosti (sa aspekta kapaciteta elemenata).
4. Poželjno je imati više topoloških konfiguracija koje uzimaju u obzir sezonsku promjenu opterećenja, što zahtijeva adekvatno planiranje i detaljno poznavanje profila potrošnje konzuma.

Strategija 2: Zahvati na 10 kV mreži

Analizom tokova snaga identificuju se "ugrožene" dionice sa najvećom gustinom gubitaka. Preporučuju se sljedeći zahvati:

- Povećanje presjeka provodnika kako bi se smanjili gubici.
- Izgradnja nove dionice ili promjena topologije mreže.
- Zamjena starih transformatorskih jedinica 10/0.4 kV prenosnog odnosa sa novim.

Ove mjere ne samo da smanjuju gubitke, već poboljšavaju i druge parametre sistema, uključujući naponske prilike, prenosnu moć i pouzdanost.

Strategija 3: Optimalno angažovanje transformatora 10/0.4 kV

Proračun opterećenja transformatora 10/0.4 kV ocjenjuje njihov doprinos gubicima, nakon čega se preduzimaju mjere za optimizaciju i smanjenje tih gubitaka:

-Optimizacija nazivnih snaga transformatora može uključivati zamjenu transformatora kako bi se postigla maksimalna korisnost, uz minimalne ukupne gubitke u bakru..

-Zamjena starih modela transformatora sa novim modelima sa smanjenim gubicima je jedna od mjer za smanjenje gubitaka.

-Kapacitivna kompenzacija transformatora kao mjeru smanjenja gubitaka: Ugradnjom šantiranih baterija kondenzatora redukuju se gubici snage i poboljšava se naponski profil u tački priključenja. Za maksimalnu efikasnost se optimalno alociraju širom distributivne mreže [41].

Redukcija gubitaka snage i energije preusmjerava kapital koji je bio rezervisan za „pokrivanje“ gubitaka, čime se indirektno utiče na poboljšanje cijelokupnog sistema zbog mogućnosti alokacije kapitala na one segmente koji su najpotrebniji za sistem.

4. Metode za proračun i aproksimaciju gubitaka snage i energije. Metode za proračun tokova snaga

Kako bi se riješio problem proračuna gubitaka u elektrodistributivnim sistemima, pribjegava se korišćenju raznih metoda koje su bazirane na korišćenju informacija sistemskih parametara (aktivna otpornost, reaktivna otpornost, dužina vodova, topologija mreže, karakteristike transformatora) i režimskih parametara (dnevni dijagrami opterećenja, naponi).

Sistemski parametri su podijeljeni na determinističke i probabilističke(statističke), što je uslovilo analognu podjelu metoda pomoću kojih se vrše proračuni gubitaka. Podaci o fizičkim parametrima sistema čine determinističke informacije - informacije zadate u jednoznačnoj formi i nepromjenljive su u određenom periodu eksploatacije.

Kako je funkcionisanje samog sistema stohastične prirode – zavisi od nasumične promjene velikog broja faktora: snaga potrošača, broj potrošača, mogućnost ispada elemenata, promjena struje i napona, to izuskuje primjenu probabilističkih informacija o režimu mreže.

Gubici se računaju na različite načine, najčešće preko proračuna tokova snaga, gdje se kroz proračun naponskih prilika, uz poznavanje parametara sistema, vrši određivanje gubitaka. Gubici snage se koriste da bi se izvršila lokacija vrućih tačaka (lokalni pokazatelj), dok se gubici energije koriste kao globalni pokazatelj na nivou čitave mreže.

Zakon o energetici je predvidio da gubitke energije nabavljuju mrežni operatori. Zbog toga, operator distributivne mreže treba da zna da kvalitativno procijeni nivo gubitaka energije, jer će tu energiju morati da nabavi na berzi električne energije kako bi izvršio svoju osnovnu ulogu – distribucija električne energije potrošačima [42].

Problematika procjene gubitaka ima više pristupa. Najlakša varijanta bi bila ta da postoji mogućnost mjerjenja gubitaka. Kako je distributivna mreža složena po pitanju broja elemenata, konfiguracije mreže, karakteristike konzuma, ugradnja mjernih uređaja koji bi omogućili mjerjenje gubitaka je ekonomski neisplativa, što se ne može porediti sa situacijom u prenosnoj mreži, gdje je zbog drugih mrežnih karakteristika prisutno mjerjenje gubitaka u realnom vremenu. Upravo zbog toga, nivo pouzdanosti sa kojim se gubici u prenosnoj mreži procjenjuju je mnogo veći u odnosu na distributivnu mrežu.

Kod distributivne mreže je ekonomski neisplativo da je prisutno precizno mjerjenje u realnom vremenu i na mjestu prijema i na mjestu predaje električne energije (prijemno mjesto se smatra napojnim tačkama, odnosno ono što distributivna mreža preuzima od prenosne mreže, dok je predajno mjesto tačka u kojoj se električna energija predaje potrošačima). U distributivnoj mreži, na predajnom mjestu ne postoji uređaji koji prate potrošnju u realnom vremenu, za razliku od prenosne mreže gdje su sva brojila sinhronizovana, što omogućava tačno utvrđivanje kad i koliki je gubitak na nekom elementu.

Pozdanost informacione osnove za distributivnu mrežu i prenosnu mrežu nije ista, zbog razlike u složenosti mreže. Nivo gubitaka zavisi od same mreže, čije se uklopno stanje mijenja. Zbog toga je potrebno odabrat optimalnu, tipičnu konfiguraciju koja bi na najbolji način predstavila ponašanje distributivne mreže u posmatranom vremenskom periodu. Pored topoloških karakteristika (parametara sistema), prisutni su i parametri režima (podaci o konzumu – naponske prilike i raspodjela tokova snaga). Konzum direktno utiče na nivo gubitaka kroz dnevne i sezonske varijacije.

Za potrebe analize gubitaka u distributivnoj mreži, zbog nedostatka mjerena u realnom vremenu se mora odabratи karakteristični režim. Zavisno od raspoloživih gubitaka za proračun gubitaka, raspolaže se različitim metodama. Ukoliko su podaci deterministički (jasno poznati), upotrebljavaju se determinističke metode. Ukoliko su podaci okarakterisani sa određenim stepenom vjerovatnoće (dnevni i sezonski dijagrami opterećenja), koriste se probabilističke metode.

Sistem mjerena je osnova za adekvatni proračun i procjenu gubitaka. Problem prikupljanja podataka je jedan od glavnih problema kada se govori o kvalitetu proračuna gubitaka u distributivnoj mreži. To zavisi od složenosti mreže, njene geografske distribucije i od nivoa razvoja sistema mjerena. Stepen tačnosti sa kojim se danas procjenjuju gubici je mnogo veći u odnosu na prethodne decenije, gdje su korišćena tradicionalna brojila koja su imala problem nejednovremenosti očitavanja tih brojila – nije bilo moguće u jednom trenutku istovremeno očitati sva brojila. To je formiralo iskrivljenu sliku o potrošnji električne energije. Danas je to moguće jer današnja pametna brojila pamte podatke tokom obračunskog perioda, na odgovarajućoj vremenskoj rezoluciji.

Još jedan problem jeste pitanje tačnosti vođenja baza podataka o mrežnim konfiguracijama i parametrima vodova (dužine i presjeci vodova) i transformatora (specifikacije nazivne snage, gubitaka u bakru, gubitaka u gvožđu, napon kratkog spoja). Ti podaci bi trebalo da su pouzdani, ali uslijed brojnosti elemenata dolazi do određene ljudske greške u ažurnosti podataka. Ovo stvara prostor za dešavanje grešaka prilikom prikupljanja podataka. Otežavajuće okolnosti u samom početku pri proračunu ili aproksimaciji gubitaka, uslovile su formiranje brojnih metoda, od kojih su neke više, a neke manje osjetljive (robustne) na navedene probleme. Metode za procjenu gubitaka u distributivnoj mreži su prilagođene raspoloživom setu informacija. Neke od njih zahtijevaju manji broj informacija, pa samim tim imaju manju pouzdanost, dok su druge pouzdanije uslijed većeg nivoa praćenja parametara od interesa.

Za procjenu tehničkih gubitaka je potrebno uzeti u obzir više faktora [43]:

- 1) Konfiguracija mreže po naponskim nivoima – Da li su u pitanju vazdušne mreže (niži presjeci, veće dužine) koje nepovoljno utiču na nivo gubitaka, ili kablovske mreže u urbanim centrima (velika gustina opterećenja, veći presjeci) koje povoljno utiču na gubitke.
- 2) Parametri vodova i transformatora – Kod razuđenih mreža je prisutan veći broj vodova i manjih transformatora, što nepovoljno utiče na gubitke. Obrnuto, ukoliko je gustina opterećenja veća, prisutan je manji broj transformatora veće snage.
- 3) Broj stepena transformacije: Više transformacija naponskih nivoa povećava gubitke u mreži. Najpovoljniji tehnički gubici se postižu u predjelima sa velikom gustom opterećenja, direktnom transformacijom i dominantnom kablovskom mrežom.
- 4) Karakteristike potrošnje: Na nivo gubitaka utiče konstantnost (ili varijabilnost) konzuma, koliku vršnu snagu zahtijeva, koliko je vrijeme trajanja te vršne snage. Povoljnije je da potrošač zahtijeva nižu snagu na duži vremenski period, nego da zahtijeva veću snagu na kraći period, što je uslovljeno činjenicom kvadratne zavisnosti gubitaka od opterećenja, prikazano relacijom (3).

Karakteristične veličine koje se uzimaju u obzir kada se vrši analiza gubitaka:

- Faktor opterećenja
- Vršna snaga
- Ekvivalentno vrijeme trajanja vršne snage

Podatak ekvivalentnog vremena trajanja vršne snage govori o načinu na koji konkretni potrošač zahtjeva energiju. Ukoliko je ta vrijednost visoka, riječ je o ravnomjernijem potrošaču, u suprotnom, potrošač ima visoke zahtjeve za energijom koju koristi u kraćim vremenskim periodima.

Izbor metode procjene gubitaka prvenstveno zavisi od raspoložive informacione osnove, a kod distributivne mreže uvijek postoji margina nesigurnosti uslijed ograničenosti dostupnih podataka.

Proračun stalnih gubitaka zahtjeva minimalni set podataka, pri čemu obezbjeđuje dosta dobru pouzdanost. Razmatraju se [44]:

- Gubici u transformatoru – Gubici u gvožđu (prazni hod)
- Dielektrični gubici u kablovima i kondenzatorima
- Gubici odvodnosti vazdušnih vodova
- Gubici uslijed korone
- Gubici praznog hoda u naponskim namotajima brojila, releja, mjernih instrumenata

4.1 Metode za proračun gubitaka

Proračun promjenljivih gubitaka zavisi od nivoa raspoloživosti podataka, stoga su u upotrebi:

- Determinističke metode
- Probabilističke metode
- Metode bazirane na „fuzzy“ proračunima

4.1.1 Determinističke metode

Polazi se od određenog režima opterećenja i odgovarajuće konfiguracije mreže. Gubici izračunati tokom posmatranog vremenskog perioda ostaju nepromijenjeni. Postoji veliki broj ovih metoda, što proizilazi iz davanja prednosti određenim uticajnim veličinama. Široko korišćene determinističke metode uključuju [45] [46]:

1. Metodu vršnih opterećenja (tau (τ) metoda)
2. Metodu srednjih opterećenja
3. Metodu srednjekvadratnih opterećenja
4. Metodu ekvivalentne otpornosti
5. Metodu zasnovanu na tehnici klasterovanja

Metoda 1: Metoda vršnih opterećenja

Metoda vršnih opterećenja, poznatija kao τ (*tau*) metoda, temelji se na procjeni gubitaka energije putem vremenske prognoze gubitaka tokom vršnog (maksimalnog) opterećenja, gdje se ukupni gubitak energije za neki period dobija tako što se pomnoži gubitak snage pri vršnom opterećenju sa vremenom trajanja gubitaka pri vršnom opterećenju.

Prema ovoj metodi, gubici aktivne energije u posmatranom dijelu mreže (vazdušni vodovi, kablovski vodovi, transformatori) aktivne otpornosti R , sa promjenljivim opterećenjem na kraju elementa, određuju se primjenom sledećeg izraza [47]:

$$\Delta W = \Delta P_v \tau = 3RI_v^2\tau \quad (6)$$

Gdje su:

ΔP_v – Gubici aktivne snage pri vršnom opterećenju

τ – Ekvivalentno vrijeme trajanja gubitaka snage pri vršnom opterećenju

R – Aktivna otpornost posmatranog elementa

I_v i P_v – Vršna struja koja protiče kroz element i vršna snaga priključenog opterećenja, promjenljivih tokom perioda T za koji se računaju gubici, obično tokom jedne godine ($T = 8760$ časova)

Preciznosti rezultata formule doprinosi prisustvo podataka o godišnjem dijagramu opterećenja, zbog podatka o godišnjem vršnom opterećenju.

$$\tau = f(T_v) \quad (7)$$

Gdje je:

T_v – vrijeme trajanja vršnog opterećenja

Ukoliko taj podatak nije moguće nabaviti, koriste se empirijske zavisnosti različitih autora za vrijeme. Neke od relacija [9]:

$$\tau = (0.66 + 0.34 \frac{T_v}{8760})^2 T_v \quad (8)$$

$$\tau = 2T_v - 8760 + \frac{8760 - T_v}{1 + \frac{T_v}{8760} - \frac{2P_m}{P_v}} (1 - \frac{P_m}{P_v}) \quad (9)$$

Gdje su:

P_v – Maksimalno (vršno) opterećenje

P_m – Minimalno opterećenje

Određivanje gubitaka električne energije tau metodom je relativno jednostavno. Ipak, to istovremeno predstavlja slabost ove metode, jer različiti dijagrami opterećenja mogu imati iste vrijednosti maksimalne snage i trajanja vršnog opterećenja. Druga mana jeste posmatranje jednog režima za čitavu godinu, što ukazuje na grubu aproksimaciju jer mreža ne funkcioniše stalno sa tim setom podataka (konfiguracija, angažovano opterećenje), ali je dovoljno prihvatljivo za brzu procjenu gubitaka.

Metoda 2: Metoda srednjih opterećenja

Metoda srednjih opterećenja je formirana da bi se sa što jednostavnijim matematičkim modelom dobio pouzdaniji proračun gubitaka. Koriste se srednje vrijednosti struja ili snaga, u zavisnosti od raspoloživih informacija.

Metodom srednjih opterećenja, gubici električne energije u elementu aktivne otpornosti R , sa promjenljivim aktivnim $P(t)$ i reaktivnim $Q(t)$ opterećenjima tokom perioda od interesa T ($T \leq 8760\text{h}$), određuju se pomoću sledećeg izraza [21]:

$$\Delta W = 3Rk_i^2 I_{sr}^2 T = \frac{R}{U^2} (k_p^2 P_{sr}^2 + k_q^2 Q_{sr}^2) \quad (10)$$

Gdje su:

I_{sr} – Srednja vrijednost opterećenja

P_{sr} – Srednja vrijednost aktivne snage

Q_{sr} – Srednja vrijednost reaktivne snage

k_i , k_p , k_q – Koeficijenti oblika dijagrama opterećenja $I(t)$, $P(t)$, i $Q(t)$, redom, koji su povezani sa efektivnim i srednjim vrijednostima opterećenja.

Koeficijent k_i se definiše pomoću sledećeg izraza:

$$k_i = \frac{I_{sk}}{I_{sr}} \quad (11)$$

Gdje je I_{sk} srednjekvadratna struja opterećenja.

Srednje vrijednosti opterećenja se lako određuju na osnovu dostupnih podataka o ukupnoj električnoj energiji, odnosno preko vrijednosti aktivne energije (W_a) i reaktivne energije (W_r) u posmatranom periodu od interesa T [48]:

$$P_{sr} = \frac{W_a}{T} \quad (12)$$

$$Q_{sr} = \frac{W_r}{T} \quad (13)$$

Koeficijenti k_p i k_q zavise od odnosa minimalnog (P_{min} i Q_{min}) i vršnog opterećenja (P_v i Q_v) na dijagramima opterećenja $P(t)$ i $Q(t)$, i određeni su sledećim izrazima [44]:

$$k_p^2 = \frac{1}{2} + \frac{1}{8} \frac{P_{min}}{P_v} \left(1 + \frac{P_{min}}{P_v} \right) \quad (14)$$

$$k_q^2 = \frac{1}{2} + \frac{1}{8} \frac{Q_{min}}{Q_v} \left(1 + \frac{Q_{min}}{Q_v} \right) \quad (15)$$

Metoda 3: Metoda srednjekvadratnih opterećenja

Metoda srednjekvadratnih opterećenja omogućava proračun gubitaka snage i energije u distributivnim mrežama. U kolima naizmjenične struje, struja varira tokom nekog određenog perioda T , pa se srednjekvadratna struja izražava kao korijen srednje trenutne kvadrirane struje tokom perioda T [49]:

$$I_{sk} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2(t) dt} \quad (16)$$

Gdje su:

$I(t)$ – Trenutna struja

T – Posmatrani period

Gubitak snage je predstavljen sledećim izrazom:

$$\Delta P = 3RI_{sk}^2 \quad (17)$$

Gdje je R otpornost posmatranog elementa.

Gubitak energije se izražava sledećim izrazom:

$$\Delta W = 3R \int_0^T I^2(t) dt = 3RI_{sk}^2 T \quad (18)$$

Glavne prednosti ove metode jesu jednostavnost primjene i nisko opterećenje računarskih resursa, kao i uvažavanje statistike kao aparata za povećanje preciznosti rezultata (matematičko očekivanje, disperzija), čime se omogućava robusnost na varijaciju dijagrama opterećenja.

Uvažavanjem matematičkih očekivanja i disperzije, izraz za proračun gubitaka energije metodom srednjekvadratnih opterećenja je sledeći [45]:

$$\Delta W = \frac{R}{U_{sr}^2 T} [W_a^2 + W_r^2 + (D_P + D_Q) T^2] \quad (19)$$

Gdje su:

U_{sr} – Srednji napon

W_a – Ukupna protekla aktivna energija

W_r – Ukupna protekla reaktivna energija

D_P – Disperzija aktivne snage

D_Q – Disperzija reaktivne snage

Disperzije aktivne i reaktivne snage zavise od dijagrama opterećenja, odnosno njegove ravnomjernosti koja je okarakterisana koeficijentima λ_P i λ_Q [45]:

$$\lambda_P = \frac{P_{sr} - P_{min}}{P_v - P_{sr}} \quad (20)$$

$$\lambda_Q = \frac{Q_{sr} - Q_{min}}{Q_v - Q_{sr}} \quad (21)$$

Gdje su:

P_{sr} – Srednja aktivna snaga

P_{min} – Minimalna aktivna snaga

P_v – Vršna aktivna snaga

Q_{sr} – Srednja reaktivna snaga

Q_{min} – Minimalna reaktivna snaga

Q_v – Vršna reaktivna snaga

U zavisnosti od vrijednosti koeficijenata λ_P i λ_Q , disperzije aktivne i reaktivne snage se računaju kao:

$$D_P = \frac{(P_v - P_{sr})(P_{sr} - P_{min})^2}{P_v + P_{sr} - 2P_{min}} \text{ za } \lambda_P \geq 1, D_P = \frac{(P_{sr} - P_{min})(P_v - P_{sr})^2}{2P_v - P_{sr} - P_{min}} \text{ za } \lambda_P < 1 \quad (22)$$

$$D_Q = \frac{(Q_v - Q_{sr})(Q_{sr} - Q_{min})^2}{Q_v + Q_{sr} - 2Q_{min}} \text{ za } \lambda_Q \geq 1, D_Q = \frac{(Q_{sr} - Q_{min})(Q_v - Q_{sr})^2}{2Q_v - Q_{sr} - Q_{min}} \text{ za } \lambda_Q < 1 \quad (23)$$

Metoda 4: Metoda ekvivalentne otpornosti

Usljed rastućih izazova vezanih za prikupljanje informacija o opterećenju svih elemenata električne mreže, podsticao se razvoj metode ekvivalentne otpornosti, koja može da se primjeni pri uslovima limitranog seta dostupnih podataka o sistemu.

Osnovna ideja ove metode jeste da se čitav analizirani sistem od interesa ekvivalentira jednim elementom čiji gubici reprezentuju gubitke čitave mreže, pri čemu se za analizu posmatra neka karakteristična konfiguracija sistema (najčešće se uzima stanje vršnog opterećenja). Opterećenje ekvivalentnog elementa odgovara struji glavne napojne sekcije mreže I_g , dok je njegova ekvivalentna otpornost R_e određena uslovom da se gubici snage tog elementa podudaraju sa gubicima snage ΔP u cijeloj mreži [18]:

$$R_e = \frac{\Delta P}{3I_g^2} = R_e^V + R_e^T \quad (24)$$

Kako bi ekvivalentiranje mreže bilo što pouzdanije, ekvivalentna otpornost se modeluje pomoću dvije redno vezane otpornosti, koje uvažavaju ponašanje svih ekvivalentiranih vodova (R_e^V) i transformatora (R_e^T). Vrijednosti pomenutih otpornosti se dobijaju iz ukupnih gubitaka u svim n sekcijama mreže i m distributivnih transformatora:

$$R_e^V = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta P_i^V}{3I_g^2} \quad (25)$$

$$R_e^T = \frac{\sum_{j=1}^m \Delta P_j^T}{3I_g^2} \quad (26)$$

Analizom izraza za R_e^V i R_e^T , može se zaključiti da parametri ekvivalentne mreže zavise od energetskih gubitaka, i prema tome, od režima električne mreže.

Ukoliko podatak o režimu rada distributivne mreže nije dostupan, u obzir se uzima aproksimacija da je raspodjela ukupnog opterećenja mreže proporcionalna instalisanim snagama distributivnih transformatora, tako da izrazi (25) i (26) mogu biti zamijenjeni sa sledećim:

$$R_e^V = \frac{\sum_{i=1}^n R_i^V S_{ni}^2}{S_{\Sigma}^2} \quad (27)$$

$$R_e^T = \frac{\sum_{j=1}^m R_j^T S_{nj}^2}{S_{\Sigma}^2} \quad (28)$$

Gdje su:

S_{ni} - ukupna snaga distributivnih transformatora koji snabdijevaju sekciju otpornosti R_i^V ,

S_{Σ} - ukupna instalisana snaga distributivnih transformatora.

Otpornosti R_i^V i R_j^T se računaju prema izrazima:

$$R_i^V = r_i l_{vi} \quad (29)$$

$$R_j^T = \frac{U_{nT}^2}{S_{nTj}^2} \Delta P_{Cu j} \quad (30)$$

Gdje su:

r_i – Jedinična otpornost i-te sekcije

l_{vi} – Dužina i-te sekcije

S_{nTj} – Ukupna instalisana snaga svih transformatora koji opterećuju j-tu sekciju

$\Delta P_{Cu j}$ – Nominalni varijabilni gubici transformatora kojima odgovara snaga S_{nTj}

Prednost ove metode jeste jednostavan set relacija uslijed jednostavnog modela mreže, gdje se daje odgovor na pitanje ukupnih gubitaka u mreži. Međutim, kako je mreža modelovana jednim elementom, gubi se mogućnost uvida u raspodjelu gubitaka po mreži – traženje vrućih tačaka.

Metoda 5: Metoda klasterovanja

Klasterovanje je jedna od metoda koja se koristi za analiziranje gubitaka kod sistema gdje je broja podataka sa različitim karakteristikama. Prvenstveno se sakupljaju svi mogući podaci (topologija mreže, profili opterećenja, karakteristike elemenata, istorijski podaci), vrši normalizacija vrijednosti, a zatim se po kriterijumu sličnosti, podaci grupišu u skupove podataka – klastere.

U ovom kontekstu, korišćena mjera sličnosti je Euklidova udaljenost, koja se uopšteno izračunava između dva primjera X i Y sa N karakteristika prema formuli [50]:

$$ED(X, Y) = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)^2 \right]^{1/2} \quad (31)$$

Da bi se primijenilo klasterovanje za proračun godišnjih gubitaka u električnoj distributivnoj mreži, prvo se mora formirati ulazni skup podataka - kompletni vektor stanja, odnosno vektori aktivnog i reaktivnog opterećenja (P i Q) za svaki čvor mreže i napona za svaku napojnu tačku tokom svake mjerene instance u toku godine. Dimenzija vektora stanja (SVD) iznosi

$$SVD = 2N_n + 1 \quad (32)$$

Gde je N_n broj potrošačkih čvorova u mreži.

Sledeći korak jeste grupisanje podataka o opterećenju čvorova prema sličnosti dijagrama opterećenja - formiranje početnih klastera na osnovu karakterističnih parametara (vršni gubici, prosječni gubici, gustina gubitaka). Za to se koristi neki od algoritama za klasterovanje, od kojih su neki [51]:

- Klasterovanje metodom K – srednjih vrijednosti
- Hjерархијско klasterovanje
- DBSCAN (Density – Based Spatial Clustering of Applications with Noise)
- Gausov probabilistički model

Nakon analiziranja formiranih klastera u cilju shvatanja njihovih karakteristika sa aspekta gubitaka snage i energije, identificuju se klasteri sa povećanim gubicima, i za svaki klastar se formira individualna strategija za redukciju gubitaka, bazirana na njihovim karakteristikama.

4.1.2 Statističke metode

Statističke metode se koriste za proračun gubitaka energije u električnim mrežama uz pretpostavku da promjena opterećenja u posmatranom elementu mreže podlijegne nekom od zakona rasподjele slučajne promjenljive. Ovdje su navedene neke od često korišćenih statističkih metoda [45]:

1. **Gauss-ova normalna raspodjela:** Ova metoda se oslanja na pretpostavku da se promjene opterećenja, promjene naponskih prilika i gubici u mreži distribuiraju prema Gauss-ovojoj normalnoj raspodjeli – varijable se grupišu oko centralne vrijednosti. Ova raspodjela je često korišćena zbog svoje matematičke jednostavnosti, ali je postoji vjerovatnoća da se kod kompleksnijih sistema pojavi određena greška u odnosu na realno stanje.
2. **β - raspodjela:** Beta raspodjela je statistički model koji se koristi za opisivanje promjena opterećenja u električnim mrežama, gdje se formiraju analitičke forme za gustinu vjerovatnoće i formiranje funkcije neuspjeha (hazard function). Izvode se eksplizitni izrazi za momente, momente ponderisane vjerovatnoće, funkcije generisanje momenta, srednja odstupanja, Bonferonijeve i Lorencove krive, statistike momenata reda, entropije, pouzdanosti. Parametri se procjenjuju po maksimalnoj vjerovatnoći [52]. Metoda je pouzdanija ukoliko su raspoloživi detaljni podaci o analiziranom elementu, gdje se na osnovu statističkih analiza ponašanja konzuma, usvajaju odgovarajuće vrijednosti za parametre kako bi se bolje opisao dijagram opterećenja.
3. **Rayleigh-ova raspodjela:** Rayleigh-ova raspodjela se koristi za modelovanje slučajnih promjena koje nisu negativne. Ova raspodjela se može primijeniti na pojedine djelove električnih mreža gdje su promjene opterećenja, naponskih prilika takve karakteristične prirode.
4. **Maxwell-ova raspodjela:** Maxwell-ova raspodjela se često koristi za modelovanje brzina molekula u gasovima. Međutim, može se primijeniti i u kontekstu električnih mreža za opisivanje slučajnih promjena opterećenja.
5. **Regresiona metoda:** Regresiona analiza je statistička metoda koja se koristi za identifikaciju veza između različitih varijabli. U kontekstu proračuna gubitaka energije u električnim mrežama, regresija se može koristiti za identifikaciju veza između različitih faktora, kao što su opterećenje, dužina vodova, temperatura i gubici energije. U zavisnosti od veze između parametara, primjenjuje se linearna ili stepena regresija, pri čemu su polazne informacije bitne za preciznost metoda.
6. **Monte Carlo metoda:** Statistička metoda koja se često koristi za simulaciju slučajnih događaja u električnim mrežama kako bi se procijenili gubici energije. Vrši se proračun indeksa performansi pomoću kojih se formira model koji uvažava nepredvidivosti (distribuirana proizvodnja, profile opterećenja, pouzdanost mreže). U zavisnosti od podataka, dobija se rezultat o kvalitetu energije, pouzdanosti sistema, ekonomičnosti sistema i gubitaka energije u sistemu [53].

Statističke metode mogu biti korisne kada su dostupni podaci o promjenama opterećenja, napona, vršnih snaga, poželjno što dužeg perioda, i kada se želi razumjeti raspodjela tih promjena.

4.1.3 Metode zasnovane na fuzzy proračunima

Fuzzy proračun obuhvata proračun tokova snaga fuzzy pristupom, kao i određivanje gubitaka metodom fuzzy klasterovanja, uključujući primjenu fuzzy logike za modelovanje nesigurnosti i nepreciznosti koje se javljaju u distributivnim sistemima. Fuzzy logika omogućava predstavljanje nejasnih ili dvosmislenih informacija, čineći ga pogodnim za suočavanje sa faktorima kao što su različiti uslovi opterećenja, promjenljivi parametri okoline i neprecizna mjerena u distributivnim mrežama [54].

U ovom pristupu, lingvističke varijable se koriste za predstavljanje ulaznih i izlaznih parametara, kao što su nivoi opterećenja, vremenski uslovi i uslovi opreme. Ove lingvističke varijable su povezane sa fuzzy skupovima, koji definišu funkcije članstva kako bi kvantifikovali stepen pripadnosti svake ulazne ili izlazne promjenljive određenom fuzzy skupu.

Kao fuzzy brojevi, uzimaju se vrijednosti opterećenja čvorova i vrijednosti napona u istim. Na taj način je moguće odraditi fuzzy proračun tokova snaga. Ostali ulazni podaci (podaci o tehničkim parametrima mreže, topologija), tretiraju se kao deterministički zbog visoke tačnosti na osnovu tehničkih baza podataka.

Ključne stavke koje se koriste u sprovođenju fuzzy logike uključuju [55]:

- **Funkcije članstva:** Ove funkcije definišu stepen pripadnosti ulazne ili izlazne promjenljive fuzzy skupu. Predstavljaju se pomoću matematičkih izraza, kao što su trouglaste ili trapezoidne funkcije članstva, koje mapiraju ulazne/izlazne vrijednosti u stepene pripadnosti.
- **Fuzzy pravila:** Pravila obuhvataju odnos između ulaznih i izlaznih promjenljivih koristeći lingvističke izraze. Ova pravila su izražena u obliku „ako-onda“ naredbi, gdje prethodni (ako-dio) specificira uslove na osnovu ulaznih promjenljivih, a sledeći (onda-dio) definiše akciju na osnovu izlaznih promjenljivih.
- **Fuzzy zaključivanje:** Zaključivanje kombinuje fuzzy pravila da bi se odredili odgovarajući izlazni fuzzy skupovi na osnovu stepena pripadnosti ulaznih promjenljivih. Ovo uključuje korake fazifikacije, evaluacije pravila, agregacije i defazifikacije za mapiranje ulaznih fuzzy skupova u izlazne fuzzy skupove.
- **Defazifikacija:** Defazifikacija konvertuje fuzzy izlazne skupove u jasne vrijednosti, predstavljajući konačni izlaz sistema fuzzy logike. Ovo se može postići korišćenjem različitih metoda kao što su centroid, srednja vrijednost maksimuma ili ponderisana prosječna defazifikacija.

Primjenom fuzzy metode, gubici snage i energije u distributivnim mrežama mogu se preciznije procijeniti, sa obzirom na složenost i nedostatak informacija distributivnog sistema. Međutim, efikasnost fuzzy metode zavisi od odgovarajućeg izbora funkcija članstva, fuzzy pravila i mehanizama zaključivanja, koji mogu zahtijevati stručnost i pažljivo podešavanje. Dodatno, treba uzeti u obzir računsku složenost sistema fuzzy logike, posebno za velike distributivne mreže.

4.1.4 Top Down i Bottom Up metode

Ove metode se koriste za generalizovanu procjenu gubitaka na osnovu ograničenog seta podataka. Rezultati su indikativne prirode, a odabir metoda zavisi od seta početnih podataka – generalni podaci mreže ili pojedinih elemenata. Uprošćeni dijagram funkcionisanja ovih metoda je prikazan na slici (1).

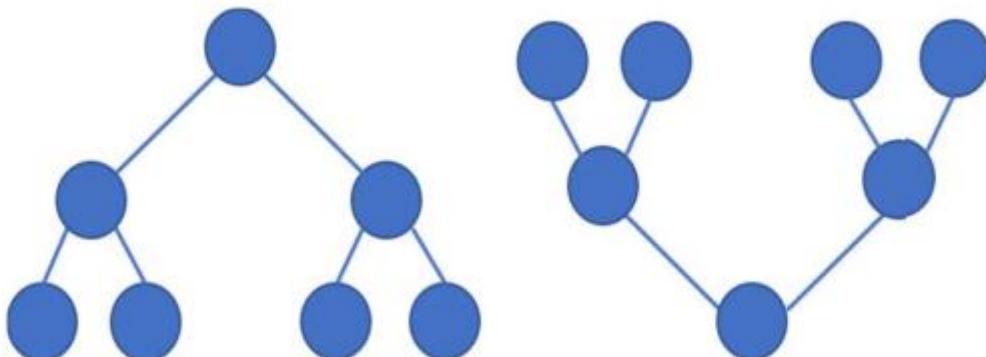
Top Down – Jednostavniji metod koji analizira “odozgo prema dolje”. Glavni problem se razlaže na veći broj manjih problema, u cilju lakšeg razumijevanja istog. U konkretnoj tematiki interesovanja - koriste se generalni podaci za mrežu, a ne za individualne elemente. Počinje se od napojnih trafostanica i ide do krajnjih potrošača. Potrebni podaci za funkcionisanje ove metode su [56]:

- Kriva opterećenja trafostanica
- Podaci o mreži srednjeg napona
- Podaci o mreži niskog napona

Za povećanu preciznost rezultata se preporučuje, ukoliko je informacija dostupna, upotreba dijagrama opterećenja vodova. Prednost ove metode jeste upotreba seta podataka koji je jednostavan za nabaviti, bez potrebe za velikim bazama podataka koje moraju biti ažurirane.

Bottom Up – Metod koji je razvijen za podatke pojedačnih elemenata koji se grupišu, i kao konačan rezultat se dolazi do podataka za čitavu mrežu “odozdo prema gore” [57].

Manji problemi se analiziraju, a potom integrišu u rješavanje glavnog problema. Ovaj metod je pouzdaniji od Top Down, ali limitirajući faktor je taj da je za njegovu primjenu potrebno mnogo veći set podataka sa strane konzuma - individualnih elemenata.



Slika 1. Grafički prikaz top down i bottom up metodologije

4.1.5 Metoda globalnih pokazatelja

Metoda globalnih pokazatelja (metoda strukturalnih gubitaka), koristi karakteristike Top Down i Bottom Up metoda. Rezultati ove metode su precizniji (set podataka koji se prikuplja je jednostavan, a uzimaju se i podaci sa strane potrošača) [58].

Podaci koji su potrebni za funkcionisanje metode:

1. Podatak o preuzetoj i realizovanoj energiji – Preuzeta energije sadrži energiju svih potrošača i svih gubitaka. Da bi se proračunali gubici, potreban je podatak o realizovanoj energiji – energija koja je predata svim potrošačima. Razlikom preuzete i realizovane energije se dobija podatak o gubicima energije (obračunski gubitak energije)
2. Podaci o opterećenju izvoda
3. Jednopolne šeme 35 kV i 10 kV mreže i pripadajućih trafostanica
4. Broj faza, presjeci, dužine vazdušnih i kablovnih vodova

Cilj metode globalnih pokazatelja je da se cijela mreža zamijeni odgovarajućim ekvivalentnim elementima, slično metodi ekvivalentne otpornosti, ali sa težnjom da se eliminiše njen nedostatak – deficit podataka o strukturi gubitaka.

Za ovu metodu je važan faktor raspodjele opterećenja duž mreže koji utiče na konačne gubitke ekvivalentnog voda. Povoljnije je za vod da su veći potrošači koncentrisani na početku voda, a da su manji potrošači koncentrisani na kraju. Kako raspodjela opterećenja nije linearna, ova metoda nudi opciju da se prepostavi ekvivalentno ravnomjerno raspoređeno opterećenje koje odgovara realnom rasporedu, sa aspekta gubitaka.

Drugi faktor koji se mora uvažiti jeste faktor jednovremenosti opterećenja. Sve vršne snage se ne dešavaju jednovremeno, tako da se faktor jednovremenosti mora uvažiti za svaki izvod, sa aspekta validnosti rezultata. Za povećanu pouzdanost bi bio poželjan podatak o karakteru konkretnog konzuma, ali se mogu upotrijebiti i empirijske relacije koje će nepovoljno uticati na kvalitet rezultata.

4.2 Metode za proračun tokova snaga za distributivnu mrežu

Kako između prenosne i distributivne mreže postoje određene razlike, metode koje se primjenjuju kod istih se prilagođavaju kako bi se postigla efikasnost metode, odnosno kvalitet rezultata i funkcionalnost.

Metoda treba da omogući proračun u nekom konačnom vremenu, i da obezbijedi dovoljno pouzdan set rezultata. Dvije najzastupljenije metode su [59]:

- Newton – Raphson: Ova metoda je najviše u upotrebi i na njoj su vršene modifikacije kako bi ubrzali njen rad, poboljšali stabilnost i konvergenciju
- Gauss – Seidel: Ovu metod karakteriše mala matematička složenost, iteracija traje kraće, ali ima poteškoću da predugo traje da dođe do konačnog rješenja, sa povećanjem dimenzionalnosti problema

Kako su analize tokova snaga polazni korak kod metoda, odabir metode će zavisiti od namjene rezultata. Ukoliko se rade planske analize (proširenje kapaciteta, priključenje novih izvora) gdje rok nije od značaja, može se koristiti širok spektar metoda. Ukoliko se rade analize za potrebe eksploatacije u nekim kraćim vremenskim periodima, koriste se približne metode koje imaju grube aproksimacije koje utiču na konačni rezultat, ali za potrebe eksploatacije su dovoljno dobre po pitanju indikativnosti – da li će doći do preopterećenja nekih elemenata.

Kod distributivnih mreža, prisutna je veća dimenzionalnost problema u odnosu na prenosne mreže (veliki broj vodova, transformatora). Ovo utiče na odabir metode za proračun tokova snaga jer može doći do problema sa vremenom za koje će metoda dobiti rezultate i sa numeričkom stabilnošću.

Osnovni problemi kod primjene metoda u distributivnoj mreži jeste dimenzionalnost mreže, koja otežava numeričku stabilnost postupka i konvergenciju.

Olakšavajuća okolnost kod proračuna tokova snaga u distributivnim mrežama jeste konfiguracija mreže – dominantno je radikalna, uz mogućnost postojanja rezervnih vodova za promjenu uklopnog stanja na nekim mjestima, ili formiranja prstena (zatvaranja petlje) u užim gradskim centrima.

4.2.1 Newton Raphson metod

Ključne formule u ovom postupku uključuju proračun injektiranja aktivne i reaktivne snage, formiranje matrice Jakobijana, korekciju nepoznatih vrijednosti modula napona i faznih stavova, i iterativno ažuriranje vrijednosti [60].

Osnovna matematička formulacija algoritma opisana je sledećom relacijom:

$$\left[\frac{\Delta P}{\Delta Q} \right]^{(v)} = J^{(v)} \left[\frac{\Delta \theta}{\Delta V} \right]^{(v)} \quad (33)$$

Gdje su:

$\left[\frac{\Delta P}{\Delta Q} \right]$ - vektor odstupanja specificiranih od proračunatih injektiranja aktivne i reaktivne snage

J - matrica Jakobijana

$\Delta x = \left[\frac{\Delta \theta}{\Delta V} \right]$ - vektor nepoznatih odstupanja faznih stavova i modula napona koje je potrebno odrediti

v - broj iteracija

Kao početan uslov, potrebno je postaviti sve napone čvorova u „flat start“ stanje – module napona postaviti na 1 (p.u.) i fazni stavove na 0.

Funkcionisanje Newton – Raphson metoda je sprovedeno kroz sledeće korake:

Korak 1: Proračun injekcije aktivne i reaktivne snage:

Injekcija aktivne snage P_i u čvoru i se proračunava kao:

$$P_i(x) = \sum_{k=1}^N V_i V_k (G_{ik} \cos \theta_{ik} + B_{ik} \sin \theta_{ik}) \quad (34)$$

Injekcija reaktivne snage Q_i u čvoru i se proračunava kao:

$$Q_i(x) = \sum_{k=1}^N V_i V_k (G_{ik} \sin \theta_{ik} - B_{ik} \cos \theta_{ik}) \quad (35)$$

Korak 2: Proračun odstupanja aktivne i reaktivne snage od specificiranih vrijednosti:

Odstupanje aktivne snage ΔP se računa kao razlika između specificirane i proračunate aktivne snage:

$$\Delta P = P_{spec} - P \quad (36)$$

Odstupanje reaktivne snage ΔQ se računa kao razlika između specificirane i proračunate reaktivne snage:

$$\Delta Q = Q_{spec} - Q \quad (37)$$

Gdje su:

$$P_{spec} = P_{gen} - P_{potr}$$

$$Q_{spec} = Q_{gen} - Q_{potr}$$

Korak 3: Formiranje Jakobijanove matrice

Jakobijanova matrica se formira kao osjetljivost promjena aktivnih i reaktivnih injektiranja u odnosu na promjene modula napona i faznih stavova napona:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\Delta P}{\Delta \theta} & \frac{\Delta P}{\Delta V} \\ \frac{\Delta Q}{\Delta \theta} & \frac{\Delta Q}{\Delta V} \end{bmatrix} \quad (38)$$

U tekućoj iteraciji, vektor nepoznatih odstupanja se dobija množenjem inverzije matrice Jakobijana i vektora odstupanja injekcija snaga:

$$\begin{bmatrix} \frac{\Delta \theta}{\Delta V} \end{bmatrix}^{(v)} = [J^{(v)}]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix}^{(v)} \quad (39)$$

Korak 4: Ažuriranje nepoznatih vrijednosti modula napona i faznih stavova

Nepoznati vektor modula napona i faznih stavova se u narednoj iteraciji dobija dodavanjem priraštaja iz prethodne relacije (39):

$$\left[\frac{\Delta\theta}{\Delta V} \right]^{(v+1)} = \left[\frac{\theta}{V} \right]^{(v)} + \left[\frac{\Delta\theta}{\Delta V} \right]^{(v)} \quad (40)$$

Navedeni koraci se iterativno ponavljaju sve dok se ne ispunи uslov konvergencije, odnosno dok odstupanje injektiranja snaga ne postane manje od unaprijed definisane tačnosti ε .

4.2.2 Gauss Seidel metod

Gauss – Seidel (*Liebmann*) metoda je iterativna metoda koja koristi početna nagađanja, a zatim kroz seriju ponavljanja dobija preciznija rješenja. Metoda je pogoda za veliki broj jednačina i karakteriše je brza konvergencija, ali može doći do problema sa konvergencijom – da konvergira ka pogrešnom rezultatu ili da ne konvergira uopšte, u zavisnosti od osjetljivosti na početne pretpostavke, i dominantnosti dijagonalnih elemenata matrice [61].

Proračun tokova snaga Gauss – Seidel metodom se obavlja sledećim koracima [62]:

Korak 1: Za sve čvorove, osim balansnog čvora, pretpostavljaju se početne vrijednosti napona po modulu i faznom stavu – *flat start*.

$$\underline{U}_i^{(0)} = 1 + j0 \quad (i = 2, \dots, n) \quad (41)$$

Korak 2: Na osnovu prepostavljenih početnih vrijednosti (relacija 41), vrši se proračun napona čvorova

$$\underline{U}_2^{(1)} = \frac{1}{Y_{22}} \left[\frac{P_2 - jQ_2}{Y_{22}^{*(0)}} - Y_{21}\underline{U}_1 - Y_{23}\underline{U}_3^{(0)} - \dots - Y_{2n}\underline{U}_n^{(0)} \right] \quad (42)$$

Korak 3: Korigovana vrijednost napona se vraća nazad u desnu stranu jednačine (42) kako bi se dobila nova korigovana vrijednost napona, i ovaj korak se ponavlja specifični broj iteracija, za svaki čvor, ponovo koristeći poboljšane vrijednosti napona prethodno proračunatih čvorova sve dok se ne zadovolji kriterijum konvergencije:

$$|U_i^{(k-1)} - U_i^{(k)}| \leq \varepsilon \quad (43)$$

Tipična osjetljivost (odstupanje napona) iznosi:

$$\varepsilon = 0.00001 - 0.0001 \quad (44)$$

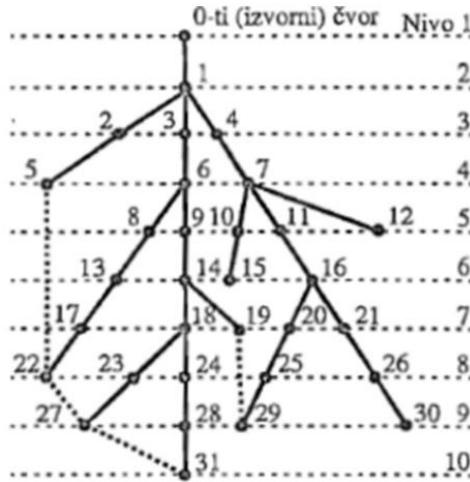
4.2.3 Shirmohammadijev metod

Shirmohammadijev metod (metod sumacije struja) je formiran kada distribuirana proizvodnja još uvijek nije bila razvijena na onom nivou kako je danas u svijetu mreža radikalna, i posmatra se kao da je čisto pasivna, gdje se napojni čvor smatra balansnim (i njemu je dodijeljen najveći hijerarhijski nivo), a svi ostali čvorovi kao potrošački (i nakon svakog račvanja se formira niži hijerarhijski nivo).

Pasivni potrošač se modeluje na 3 načina:

- Konstantna snaga – ako su u pitanju konzumi motornog režima rada
- Konstantna struja – ako su u pitanju konzumi mješovitog karaktera
- Konstantna impedansa – ako su u pitanju konzumi termičkog karaktera

Numeracija čvorova se vrši sa lijeva na desno, zbog sukcesivne supstitucije kroz relacije „naprijed – nazad”, gdje nema potrebe za inverzijama ili radom sa velikim matricama, što je ujedno i velika prednost ove metode, kako sa aspekta efikasnih iteracija (mala matematička složenost) tako i u pogledu numeričke stabilnosti [63].



Slika 2. Hijerarhijsko označavanje čvorova

Procedura Shirmohammadijevog metoda:

Kao početni uslov, potrebno je postaviti sve napone čvorova u „flat start” stanje:

$$V_i^{(0)} = V_n \quad \theta_i^{(0)} = 0^\circ \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (45)$$

Korak 1: Struje injektiranja u čvorove $I_i^{(k)}$ u čvor i u iteraciji k se računaju:

$$I_i^{(k)} = \left(\frac{S_i}{V_i^{(k-1)}} \right)^* - Y_i V_i^{(k-1)} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (46)$$

Gdje su:

$V_i^{(k-1)}$ – Napon čvora i proračunatog u $(k-1)$ iteraciji

S_i – Specificirana snaga injektiranja u čvoru i

Y_i – Suma svih šantiranih elemenata čvora i

Korak 2: Backward Sweep - Kretanjem kroz čvorove poslednjeg hijerarhijskog nivoa pa do početka (izvornog čvora), struja injektiranja u granu L se računa:

$$J_L^{(k)} = -I_{L2}^{(k)} + \sum I_{L2t} \quad (47)$$

Gdje su:

$I_{L2}^{(k)}$ – Injektiranje struje u čvor L2

$\sum I_{L2t}$ – Suma svih struja koje ističu iz čvora L2 (primjena prvog Kirhofovog zakona)

Korak 3: Forward sweep - Ažuriranje napona čvorova se vrši od izvornog čvora pa do krajnijih čvorova hijerarhije. Za svaku granu L, napon u čvoru L2 se računa upotrebom ažurirane vrijednosti napona u čvoru L1 i prethodno proračunate struje grane:

$$V_{L2}^{(k)} = V_{L1}^{(k)} - Z_L J_L^{(k)} \quad L = 1, 2, \dots, b \quad (48)$$

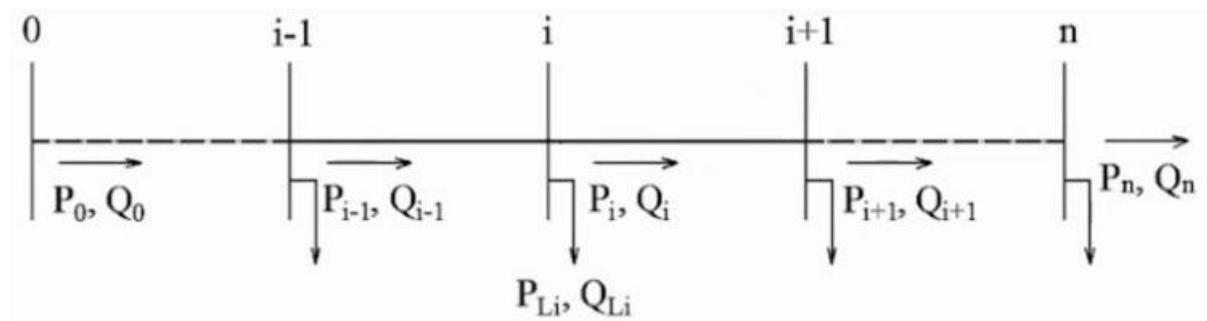
Gdje je:

Z_L – Redna impedanse grane L (primjena drugog Kirhofovog zakona)

Koraci 1, 2 i 3 se ponavljaju dok se ne ispunji uslov konvergencije.

4.2.4 DistFlow metod

DistFlow iterativni metod je formiran isključivo za distributivne mreže radijalnog karaktera, i zasnovan je na jednačinama za pad napona na kratkom vodu, gdje su vodovi predstavljeni pomoću impedanse $Z_i = R_i + jX_i$, dok su opterećenja smatrana konstantnim I predstavljena pomoću izraza $S_L = P_L + jQ_L$ [64].



Slika 3. Primjer radijalne mreže sa označenim tokovima snaga

U radijalnoj distributivnoj mreži, proračun tokova snaga se opisuje jednačinama koje se nazivaju *DistFlow jednačine* koje koriste vrijednosti aktivne, reaktivne snage i amplitude napona na prijemnom kraju grane, kako bi se proračunale vrijednosti istih parametara na predajnom kraju grane:

$$\underline{V_{i+1}} = V_i - \frac{P_i R_i + Q_i X_i}{V_i} - j \frac{P_i X_i - Q_i R_i}{V_i} \quad (49)$$

Kvadrat modula napona predajnog (i+1) – og čvora iznosi:

$$V_{i+1}^2 = V_i^2 - 2(P_i R_i + Q_i X_i) + (R_i^2 + X_i^2) \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} \quad (50)$$

Aktivna snaga na predajnom kraju (i+1) – e grane se računa pomoću:

$$P_{i+1} = P_i - R_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} - P_{L_{i+1}} \quad (51)$$

Reaktivna snaga na predajnom kraju (i+1) – e grane se računa pomoću:

$$Q_{i+1} = Q_i - X_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} - Q_{L_{i+1}} \quad (52)$$

Jednačine (50-52) se nazivaju *forward update* jednačine i pomoću njih se računaju parametri predajnog kraja grane ($P_{i+1}, Q_{i+1}, V_{i+1}$), ukoliko su poznati parametri prijemnog kraja grane (P_i, Q_i, V_i).,

Analogno *forward update* jednačinama, formiraju se i *backward update* jednačine pomoću kojih se računaju parametri prijemnog kraja grane (P_i, Q_i, V_i), ukoliko su poznati parametri predajnog kraja grane ($P_{i+1}, Q_{i+1}, V_{i+1}$).

Kvadrat modula napona prijemnog kraja grane se dobija pomoću relacije:

$$V_i^2 = V_{i+1}^2 + 2(P'_{i+1} R_i + Q'_{i+1} X_i) + (R_i^2 + X_i^2) \frac{P'_{i+1}^2 + Q'_{i+1}^2}{V_{i+1}^2} \quad (53)$$

Aktivna snaga prijemnog kraja grane se dobija pomoću relacije:

$$P_i = P_{i+1} + R_i \frac{P'_{i+1}^2 + Q'_{i+1}^2}{V_{i+1}^2} - P_{L_{i+1}} \quad (54)$$

Reaktivna snaga prijemnog kraja grane se dobija pomoću relacije:

$$Q_i = Q_{i+1} + X_i \frac{P'_{i+1}^2 + Q'_{i+1}^2}{V_{i+1}^2} - Q_{L_{i+1}} \quad (55)$$

Gdje su:

$$P'_{i+1} = P_{i+1} + P_{L_{i+1}} \text{ -- Aktivna snaga na predajnom kraju i-te grane}$$

$$Q'_{i+1} = Q_{i+1} + Q_{L_{i+1}} \text{ -- Aktivna snaga na predajnom kraju i-te grane}$$

Uzastopnim iteracijama kroz *forward i backward update* jednačine, vrši se proračun tokova aktivnih i reaktivnih snaga po elementima mreže, kao i vrijednosti napona u čvorovima. Iterativni postupak se izvršava sve dok je absolutna vrijednost odstupanja modula napona u napojnom čvoru mreže iz dvije uzastopne iteracije veća od unaprijed zadate tačnosti ϵ :

$$\left| V_0^{(k)} - V_0^{(k-1)} \right| > \epsilon \quad (56)$$

5. Hibridni metod

Motivacija za kreiranje hibridnog metoda jeste formiranje detaljnije slike o podacima gubitaka individualnih elemenata, ali i čitavog distributivnog sistema od interesa, u cilju optimalnog iskorišćenja tehno-ekonomskih resursa.

Metod je prvenstveno zasnovan na raspoloživim podacima – više mjereneh podataka će analizu gubitaka učiniti lakšom i preciznijom, čime se eliminiše potreba za grubim aproksimacijama.

Algoritam raspolaže sa sledećim prvobitno poznatim parametrima sistema:

- Podužna aktivna otpornost voda
- Podužna induktivnost voda
- Dužina voda
- Poprečni presjek voda
- Gubici u gvožđu transformatora
- Gubici u bakru transformatora
- Procentualna vrijednost napona kratkog spoja transformatora
- Nominalna snaga transformatora

Hibridni algoritam raspolaže i informacijama koje su pribavljene od naprednih mjernih sistema. Pribavljeni podaci mogu biti real – time (u trenutku) ili istorijski (arhivski podaci mjerena sakupljeni na konkretnoj vremenskoj rezoluciji za odgovarajući vremenski period).

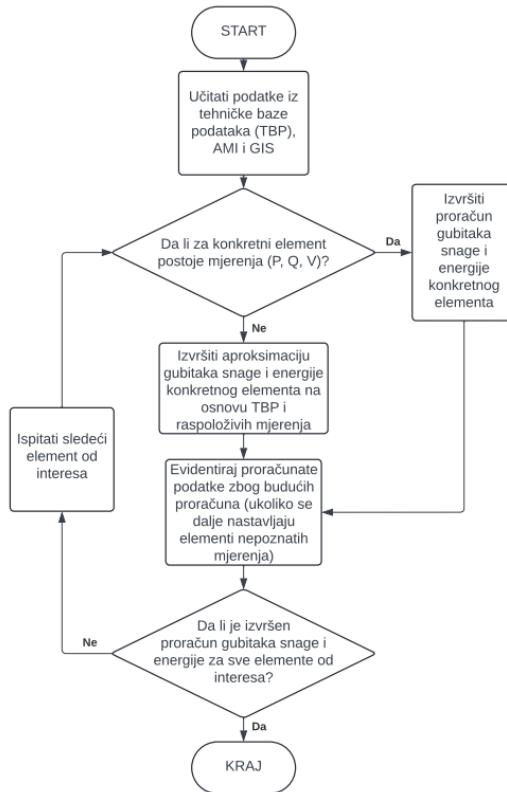
Mjerene veličine (mjerena) sa kojima algoritam raspolaže:

- Aktivna snaga
- Reaktivna snaga
- Moduli napona
- Vršna snaga 10/0.4 kV trafostanica (podatak maksigrafa na 0.4 kV strani)

Informacije koje su nepoznate (nisu prvobitno poznate na osnovu tehničke baze podataka ili se ne mogu mjeriti iz raznih razloga) se aproksimiraju na osnovu dostupnih informacija obližnjih elemenata, ili informacija napojnog čvora radijalnog voda.

Opšti koraci funkcionisanja hibridnog metoda:

1. Preuzeti sve raspoložive podatke iz tehničke baze podataka i naprednih sistema mjerena
2. Modelovati mrežu i njene elemente
3. Izvršiti proračun, odnosno aproksimaciju gubitaka snage
4. Izvršiti proračun, odnosno aproksimaciju gubitaka energije



Slika 4. Blok šema algoritma funkcionisanja hibridnog metoda

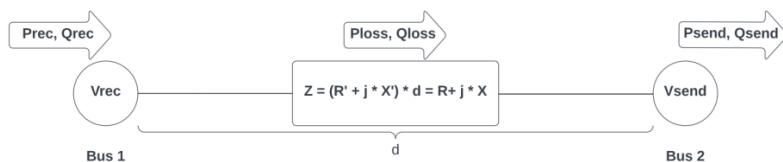
Nakon uspješno izvršenog proračuna i aproksimacije gubitaka, hibridni metod daje sledeći rezultat - kvantitativna i procentualna vrijednost gubitaka snage i energije svih pojedinačnih elemenata, i naponskog nivoa cjelokupno, u vremenskom periodu od interesa.

Time je izvršena lokalizacija problematičnih elemenata, odnosno vrućih tačaka, za koje se mogu predložiti i preuzeti neke od prethodno pomenutih akcija koje će na najefikasniji način redukovati gubitke na istim.

5.1 Modelovanje mreže

5.1.1. Modelovanje vodova

Uzimajući u obzir da dužine vodova na 35 kV i 10 kV nivou nisu veće od 80 km, za modelovanje vodova (kablovskih i vazdušnih) na 35 kV i 10 kV nivou, koristi se ekvivalentna „I” šema za modelovanje kratkih vodova [59].



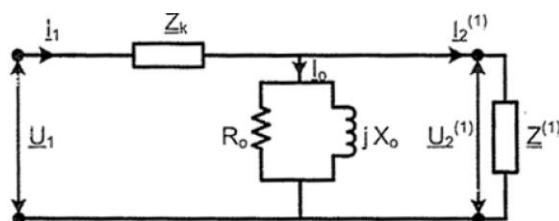
Slika 5. Ekvivalentna „I” šema modela voda

Gdje su:

- V_{rec} - Napon na početku voda
- V_{send} - Napon na kraju voda
- P_{rec} - Aktivna snaga na početku voda
- P_{send} - Aktivna snaga na kraju voda
- Q_{rec} - Reaktivna snaga na početku voda
- Q_{send} - Reaktivna snaga na kraju voda
- P_{loss} - Aktivni gubici na elementu
- Q_{loss} - Reaktivni gubici na elementu
- Z - Impedansa voda
- R' - Podužna aktivna otpornost voda
- X' - Podužna reaktivna otpornost voda
- d - Dužina voda

5.1.2. Modelovanje transformatora

Za modelovanje transformatora, upotrijebljena je „ Γ ” šema modela, čime su uvaženi i gubici u gvožđu, i gubici u bakru [65]:



Slika 6. Ekvivalentna „ Γ ” šema modela transformatora

Faktor snage, impedansa, aktivna otpornost i reaktansa impedanse praznog hoda izraženi su preko relacija:

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_{Fe}}{U_0 I_0} \quad (57)$$

$$Z_0 = \frac{U_0}{I_0} \quad (58)$$

$$R_0 = \frac{U_0^2}{P_{Fe}} = \frac{Z_0}{\cos\varphi_0} \quad (59)$$

$$X_0 = \frac{Z_0}{\sin\varphi_0} \quad (60)$$

Gdje su:

R_0 - Aktivna otpornost kojom se modeluju gubici u gvožđu

X_0 - Reaktansa mагнећења

P_{Fe} - Gubici u gvožđu

Z_0 - Impedansa praznog hoda

Uzimajući u obzir da su, u normalnom režimu rada (izvan kategorije podnapona ili prenapona), varijacije napona na 35 kV nivou i 10 kV nivou u opsegu $\pm 5\%$ može se smatrati da su gubici u gvožđu konstantni tokom analiziranog perioda, odnosno:

$$U \in (0.95U_n - 1.05U_n)$$

$$P_{Fe} = P_{Fen} = const$$

Impedansa, aktivna otpornost i reaktansa impedanse kratkog spoja izraženi su preko relacija:

$$Z_k = \frac{U_{k\%}}{100} \frac{U_n^2}{S_n} \quad (61)$$

$$R_k = \frac{P_{Cu\%}}{100} \frac{U_n^2}{S_n} \quad (62)$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} \quad (63)$$

Gdje su:

$P_{Cu\%}$ - Gubici u bakru, izraženi procentualno

$U_{k\%}$ - Relativni napon kratkog spoja, izražen procentualno

U_n - Nazivna vrijednost napona primarnog/sekundarnog namotaja

S_n - Nazivna snaga transformatora

Poznavajući zavisnost opterećenja transformatora u odnosu na njegovu nominalnu snagu n i svojstva kvadratne zavisnosti gubitaka u bakru od opterećenja, važi sledeća relacija [66]:

$$P_{Cu} = n^2 P_{Cun} \quad (64)$$

5.2 Proračun gubitaka snage i energije

Postupak proračuna gubitaka snage i energije se primjenjuje u sekcijama mreže koje su potpuno pokrivene mjerenjem (mjereni podaci su raspoloživi na oba kraja elementa), ili na sekcijama koje su djelimično pokrivene mjerenjem (mjereni podaci su raspoloživi samo na prijemnom, ili samo na predajnom kraju elementa). U oba slučaja je moguće sa velikom preciznošću odrediti gubitke na odgovarajućoj vremenskoj rezoluciji, uslед dostupnosti svih neophodnih podataka čime se izbjegava potreba za aproksimacijama.

Mreža 35 kV je zbog potreba upravljanja dobro opremljena mjernim mjestima, kako na prijemnim i predajnim krajevima vodova, tako i na visokonaponskim i niskonaponskim stranama transformatora.

Moguće su tri varijante raspoloživih mjerena na 35 kV nivou:

Varijanta 1: Obostrano mjerjenje - Najjednostavniji slučaj gdje su sa obije strane elementa dostupne raspoložive mjerene vrijednosti napona, aktivne i reaktivne snage.

Pomenuti raspoloživi mjereni podaci, zajedno sa poznatim parametrima sistema na osnovu baza podataka o elementima mreže, omogućavaju da se izvrši proračun i dobiju gubici snage oduzimanjem snage predajnog od snage prijemnog kraja elementa:

$$P_{loss} = P_{rec} - P_{send} \quad (65)$$

Gdje su:

P_{loss} – Gubici snage na elementu od interesa u konkretnom vremenskom trenutku

P_{rec} – Aktivna snaga na prijemnoj strani elementa u konkretnom vremenskom trenutku

P_{send} - Aktivna snaga na predajnoj strani elementa u konkretnom vremenskom trenutku

Nakon izvršenog proračuna gubitka snage u željenom vremenskom intervalu, za dobijanje gubitaka energije je upotrijebljeno trapezoidno pravilo - numerička metoda dostupna za aproksimaciju određenih integrala i koristi se kada su jednostavnost i lakoća primjene prioriteti.

Trapezoidna metoda računa sumu površina trapeza formiranih spajanjem uzastopnih vrijednosti funkcije sa pravim linijama. Koristi prosječne vrijednosti funkcije na krajevima svakog podintervala i množi sa širinom podintervala kako bi se aproksimirala površina svakog trapeza. Suma ovih površina pruža aproksimaciju integrala funkcije unutar datog intervala [61]:

$$\int_a^b f(x)dx \approx \frac{h}{2} * \left[f(a) + 2 * \sum_{i=1}^{n-1} f(x_i) + f(b) \right] \quad (66)$$

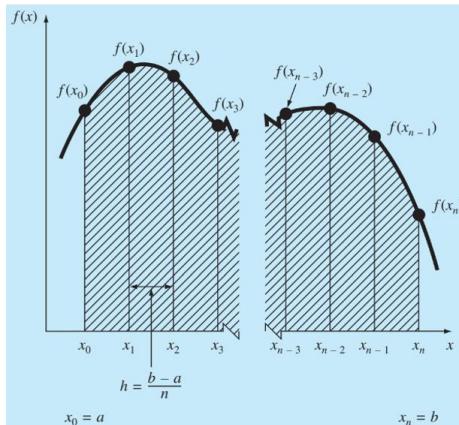
Gdje su:

$f(x)$ – Funkcija koja se integrali

n – Broj jednakorazmernih podintervala

x_i – Vrijednosti x u uzorcima unutar svakog podintervala, gdje je $x_i = a + i * h$

h – Širina svakog podintervala, gdje je $h = \frac{b-a}{n}$



Slika 7. Grafički prikaz trapezoidnog pravila

Za potrebe algoritma, x osa predstavlja vremenski interval od interesa, dok y osa predstavlja gubitke snage proračunate u instancama vremenske rezolucije zahvata mjerjenih podataka. Gubici energije se računaju pomoću sledeće formule:

$$W = \int_{t_0}^{t_n} P(t) dt \quad (67)$$

Gdje su:

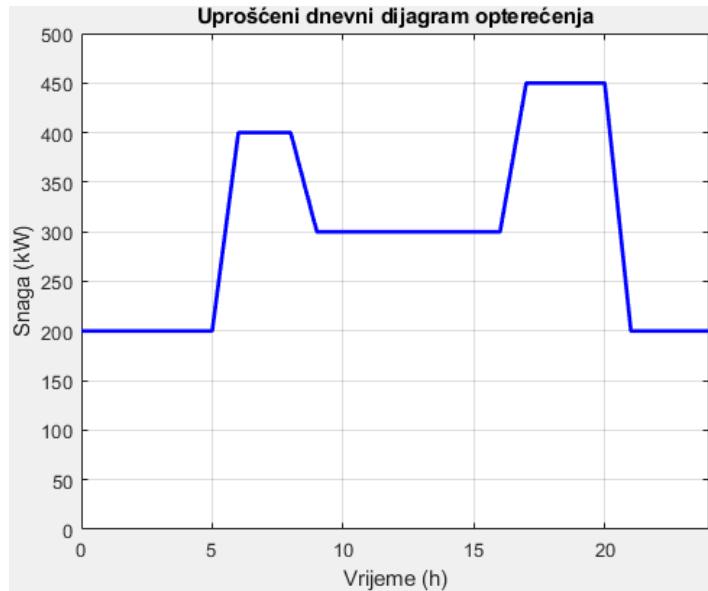
t_0 - Početni vremenski trenutak

t_n - Krajnji vremenski trenutak

$P(t)$ – Funkcija snage koja se integrali

Integracijom krive gubitaka snage koja je formirana prethodno izvršenim proračunom gubitaka snage, kao rezultat se dobijaju gubici energije u konkretnom vremenskom intervalu definisanim u opsegu $[t_0, t_n]$.

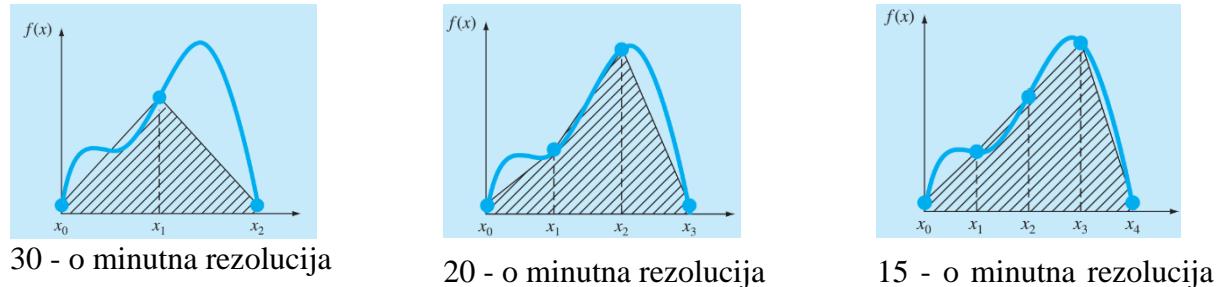
Primjer: Na sledećoj slici je prikazan nasumično generisan uprošćeni dnevni dijagram opterećenja, sa 15-o minutnim mjerjenjima snage tokom čitavog dana. Mjerena snaga je prikazana u kW.



Slika 8. Nasumično generisan uprošćeni dijagram opterećenja

Primjenom trapezoidne metode, na osnovu mjerениh vrijednosti snage, kao rezultat se dobija ukupna potrošnja električne energije u posmatranom periodu, koja iznosi 7200 kWh.

Trapezoidna metoda je relativno jednostavna numerička metoda, ali može zahtijevati veći broj podintervala kako bi se postigla visoka tačnost, posebno za funkcije sa složenim ponašanjem. Na sledećim slikama su prikazane integracije funkcije za različit broj vremenskih odbiraka, i uticaj istih na preciznost rezultata integracije.



Slika 9, 10, 11 Uticaj rezolucije odbiraka na preciznost rezultata

U primjeru na kojem je hibridni algoritam testiran, vremenska rezolucija prikupljanja mjerениh podataka iznosi 15 minuta, što postavlja dobru osnovu za preciznost rezultata, pri čemu ne opterećuje softver numeričkom nestabilnošću [23].

Varijanta 2: Mjerenje na prijemnom kraju – Usljed nedostatka raspoloživog mjerenja na predajnom kraju elementa, cilj je dobiti potrebne vrijednosti prametara na tom kraju, za dalji proračun gubitaka u slučaju da sledeći element koji se nadovezuje ne posjeduje mjerenja. Za to se koriste mjerene vrijednosti sledećih parametara na 15-o minutnoj rezoluciji: amplituda napona na prijemnom kraju (V_{rec}), aktivna snaga na prijemnom kraju (P_{rec}) i reaktivna snaga na prijemnom kraju (Q_{rec}). Primjenjuje se jednačina za proračun pada napona za poznate vrijednosti na početku elementa [59]:

$$V_{\underline{send}} = V_{rec} - \frac{P_{rec}R + Q_{rec}X}{V_{rec}} - j \frac{P_{rec}X - Q_{rec}R}{V_{rec}} \quad (68)$$

Gdje su:

V_{rec} – Kompleksna vrijednost napona na prijemnom kraju elementa
 V_{send} – Kompleksna vrijednost napona na predajnom kraju elementa
 P_{rec} – Aktivna snaga na prijemnom kraju elementa
 Q_{rec} – Reaktivna snaga na prijemnom kraju elementa
 V_{rec} – Amplituda napona na prijemnom kraju elementa
 R – Aktivna otpornost
 X – Reaktivna otpornost

Nakon proračuna vrijednosti napona na predajnom kraju elementa, gubici aktivne i reaktivne snage na elementu se dalje mogu proračunati upotrebom sledećih formula:

$$P_{loss} = \frac{P_{send}^2 + Q_{send}^2}{V_{send}^2} R \quad (69)$$

$$Q_{loss} = \frac{P_{send}^2 + Q_{send}^2}{V_{send}^2} X \quad (70)$$

Gdje su:

P_{send} – Aktivna snaga na predajnom kraju elementa
 Q_{send} – Reaktivna snaga na predajnom kraju elementa
 V_{send} – Amplituda napona na predajnom kraju elementa
 P_{loss} – Gubici aktivne snage
 Q_{loss} – Gubici reaktivne snage

Na ovaj način je izvršen proračun gubitaka snage na elementu od interesa. Nakon proračuna gubitaka snage za sve elemente, primjenom trapezoidnog pravila (relacija 66) se vrši proračun gubitaka energije u konkretnom periodu.

Varijanta 3: Mjerenje na predajnom kraju – U ovom slučaju, koristi se jednačina za proračun pada napona za poznate vrijednosti na predajnom kraju elementa:

$$V_{rec} = V_{send} + \frac{P_{send}R + Q_{send}X}{V_{send}} + j \frac{P_{send}X + Q_{send}R}{V_{send}} \quad (71)$$

Nakon proračuna vrijednosti napona na prijemnom kraju elementa, gubici aktivne i reaktivne snage na elementu se dalje mogu proračunati korišćenjem sledećih formula:

$$P_{loss} = \frac{P_{rec}^2 + Q_{rec}^2}{V_{rec}^2} R \quad (72)$$

$$Q_{loss} = \frac{P_{rec}^2 + Q_{rec}^2}{V_{rec}^2} X \quad (73)$$

Na ovaj način je izvršen proračun gubitaka snage na elementu od interesa. Nakon proračuna gubitaka snage za sve elemente, primjenom trapezoidnog pravila (relacija 66) se vrši proračun gubitaka energije u konkretnom periodu.

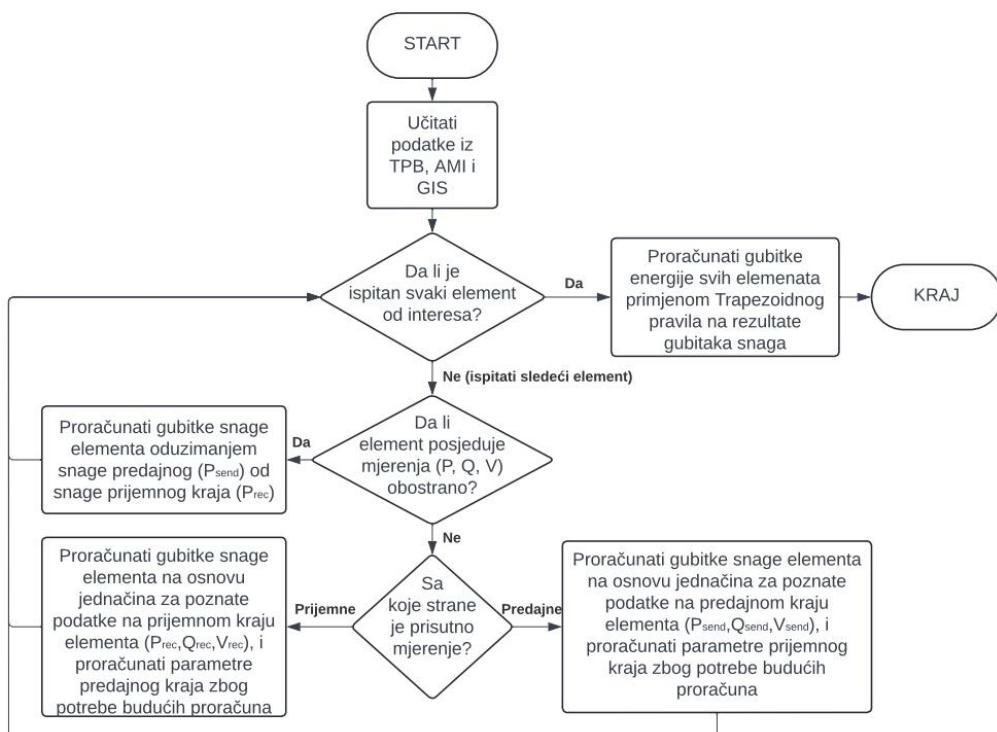
Ukoliko je element koji se analizira transformator prenosnog odnosa 35/10 kV, koriste se podaci konkretnog transformatora, ili ukoliko taj podatak nije dostupan - tabela

tipičnih podataka gubitaka u bakru i napona kratkog spoja (Tabela 4), kao i raspoloživa mjerena, uz upotrebu relacije za proračun gubitaka snage u konkretnom vremenskom trenutku. [59]

Tabela 4. Specifikacije transformatora 35/10 kV

S_n (MVA)	P_{Fe} [kW]	$P_{Cu\%}$	$U_{ks\%}$
2.5	5	0.2	6
4	7.9	0.2	6
8	15	1	7
20	30	0.1	10
31.5	39	0.08	11
63	47	0.06	12
300	150	0.03	12

Nakon proračuna gubitaka snage transformatora i primjenom trapezoidnog pravila na iste, vrši se proračun gubitaka energije u konkretnom periodu.



Slika 12. Algoritam za proračun gubitaka snage i energije za 35 kV mrežu

5.3 Aproksimacija gubitaka snage i energije

Kako je 10 kV srednjenačinska mreža po svojoj prirodi složenija u odnosu na 35 kV mrežu (veći broj elemenata, niži nivo raspoloživih mjerenja), ekonomski je neisplativo da se na svim elementima instaliraju mjerni uređaji za monitoring parametara (aktivna snaga, reaktivna snaga, naponi) na visokoj vremenskoj rezoluciji. Ovo dodatno otežava proces analize i proračuna gubitaka 10 kV mreže, što uslovljava uvođenje aproksimacija kako bi se izvršio proračun gubitaka snage i energije.

Podaci sa kojima se raspolaze na 10 kV nivou su:

1. Raspoloživa mjerenja napona, aktivne i reaktivne snage na prijemnoj strani napajnog 10 kV izvoda iz 35/10 kV trafostanice
2. Parametri sistema koji su dostupni na osnovu baza podataka o sistemu ili na osnovu tipičnih kataloških vrijednosti
3. Nominalne snage 10/0.4 kV trafostanica
4. Vršne snage 10/0.4 kV trafostanica na osnovu maksigrafa (sa niskonaponske strane 0.4 kV)

Uzimajući u obzir četvrtu stavku, za proračun gubitaka na 10 kV nivou se razmatraju i gubici pri transformaciji u trafostanicama 10/0.4 kV, kako bi se koristile veličine na 10 kV naponskom nivou.

Za uvažavanje gubitaka pri transformaciji, uslijed nedostupnosti podataka transformatora, upotrijebljene su kataloške vrijednosti parametara u zavisnosti od nominalne snage transformatora prikazane u tabeli (5) [67]:

Tabela 5. Specifikacije transformatora 10/0.4 kV

S_n (kVA)	P_{Fe_max} (W)	P_{Cu_max} (W)	$U_{ks\%}$
50	130	900	4
100	210	1475	4
160	220	1500	4
250	310	2100	4
400	440	2800	4
630	610	3850	5
1000	770	10500	6

Za potrebe aproksimacije gubitaka snage i energije u 10 kV distributivnoj mreži, razmatraju se dvije varijante:

Varijanta 1: Maksigraf trafostanice je poznat - U ovom slučaju se posmatra dijagram opterećenja napajnog 10 kV izvoda, i uzimaju se, za svaki mjesec od interesa, vršne snage koje su se pojavile na tom izvodu. Posmatra se i vršna snaga konkretnе trafostanice 10/0.4 kV napajane sa tog izvoda, u konkretnom mjesecu. Nakon usvajanja te dvije vrijednosti, formira se zavisnost vršne snage trafostanice od vršne snage napajnog izvoda, u konkretnom mjesecu:

$$D_{vs_m} = \frac{P_{vt_m}}{P_{vi_m}} \quad (74)$$

Gdje su:

D_{vs_m} – Zavisnost vršne snage trafostanice od vršne snage izvoda, u konkretnom mjesecu m

P_{vt_m} – Vršna snaga trafostanice u konkretnom mjesecu m

P_{vi_m} – Vršna snaga 10 kV izvoda koji napaja trafostanicu, u konkretnom mjesecu m

Dobijena zavisnost pomoću relacije (74) se koristi za formiranje „virtuelnog“ dijagrama opterećenja konkretne trafostanice 10/0.4 kV, na odgovarajućoj vremenskoj rezoluciji koje posjeduje mjerjenje na napojnom 10 kV izvodu. Množenjem te zavisnosti sa dijagramom opterećenja 10 kV izvoda, se dobija aproksimirani dijagram opterećenja trafostanice:

$$P_{tvirt_n_m} = D_{vs_m} P_{i_n_m} \quad (75)$$

Gdje su:

$P_{tvirt_n_m}$ – Virtuelno mjerjenje snage konkretne trafostanice, u trenutku n , u konkretnom mjesecu m

$P_{i_n_m}$ – Mjerena vrijednost snage 10 kV izvoda u trenutku n , u konkretnom mjesecu m

Nakon formiranja dijagrama opterećenja svih trafostanica prenosnog odnosa 10/0.4 kV, vrši se proračun gubitaka snage i energije.

Za proračun gubitaka snage se, uslijed raspoloživih i formiranih setova podataka, upotrebljava DistFlow metoda. Primjenom Trapezoidnog pravila na dobijene rezultate gubitaka snage, kao konačni rezultat se dobijaju gubici snage i energije svih 10 kV vodova koji se napajaju sa izvornog 10 kV izvoda, u odgovarajućoj vremenskoj rezoluciji raspoloživih mjerjenja izvornog 10 kV izvoda.

Varijanta 2: Maksigraf trafostanice nije poznat – Razlozi mogu biti sledeći:

- Traforeon nije dobro mapiran
- Neispravna mjerna oprema (balansno mjerjenje)
- Predimenzionisanost mjerne opreme, a opterećenje trafostanice nisko

U ovom slučaju, virtuelni dijagram opterećenja trafostanice prenosnog odnosa 10/0.4 kV nije moguće formirati primjenom zavisnosti vršnih snaga okolnih trafostanica od vršne snage napojnog 10 kV izvoda (relacija 74).

Razlog za to jeste slučaj kada je trafostanica nepoznatog maksigrafa nominalne snage S_n okružena jednom ili više trafostanica, čije su nominalne snage veće od konkretne trafostanice – rezultovalo bi da je opterećenje trafostanice mnogo veće od nominalne snage trafostanice. Slična problematika je predstavljena u [15], gdje je predstavljeno rješenje formiranja dijagrama opterećenja na osnovu zavisnosti od nominalne snage distributivnog transformatora 35/10 kV izvoda sa kojeg se napaja trafostanica prenosnog odnosa 10/0.4 kV.

Formiranje dijagrama opterećenja trafostanica za koje nije dostupan podatak vršne snage je zasnovano na zavisnosti dijagrama opterećenja od nominalnih snaga najbliže

trafostanice sa mjeranjem snage, u odnosu na posmatranu trafostanicu prenosnog odnosa 10/0.4 kV (obližnja trafostanica).

Podatak o vršnom angažovanju obližnje trafostanice u odnosu na njenu instalisanu snagu se računa pomoću sledeće relacije:

$$D_{nso_m} = \frac{P_{vto_m}}{S_{no}} \quad (76)$$

Gdje su:

D_{nso_m} – Zavisnost vršne snage obližnje trafostanice od nominalne snage trafostanice, u konkretnom mjesecu m

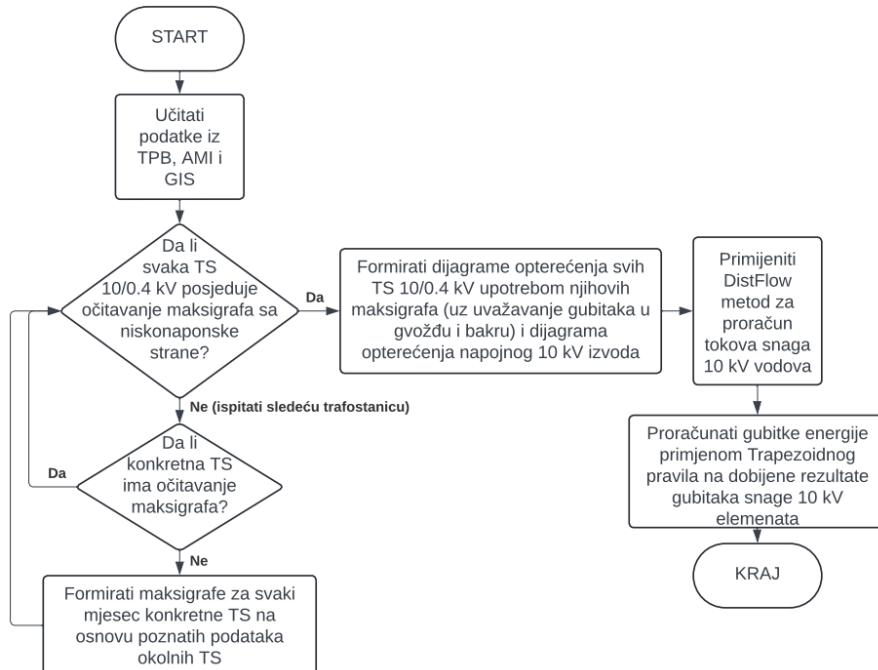
P_{vto_m} – Vršna snaga obližnje trafostanice u konkretnom mjesecu m

S_{no} – Nominalna snaga obližnje trafostanice

Množenjem dobijene zavisnosti D_{nso_m} sa nominalnom snagom S_n trafostanice nepoznatog maksigrafa, dobija se “virtuelni” maksigraf te trafostanice P_{vt_m} u mjesecu m :

$$P_{vt_m} = D_{nso_m} S_n \quad (77)$$

Analogno prvoj varijanti, nakon formiranja dijagrama opterećenja svih trafostanica prenosnog odnosa 10/0.4 kV primjenom relacija (74) i (75) vrši se proračun gubitaka snage i energije. Daljom primjenom DistFlow metoda za proračun gubitaka snage i Trapezoidnog pravila za proračun gubitaka energije, kao konačni rezultat se dobijaju gubici snage i energije svih 10 kV vodova koji se napajaju sa izvornog 10 kV izvoda, u odgovarajućoj vremenskoj rezoluciji raspoloživih mjerena izvornog 10 kV izvoda.



Slika 13. Algoritam za aproksimaciju gubitaka snage i energije za 10 kV mrežu

6. Implementacija hibridnog metoda

Funkcionisanje hibridnog metoda za proračun i aproksimaciju gubitaka snage i energije je testirano na distributivnom sistemu koji je zasnovan na realnoj srednjenaoponskoj 35 kV i 10 kV distributivnoj mreži, što opravdava opštost primjene metoda.

Ulagani podaci koji su potrebni za funkcionisanje hibridnog metoda:

- Model mreže (čvorovi, početni i krajnji čvorovi elemenata) formiran na osnovu preuzete jednopolne šeme.
- Raspoloživa mjerena modula napona (U), aktivne snage (P), reaktivne snage (Q) i vršne snage (P_v) preuzetih iz napredne mjerne infrastrukture za period ispitivanja (2021. godina). Moduli napona na prijemnom kraju izvoda koji izlaze iz trafostanice iznose 35 kV za 35 kV mrežu, i 10 kV za 10 kV mrežu.
- Raspoloživi tehnički podaci mreže iz baze podataka:
 - Vodovi: (Podužna) aktivna otpornost voda (R'), (podužna) induktivnost voda (L'), dužina voda (d).
 - Transformatori: Nominalna snaga transformatora (S_n), gubici u bakru (P_{Cu}), gubici u gvožđu (P_{Fe}), procentualni napon kratkog spoja ($U_{k\%}$). Podaci su nabavljeni sa pločice sa specifikacijama transformatora, ili ukoliko nisu dostupni, korišćeni su generički podaci.
 - Faktor snage za konkretnu srednjenaoponsku mrežu, na osnovu podataka iz SCADA sistema, iznosi $\cos(\phi) = 0.95$

Aproksimacije koje su uzete u obzir:

- Preuzeta raspoloživa mjerena napredne mjerne infrastrukture se smatraju tačnim
- Preuzeti podaci iz tehničke baze podataka se smatraju aktuelnim i tačnim
- Preuzeta jednopolna šema se smatra aktuelnom i tačnom
- Zbog potreba formiranja dijagrama opterećenja trafostanica prenosnog odnosa 10/0.4 kV koje nemaju očitavanje maksigrafa, opterećenje među trafostanicama 10/0.4 kV koje se napajaju sa istog 10 kV izvoda je ravnomjerno raspoređeno na sve trafostanice. Time se smatra da je zavisnost vršne snage trafostanice od nominalne snage linear, čime se omogućava primjena relacije (76).

Model 35 kV i 10 kV srednjenaopske mreže je formiran odgovarajućim formatiranjem u Excel – u, a zasnovan je na raspoloživoj jednopolnoj šemi, sa uklopnim stanjem koje je tada bilo u pogonu.

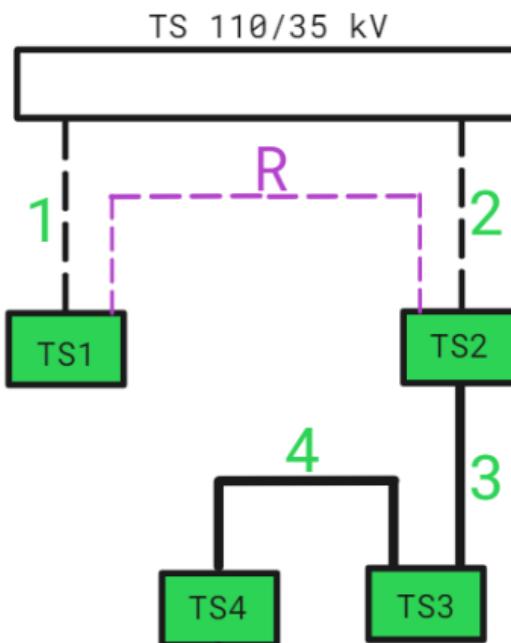
1. Testna 35 kV srednjenačinska distributivna mreža

Testna 35 kV mreža (prikazana na slici 14.) se sastoji od sledećih elemenata:

- Četiri voda od kojih su:
 - *Vod 1* i *Vod 2* kablovski vodovi karakteristika $Al/Fe\ 3x95/15\ mm^2$
 - *Vod 3* i *Vod 4* vazdušni vodovi karakteristika $Al/Fe\ 3x70/12\ mm^2$
- Jedan rezervni kablovski vod
- Šest transformatorskih jedinica prenosnog odnosa 35/10 kV (2 jedinice u TS1, 2 jedinice u TS2, i po 1 jedinica u TS3 i TS4)

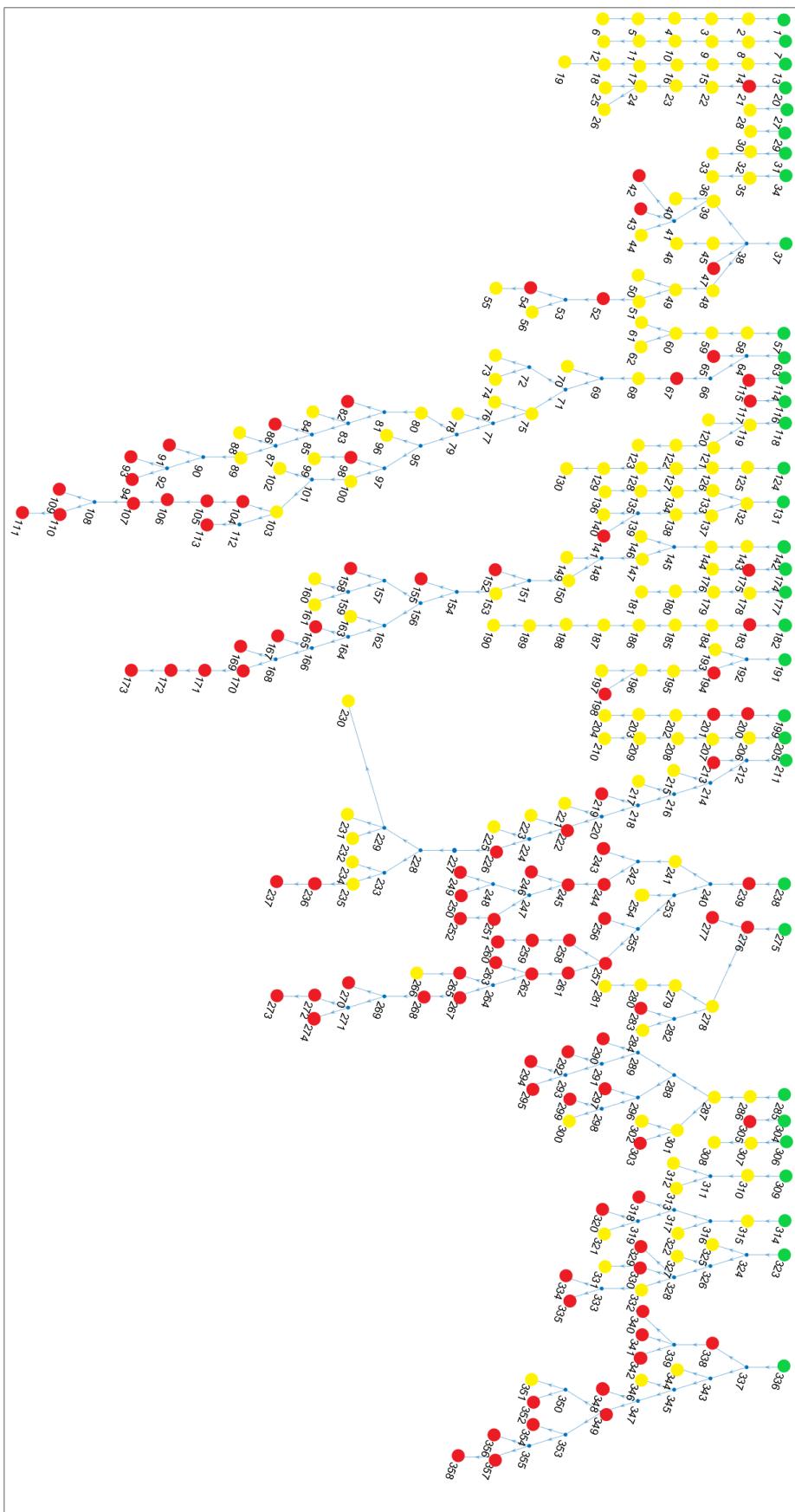
Svi 35 kV elementi posjeduju raspoloživa mjerjenja sa obje strane, osim TR1 u TS3 koji posjeduje raspoloživo mjerjenje sa visokonačinske strane, vod 3 koji raspolaže sa mjerenjem na početku voda, i vod 4 koji raspolaže sa mjerenjem na kraju voda.

Ulagani podaci su prikazani tabelarno (*prilozi P1-P3*).



Slika 14. Prikaz testne 35 kV mreže

2. Testna 10 kV srednjenačinska distributivna mreža



Slika 15. Prikaz testne 10 kV mreže

Testna 10 kV mreža se sastoji od sledećih elemenata:

- 325 Vodova poprečnog presjeka $35mm^2$
- 249 trafostanica prenosnog odnosa 10/0.4 kV od kojih:
 - 150 imaju podatak o vršnoj snazi na osnovu maksigrafa
 - 99 nemaju podatak o vršnoj snazi na osnovu maksigrafa

Na slici 15. je grafički prikazana konfiguracija testne 10 kV mreže, gdje su raspoloživa mjerenja svih izvoda i 10/0.4 kV trafostanica označena sledećim bojama:

- Zelena boja – Prisutno je 15-o minutno mjerenje parametara aktivne, reaktivne snage, i modula napona na 10 kV izvodu
- Žuta boja – Prisutno je raspoloživo mjerenje maksigrafa na 0.4 kV strani trafostanice
- Crvena boja – Nije prisutno raspoloživo mjerenje maksigrafa na 0.4 kV strani trafostanice.

Ulagani podaci su prikazani tabelarno (*prilozi P4-P6*).

7. Prikaz i analiza rezultata

Nakon izvršenja hibridnog algoritma nad testnom mrežom 35 kV i 10 kV srednjenačinskog nivoa, dobijeni su sledeći rezultati, koji su zasnovani na 15 – o minutnoj rezoluciji, i prikazani su za svaki element individualno, i sumarno, na mjesecnom i godišnjem nivou:

- Gubici 35 kV vodova
- Gubici 35 kV transformatora
- Ukupni gubici 35 kV nivoa
- Ukupni gubici 10 kV nivoa (gubici 10 kV vodova)

Podaci ukupne injektirane energije 35 kV i 10 kV sistema su pribavljeni na osnovu mjerene vrijednosti napredne mjerne infrastrukture. Vrijeme izvršenja programa, za konkretnu 35 kV i 10 kV mrežu, iznosi oko 3-5 minuta i 7-10 minuta, respektivno.

7.1 Srednjenačinska mreža 35 kV načinskog nivoa

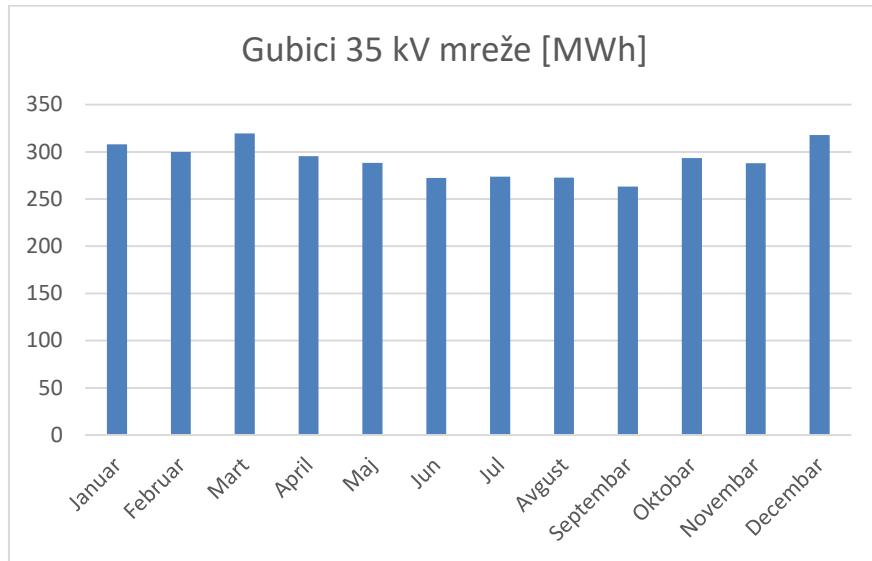
Rezultati proračuna gubitaka snage i energije 35 kV mreže su sledeći:

Tabela 6. Gubici energije cijelokupne 35 kV mreže

Period	Injectirana energija [MWh]	Gubici energije [MWh]	Procentualno
Januar	17450.790	309.420	1.773%
Februar	15923.387	301.365	1.893%
Mart	16466.300	320.857	1.949%
April	14684.534	296.728	2.021%
Maj	12532.475	289.717	2.312%
Jun	11492.796	273.759	2.382%
Jul	11294.472	275.130	2.436%
Avgust	11201.442	274.119	2.447%
Septembar	10982.307	264.546	2.409%
Oktobar	13787.172	295.043	2.140%
Novembar	14300.265	289.367	2.024%
Decembar	17250.965	319.427	1.852%
Godina	167366.903	3509.477	2.097%

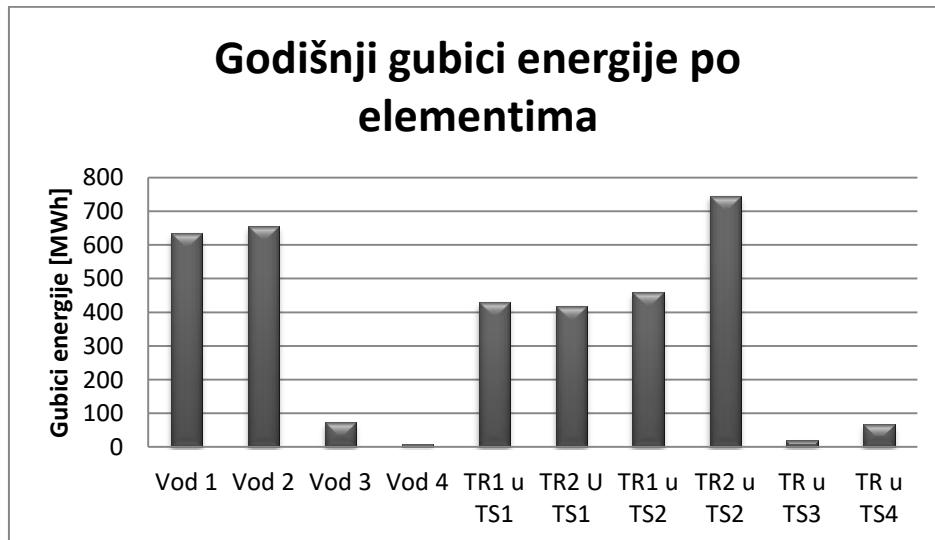
U tabeli 6 su prikazani gubici cijelokupne 35kV mreže po mjesecima, i zbirno za čitavu godinu. Iz tabele se zaključuje da su najveći gubici (procentualno) u ljetnjem periodu (Maj - Septembar), iako su tada gubici kvantitativno manji od gubitaka u zimskom periodu.

Pik je dostignut u Avgustu dok je minimum u Januaru, što predstavlja sliku sezonskog ponašanja konkretnog konzuma.



Slika 16. Grafički prikaz mjesecnih gubitaka energije 35 kV mreže

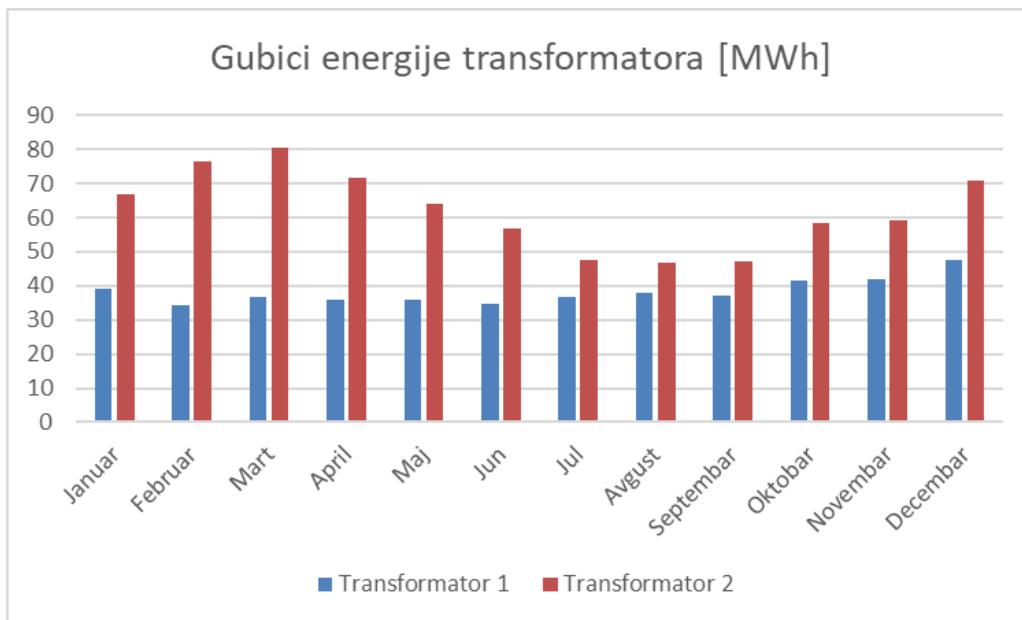
Na sledećoj slici (7) se primjećuje da su vodovi sa najvećim gubicima *vod 1* i *vod 2*, koji su ujedno i najopterećeniji vodovi koji prvi izlaze iz napojne trafostanice prenosnog odnosa 110/35 kV.



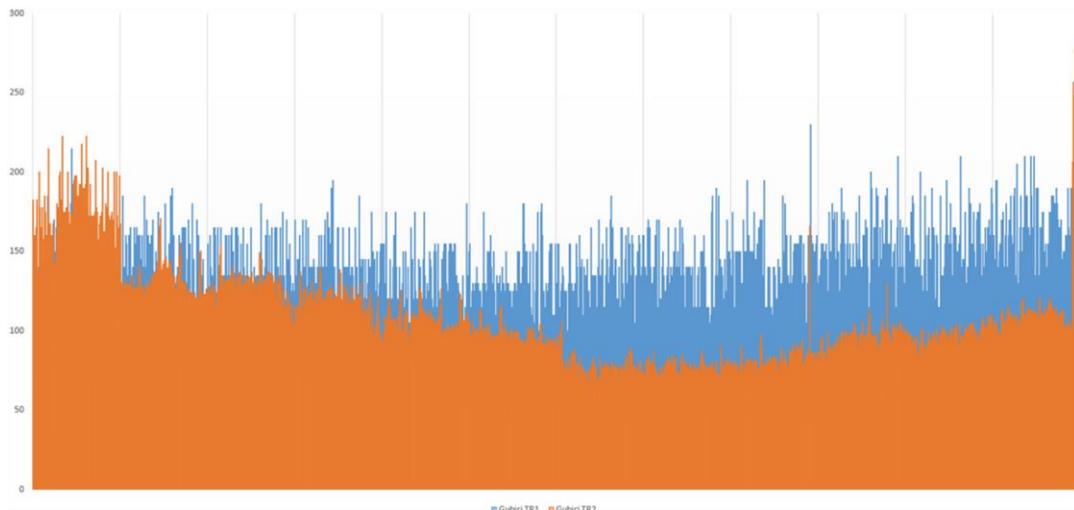
Slika 17. Godišnji gubici energije elemenata 35 kV mreže

Iz slike (17) se takođe zaključuje da se gubici transformatora *TR1* i *TR2* u istoj trafostanici *TS2* razlikuju, pri čemu transformatoru *TR2* u trafostanici *TS2* pripada 21.2% od ukupnih godišnjih gubitaka energije.

Sprovedena je dodatna analiza nad transformatorima *TR1* i *TR2* u trafostanici *TS2*:



Slika 18. Poređenje gubitaka energije transformatora na mjesecnom nivou



Slika 19. Gustina mjerenih gubitaka snage transformatora na godišnjem nivou

Dodatno odradjenom analizom je utvrđeno sledeće:

1. Kvantitativno, transformator *TR2* ima 61.8% veće gubitke od transformatora *TR1*
2. Transformator *TR2* u odnosu na transformator *TR1* ima veće gubitke 76.72% vremena

Na osnovu stavki 1 i 2 se zaključuje da je potrebno obratiti dodatnu pažnju na pogon transformatora *TR1* i *TR2* u trafostanici *TS2*, sa ukazanom indikacijom na neravnomernu raspodjelu opterećenja među njima, od kojih je transformator *TR2* opterećeniji, što dovodi do povećanih gubitaka.

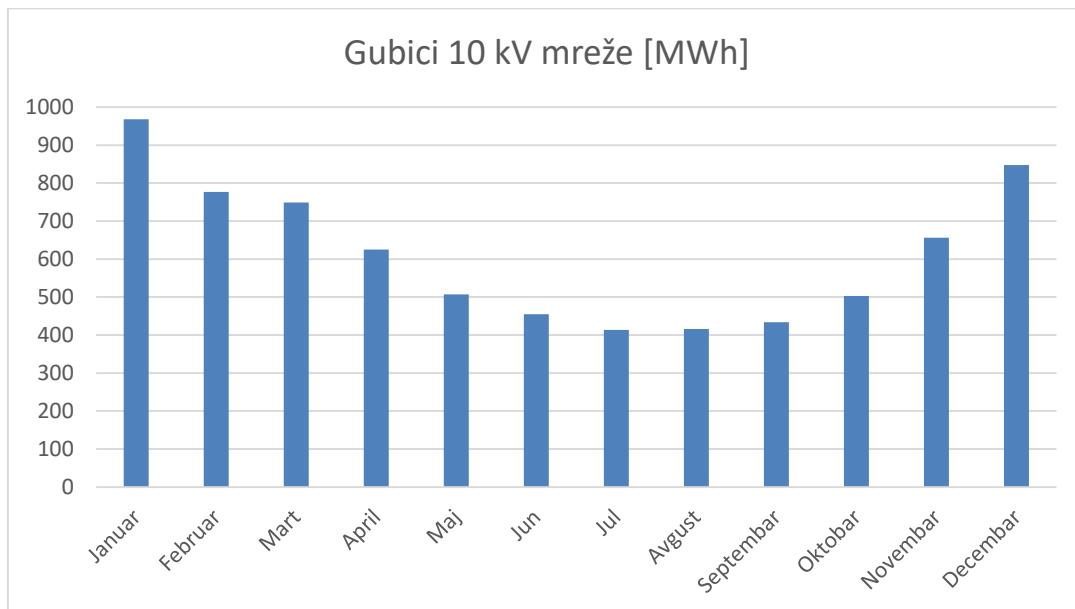
7.2 Srednjenačinska mreža 10 kV naponskog nivoa

Rezultati proračuna gubitaka snage i energije 10 mreže su sledeći:

Tabela 7. Gubici energije cijelokupne 10 kV mreže

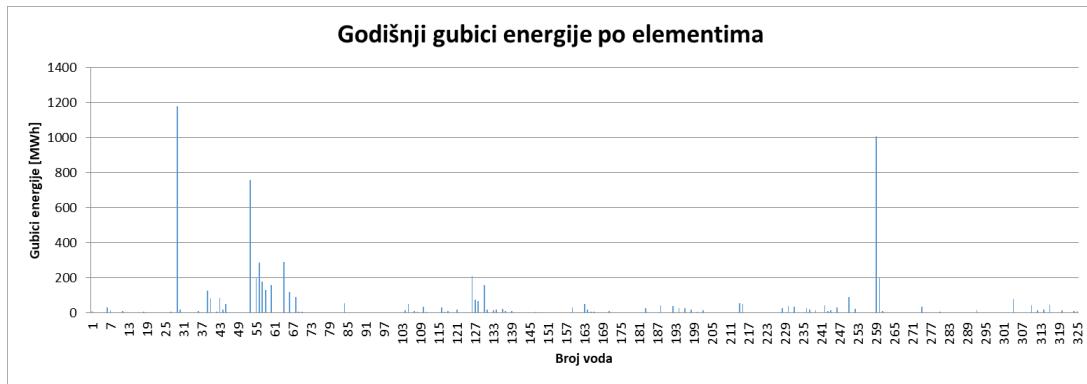
Period	Injektirana energija [MWh]	Gubici energije [MWh]	Procentualno
Januar	16980.878	985.652	5.804%
Februar	15450.035	791.684	5.124%
Mart	15949.120	763.769	4.789%
April	14303.252	637.387	4.456%
Maj	12370.589	516.715	4.177%
Jun	11399.575	463.494	4.066%
Jul	10982.834	422.374	3.846%
Avgust	10876.496	424.516	3.903%
Septembar	10718.095	442.199	4.126%
Oktobar	13371.161	510.823	3.820%
Novembar	13887.586	668.384	4.813%
Decembar	16844.599	864.711	5.133%
Godina	163134.217	7491.706	4.592%

U tabeli (7) su prikazani gubici cijelokupne 10 kV mreže po mjesecima, i zbirno za čitavu godinu. Iz tabele se zaključuje da su najveći gubici procentualno i kvantitativno u zimskom periodu (Decembar - Februar). Pik je dostignut u Januaru dok je minimum dostignut u Julu, što formira sezonsku sliku opterećenja konkretnog konzuma.



Slika 20. Grafički prikaz mjesečnih gubitaka energije 10 kV mreže

Srednjenačinsku mrežu karakteriše radikalna struktura – tokovi snaga su manji prema krajevima izvoda, pa je za očekivati da su u početnim djelovima najveći gubici (gdje je i najveće opterećenje). Na sledećoj slici (21) je predstavljen grafički prikaz godišnjih gubitaka svih 10 kV elemenata:

**Slika 21.** Godišnji gubici energije elemenata 10 kV mreže

Usljed velikog broja podataka, gubici na svim individualnim 10 kV vodovima na mjesecnom nivou prikazani u tabelama iz priloga (*Prilog 7-28*), iz čega se zaključuje da su sledeći vodovi sa najvećim gubicima (*tabele iz priloga P8, P10 i P24*):

- Vod 29 (Između čvorova 37 i 38) sa udjelom od 15.7% ukupnih 10 kV gubitaka
- Vod 53 (Između čvorova 63 i 64) sa udjelom od 10.1% ukupnih 10 kV gubitaka
- Vod 259 (Između čvorova 285 i 286) sa udjelom od 13.4% ukupnih 10 kV gubitaka

Dodatnom analizom, prosječno opterećenje svih 10 kV izvoda iznosi 695 kW, dok prosječna dužina iznosi 1.29 km. U odnosu na prosjek:

- *Vod 29* je 65.93% opterećeniji i 27.15% duži
- *Vod 53* je 46.12% opterećeniji i 27.15% duži
- *Vod 259* je 69.78% opterećeniji i 58.11% duži

Kako su rezultati prikazani u tabeli (7) dobijeni uzimanjem u obzir gubitaka pri transformaciji 10/0.4 kV trafostanica (gubici u gvožđu i gubici u bakru), održena je dodatna analiza gdje su ti gubici transformacije zanemareni, u cilju pojednostavljenja funkcionalnosti metode: Dobijeni rezultat je prikazan u sledećoj tabeli:

Tabela 8. Ukupni godišnji gubici energije 10 kV mreže (zanemareni gubici transformacije)

Injektirana energija [MWh]	Gubici energije [MWh]	Procentualno
163134.217	7350.418717	4.5%

Uporednom analizom tabele (7) i tabele (8), zaključuje se da je sa aspekta uticaja na indikativnost i preciznost konačnog rezultata gubitaka snage i energije, razlika u rezultatima mala, i da je prihvatljivo zanemarivanje gubitaka pri transformaciji 10/0.4 kV zbog potreba bržeg proračuna gubitaka snage i energije na 10 kV nivou. Greška u rezultatu procentualno iznosi približno 0.1%, dok je kvantitativna razlika 141.288 MWh.

Predstavljenim rezultatima su potvrđene probitno postavljene hipoteze. Izvršen je proračun i analiza gubitaka svih elemenata 35 i 10 kV srednjenosrpske distributivne mreže i lokalizovane su problematične dionice, čime se omogućava detaljan uvid u gubitke snage i energije sistema po mjesecima, tokom analiziranog perioda (čitave godine).

8. Zaključak

Operator distributivnog sistema ima za zadatak da teži smanjenju gubitaka električne energije, u cilju osiguranja efikasne distribucije električne energije. Optimizacija upravljanja sistemom (analize gubitaka, optimalni tokovi snaga) omogućava bolje predviđanje opterećenja i osiguravanje potrebne električne energije, kao i posjedovanje kvalitetnih sistema za mjerjenje i obračun električne energije, uz adekvatno održavanje elemenata sistema, postavljaju osnovu za efikasnu redukciju gubitaka.

Fokus ovog master rada jeste proračun i aproksimacija gubitaka snage i energije u distributivnoj mreži srednjeg napona, u cilju poboljšanja tehnno-ekonomskih uslova sistema. Proces proračuna je otežan uslijed prirode srednjenačunske mreže u odnosu na prenosnu mrežu – složenija je po brojnosti elemenata, a prisutan je mali broj raspoloživih mjerjenja na nižim srednjenačunskim nivoima. Za proračun i aproksimaciju gubitaka je predložen hibridni metod, koji prvenstveno uzima u obzir raspoloživa mjerjenja mreže, gdje dalje na osnovu dostupnih podataka primjenjuje *DistFlow* metod za proračun tokova snaga na nižim srednjenačunskim nivoima.

Funkcionalnost predloženog hibridnog metoda je testirana upotrebom softverskog paketa MATLAB na testnom sistemu 35 kV i 10 kV mreže od 378 čvorova i 584 elemenata, koji je baziran na uzorku realne srednjenačunske distributivne mreže.

Kao rezultat hibridnog metoda, dobijeni su gubici snage i energije svih srednjenačunskih elemenata (35 kV i 10 kV vodovi, 35/10 kV transformatori) na mjesečnom i godišnjem nivou, zasnovani na uzorcima mjerjenja na 15-o minutnoj rezoluciji tokom 2021. godine. Proračunati su i totalni gubici snage i energije srednjenačunske 35 kV i 10 kV mreže na godišnjem nivou, i gubici snage i energije svih elemenata po mjesecima, kvantitativno (apsolutne vrijednosti) i procentualno (u odnosu na injektiranu energiju u sistem). Na osnovu rezultata, izvršena je dodatna analiza specifičnih elemenata čiji su nivoi gubitaka odstupali u odnosu na druge elemente, u cilju lokalizacije problematičnih dionica, odnosno pronalaska „vrućih tačaka”.

Analizom dobijenih rezultata, moguće je izvesti nekoliko zaključaka:

- Moguće je izvršiti proračun i aproksimaciju gubitaka svih individualnih elemenata srednjenačunske distributivne mreže, čime je omogućen detaljan uvid u gubitke sistema na željenim vremenskim periodima, gdje su rezultati i indikativnog karaktera
- Predloženi hibridni metod koristi jednostavne metodologije koje zahtijevaju mali set poznatih podataka, što pozitivno utiče na opštost primjene
- Metod se može koristiti za proizvoljne distributivne sisteme
- Na osnovu indikativnosti rezultata se lokalizuju problematični elementi sa povećanim gubicima, i upućuju na dodatnu analizu
- Za poboljšanje preciznosti metode, potrebno je adekvatno voditi tehničku bazu podataka predefinisanih parametara sistema, ali i posjedovati kvalitetnu naprednu mjeru infrastrukture koja će prikupljati podatke visokog stepena pouzdanosti

Određeni izazovi koji otežavaju primjenu predloženog hibridnog metoda, iziskuju primjenu aproksimacija, i utiču negativno na preciznost rezultata:

- Deficit raspoloživih mjerjenja na nižim naponskim nivoima srednjenačunske mreže
- Nejednovremenost raspoloživih mjerjenja na nižim nivoima srednjenačunske mreže

Predlog za dalji razvoj metoda jeste uzimanje u obzir ukupne predate energije trafostanice 10/0.4 kV prenosnog odnosa. Na osnovu tog podataka zajedno sa maksigrafom trafostanice, određuje se vrijeme trajanja vršnog opterećenja koje omogućava precizniju aproksimaciju dijagrama opterećenja susjednih trafostanica koje nemaju poznato očitavanje vršne snage maksigrafa, a posjeduju podatak o predatoj energiji trafostanice.

Literatura

- [1] V.A.Kulkarni, P.K.Katti, *Estimation of Distribution Transformer Losses in Feeder Circuit*, IJCEE, 2011
- [2] Narong Mungkung, Nittaya Gomorut, Tanes Tanitterapan, Somchai Arunrungrusmi, Weerechai Chaokumnerd, Toshifumi Yuji, *Analysis of Technical Loss in Distribution Line System*, IEEE ICT, 2009
- [3] Carlos Eduardo Moreira Rodrigues, Maria Emilia de Lima Tostes, Ubiratan Holanda Bezerra, Thiago Mota Soares, Edson Ortiz de Matos, Lázaro Serra Soares Filho, Elaine Cristina dos Santos Silva, Michel Ferreira Rendeiro, Carlos Jeferson da Silva Moura, *Technical Loss Calculation in Distribution Grids Using Equivalent Minimum Order Networks and an Iterative Power Factor Correction Procedure*, Energies, 2021
- [4] Irumba Oscar, Tushabe Catherine, *Medium Voltage Technical Loss Reduction Strategy for Distribution Networks*, IJERT, 2017
- [5] Izet Dzananović, Seila Gruhonjić Ferhatbegović, Ivo Divković, Nusret Kurtalić, *Metoda za Određivanje Gubitaka po Naponskim Nivoima u Distributivnoj Mreži Podružnice „Elektro distribucija“ Tuzla*, Tuzla, Bosna i Hercegovina, 2011
- [6] André Meffe, Carlos C. Barioni de Oliveira, *Technical Loss Calculation by Distribution System Segment with Corrections from Measurements*, CIRED, 2009
- [7] Marinko Stojkov, Kruso Trupinić, Srete Nikolovski, *Technical Losses in Power Distribution Network*, IEE Melecon, 2006
- [8] Jaya A. Keoliya, Prof. Mrs. G. A. Vaidya, *Estimation of Technical Losses in a Distribution System*, IJERT, 2013
- [9] Maja S. Turković, Saša Minić, Gordana Radović, Emilija Turković, *Uvažavanje konfiguracije dijagrama opterećenja pri proračunu gubitaka električne energije u distributivnim mrežama*, XLV Konferencija za Etran, Bukovička Banja, 2001
- [10] Mau Teng Au, Tashia M. Anthony, Nurhafizah Kamaruddin, Renugah Verayiah, Sharifah A. Syed Mustaffa, and Marina Yusoff, *A Simplified Approach in Estimating Technical Losses in Distribution Network Based on Load Profile and Feeder Characteristics*, PECon, Malaysia, 2008
- [11] Jun Wang, Zheng Guo, Jiangping YU, *Practical Calculation Method of Theoretical Line loss in 10 kV power Distribution Network Based on Dscada*, CICED, 2008
- [12] C.C.B.Oliveira, N.Kagan, A.Méffe, S.Jonathan, S.Caparroz, J.L.Cavaretti, *A New Method for the Computation of Technical Losses in Electrical Power Distribution Systems*, University of São Paulo – Brazil Eletropaulo – Eletricidade de São Paulo - Brazil, 2001
- [13] R.F. Ávila, D.X. Morales, Daniel Icaza, *Integrated Modeling of Medium and Low Voltage Networks for the Calculation of Energy Losses*, Cuenca, Ecuador, Cuenca, Ecuador, 2018
- [14] Jeff Triplett, Stephen Rinell, Jim Foote, *Evaluating Distribution System Losses Using Data from Deployed AMI and GIS Systems*, IEEE REPC, 2010

- [15] Gheorghe Grigoras, Virgil Alexandrescu, Gheorghe Cartina, *A Calculation Method of Power and Energy Losses in Distribution Networks*, Iasi, Romania, 2012
- [16] Kruno Trupinić, *Mjere za Smanjenje Gubitaka u Distribucijskoj Mreži*, Zagreb, 2005
- [17] D.Amaranatha, R. Madhan Mohan, Dr.M.Padma Lalitha, *Power Loss Reduction in Radial Distribution Systems by Optimal Capacitor Placement to Distribution Transformers*, IJEAS, 2015
- [18] P. Raesaar, E. Tiigimägi, J. Valtin, *Strategy for Analysis of Loss Situation and Identification of Loss Sources in Electricity Distribution Networks*, Estonia, 2007
- [19] Jihua Xie, Chang Chen, Huan Long, *A Loss Reduction Optimization Method for Distribution Network Based on Combined Power Loss Reduction Strategy*, Nanjing, China, 2021
- [20] Rita C. Santos, Paulo J. C. Branco, João J. E. Santana, Mário Matos, *Analysis of Losses in the Electrical Distribution Network of the IST's Alameda Campus and Definition of Strategies for its Reduction*, LAETA/IDMEC, 2017
- [21] Bi Wang, YingyingSun, Feifan Lu, Xin Wu, Zhongyao Liu, Wenjie Dong, *The Calculation and Analysis of Distribution Network Loss with Photovoltaic Power Generation Connected*, ICAEES, 2015
- [22] Thanh Long Duong a, Phuoc Tri Nguyen b, Ngoc Dieu Vo b, Minh Phuong Le, *A Newly Effective Method to Maximize Power Loss Reduction in Distribution Networks With Highly Penetrated Distributed Generations*, Ain Shams Engineering Journal 12, Vietnam, 2021
- [23] Alexandre M. V. Gouveia, Pedro M. S. Carvalho, Alexandre M. F. Dias, *Effects of High Resolution Load Modelling onto Simulated LV Distribution Losses*, IEEE Transactions on Power Systems, 2020
- [24] Jadranka Radović, Vladan Durković, *Optimizacija Elektroodistributivnog Sistema: (skripta)*, Podgorica, Crna Gora, 2021
- [25] Pavić A., Trupinić K., *Gubici električne energije u distribucijskoj mreži*, str. 182-215, 2007
- [26] *Reduction of Technical and Non – Technical Losses in Distribution Networks*, CIRED WG CC-2015-2
- [27] Joksimović Gojko, *Transformatori (nerecenzirana skripta)*, 2013.
- [28] Nadolny, Z. *Determination of Dielectric Losses in a Power Transformer*. Energies 2022, 15, 993. <https://doi.org/10.3390/en15030993>
- [29] Odribožić Vedran, *Gubici električne energije u SN mreži*, Sveučilište u Rijeci, Hrvatska, 2022
- [30] Ivanov, Krasimir & Varbov, Tsvyatko & Velev, Georgi. (2017). *CALCULATION OF LOSSES OF ACTIVE POWER AND ENERGY IN TRANSMISSION LINES AND TRANSFORMERS, AS A PART OF THE ELECTRICAL DISTRIBUTION POWER NETWORK*. Environment. Technology. Resources. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. 3. 107. 10.17770/etr2017vol3.2657.
- [31] D. M. Said, K. M. Nor and M. S. Majid, "Analysis of distribution transformer losses and life expectancy using measured harmonic data," Proceedings of 14th International

Conference on Harmonics and Quality of Power - ICHQP 2010, Bergamo, Italy, 2010, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICHQP.2010.5625404

[32] Fernando de Souza Savian, Julio Cezar Mairesse Siluk, Taís Bisognin Garlet, Felipe Moraes do Nascimento, José Renes Pinheiro, Zita Vale, *Non-technical losses: A systematic contemporary article review*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 147, 2021,

[33] Y. Al-Mahroqi, I.A. Metwally, A. Al-Hinai, and A. Al-Badi, *Reduction of Power Losses in Distribution Systems*, World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Computer and Systems Engineering Vol:6, No:3, 2012

[34] Zheng, F.; Meng, X.; Wang, L.; Zhang, N. *Power Flow Optimization Strategy of Distribution Network with Source and Load Storage Considering Period Clustering*. Sustainability 2023, 15, 4515. <https://doi.org/10.3390/su15054515>

[35] Yang, C.; Sun, Y.; Zou, Y.; Zheng, F.; Liu, S.; Zhao, B.; Wu, M.; Cui, H. *Optimal Power Flow in Distribution Network: A Review on Problem Formulation and Optimization Methods*. Energies 2023, 16, 5974. <https://doi.org/10.3390/en16165974>

[36] Ed Zientek, *Loading Considerations when Paralleling Transformers*, Document Number AT322, 2011

[37] Leonardo Energy, *Energy Efficient Distribution Transformers*, 2017

[38] Mohanad A.A. Alheety, *Electrical Machines*, University of Anbar

[39] Mariusz Najgebauer, Krzysztof Chwastek, Jan Szczęgłowski, *Energy efficient distribution transformers*, Institute of Power Engineering, Częstochowa University of Technology, Poland, 2011

[40] Michiel van der Meulen, *Reconfiguring Electricity Distribution Networks to Minimize Power Loss*, Radboud University, Netherlands, 2015

[41] Alireza Askarzadeh, *Capacitor placement in distribution systems for power loss reduction and voltage improvement: a new methodology*, The Institution of Engineering and Technology, 2016

[42] CEER Report on Power Losses, Ref: C17-EQS-80-03, 2017

[43] K. Seethalekshmi, U.C. Trivedi, M. Ramamoorthy, Technical Loss Evaluation in Distribution Feeders, Indian Institute of Technology, 2002

[44] Zoran Miljanić, *Računarske metode u EES (skripta)*, https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_615412/objava_129841/fajlovi/Prezentacija.pdf (Pristupljeno 05.06.2022.)

[45] Crnogorski Elektrodistributivni Sistem, *Plan Razvoja Distributivne Mreže Crnogorskog Elektrodistributivnog Sistema (2020 - 2029)*, 2018

[46] D. Tasić, M. Stojanović, *Metode za proračun gubitaka električne energije u distributivnim mrežama*, CIRED, 2008

[47] В. Э. Воротницкий, Ю.С. Железко, В. Н. Казанцев, В. Г. Пекелис, Д. Л. Файбисович, *Потери Электроэнергии В Электрических Сетях*, Энергоатомиздат, 1983

[48] Difference between power and energy, <https://testbook.com/physics/difference-between-power-and-energy>, (Pristupljeno 13.02.2024.)

- [49] Abat Muratov, Zlixa Sapamiyazova, I.I. Bakhadirov, Alibiy Bijanov, *Analysis of electricity loss calculation methods in distribution networks*, E3S Web of Conferences, 2021
- [50] Dragan S. Tasić, Miodrag S. Stojanović, *An Approach for Calculation of Distribution Energy Losses Using Clustering Technique*, iCEST, 2005
- [51] <https://web.stanford.edu/class/cs345a/slides/12-clustering.pdf>, Pristupljeno 24.03.2024.
- [52] Cordeiro, Gauss & Bager, Rejane. (2012). The beta power distribution. *Brazilian Journal of Probability and Statistics*. 26. 10.1214/10-BJPS124.
- [53] Abud, T.P.; Augusto, A.A.; Fortes, M.Z.; Maciel, R.S.; Borba, B.S.M.C. State of the Art Monte Carlo Method Applied to Power System Analysis with Distributed Generation. *Energies* 2023, 16, 394. <https://doi.org/10.3390/en16010394>
- [54] Dragan S. Tasić, Miodrag S. Stojanović, *Fuzzy Approaches to Distribution Energy Losses Calculation*, Acta Electrotechnica et Informatica, No.2 Vol 5, 2005
- [55] Kirmani, Sheeraz & Rahman, Md & Chakresh, Kumar. (2010). Loss Reduction in Distribution System Using Fuzzy Techniques. *International Journal of Advanced Computer Sciences and Applications*. 1. 10.14569/IJACSA.2010.010303.
- [56] M. E. Oliveira and A. Padilha-Feltrin, "A Top-Down Approach for Distribution Loss Evaluation," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 24, no. 4, pp. 2117-2124, Oct. 2009
- [57] C. A. Drotolina and R. Nadira, "The loss that is unknown is no loss at all: a top-down/bottom-up approach for estimating distribution losses," in IEEE Transactions on Power Systems, vol. 20, no. 2, pp. 1119-1125, May 2005
- [58] Vujošević Ilija, *Metoda globalnih pokazatelja za proračun gubitaka u elektroistributivnim sistemima*, UCG, Crna Gora, 1999
- [59] Ilija Vujošević, *Analiza Elektroenergetskih Sistema I*, Podgorica, Crna Gora, 2006
- [60] Nikola Rajaković, *Analiza elektroenergetskih sistema 2*, Elektrotehnički fakultet Beograd, 2007
- [61] Steven C. Chapra, Raymond P. Canale, *Numerical Methods for Engineers*, New York, 2015
- [62] Eltamaly, Ali & A. Elghaffar, Amer. (2017). Load Flow Analysis by Gauss-Seidel Method; A Survey. *International Journal of Mechatronics, Electrical and Computer Technology (IJMEC)* 2305-0543, 2411-6173. x.
- [63] D. Shirmohammadi, H. W. Hong, A. Semlyen and G. X. Luo, *A compensation-based power flow method for weakly meshed distribution and transmission networks*, in IEEE Transactions on Power Systems, vol. 3, no. 2, pp. 753-762, May 1988, doi: 10.1109/59.192932.
- [64] M. E. Baran and F. F. Wu, "Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 4, no. 2, pp. 1401-1407, April 1989, doi: 10.1109/61.25627.
- [65] Ministry of Higher Education and Scientific Research, *Equivalent Circuit of a Transformer*, Al-Mustaqbal University, 2023

[66]<https://www.lkouniv.ac.in/site/writereaddata/siteContent/202005101535283728wazid%20-Losses%20and%20Efficiency.pdf>, University of Lucknow (Pristupljeno 05.04.2024.)

[67] www.cedis.me, Tenderska dokumentacija nabavki, 2021

Prilog

Sljedećom tabelom je prikazan ulazni podatak vremenske rezolucije raspoloživih mjerena na početku voda *broj 1* na 35 kV nivou, na primjeru jednog dana. Forma ulaznih podataka je analogna za sve ostale elemente koji posjeduju raspoloživo 15-o minutno mjereno, na 35 kV (17 brojila) i na 10 kV naponskom nivou (33 brojila), u periodu od jedne godine (01.01.2021. – 01.01.2022.).

Tabela P0. Primjer vremenske rezolucije raspoloživih mjerena na 35 kV i 10 kV nivou

Vremensko očitavanje	Očitana aktivna snaga
01.01.2021 00:00	12810 kW
01.01.2021 00:15	12726 kW
01.01.2021 00:30	12474 kW
01.01.2021 00:45	12558 kW
01.01.2021 01:00	12642 kW
01.01.2021 01:15	12768 kW
01.01.2021 01:30	12600 kW
01.01.2021 01:45	12432 kW
01.01.2021 02:00	12222 kW
01.01.2021 02:15	12096 kW
01.01.2021 02:30	11844 kW
01.01.2021 02:45	11844 kW
01.01.2021 03:00	11718 kW
01.01.2021 03:15	11676 kW
01.01.2021 03:30	11802 kW
01.01.2021 03:45	11844 kW
01.01.2021 04:00	11928 kW
01.01.2021 04:15	12138 kW
01.01.2021 04:30	12264 kW
01.01.2021 04:45	12306 kW
01.01.2021 05:00	12054 kW
01.01.2021 05:15	12138 kW
01.01.2021 05:30	12138 kW
01.01.2021 05:45	12138 kW
01.01.2021 06:00	11970 kW
01.01.2021 06:15	12138 kW
01.01.2021 06:30	12096 kW
01.01.2021 06:45	12138 kW
01.01.2021 07:00	11886 kW
01.01.2021 07:15	11802 kW
01.01.2021 07:30	11802 kW
01.01.2021 07:45	11886 kW
01.01.2021 08:00	11928 kW

01.01.2021 08:15	11886 kW
01.01.2021 08:30	11970 kW
01.01.2021 08:45	11970 kW
01.01.2021 09:00	11718 kW
01.01.2021 09:15	11550 kW
01.01.2021 09:30	11508 kW
01.01.2021 09:45	11550 kW
01.01.2021 10:00	11718 kW
01.01.2021 10:15	11676 kW
01.01.2021 10:30	11760 kW
01.01.2021 10:45	12012 kW
01.01.2021 11:00	12348 kW
01.01.2021 11:15	12390 kW
01.01.2021 11:30	12558 kW
01.01.2021 11:45	12390 kW
01.01.2021 12:00	11844 kW
01.01.2021 12:15	11214 kW
01.01.2021 12:30	10794 kW
01.01.2021 12:45	10542 kW
01.01.2021 13:00	10080 kW
01.01.2021 13:15	9618 kW
01.01.2021 13:30	9282 kW
01.01.2021 13:45	8946 kW
01.01.2021 14:00	8442 kW
01.01.2021 14:15	8148 kW
01.01.2021 14:30	7938 kW
01.01.2021 14:45	7812 kW
01.01.2021 15:00	7560 kW
01.01.2021 15:15	7434 kW
01.01.2021 15:30	7434 kW
01.01.2021 15:45	7350 kW
01.01.2021 16:00	7308 kW

01.01.2021 16:15	7224 kW
01.01.2021 16:30	7224 kW
01.01.2021 16:45	7224 kW
01.01.2021 17:00	7182 kW
01.01.2021 17:15	7140 kW
01.01.2021 17:30	7266 kW
01.01.2021 17:45	7308 kW
01.01.2021 18:00	7266 kW
01.01.2021 18:15	7392 kW
01.01.2021 18:30	7434 kW
01.01.2021 18:45	7602 kW
01.01.2021 19:00	7980 kW
01.01.2021 19:15	8148 kW
01.01.2021 19:30	8484 kW
01.01.2021 19:45	8862 kW
01.01.2021 20:00	9114 kW
01.01.2021 20:15	9534 kW
01.01.2021 20:30	9996 kW
01.01.2021 20:45	10374 kW
01.01.2021 21:00	10626 kW
01.01.2021 21:15	10794 kW
01.01.2021 21:30	10878 kW
01.01.2021 21:45	11256 kW
01.01.2021 22:00	11634 kW
01.01.2021 22:15	11970 kW
01.01.2021 22:30	11970 kW
01.01.2021 22:45	12096 kW
01.01.2021 23:00	12264 kW
01.01.2021 23:15	12348 kW
01.01.2021 23:30	12222 kW
01.01.2021 23:45	12516 kW
02.01.2021 00:00	12390 kW

Tabela P1. Raspoloživi tehnički podaci 35 kV vodova

Redni broj elementa	Dužina voda [km]	$R(\Omega)$	$X(\Omega)$
1	3.1	0.9486	0.360158
2	1.5	0.459	0.17427
3	16	5.4103	1.480824
4	3.3	1.3629	0.373032

Tabela P2. Raspoloživi tehnički podaci 35/10 kV transformatora

Naziv TS	Instalisana snaga trafoa [MVA]
TR1 u TS1	12.5
TR2 u TS2	12.5
TR1 u TS2	12.5
TR2 u TS2	12.5
TR1 u TS3	2.5
TR1 u TS4	2.5

Kako je vremenska rezolucija očitavanja mjerena parametara 15-o minutna, svako 15-o minutno očitavanje se smatra jednim „trenutkom”. Uzimajući u obzir da jedna godina ima 8760 sati, za svaki i-ti čvor koji na mreži posjeduje 15-o minutno mjerenje, zabilježeno je 35040 očitavanja parametara tokom godine. Mreža 35 kV naponskog nivoa sadrži 20 čvorova, dok mreža 10 kV nivoa sadrži 358 čvorova.

Pregled raspoloživih mjerena na 35 kV nivou je prikazan sledećom tabelom.

Tabela P3. Pregled raspoloživih mjeranja na 35 kV nivou

Redni broj očitavanja	P1 [kW]	P2 [kW]	...	P20 [kW]	Q1 [kVAr]	Q2 [kVAr]	...	Q20 [kVAr]
1	12810	12810	.	1077	4165	4164.8	.	350.16
2	12726	12600	.	1038	4138	4096.5	.	337.48
.
.
.
35040	11508	11550	.	963	3742	3755.2	.	313.09

Tabela P4. Raspoloživi tehnički podaci 10 kV vodova

Redni broj elementa	Početni čvor	Krajnji čvor	Dužina voda [km]	R(Ω)	X(Ω)
1	1	2	0.38	0.418	0.054887
2	2	3	0.16	0.176	0.02311
3	3	4	0.07	0.077	0.010111
4	4	5	0.29	0.319	0.041888
5	5	6	0.25	0.275	0.03611
6	7	8	0.66	0.726	0.09533
7	8	9	0.6	0.66	0.086664
8	9	10	0.26	0.286	0.037554
9	10	11	0.22	0.242	0.031777
10	11	12	0.22	0.242	0.031777
11	13	14	0.21	0.231	0.030332
12	14	15	0.19	0.209	0.027444
13	15	16	0.16	0.176	0.02311
14	16	17	0.23	0.253	0.033221
15	17	18	0.2	0.22	0.028888
16	18	19	0.15	0.165	0.021666
17	20	21	0.2	0.22	0.028888
18	21	22	0.47	0.517	0.067887
19	22	23	0.28	0.308	0.040443
20	23	24	0.16	0.176	0.02311
21	24	25	1	1.1	0.14444
22	24	26	0.15	0.165	0.021666
23	27	28	0.4	0.44	0.057776
24	29	30	1.5	1.65	0.21666
25	31	32	0.46	0.506	0.066442
26	32	33	0.15	0.165	0.021666

27	34	35	1.2	1.32	0.173328
28	35	36	2.2	2.42	0.317768
29	37	38	1.61	1.771	0.232548
30	38	39	0.35	0.385	0.050554
31	39	40	0.55	0.605	0.079442
32	39	41	0.2	0.22	0.028888
33	41	42	0.25	0.275	0.03611
34	41	43	0.25	0.275	0.03611
35	41	44	0.65	0.715	0.093886
36	38	45	0.7	0.77	0.101108
37	45	46	0.56	0.616	0.080886
38	38	47	0.2	0.22	0.028888
39	38	48	0.74	0.814	0.106886
40	48	49	0.57	0.627	0.082331
41	49	50	0.198	0.2178	0.028599
42	49	51	0.1	0.11	0.014444
43	51	52	1.2	1.32	0.173328
44	52	53	0.528	0.5808	0.076264
45	53	54	1.8	1.98	0.259992
46	54	55	0.45	0.495	0.064998
47	53	56	0.35	0.385	0.050554
48	57	58	0.33	0.363	0.047665
49	58	59	0.2	0.22	0.028888
50	59	60	0.44	0.484	0.063554
51	60	61	0.12	0.132	0.017333
52	60	62	0.25	0.275	0.03611
53	63	64	1.61	1.771	0.232548
54	64	65	0.15	0.165	0.021666
55	64	66	0.5	0.55	0.07222
56	66	67	0.75	0.825	0.10833
57	67	68	0.54	0.594	0.077998
58	68	69	0.42	0.462	0.060665
59	69	70	0.005	0.0055	0.000722
60	69	71	0.54	0.594	0.077998
61	71	72	0.54	0.594	0.077998
62	72	73	0.54	0.594	0.077998
63	72	74	0.05	0.055	0.007222
64	71	75	1.14	1.254	0.164662
65	75	76	1.5	1.65	0.21666
66	75	77	0.54	0.594	0.077998
67	77	78	0.55	0.605	0.079442
68	77	79	0.5	0.55	0.07222
69	79	80	0.2	0.22	0.028888
70	80	81	0.4	0.44	0.057776

71	81	82	0.58	0.638	0.083775
72	81	83	0.2	0.22	0.028888
73	83	84	0.57	0.627	0.082331
74	83	85	0.2	0.22	0.028888
75	85	86	0.2	0.22	0.028888
76	85	87	0.2	0.22	0.028888
77	87	88	0.45	0.495	0.064998
78	87	89	0.2	0.22	0.028888
79	89	90	1.58	1.738	0.228215
80	90	91	0.2	0.22	0.028888
81	90	92	1.1	1.21	0.158884
82	92	93	1.1	1.21	0.158884
83	92	94	0.75	0.825	0.10833
84	79	95	1	1.1	0.14444
85	95	96	0.05	0.055	0.007222
86	95	97	0.05	0.055	0.007222
87	97	98	0.75	0.825	0.10833
88	98	99	0.7	0.77	0.101108
89	97	100	0.28	0.308	0.040443
90	100	101	0.28	0.308	0.040443
91	101	102	0.514	0.5654	0.074242
92	101	103	0.28	0.308	0.040443
93	103	104	0.92	1.012	0.132885
94	104	105	1.87	2.057	0.270103
95	105	106	2.7	2.97	0.389988
96	106	107	3.9	4.29	0.563316
97	107	108	1.15	1.265	0.166106
98	108	109	0.88	0.968	0.127107
99	108	110	0.88	0.968	0.127107
100	110	111	0.88	0.968	0.127107
101	103	112	0.89	0.979	0.128552
102	112	113	0.15	0.165	0.021666
103	114	115	1.42	1.562	0.205105
104	116	117	0.45	0.495	0.064998
105	118	119	0.99	1.089	0.142996
106	119	120	0.2	0.22	0.028888
107	119	121	0.37	0.407	0.053443
108	121	122	0.33	0.363	0.047665
109	122	123	0.54	0.594	0.077998
110	124	125	0.56	0.616	0.080886
111	125	126	0.15	0.165	0.021666
112	126	127	0.1	0.11	0.014444
113	127	128	0.16	0.176	0.02311
114	128	129	0.31	0.341	0.044776

115	129	130	0.06	0.066	0.008666
116	131	132	0.27	0.297	0.038999
117	132	133	0.45	0.495	0.064998
118	133	134	0.8	0.88	0.115552
119	134	135	0.12	0.132	0.017333
120	135	136	1.45	1.595	0.209438
121	132	137	0.62	0.682	0.089553
122	137	138	0.43	0.473	0.062109
123	138	139	1.975	2.1725	0.285269
124	139	140	0.2	0.22	0.028888
125	139	141	1.975	2.1725	0.285269
126	142	143	2.13	2.343	0.307657
127	143	144	0.85	0.935	0.122774
128	144	145	0.89	0.979	0.128552
129	145	146	0.33	0.363	0.047665
130	145	147	2.35	2.585	0.339434
131	147	148	0.36	0.396	0.051998
132	148	149	0.81	0.891	0.116996
133	148	150	0.36	0.396	0.051998
134	150	151	0.6	0.66	0.086664
135	151	152	0.15	0.165	0.021666
136	151	153	0.83	0.913	0.119885
137	153	154	0.56	0.616	0.080886
138	154	155	0.8	0.88	0.115552
139	154	156	1.12	1.232	0.161773
140	156	157	0.8	0.88	0.115552
141	157	158	0.12	0.132	0.017333
142	157	159	1	1.1	0.14444
143	159	160	0.136	0.1496	0.019644
144	159	161	1	1.1	0.14444
145	156	162	0.56	0.616	0.080886
146	162	163	0.1	0.11	0.014444
147	162	164	1.68	1.848	0.242659
148	164	165	1.2	1.32	0.173328
149	164	166	0.56	0.616	0.080886
150	166	167	0.9	0.99	0.129996
151	166	168	0.56	0.616	0.080886
152	168	169	2.4	2.64	0.346656
153	168	170	0.4	0.44	0.057776
154	170	171	0.8	0.88	0.115552
155	171	172	1.8	1.98	0.259992
156	172	173	2.2	2.42	0.317768
157	174	175	0.69	0.759	0.099664
158	175	176	0.42	0.462	0.060665

159	177	178	1.46	1.606	0.210882
160	178	179	0.23	0.253	0.033221
161	179	180	0.13	0.143	0.018777
162	180	181	0.13	0.143	0.018777
163	182	183	0.63	0.693	0.090997
164	183	184	0.29	0.319	0.041888
165	184	185	0.18	0.198	0.025999
166	185	186	0.25	0.275	0.03611
167	186	187	0.19	0.209	0.027444
168	187	188	0.12	0.132	0.017333
169	188	189	0.13	0.143	0.018777
170	189	190	0.35	0.385	0.050554
171	191	192	2.3	2.53	0.332212
172	192	193	0.32	0.352	0.046221
173	192	194	0.31	0.341	0.044776
174	194	195	0.35	0.385	0.050554
175	195	196	0.35	0.385	0.050554
176	196	197	3.1	3.41	0.447764
177	196	198	1.2	1.32	0.173328
178	199	200	0.43	0.473	0.062109
179	200	201	0.43	0.473	0.062109
180	201	202	0.22	0.242	0.031777
181	202	203	0.23	0.253	0.033221
182	203	204	0.23	0.253	0.033221
183	205	206	1.29	1.419	0.186328
184	206	207	0.12	0.132	0.017333
185	207	208	0.07	0.077	0.010111
186	208	209	0.22	0.242	0.031777
187	209	210	0.19	0.209	0.027444
188	211	212	0.4	0.44	0.057776
189	212	213	0.4	0.44	0.057776
190	212	214	0.05	0.055	0.007222
191	214	215	0.45	0.495	0.064998
192	214	216	0.45	0.495	0.064998
193	216	217	0.25	0.275	0.03611
194	216	218	0.385	0.4235	0.055609
195	218	219	0.05	0.055	0.007222
196	218	220	0.385	0.4235	0.055609
197	220	221	0.1	0.11	0.014444
198	220	222	0.385	0.4235	0.055609
199	222	223	0.024	0.0264	0.003467
200	222	224	0.385	0.4235	0.055609
201	224	225	0.05	0.055	0.007222
202	224	226	0.96	1.056	0.138662

203	226	227	0.45	0.495	0.064998
204	227	228	0.52333	0.5757	0.07559
205	228	229	0.23	0.253	0.033221
206	229	230	0.42	0.462	0.060665
207	229	231	0.59	0.649	0.08522
208	229	232	0.15	0.165	0.021666
209	228	233	0.52333	0.5757	0.07559
210	233	234	1	1.1	0.14444
211	233	235	0.52333	0.5757	0.07559
212	235	236	2.3	2.53	0.332212
213	236	237	0.7	0.77	0.101108
214	238	239	1.2	1.32	0.173328
215	239	240	1.132	1.2452	0.163506
216	240	241	0.27	0.297	0.038999
217	241	242	1.266	1.3926	0.182861
218	242	243	0.25	0.275	0.03611
219	242	244	0.633	0.6963	0.091431
220	244	245	1.6	1.76	0.231104
221	245	246	0.75	0.825	0.10833
222	245	247	0.95	1.045	0.137218
223	247	248	0.425	0.4675	0.061387
224	248	249	0.5	0.55	0.07222
225	248	250	0.425	0.4675	0.061387
226	247	251	0.95	1.045	0.137218
227	251	252	1.2	1.32	0.173328
228	240	253	1.066	1.1726	0.153973
229	253	254	0.6	0.66	0.086664
230	253	255	1.8	1.98	0.259992
231	255	256	0.35	0.385	0.050554
232	255	257	1.8	1.98	0.259992
233	257	258	1.6	1.76	0.231104
234	258	259	1	1.1	0.14444
235	259	260	1.7	1.87	0.245548
236	257	261	1.6	1.76	0.231104
237	261	262	1.25	1.375	0.18055
238	262	263	1.1	1.21	0.158884
239	262	264	1.266	1.3926	0.182861
240	264	265	0.633	0.6963	0.091431
241	265	266	0.65	0.715	0.093886
242	264	267	3.85	4.235	0.556094
243	267	268	0.96	1.056	0.138662
244	268	269	1.4666	1.6133	0.211836
245	269	270	1.5	1.65	0.21666
246	269	271	3.333	3.6663	0.481419

247	271	272	0.65	0.715	0.093886
248	272	273	0.7	0.77	0.101108
249	272	274	2.6	2.86	0.375544
250	275	276	0.9	0.99	0.129996
251	276	277	0.2	0.22	0.028888
252	276	278	0.45	0.495	0.064998
253	278	279	0.445	0.4895	0.064276
254	279	280	0.72	0.792	0.103997
255	280	281	0.53	0.583	0.076553
256	278	282	0.575	0.6325	0.083053
257	282	283	0.05	0.055	0.007222
258	282	284	0.575	0.6325	0.083053
259	285	286	2.8	3.08	0.404432
260	286	287	0.7	0.77	0.101108
261	287	288	0.1175	0.1293	0.016972
262	288	289	0.2833	0.3116	0.04092
263	289	290	0.05	0.055	0.007222
264	289	291	0.2833	0.3116	0.04092
265	291	292	0.2833	0.3116	0.04092
266	291	293	0.325	0.3575	0.046943
267	293	294	0.05	0.055	0.007222
268	293	295	0.325	0.3575	0.046943
269	288	296	0.1175	0.1293	0.016972
270	296	297	0.04	0.044	0.005778
271	296	298	0.1175	0.1293	0.016972
272	298	299	0.25	0.275	0.03611
273	298	300	0.1175	0.1293	0.016972
274	287	301	1.5	1.65	0.21666
275	301	302	0.7	0.77	0.101108
276	301	303	0.4	0.44	0.057776
277	304	305	0.3	0.33	0.043332
278	306	307	0.48	0.528	0.069331
279	307	308	0.18	0.198	0.025999
280	309	310	1.3	1.43	0.187772
281	310	311	1.3	1.43	0.187772
282	311	312	0.6	0.66	0.086664
283	311	313	1.9	2.09	0.274436
284	314	315	1.52	1.672	0.219549
285	315	316	0.75	0.825	0.10833
286	316	317	0.45	0.495	0.064998
287	317	318	0.45	0.495	0.064998
288	317	319	0.6	0.66	0.086664
289	319	320	0.6	0.66	0.086664
290	319	321	0.6	0.66	0.086664

291	316	322	0.75	0.825	0.10833
292	323	324	1.6	1.76	0.231104
293	324	325	1.6	1.76	0.231104
294	324	326	0.62	0.682	0.089553
295	326	327	0.5	0.55	0.07222
296	326	328	0.5	0.55	0.07222
297	328	329	0.5	0.55	0.07222
298	328	330	0.53	0.583	0.076553
299	330	331	0.7	0.77	0.101108
300	328	332	0.4	0.44	0.057776
301	332	333	0.625	0.6875	0.090275
302	333	334	0.625	0.6875	0.090275
303	333	335	1.5	1.65	0.21666
304	336	337	1.2	1.32	0.173328
305	337	338	0.7	0.77	0.101108
306	338	339	0.4	0.44	0.057776
307	339	340	1.15	1.265	0.166106
308	339	341	0.7	0.77	0.101108
309	339	342	1	1.1	0.14444
310	337	343	1.15	1.265	0.166106
311	343	344	0.5	0.55	0.07222
312	343	345	0.5	0.55	0.07222
313	345	346	1.35	1.485	0.194994
314	345	347	0.7	0.77	0.101108
315	347	348	0.1	0.11	0.014444
316	347	349	2	2.2	0.28888
317	349	350	0.775	0.8525	0.111941
318	350	351	0.775	0.8525	0.111941
319	350	352	1.05	1.155	0.151662
320	349	353	1.05	1.155	0.151662
321	353	354	1	1.1	0.14444
322	353	355	0.3	0.33	0.043332
323	355	356	0.5	0.55	0.07222
324	355	357	1.1	1.21	0.158884
325	357	358	2.5	2.75	0.3611

Tabela P5. Raspoloživi tehnički podaci 10/0.4 kV transformatora, i podaci maksigrafa 10/0.4 kV transformatora

Redni broj TS	Broj izvoda kojem pripada	Instalirana snaga trafoa [kVA]	Posjeduje maksigraf	Maksigraf Januar [kW]	Maksigraf Februar [kW]	Maksigraf Mart [kW]	Maksigraf April [kW]	Maksigraf Maj [kW]	Maksigraf Jun [kW]	Maksigraf Jul [kW]	Maksigraf Avgust [kW]	Maksigraf Septembar [kW]	Maksigraf Oktobar [kW]	Maksigraf Novembar [kW]	Maksigraf Decembar [kW]
1	1	400	DA	133.2	140.4	118.8	112.8	103.2	91.2	100.8	96	96	111.6	117.6	135.6
2	1	630	DA	128	142	118	124	86	80	74	76	76	106	118	124
3	1	630	DA	192	212	158	172	136	124	116	112	112	148	160	184
4	1	630	DA	236	256	212	212	164	156	144	142	138	194	202	232
5	1	630	DA	352	348	300	280	208	186	166	174	180	274	296	348
6	2	400	DA	328	348	312	304	258	236	244	240	238	326	288	334
7	2	630	DA	430	392	336	324	236	208	168	186	190	280	274	316
8	2	630	DA	300	284	266	244	214	214	194	200	200	254	248	290
9	2	630	DA	134	140	136	128	100	94	94	98	94	108	126	150
10	2	630	DA	148	136	144	132	116	102	96	100	104	130	128	140
11	3	630	DA	350	348	288	266	224	210	190	184	206	258	268	296
12	3	630	DA	294	292	292	280	194	178	160	172	186	240	236	268
13	3	630	DA	104	112	90	80	64	64	48	48	58	78	92	108
14	3	400	DA	258	266.4	241.2	210	164.4	159.6	141.6	154.8	163.2	206.4	213.6	240
15	3	630	DA	202	220	188	172	138	124	106	108	112	152	158	194
16	3	1000	DA	264	246	210	192	171	150	129	147	147	192	210	234
17	4	630	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
18	4	630	DA	144	136	124	112	96	94	100	86	84	112	114	136
19	4	630	DA	256	262	216	178	122	102	110	112	110	174	196	226
20	4	400	DA	104	96	86	92	66	64	60	58	68	86	92	100
21	4	630	DA	204	196	164	160	116	92	106	102	76	112	148	184
22	4	630	DA	128.4	138	133.2	106.8	76.8	73.2	74.4	74.4	74.4	93.6	105.6	123.6
23	5	1000	DA	252	231	186	177	159	168	180	186	156	186	219	246
24	6	630	DA	118	130	116	106	102	96	96	100	88	104	114	128
25	7	630	DA	44	48	34	30	22	16	16	18	18	22	28	32
26	7	630	DA	176	208	160	146	108	102	90	88	98	124	162	180
27	8	1000	DA	249	288	246	186	168	156	129	147	162	213	246	285
28	8	250	DA	142.8	145.2	132	130.2	113.4	100.2	88.8	92.4	99	121.2	120.6	133.2
29	9	630	DA	310	336	282	282	248	220	202	220	254	270	276	314
30	9	250	DA	116	124	114	102	108	102	104	100	114	104	104	116
31	9	630	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
32	9	400	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
33	9	250	DA	196.8	170.4	157.2	156	144	130.8	127.2	134.4	146.4	138	151.2	150
34	9	630	DA	280	308	244	250	220	208	196	220	236	364	240	308
35	9	400	DA	320	300	286	276	288	256	240	268	272	298	288	326
36	9	630	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
37	9	250	DA	182	184	152	150	134	124	100	138	110	138	152	168
38	9	630	DA	340	316	294	280	254	216	224	212	218	294	310	320
39	9	630	DA	54	56	44	50	44	32	24	28	28	48	46	54
40	9	630	DA	204	194	182	168	116	100	72	72	84	134	146	188
41	9	630	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
42	9	1000	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
43	9	630	DA	276	244	260	256	208	178	146	160	150	204	202	222
44	9	630	DA	130	138	128	120	112	124	120	132	122	124	122	132
45	10	630	DA	146	164	148	146	122	108	96	98	100	134	132	150
46	10	630	DA	118	110	104	92	78	54	44	56	50	60	88	95
47	10	630	DA	120	116	110	100	82	72	64	70	64	86	92	120
48	10	630	DA	276	288	240	208	164	154	140	142	132	184	192	248
49	10	630	DA	200	224	186	178	142	124	116	116	120	176	172	194
50	11	400	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
51	11	160	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
52	11	250	DA	197.4	220.8	183.6	160.8	169.2	172.2	178.8	171.6	171	171.6	173.4	198
53	11	160	DA	97.2	90	96.6	97.8	82.8	68.4	70.8	75	83.4	89.4	102	104.4
54	11	100	DA	67.8	67.2	75.6	61.8	67.8	57	52.8	49.2	64.2	66	70.8	73.2
55	11	250	DA	46.4	43.2	43.2	40.8	40.8	49.6	46.4	47.2	39.2	44.8	48.8	47.2
56	11	400	DA	120	104	108	104	102	92	84	90	94	104	104	116
57	11	400	DA	120	104	108	104	102	92	84	90	94	104	104	116
58	11	100	DA	45.6	47.4	45.6	46.2	43.2	42	38.4	36	41	44	39.5	46
59	11	400	DA	186	193.2	170.4	174	141.6	121.2	114	123.6	126	151.2	138	172.8
60	11	400	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A

61	11	160	DA	79.2	70.8	64.8	72	75	65.4	76.8	63.6	67.8	76.2	74.4	77.4
62	11	100	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
63	11	160	DA	97.8	83.4	84	86.4	90.6	120.6	203.2	97.6	87.2	120	80	69.6
64	11	400	DA	84	80	78	78	96	82	88	90	80	84	76	80
65	11	50	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
66	11	100	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
67	11	50	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
68	11	400	DA	186	193.2	170.4	174	141.6	121.2	114	123.6	126	151.2	138	172.8
69	11	400	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
70	11	250	DA	60.8	59.2	55.2	45.6	40.8	40	48.8	48	36.8	38.4	35.2	38.4
71	11	160	DA	87.6	87.6	79.8	82.2	84	83.4	68	76	83	91	96	113.5
72	11	160	DA	115.2	117.6	111.6	100.8	98.4	86.4	79.2	82.8	98.4	96	108	105.6
73	11	250	DA	214.8	210	180	213.6	184.8	207.6	206.4	206.4	184.8	204	260.4	211.2
74	11	100	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
75	11	50	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
76	11	50	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A						
77	11	50	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
78	11	50	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A						
79	11	50	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A						
80	11	50	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A						
81	11	50	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A						
82	12	630	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
83	13	1000	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A						
84	14	630	DA	232	248	208	200	176	154	146	160	158	198	192	224
85	14	630	DA	72	72	68	62	68	58	56	58	62	64	66	68
86	14	630	DA	196	202	200	192	176	128	130	132	138	164	188	202
87	14	1000	DA	426	411	366	351	363	276	264	276	282	324	336	399
88	14	630	DA	368	368	316	306	314	260	232	256	250	300	300	344
89	15	630	DA	202.8	206.4	176.4	165.6	144	146.4	130.8	140.4	147.6	163.2	175.2	201.6
90	15	630	DA	228	218	194	176	144	130	116	132	128	162	184	222
91	15	1000	DA	63	66	60	51	39	45	51	48	39	54	57	69
92	15	630	DA	368	368	322	304	232	212	188	196	200	262	286	338
93	15	630	DA	256	260	212	196	228	110	118	112	126	176	190	220
94	15	630	DA	506	444	380	332	258	144	164	148	142	322	364	442
95	16	630	DA	228	234	194	190	172	148	144	140	164	168	180	192
96	16	630	DA	166	156	136	138	124	100	100	104	104	136	132	178
97	16	630	DA	460	434	388	352	356	324	296	332	334	350	358	392
98	16	250	DA	113.6	99.2	96.8	99.2	103.2	98.4	91.2	97.6	93.6	96	92.8	99.2
99	16	630	DA	68	68	64	64	58	54	52	60	68	62	68	68
100	16	630	DA	344	340	316	292	270	262	234	234	260	300	294	328
101	16	630	DA	320	312	252	276	264	266	210	234	258	284	268	308
102	16	160	DA	174	148.8	146.4	147	134.4	139.2	118.2	143.4	141	135	134.4	144
103	16	160	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
104	17	250	DA	70.4	66.4	64	64	65.6	62.4	61.6	62.4	66.4	67.2	72.8	72.8
105	17	400	DA	110	112	103	110	106	99	102	96	104	104	109	112
106	17	160	DA	79.2	64.8	61.2	61.2	56.4	49.8	54	55.8	61.2	69	69.6	71.4
107	17	250	DA	120.8	144	122.4	112.8	105.6	96.8	93.6	91.2	108.8	117.6	105.6	118.4
108	17	160	DA	121.2	112.8	124.2	105	94.8	90	91.2	90.6	102	106.8	120	
109	17	160	DA	104	94.4	91.2	106.4	92.8	78.4	83.2	92.8	104	101.6	99.2	101.6
110	17	160	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A						
111	17	630	DA	176	170	164	144	140	134	150	144	152	152	154	164
112	17	400	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
113	17	100	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
114	17	160	DA	21.6	16	17.6	12.8	12	14.4	14.4	14.4	14.4	13.6	12.8	16
115	17	100	DA	21	18.5	27	19	21.5	20.5	23	21	21.5	21	19.5	51
116	17	160	DA	61.6	63.2	75.2	63.2	64.8	69.6	63.2	68	65.6	64	66.4	52.8
117	17	50	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A						
118	17	50	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A						
119	17	100	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
120	17	160	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A						
121	17	250	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
122	17	100	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
123	17	50	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A						
124	18	1000	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A						
125	18	1000	DA	243	216	192	165	111	96	96	99	99	138	150	198
126	19	630	DA	280.8	273.6	250.8	247.2	218.4	193.2	169.2	164.4	184.8	230.4	231.6	255.6
127	19	400	DA	166	174	150	136	120	104	104	96	108	132	130	156
128	19	630	DA	108	108	100	88	76	74	72	68	72	84	88	112
129	19	630	DA	364	368	308	320	312	268	222	200	232	320	352	422
130	20	630	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
131	20	630	DA	196	198	174	166	134	116	114	118	108	150	176	204
132	20	630	DA	196	198	174	166	134	116	114	118	108	150	176	204
133	20	630	DA	268	272	258	224	194	186	170	162	170	228	240	268
134	20	630	DA	234	222	220	204	188	158	146	156	152	196	192	212
135	20	1000	DA	105	111	87	87	72	63	48	60	66	81	84	99
136	20	630	DA	180	180	160	170	156	118	98	96	114	168	160	182
137	20	630	DA	264	286	268	244	206	176	162	174	192	244	254	286
138	21	1000	DA	348	333	282	300	207	186	204	204	144	300	369	381
139	21	630	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
140	21	630	DA	230	232	200	196	152	134	144	136	150	180	186	224
141	21	630	DA	294	260	248	234	196	148	158	160	148	226	228	280
142	21	1000	DA	188	178	148	144	108	90	96	90	116	148	150	180
143	21	630	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
144	22	400	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A						
145	22	100	NE	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
146	22	630	DA	198	210	182	172	138	124	116</td					

151	23	630	DA	368	368	322	304	232	212	188	196	200	262	286	338
152	23	400	DA	182.4	188.4	156	148.8	136.8	115.2	108	110.4	116.4	156	156	175.2
153	23	630	DA	270	280.8	254.4	264	226.8	199.2	188.4	181.2	178.8	217.2	226.8	259.2
154	24	160	NE	#N/A											
155	24	160	DA	86.4	75.2	76	80	73.6	62.4	59.2	67.2	58.4	72	83.2	88.8
156	24	160	DA	96	100.8	91.2	82.8	68.8	60.8	60.8	62.4	73.6	86.4	82.4	87.2
157	24	160	NE	#N/A											
158	24	400	DA	129.6	152.4	130.8	115.2	99.6	82.8	88.8	87.6	90	122.4	134.4	144
159	24	630	NE	#N/A											
160	24	160	DA	107	121	105	97	101	91	#N/A	92.5	103	100.5	104.5	108.5
161	24	250	DA	148.8	148.8	183.6	152.4	140.4	141.6	109.2	126	124.8	141.6	136.8	162
162	24	160	NE	#N/A											
163	24	160	DA	90.4	99.2	92	96.8	84.8	74.4	75.2	70.4	79.2	98.4	91.2	91.2
164	24	250	DA	103.2	102	90	90	81.6	74.4	51.2	78.4	83.2	83.2	76.8	88.8
165	24	160	DA	94.8	100.8	80.4	83.4	79.2	74.4	64.2	82.4	81.6	83.2	78.4	104
166	24	250	DA	64.2	61.8	63.6	64.8	61.2	52.2	49.8	48.6	63.6	62.4	60	55.2
167	24	250	DA	118.8	127.2	122.4	120	126	114	106.8	111.6	127.2	139.2	120	144
168	24	100	NE	#N/A											
169	24	100	NE	#N/A											
170	25	250	NE	#N/A											
171	25	160	DA	58.8	52.8	44.4	46.8	57.6	58.8	55.2	61.6	64	72.8	70.4	72
172	25	50	NE	#N/A											
173	25	50	NE	#N/A											
174	25	160	NE	#N/A											
175	25	100	NE	#N/A											
176	25	160	NE	#N/A											
177	25	160	NE	#N/A											
178	25	250	NE	#N/A											
179	25	100	NE	#N/A											
180	25	160	DA	25.2	25.2	27.6	22.8	27.6	26.4	25.2	24.6	26.4	22.8	25.2	24
181	25	160	NE	#N/A											
182	25	160	NE	#N/A											
183	25	160	NE	#N/A											
184	25	50	NE	#N/A											
185	25	100	NE	#N/A											
186	25	50	NE	#N/A											
187	25	160	NE	#N/A											
188	25	50	NE	#N/A											
189	25	50	NE	#N/A											
190	25	400	DA	73.2	62.4	46.8	32.4	38.4	40.8	42	33.6	43.2	45.6	33.6	39.6
191	25	50	NE	#N/A											
192	25	160	NE	#N/A											
193	25	50	NE	#N/A											
194	25	50	NE	#N/A											
195	25	50	NE	#N/A											
196	25	50	NE	#N/A											
197	26	630	NE	#N/A											
198	26	630	NE	#N/A											
199	26	1000	DA	477	483	444	429	417	357	315	330	324	399	399	444
200	26	250	DA	115.2	120	105.6	102	108	92.4	92.4	90	87.6	98.4	108	108
201	26	630	DA	198	183	168	192	165	159	150	153	165	168	174	186
202	26	400	DA	84	100	76	76	80	74	70	68	92	88	92	86
203	26	250	NE	#N/A											
204	26	630	DA	412	394	348	328	318	284	254	352	292	324	336	350
205	27	630	DA	186	184	162	174	148	128	104	108	130	138	174	192
206	27	630	DA	348	348	322	304	264	220	204	202	256	282	290	314
207	27	630	NE	#N/A											
208	27	630	NE	#N/A											
209	27	630	NE	#N/A											
210	27	100	NE	#N/A											

211	27	630	NE	#N/A											
212	27	160	NE	#N/A											
213	27	160	DA	125	134	121.5	132	102.5	93	82.5	84.5	100	122	123	121
214	27	630	DA	360	366	336	318	274	224	196	206	236	288	300	336
215	27	630	DA	336	356	320	278	240	222	190	194	252	272	286	310
216	27	630	NE	#N/A											
217	28	630	NE	#N/A											
218	29	1000	DA	453	522	384	360	312	234	210	204	237	339	336	378
219	29	1000	DA	201	198	186	171	144	123	108	114	129	162	156	207
220	30	250	DA	148.8	152.4	129.6	108	75.6	67.2	52.8	61.2	66	117.6	139.2	159.6
221	30	250	DA	143.4	142.2	125.4	137.4	136.2	139.8	135	114	114	122	125	122
222	30	160	DA	126	198	109.2	165	121.8	158.4	121.6	129.6	118.4	120	120	175.2
223	31	100	DA	54	60	48	57	46.8	55.2	51.6	52.2	50	42	48	63.6
224	31	100	NE	#N/A											
225	31	50	NE	#N/A											
226	31	160	DA	94.2	108.6	79.2	92.4	83.4	73.8	86.4	79.8	78	94.8	91.2	114
227	31	100	DA	86	96.5	70	64	74	78.5	66	65.5	70	74	78.5	93
228	32	160	DA	102	91.2	87.6	87.6	90	84	74.4	76.8	74.4	70.8	76.8	86.4
229	32	250	DA	70.4	84.8	65.6	100	67.2	65.6	60	67.2	62.4	70.4	73.6	72.8
230	32	400	NE	#N/A											
231	32	50	NE	#N/A											
232	32	100	DA	38.4	39.6	42	35.4	38.4	33.6	33	34.8	36.6	36	37.8	44.4
233	32	50	DA	41.4	45.6	37.2	39.6	35.4	33.6	30.6	34.8	34.2	39.6	41.4	56.4
234	32	50	NE	#N/A											
235	32	50	NE	#N/A											
236	33	100	NE	#N/A											
237	33	160	NE	#N/A											
238	33	50	NE	#N/A											
239	33	250	NE	#N/A											
240	33	50	DA	42.4	60.8	47.2	46.4	41.6	39.2	41.6	44.8	43.2	44.8	47.6	56
241	33	160	DA	115	127	109.5	122	112	118	119.5	119	119	108	103	123.5
242	33	100	NE	#N/A											
243	33	160	NE	#N/A											
244	33	160	DA	25.2	31.2	28.2	31.2	33.6	24	25.2	26.4	25.8	24.6	22.8	25.2
245	33	100	NE	#N/A											
246	33	160	NE	#N/A											
247	33	100	NE	#N/A											
248	33	250	NE	#N/A											
249	33	630	NE	#N/A											

Tabela P6. Pregled raspoloživih mjerjenja na 10 kV nivou

Redni broj očitavanja	P1 [kW]	P2 [kW]	...	P358 [kW]	Q1 [kVAr]	Q2 [kVAr]	...	Q358 [kVAr]
1	750	56.8	.	246.67	243.84	18.454	.	80.2
2	720	54.5	.	242.28	234.09	17.715	.	78.77
.
.
.
35040	690	89.6	...	233.42	224.33	29.134	...	75.89

Tabela P7. Gubici snage i energije elemenata 10 kV mreže

Gubici energije 10 kV [MWh]	Vod 1	Vod 2	Vod 3	Vod 4	Vod 5	Vod 6	Vod 7	Vod 8	Vod 9	Vod 10	Vod 11	Vod 12	Vod 13	Vod 14	Vod 15
Januar	1.085291271	0.347699204	0.112273518	0.26453625	0.081784954	4.401839987	2.286706229	0.328059584	0.065262366	0.01797507	1.639739726	0.863564875	0.396759185	0.436133605	0.157118621
Februar	1.430463645	0.45839777	0.145602869	0.331103763	0.095017461	3.450951329	1.688484264	0.253089066	0.052040882	0.012694179	1.171366501	0.621983439	0.289481193	0.313320004	0.110379296
Mart	1.194371837	0.379952654	0.120170156	0.290855578	0.086122346	3.62371826	1.80067728	0.293931571	0.067116463	0.017646847	1.196612432	0.659765874	0.2837882	0.313425895	0.10567847
April	1.132183935	0.364914625	0.11336894	0.258004265	0.072066238	2.81012349	1.369305045	0.280151547	0.049649193	0.012799845	0.928797555	0.509825589	0.210897388	0.23455474	0.081670776
Maj	0.592891224	0.181265768	0.057974708	0.128814036	0.034715855	0.203804993	0.964163728	0.174423516	0.037324041	0.010758062	0.63740798	0.338856098	0.154137813	0.171810253	0.063694533
Jun	0.635032142	0.19637097	0.062545798	0.139573452	0.035859705	1.655734039	0.789515342	0.150801448	0.029243376	0.007917382	0.520446617	0.274460427	0.125569417	0.136958983	0.047603772
Jul	0.35680799	0.104097168	0.033034771	0.072468390	0.01791828	1.580009922	0.692058395	0.145286576	0.030179385	0.007704875	0.403531063	0.222259316	0.098806496	0.111707816	0.037877307
Avgust	0.517453765	0.153794899	0.048491276	0.109495778	0.028617179	1.57203069	0.719101876	0.144904262	0.030422572	0.007761064	0.479826702	0.260391865	0.116062447	0.133518822	0.04501016
Septembar	0.496556928	0.147777848	0.046659972	0.105713424	0.029198427	1.540854623	0.711052222	0.141332347	0.029671635	0.008183884	0.525559037	0.277858255	0.121785463	0.135205042	0.044300286
Oktobar	0.82662298	0.261190125	0.083169028	0.198936718	0.058803294	2.509594524	1.129571556	0.199070995	0.039497233	0.017766858	0.911800964	0.491114439	0.216945964	0.239152827	0.081276451
November	1.069953118	0.339872419	0.106919807	0.253850728	0.077345296	3.124564223	1.513661569	0.274869842	0.059644577	0.015148223	0.985046119	0.532606813	0.246362898	0.263984257	0.091942173
Decembar	1.749667417	0.554778552	0.179699483	0.429414485	0.133368618	4.075434877	1.969486594	0.358063205	0.075844193	0.017683935	1.460873173	0.803691381	0.374555126	0.390953138	0.142471526
Totalni gubici energije [MWh]	11.08729567	3.490085002	1.109910325	2.582768786	0.750538201	32.38414835	15.6337841	2.689443959	0.565492276	0.148050226	10.88800787	5.856028371	2.63525221	2.887726146	1.009018001

Tabela P8. Nastavak tabele

Gubici energije 10 kV [MWh]	Vod 16	Vod 17	Vod 18	Vod 19	Vod 20	Vod 21	Vod 22	Vod 23	Vod 24	Vod 25	Vod 26	Vod 27	Vod 28	Vod 29	Vod 30
Januar	0.037853224	0.420445266	0.659908746	0.269584756	0.061278874	0.083719902	0.004972162	0.058339474	0.068815288	0.047698192	0.009919036	0.573031606	0.140173196	158.8458306	2.641678274
Februar	0.02322906	0.523831053	0.826837989	0.344070893	0.076072277	0.0589930598	0.007314113	0.04942111	0.046423399	0.047867817	0.010263074	0.64396707	0.133899282	127.6398966	2.19399592
Mart	0.022087176	0.455307935	0.720900807	0.294934015	0.06902086	0.079032256	0.007812229	0.029189452	0.054133395	0.040741999	0.00896802	0.624684883	0.140287331	108.2851786	1.808653282
April	0.017060315	0.394362519	0.620023908	0.252928857	0.064650391	0.080339246	0.028507487	0.036968678	0.035443736	0.007913442	0.557716261	0.1739974686	100.6472062	1.684039031	
Maj	0.014638861	0.210570317	0.330058296	0.125465911	0.033150601	0.041576032	0.002742709	0.022152877	0.026519207	0.018868711	0.004239372	0.380168597	0.113460105	88.79056566	1.544326285
Jun	0.010707265	0.183268999	0.283776212	0.102637938	0.028117434	0.028304721	0.00269229	0.024784423	0.03600125	0.016803591	0.004059832	0.35268798	0.099110165	73.79111827	1.293310574
Jul	0.008566664	0.093411641	0.146335738	0.052807479	0.014217867	0.01728931	0.036353222	0.039392601	0.011940404	0.0027818	0.318550302	0.097170851	55.08527947	0.110113137	
Avgust	0.011220266	0.213176571	0.33523523	0.128210431	0.033591141	0.039699586	0.003177002	0.041523611	0.041983743	0.016315992	0.003634972	0.32814914	0.089763019	68.35782864	1.211707102
Septembar	0.010706346	0.149221064	0.227081873	0.085812212	0.021716943	0.016460659	0.002363834	0.024017348	0.032339144	0.015088223	0.003482864	0.377602928	0.098811454	78.10252474	1.531033094
Oktobar	0.019002708	0.380028096	0.578666534	0.224110165	0.050320945	0.046420631	0.004863466	0.036859399	0.027685755	0.006470162	0.210694173	0.39779237	82.9347152	0.20629282	
Novembar	0.022466332	0.437148594	0.678614905	0.275995054	0.064312972	0.073721778	0.005632077	0.042826485	0.053444963	0.03806228	0.008979271	0.660976024	0.131655842	107.977429	1.825235003
Decembar	0.031968476	0.807716403	1.267230874	0.512035502	0.121263589	0.154512111	0.010451313	0.076387892	0.095643114	0.059500569	0.013928282	0.918365788	0.171606463	130.4124418	2.125234166
Totalni gubici energije [MWh]	0.229506793	4.268506458	6.674671012	2.668590482	0.637719247	0.759969081	0.058673105	0.459268688	0.56852179	0.376177269	0.084668288	6.313287229	1.530623094	1180.870015	20.17285515

Tabela P9. Nastavak tabele

Gubici energije 10 kV [MWh]	Vod 31	Vod 32	Vod 33	Vod 34	Vod 35	Vod 36	Vod 37	Vod 38	Vod 39	Vod 40	Vod 41	Vod 42	Vod 43	Vod 44	Vod 45
Januar	0.038816059	0.628879791	0.163126787	0.065815877	0.133017495	1.321023345	0.301666964	0.129037837	18.56478697	11.99237548	0.003196289	1.343197955	12.19140345	2.910961363	7.465019018
Februar	0.037058563	0.475953657	0.130890399	0.052811554	0.084012507	1.135010432	0.22265365	0.103622146	14.37328504	9.19946065	0.002860599	1.037796553	9.450379727	2.234678131	5.553146307
Mart	0.032826065	0.406627619	0.110723174	0.044675743	0.07410360	0.920107134	0.2107391	0.08778562	12.623529	8.237010886	0.001852951	0.93906759	8.538585566	2.071954866	5.179820294
April	0.025753155	0.380972472	0.102793898	0.041476395	0.071502187	0.870605806	0.19231997	0.081504694	16.60163303	7.54578272	0.002334937	0.856458091	7.889041494	1.912157739	4.835973957
Maj	0.031171416	0.346911875	0.093312944	0.037651428	0.065732193	0.877424928	0.226205886	0.074031596	9.578522385	6.20725701	0.001949015	0.693543391	6.761432035	1.00964087	4.002591705
Jun	0.028405132	0.222846007	0.057930309	0.0233768	0.04682765	0.590376419	0.14384798	0.046038754	5.602743612	3.676475627	0.00537968	0.404420241	4.138428935	0.985076975	2.20515807
Jul	0.026414868	0.222846007	0.057930309	0.0233768	0.04682765	0.590376419	0.14384798	0.046038754	5.602743612	3.676475627	0.00537968	0.404420241	4.138428935	0.985076975	2.20515807
Avgust	0.025194442	0.267962698	0.073825151	0.029789453	0.053949825	0.763172899	0.184579512	0.058267952	6.73562128	4.381825614	0.000751706	0.507293065	5.27047182	1.251956249	2.811053314
Septembar	0.035367705	0.324690095	0.084005018	0.033896398	0.069187196	0.883369789	0.205044074	0.066648431	7.419983397	4.861191794	0.00813514	0.559643383	5.681341022	1.321841849	3.056159063
Oktobar	0.022059135	0.292842003	0.083828937	0.033608465	0.046059387	1.138191026	0.18511719	0.066125843	8.543951362	5.584902333	0.001764074	0.60632808	5.810665501	1.366336982	3.243254338
Novembar	0.030417212	0.406501534	0.109669742	0.044249815	0.070365061	0.197478751	0.2308096	0.086932835	12.15498876	8.78484594	0.002250749	0.833572353	7.809662038	2.210694172	4.507389752
Decembar	0.03588739	0.461321773	0.131901988	0.053220042	0.071213217	1.346982233	0.289760812	0.104494295	14.43528057	9.317304684	0.002938181	1.02674493	9.290775028	2.179982575	3.586261815
Totalni gubici energije [MWh]	0.369371279	4.515346334	1.219582688	0.492091008	0.847281395	11.60116268	2.582333543	0.966854795	129.7257763	83.89278311	0.022312653	9.393320082	88.60317286	21.07390567	51.55562181

Tabela P10. Nastavak tabele

Gubici energije 10 kV [MWh]	Vod 46	Vod 47	Vod 48	Vod 49	Vod 50	Vod 51	Vod 52	Vod 53	Vod 54	Vod 55	Vod 56	Vod 57	Vod 58	Vod 59	Vod 60
Januar	0.203284708	0.033970908	0.466459477	0.195021798	0.299038218	0.017479153	0.019129717	92.92781235	0.037253794	25.19915724	35.67321355	22.33846235	16.14194882	0.000135173	19.6651072
Februar	0.132202561	0.031682365	0.931135498	0.378426079	0.602542557	0.034535396	0.043445589	71.91395373	0.026521894	19.46715019	27.5364503	16.881646968	12.23402561	0.00010801	14.88458088
Mart	0.154226894	0.283346556	0.855436063	0.342336087	0.52834826	0.02886352	0.036145837	74.09673918	0.02687187	20.9932306	28.44831844	17.11891387	12.6990181	0.000166531	15.26164028
April	0.146156243	0.24380197	0.631991287	0.244377218	0.380061216	0.018965995	0.028957204	53.41962221	0.023394761	14.3936159	20.32256865	12.89703	9.24290462	7.86825-05	11.2567326
Maj	0.10297991	0.022758547	0.378967396	0.144380461	0.220313193	0.010710402	0.016742282	47.07225291	0.021046402	12.66332864	17.86887694	11.7533575	8.076238334	7.748496-05	9.748818272
Jun	0.076502857	0.028330048	0.309635030	0.11694806	0.19289882	0.010164634	0.013750767	51.59620991	0.022590503	13.90258315	19.6262856	12.17694879	8.891995524	7.748496-05	10.2238395
Jul	0.045044076	0.023489434	0.105895365	0.040217739	0.068267987	0.00355552	0.005092638	56.264990355	0.022673737	15.2513817	21.591256	15.150387871	9.736536803	7.07275-05	11.90768381
Avgust	0.056687334	0.029469491	0.239350119	0.092132546	0.1477333	0.007535405	0.010494528	51.8930172	0.022756256	13.98093748	19.73938765	12.210323232	8.847606168	6.05621E-05	10.83543398
Septembar	0.054079709	0.027278739	0.191235562	0.071556469	0.117204568	0.005566293	0.005993381	45.882204958	0.020764743	12.33238927	17.3940238	10.77584604	7.748912161	8.97596-05	9.351087618
Oktobar	0.075117257	0.022717790	0.389471908	0.147702435	0.252219189	0.011694046	0.02297756	60.76540939	0.026181943	16.39256558	23.15648318	14.562464928	10.50589569	0.000102977	12.74361284
Novembar	0.103251334	0.028612066	0.513431908	0.20168956	0.311737139	0.0105699	0.025181419	65.2237206	0.030470666	17.48950598	24.63829176	15.53329088	11.13702857	0.000117192	13.48036482
Decembar	0.119188493	0.031940233	0.780293774	0.313758931	0.505070436	0.026804847	0.034192087	92.7427597	0.039555971	25.03780673	32.056569079</				

Tabela P12. Nastavak tabele

Gubici energije 10 kV [MWh]	Vod 76	Vod 77	Vod 78	Vod 79	Vod 80	Vod 81	Vod 82	Vod 83	Vod 84	Vod 85	Vod 86	Vod 87	Vod 88	Vod 89	Vod 90
Januar	0.19903849	0.02153053	0.121284501	0.078808524	0.004188639	0.347250129	0.005827183	0.179393779	0.574285304	0.016473568	0.198013351	0.113509345	0.036953753	0.717705838	0.472151149
Februar	0.15974749	0.015626191	0.100078863	0.065100572	0.0032389	0.293626455	0.004503918	0.155628439	5.110766949	0.012743708	0.154150582	0.088477228	0.029413376	0.558551313	0.362006294
Mart	0.159254776	0.017923941	0.059584701	0.0626247036	0.003208629	0.278126332	0.004458716	0.144704964	5.024012939	0.01263004	0.151177795	0.090385759	0.029493676	0.542301901	0.341487821
April	0.115959458	0.012484609	0.070778369	0.0460247008	0.002441742	0.202658116	0.003390771	0.104741919	3.780940028	0.00961859	0.113694762	0.056363496	0.021760426	0.426238391	0.289864696
Maj	0.10040128	0.018288771	0.051141501	0.327245488	0.002158636	0.135684704	0.002994883	0.067065763	3.736618364	0.008510564	0.096183232	0.0508521	0.022010999	0.35309512	0.234510383
Jun	0.093843665	0.015964362	0.049331133	0.309381805	0.002348348	0.122819207	0.002357689	0.058651558	3.775305004	0.005268186	0.114382506	0.060879616	0.025593325	0.4219535	0.295992323
Jul	0.097895952	0.019678948	0.048119794	0.300040548	0.002376764	0.117640812	0.003296621	0.055603197	3.780519194	0.009361575	0.114254832	0.058210706	0.018413106	0.425722853	0.305250914
August	0.103993343	0.020140192	0.051924565	0.327482609	0.002359602	0.132181233	0.003273483	0.06399017	3.834698386	0.009313177	0.116534008	0.064383551	0.022574202	0.426193602	0.301760506
Septembar	0.086514307	0.013738347	0.046652925	0.294069498	0.002127861	0.159549954	0.002159158	0.073395163	3.298561697	0.008399852	0.098886431	0.051885461	0.023223122	0.365996715	0.240755304
Oktobar	0.12076198	0.016708616	0.068259781	0.043554987	0.002766821	0.18312806	0.008841444	0.09131164	4.21376219	0.010899264	0.125747114	0.066814365	0.030824801	0.464061665	0.318164806
Novembar	0.11137095	0.015954619	0.049045338	0.030250425	0.001595367	0.054512677	0.007595044	0.07554102	6.732619352	0.017387288	0.010201073	0.067478330	0.034195064	0.627711515	0.436462059
Decembar	0.188347894	0.020191731	0.115097427	0.740394023	0.00410199	0.316085416	0.006313177	0.059654102	6.732619352	0.017387288	0.021056337	0.12323998	0.064273283	0.716587895	0.408470148
Totalni gubici energije [MWh]	1.537165055	0.205891958	0.884507802	5.67499845	0.034867246	2.407794096	0.048442046	1.211667684	54.6893535	0.137437828	1.645914355	0.894803556	0.359070173	0.6406066308	4.084727653

Tabela P13. Nastavak tabele

Gubici energije 10 kV [MWh]	Vod 91	Vod 92	Vod 93	Vod 94	Vod 95	Vod 96	Vod 97	Vod 98	Vod 99	Vod 100	Vod 101	Vod 102	Vod 103	Vod 104	Vod 105
Januar	0.164495464	0.150387293	0.244958902	0.044958902	0.342438401	0.056852121	0.009341371	0.040836882	0.004579031	0.0000771747	0.00381	0.724167978	6.359983002		
Februar	0.125176484	0.1159567911	0.188747502	0.2827557533	0.284411125	0.26358124	0.043755728	0.00317818	0.014885404	0.003722409	0.003538399	0.005963595	0.02941	4.957759184	
Mart	0.110822457	0.114695382	0.186572474	0.280476876	0.260414467	0.232727824	0.030672734	0.01470556	0.003677371	0.00350545	0.000590806	0.02941	1.368277367	5.372256793	
April	0.108641519	0.107904945	0.141507374	0.211953799	0.213055988	0.197358704	0.037275762	0.002783796	0.011143202	0.020786442	0.00266652	0.00049413	0.02222	1.322191048	4.459826193
Maj	0.078616372	0.076970848	0.124944527	0.187037626	0.187974068	0.174097747	0.028894942	0.02455724	0.009829161	0.002457813	0.002357678	0.000397361	0.01996	1.081524041	3.86763106
Jun	0.118825222	0.083886334	0.136327187	0.204112311	0.205168338	0.19048305	0.031543678	0.017034028	0.002130457	0.020570064	0.000433157	0.020241314	0.168890457	2.709832792	
Jul	0.125484775	0.084705894	0.137647515	0.206062901	0.201743620	0.191872985	0.03184628	0.002076084	0.010833522	0.020709893	0.004175511	0.0243574705	2.415254596		
August	0.123097662	0.084269446	0.136958583	0.204986627	0.201980885	0.196804088	0.031682138	0.010774401	0.001774401	0.026295946	0.002528426	0.00235426	0.01059944	2.058591561	2.564103808
Septembar	0.084958092	0.075952173	0.123345019	0.184648175	0.185577456	0.171881661	0.02852734	0.0024447	0.009704138	0.002426558	0.002327717	0.00392312	0.01994	1.051881626	2.706138697
Oktobar	0.114474126	0.098812058	0.160646369	0.240598662	0.241890079	0.224098804	0.03179724	0.003161111	0.020625374	0.030327098	0.003059473	0.00251	0.863183721	4.163154512	
Novembar	0.18657884	0.116860237	0.190155227	0.284849928	0.286464044	0.26545827	0.04065904	0.037446519	0.01490709	0.003748714	0.00356714	0.000610203	0.0297	0.848198091	4.616073132
Decembar	0.164314105	0.158601352	0.258371753	0.387224227	0.389654861	0.361214018	0.050996679	0.005095602	0.020402025	0.005102142	0.004828369	0.00081377	0.00401	1.554554735	6.259530649
Totalni gubici energije [MWh]	1.505485387	1.24810094	2.030240191	3.04092488	3.057822117	2.833348686	4.7032014	0.039967525	0.159996394	0.040090628	0.038141601	0.00642836	0.03171	16.68421374	50.45090842

Tabela P14. Nastavak tabele

Gubici energije 10 kV [MWh]	Vod 106	Vod 107	Vod 108	Vod 109	Vod 110	Vod 111	Vod 112	Vod 113	Vod 114	Vod 115	Vod 116	Vod 117	Vod 118	Vod 119	Vod 120	
Januar	0.033975082	1.39428158	0.801009539	0.28170514	5.36088471	1.101116178	0.518150921	0.743431199	0.656017397	0.050643475	3.840279482	1.056230527	1.187581679	0.014310056	0.024375452	
Februar	0.030970083	1.056791964	0.955626807	0.21775294	4.307628076	0.87055965	0.029092851	0.040836882	0.004579031	0.0000771747	0.00381	0.724167978	6.359983002			
Mart	0.030747933	1.166828939	0.623052205	0.218977984	3.686505884	0.745985278	0.36208497	0.047417672	0.029662148	0.03160266	3.165825451	0.866426723	0.907959911	0.014091269	0.022778623	
April	0.02816354	0.974854068	0.52132691	0.185132664	3.190753167	0.63957045	0.296865971	0.021199599	0.021199599	0.005369501	0.020593522	0.021199599	0.004175511	0.024417711	0.02458847	
Maj	0.093082888	0.87578766	0.49155277	0.173313472	2.264909303	0.45135037	0.21254315	0.030466671	0.027132939	0.01048143	2.56242867	0.711070323	0.823545372	0.01059944	0.01898467	
Jun	0.02413331	0.582738136	0.338597599	0.130394459	1.53583754	0.27915471	0.115756268	0.015368546	0.008662921	0.005059317	0.0237395974	0.586802123	0.712262537	0.010998647	0.01679516	
Jul	0.022465645	0.528916547	0.289355997	0.103555599	1.262668827	0.223917024	0.094855941	0.010431578	0.008297517	0.005082177	0.020461203	2.0746177872	0.719199537	0.796753583	0.011613147	0.021730311
August	0.020624961	0.877677695	0.491307942	0.24731409	0.491426220	0.228071503	0.317765145	0.026117748	0.021412033	0.024172033	2.746978727	0.719199537	0.796753583	0.011613147	0.021730311	
Septembar	0.020334896	0.877677695	0.490370015	0.24731409	0.491426220	0.228071503	0.317765145	0.026117748	0.021412033	0.024172033	2.746978727	0.719199537	0.796753583	0.011613147	0.021730311	
Oktobar	0.030477367	1.020267675	0.533102353	0.194172981	2.393952003	0.654043181	0.30357578	0.421312685	0.355470808	0.029709043	2.779925135	0.739984746	0.833157193	0.011440636	0.02300499	
Novembar	0.03082437	1.368057122	0.755351851	0.265085883	5.230576878	0.04097136	0.493620682	0.672217979	0.355709508	0.049349512	3.687052497	1.017835015	1.043478133	0.0140491	0.028210175	
Decembar	2.013616825	0.553232063	0.50653753	0.17574095	0.086726916	2.42640647	8.493517702	7.309816433	0.007295272	17.35055122	2.186478684	0.530587242	1.752811279	2.307925701		

Tabela P17. Nastavak tabele

Gubici energije 10 kV [MWh]	Vod 151	Vod 152	Vod 153	Vod 154	Vod 155	Vod 156	Vod 157	Vod 158	Vod 159	Vod 160	Vod 161	Vod 162	Vod 163	Vod 164	Vod 165		
Januar	0.228763836	0.022574067	0.117575677	0.12019218	0.038353572	0.005292273	0.599417435	0.091287699	3.9220074	0.29830958	0.092316712	0.054874619	6.693822328	2.324675304	1.079011626		
Februar	0.163583999	0.016146393	0.084071898	0.085931008	0.027414537	0.027374748	0.54671806	3.404716339	0.265773707	0.080636899	0.04816276	5.555830977	1.931465277	0.898177517			
Mart	0.213681847	0.021087648	0.109822401	0.112261116	0.035819976	0.004883692	0.38367862	0.058421749	2.732319369	0.205115662	0.06200181	0.035305228	5.855874732	0.239892907	0.960047221		
April	0.178356031	0.017603781	0.091664419	0.093692835	0.029891915	0.004075188	0.286409176	0.043607257	2.632530754	0.196310017	0.0624333	0.038367461	4.692610843	1.644797451	0.770692826		
Maj	0.135482119	0.013375615	0.069625612	0.071152728	0.022696457	0.003940533	0.136171519	0.02072911	1.90497176	0.146943794	0.084652549	0.013292036	3.125699549	1.106400595	0.52770203		
Jun	0.139533395	0.013775532	0.071708977	0.073286969	0.023376825	0.003186903	0.08921844	0.021371704	1.1510403	0.116324416	0.038651187	0.023699753	2.228237557	0.777428082	0.370240507		
Jul	0.145750145	0.014388089	0.074903838	0.07652316	0.024418493	0.00328917	0.070688319	0.010759849	1.442661528	0.111201351	0.034553174	0.019662534	2.344384177	0.80903095	0.377050685		
August	0.152263363	0.015129724	0.07876585	0.080501365	0.025678934	0.003500772	0.069650803	0.010601876	0.152906821	0.011411184	0.069465711	0.001943845	2.379592059	0.829204464	0.386755687		
Septembar	0.130690149	0.012902504	0.067163857	0.06864962	0.021893747	0.00373748	0.131317678	0.010971635	1.17709997	0.026961122	3.41788259	0.263720738	0.084713421	0.053088954	4.172606262	1.468389002	0.70125603
Oktobar	0.162744734	0.016064686	0.083635914	0.085485088	0.027769963	0.003717666	0.17709997	0.026961122	0.038494686	0.003995661	3.839920203	0.003631275	0.10320281	0.05698837	5.137272589	1.7932061	0.822937284
Novembar	0.170688941	0.016847594	0.087723759	0.089662628	0.028604172	0.003899566	0.121108026	0.038647048	0.046033054	0.007052199	5.520837269	0.463759780	0.07287797	0.05080804	7.088169732	2.451498286	1.126464241
Decembar	0.230150878	0.022747748	0.121108255	0.123110826	0.038647048	0.005269327	0.046033054	0.007052199	0.046464623	3.240326392	2.530191811	0.811941746	0.496263164	51.5344913	17.55958181	8.405381515	
Totalni gubici energije [MWh]	2.05305109	0.202644021	1.051538965	1.078471541	0.344064939	0.0460907562	3.051592589	0.464646223	32.40326392	2.530191811							

Tabela P18. Nastavak tabele

Gubici energije 10 kV [MWh]	Vod 166	Vod 167	Vod 168	Vod 169	Vod 170	Vod 171	Vod 172	Vod 173	Vod 174	Vod 175	Vod 176	Vod 177	Vod 178	Vod 179	Vod 180	
Januar	1.065834637	0.450185936	0.139945511	0.090931023	10.9106719	0.073303093	0.888362398	6.635120385	0.36791825	0.217752757	0.145393199	1.202530128	0.74319255	0.329899921		
Februar	0.88951889	0.376695894	0.123958135	0.087528714	0.088622764	0	0	0	0	0	0	1.102387422	0.681596164	0.302544252		
Mart	0.966448993	0.402980222	0.1251195	0.093497948	0.098708203	0	0	0	0	0	0	0.982349975	0.606367075	0.269060581		
April	0.771247118	0.339773217	0.07972521	0.074572028	0	0	0	0	0	0	0	0.900889602	0.556211904	0.246827744		
Maj	0.54110903	0.239193171	0.0736384	0.055396989	0.048304687	0	0	0	0	0	0	0.556659005	0.342654187	0.151910417		
Jun	0.378760564	0.155568942	0.034655449	0.03421516	2.798588E-06	2.27821E-08	1.589797E-07	9.16441E-08	5.91379E-08	3.67084E-08	0.24713408	0.15350083	0.15350083	0.0862998		
Jul	0.374634601	0.150969017	0.043962924	0.033813127	0.035327209	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
August	0.384689258	0.164666161	0.048036459	0.034749386	0.038807317	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Septembar	0.400626547	0.173789794	0.055363555	0.040512452	0.042907012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Oktobar	0.719948603	0.309773939	0.100120534	0.075637554	0.071441947	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Novembar	0.809030460	0.338972762	0.111632912	0.083461621	0.084594244	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Decembar	1.097311256	0.462307162	0.154858612	0.114180866	0.114856439	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Totalni gubici energije [MWh]	6.39915069	3.562534394	1.131854078	0.832242039	0.82589854	10.9106747	0.075330116	0.888362615	6.635120544	0.367918342	0.217752816	0.145393235	4.99284959	3.08352271	1.368475914	

Tabela P19. Nastavak tabele

Gubici energije 10 kV [MWh]	Vod 181	Vod 182	Vod 183	Vod 184	Vod 185	Vod 186	Vod 187	Vod 188	Vod 189	Vod 190	Vod 191	Vod 192	Vod 193	Vod 194	Vod 195	
Januar	0.1020316	0.059155316	6.692423049	0.499224101	0.192073107	0.183752747	0.005292273	2.117605152	0.7917109	0.671594079	0.27894778	0.020596458	0.02488236	0.00284799	0.170006718	0.065174151
Februar	0.143196211	0.051856524	5.576714582	0.412137641	0.1853329	0.156484976	0.048386658	5.040538005	0.009005664	0.578465815	0.009980235	4.76208664	0.009916794	3.590626814	0.00150897	
Mart	0.129005349	0.051615565	5.462282489	0.41213707	0.157017807	0.155101778	0.0146286	4.918394882	0.008453191	0.564881345	0.01284975	4.616178441	0.009131877	3.492125546	0.001078917	
April	0.117673216	0.041155655	5.394942366	0.400862939	0.152497655	0.1601706	0.00565632	4.49931625	0.008115755	0.515730097	0.012502853	4.172239708	0.00719034	3.714588099	0.001026195	
Maj	0.075938402	0.024393192	3.373319349	0.256246934	0.101515535	0.119003035	0.039976734	3.30479007	0.00584732	0.579077532	0.008837581	3.073261528	0.004328465	2.371239338	0.000743741	
Jun	0.028815405	0.017273927	2.16876259	0.159253291	0.063147653	0.070861302	0.024557866	2.900569454	0.004961892	0.33324655	0.006869345	2.718541694	0.00367455	2.102209739	0.0063062	
Jul	0	0	0	0	0	0	0	2.764231877	0.0097276	0.316840647	0.00592188	2.577890624	0.004076904	1.976456894	0.000631492	
August	0	0	0	0	0	0	0	2.856387636	0.00514372	0.327373511	0.00726432	2.62526756	0.003726432	2.046971477	0.00653973	
Septembar	0	0	0	0	0	0	0	2.993266421	0.005314722	0.343251435	0.005319141	2.88558736	0.004736295	2.169661777	0.000675746	
Oktobar	0	0	0	0	0	0	0	1.687742709	0.002940643	0.193738917	0.002794063	2.01372322	0.002828039	1.71118569	0.00073223	
Novembar	0	0	0	0	0	0	0	4.529404722	0.002611717	0.51884072	0.013606666	4.179127755	0.00749212	3.180800214	0.00053848	
Decembar	0	0	0	0	0	0	0	6.22102502	0.011515316	0.712156139	0.017038623	5.765526807	0.0092372	4.41717967	0.001473354	
Totalni gubici energije [MWh]	0.64974903	0.241028142	28.568444883	2.136202374	0.825785757	0.845346966	0.277451295	46.99360569	0.084084909	5.380917788	0.118049646	43.77726059	0.076745545	33.37514362	0.010719481	

Tabela P21. Nastavak tabele

Gubici energije 10 kV [MWh]	Vod 211	Vod 212	Vod 213	Vod 214	Vod 215	Vod 216	Vod 217	Vod 218	Vod 219	Vod 220	Vod 221	Vod 222	Vod 223	Vod 224	Vod 225
Januar	0.051870809	0.106007111	0.009199182	6.916495688	6.403704688	0.086275214	0.372749494	0.00130349	0.140074383	0.					

Tabela P22. Nastavak tabele

Gubici energije 10 kV [MWh]	Vod 226	Vod 227	Vod 228	Vod 229	Vod 230	Vod 231	Vod 232	Vod 233	Vod 234	Vod 235	Vod 236	Vod 237	Vod 238	Vod 239	Vod 240
Januar	0,013947044	0,006327735	3,151588439	0,003155673	5,475247526	0,001887123	5,027193058	0,033400703	0,009580051	0,009424211	3,622377206	2,742652113	0,026365918	2,181533439	0,006348715
Februar	0,014661976	0,006159153	2,985809004	0,00306789	4,622630584	0,001831981	4,622630584	0,032423047	0,009287889	0,009135412	2,98765872	2,256183546	0,020176769	1,781145537	0,006137378
Mart	0,012079893	0,00417019	2,325032858	0,002079302	3,621008093	0,001237417	3,325650497	0,021828319	0,006250222	0,006145696	2,399291311	1,817024133	0,009793598	1,512936331	0,004105269
April	0,007777201	0,00235331	1,796923741	0,001465164	2,809452236	0,000870101	2,591572712	0,015124559	0,004385272	0,004310818	1,891750115	1,435332321	0,003991868	1,256406012	0,002870622
Maj	0,011154171	0,004239503	1,894630626	0,002109188	2,929307205	0,00125291	2,657261857	0,000631589	0,006211352	1,866190185	1,407328919	0,00432776	1,977763077	0,004103233	
Jun	0,011512691	0,004584582	1,733534589	0,002280282	2,653074297	0,001350491	2,390420912	0,0082187	0,006709364	1,638978813	1,231239025	0,006483646	1,018664602	0,004540234	
Jul	0,010899114	0,00437569	1,612032432	0,002158946	2,845235389	0,00182898	2,219160378	0,02546453	0,006457733	0,006350727	1,518081508	1,140013820	0,007077148	0,929636618	0,004203701
Avgust	0,009995504	0,004161741	1,559930252	0,002070947	2,386271515	0,00280828	2,149567781	0,021573428	0,006197118	0,006076996	1,472895092	1,106381479	0,004145672	0,929866644	0,004203483
Septembar	0,011934556	0,00449999	1,73786062	0,002485731	2,6480024	0,001475783	2,748963765	0,007436601	0,007314867	1,607372193	1,204963205	0,007037599	0,985889167	0,004851797	
Oktobar	0,013671394	0,006172542	2,48715601	0,003444046	3,80161462	0,001991557	3,419822586	0,03540044	0,010607302	0,009993401	2,33336484	1,75106329	0,009582155	1,442905094	0,006605333
Novembar	0,012135997	0,00539135	2,789502403	0,002658065	3,508022283	0,001581815	3,18966552	0,007889111	0,00698034	0,007688911	1,670219194	0,00450174	1,452771316	0,005241363	
Decembar	0,014725070	0,006626409	2,902676664	0,003316984	4,471619632	0,004395542	4,057327461	0,00100151	0,008852019	0,008302019	2,833038333	2,134388333	0,007446114	1,82600409	0,00597786
Totalni gubici energije [MWh]	0,1404034604	0,060548078	26,83056346	0,030196887	41,38591643	0,017971945	37,61087344	0,0090785437	0,089293309	26,38870435	19,8971215	0,109251004	16,52551596	0,059568372	

Tabela P23. Nastavak tabele

Gubici energije 10 kV [MWh]	Vod 241	Vod 242	Vod 243	Vod 244	Vod 245	Vod 246	Vod 247	Vod 248	Vod 249	Vod 250	Vod 251	Vod 252	Vod 253	Vod 254	Vod 255
Januar	0,003771189	5,672677999	1,35988562	1,992385159	0,000917945	4,340541041	0,022068414	0,81265267	12,62931589	0,00916657	3,153004199	0,56705391	6,79812735	3,16861995	
Februar	0,00364361	4,564561511	1,089204968	1,590532799	0,00088624	3,450549903	1,75888834	0,172120158	0,642964605	10,07223854	0,007869213	4,482460312	0,44679233	5,03834376	0,230100494
Mart	0,002437957	3,954918997	0,948841177	1,393442075	0,00587572	3,041045623	1,54115521	0,152730051	0,57131138	0,007227256	2,309705439	0,392379214	0,462374634	0,211196592	
April	0,001704337	3,328406914	0,801318719	0,0040965	2,588248156	0,016593939	0,130552773	0,48720359	8,548903683	0,006013094	0,321958099	0,373386682	0,167120038		
Maj	0,002453363	3,070891196	0,733005678	1,070784043	0,005871798	2,324025044	0,116084051	0,433084885	6,811940616	0,006231528	1,615849471	0,287520583	0,325510145	0,14981093	
Jun	0,002644514	2,554724465	0,606070414	0,879851664	0,000630483	1,891782075	0,097365493	0,094137731	0,310535569	5,128402439	0,00472446	1,21229454	0,239516137	0,267879966	
Jul	0,002498752	2,324176111	0,5106237	0,799337371	0,000594289	1,72233505	0,088469814	0,085407938	3,90061168	0,005002422	0,868339118	0,209624292	0,23064731	0,101144232	
Avgust	0,00290392	2,362377085	0,560934123	0,814945271	0,005688981	1,768678868	0,091090019	0,083735472	0,32565392	0,003975097	1,16708921	0,279550133	0,338317471	0,16298847	
Septembar	0,00288285	2,442526687	0,577671802	0,857659548	0,000686311	1,795621435	0,049249456	0,087635735	0,3059594	0,001902621	0,309936219	1,307991238	0,249915979	0,260476939	
Oktobar	0,003942385	48,596458014	0,852460784	1,2350460784	0,009417045	2,658791745	0,021670815	0,041066519	48,861747365	0,0074461973	2,79783573	0,34461992	0,379365821	0,17284879	
Novembar	0,00311378	3,708052491	0,883965916	1,289558002	0,000748414	2,794773037	0,142652191	0,13934949	0,00824205	0,00693631	2,017487504	0,364841872	0,400724931	0,180494213	
Decembar	0,003919792	4,656822571	1,10978957	1,618405312	0,000947283	3,50596399	0,179001503	0,174663258	0,652225218	10,27690858	0,007090553	2,517653017	0,435137964	0,495558489	
Totalni gubici energije [MWh]	0,053585057	42,23814543	10,07328759	31,70176763	0,008502142	31,87766982	1,626253924	1,590185109	5,935421226	90,44673047	0,074887704	22,07432001	4,138537505	4,717885768	

Tabela P24. Nastavak tabele

Gubici energije 10 kV [MWh]	Vod 256	Vod 257	Vod 258	Vod 259	Vod 260	Vod 261	Vod 262	Vod 263	Vod 264	Vod 265	Vod 266	Vod 267	Vod 268	Vod 269	Vod 270
Januar	0,076726093	0,008082581	0,326475547	15,5398892	30,59323967	1,794250328	0,594464634	0,03317405	0,114126064	0,004799302	0,082733661	0,002152788	0,028676736	0,7105062	0,028913674
Februar	0,063417625	0,0065852	0,271605579	134,9429274	26,86073006	1,599662964	0,533755881	0,029305696	0,004247554	0,076318069	0,034247554	0,027218359	0,631053237	0,24732326	
Mart	0,012079893	0,005941039	0,270506372	129,449488	25,78221054	1,527525438	0,507677202	0,027890768	0,009194779	0,004001030	0,072999293	0,001812391	0,025830765	0,600735676	
April	0,008777106	0,005705903	114,8532111	2,685229391	0,37797388	0,502365363	0,026428263	0,103514585	0,003828194	0,007471564	0,017157051	0,029817884	0,511579717	0,201018381	
Maj	0,039720417	0,004157881	16,1712027	69,184868811	1,634357478	0,841069674	0,059314754	0,023001676	0,047265216	0,0023006372	0,15555544	0,02205311883	0,01763191		
Jun	0,04272805	0,008050578	0,096822487	44,2217452	8,707404203	0,5400007	0,191521122	0,010230274	0,039882814	0,00479961	0,028714439	0,00669322	0,205331883		
Jul	0,012045163	0,0019662	0,052794743	21,0571658	4,322842589	0,52436958	0,091459822	0,004868602	0,016570014	0,03621725	0,00315825	0,005211118	0,09586716		
Avgust	0,017498685	0,002086709	35,8813009	7,171174878	7,041772112	0,442837904	0,157635989	0,032047037	0,00121521	0,023848125	0,00544333	0,009041472	0,167097379		
Septembar	0,028350227	0,002090614	0,017668064	1,792558895	0,241239426	0,021429522	0,002680894	0,008963395	0,008660048	0,055127572	0,04616898	0,0368739597	0,088966758		
Novembar	0,0186966124	0,0092601691	0,005075089	3,396266611	0,330746834	0,040680939	0,028933451	0,00996475	0,008389758	0,518670973	0,230061562	0,027852523	0,08217661	0,167096432	
Decembar	0,0253531668	0,0119113697	0,061755324	4,528135711	0,400293302	0,068385652	0,056420528	0,009754343	0,006595044	0,719651158	0,021931233	0,144581119	0,482083175	0,165965465	
Totalni gubici energije [MWh]	1,995720288	0,01164	0,523503707	34,22205672	3,28887493	0,422960233	0,04764957	0,934236834	0,105191691	7,3476882	3,203128633	0,349540087	1,25225982	4,883746043	

Tabela P25. Nastavak tabele

Gubici energije 10 kV [MWh]	Vod 286	Vod 287	Vod 288	Vod 289	Vod 290	Vod 291	Vod 292	Vod 293	Vod 294	Vod 295	Vod 296	Vod 297	Vod 298	Vod 299	Vod 300

<tbl

Tabela P27. Nastavak tabele

Gubici energije 10 kV [MWh]	Vod 301	Vod 302	Vod 303	Vod 304	Vod 305	Vod 306	Vod 307	Vod 308	Vod 309	Vod 310	Vod 311	Vod 312	Vod 313	Vod 314	Vod 315
Januar	0.00580859	0.001452228	0.003486484	8.434503109	0.259465425	0.099958642	0.034739124	0.020691497	0.073674809	4.796985363	0.003319146	1.922565104	0.06531533	2.121625983	0.001225924
Februar	0.00653437	0.001658296	0.003981334	7.44596594	0.232889919	0.089703567	0.031172607	0.01880066	0.066097422	4.213770238	0.003760481	1.669863682	0.044002385	1.898832068	0.001100808
Mart	0.005902701	0.001475435	0.003542198	6.39226729	0.199664523	0.076912799	0.026730091	0.01660986	0.056683666	3.618908417	0.00289158	1.441429583	0.041439978	1.623026692	0.000939831
April	0.003394119	0.000848419	0.002036737	5.058974059	0.157438201	0.0606417	0.021075314	0.012699893	0.044688432	2.867243919	0.002014459	1.148418639	0.03711092	1.275248306	0.000739199
Maj	6.3361E-05	1.58399E-05	3.80175E-05	8.236884703	0.252339691	0.097212677	0.033784734	0.02034162	0.07165013	4.690385579	0.003042699	1.884802182	0.059014371	2.101024093	0.001192403
Jun	0.00338809	0.000846916	0.002033121	7.420327874	0.227366561	0.087591914	0.030441707	0.001832567	0.064560495	4.225161599	0.002640048	1.700388912	0.06410057	1.851216332	0.001072839
Jul	0.00353868	0.000845588	0.002123478	8.66415705	0.265395512	0.102243506	0.035530505	0.002139347	0.075358764	4.933873943	0.003222996	1.982098762	0.071212718	2.171692317	0.001254559
Avgust	0.004216949	0.001054091	0.00253052	2.397986142	0.063428569	0.024431639	0.008491985	0.000511022	0.01800712	1.42357407	0.002383051	0.544524793	0.044751164	0.51955942	0.000295313
Septembar	0.003625782	0.000906327	0.002175754	5.890679836	0.182408115	0.070265689	0.02442016	0.001470706	0.051785456	3.343639452	0.002297827	1.340462902	0.046567893	1.479508932	0.000858224
Oktobar	0.004912481	0.001227937	0.002947929	5.273356584	0.165164382	0.063622251	0.022111647	0.013131569	0.046889472	2.962929856	0.002234819	1.188785255	0.036454567	1.328472361	0.000775704
Novembar	0.005437059	0.001359048	0.003262757	8.092610675	0.252892818	0.097426019	0.033858883	0.002038897	0.071180751	4.580913355	0.004023062	1.816701225	0.050169294	2.0549623913	0.001194459
Decembar	0.004778559	0.00119446	0.002867567	6.320487163	0.198821252	0.0765804	0.026613476	0.01604009	0.056430344	3.570653176	0.003156001	1.415622869	0.04069164	1.5933996940	0.000935964
Totalni gubici energije [MWh]	50.151702019	0.012923354	0.031025894	79.62820042	2.457270966	0.946590751	0.328972786	0.019813813	0.697633679	45.24810857	0.035106138	18.055663685	0.600380832	20.01471617	0.011585226

Tabela P28. Nastavak tabele

Gubici energije 10 kV [MWh]	Vod 316	Vod 317	Vod 318	Vod 319	Vod 320	Vod 321	Vod 322	Vod 323	Vod 324	Vod 325
Januar	5.315279842	0.020191135	0.001870116	0.013238747	1.74759791	0.03233797	0.369817145	0.006381566	1.094083891	1.278459222
Februar	4.756054487	0.017758833	0.001568067	0.011885913	1.566591578	0.029000085	0.331492323	0.00572925	0.980527064	1.145584781
Mart	4.065552764	0.016072677	0.001630374	0.010113865	1.3301809	0.024666955	0.281387539	0.004867533	0.832238503	0.971939925
April	3.194172982	0.01308134	0.001432574	0.007934003	1.040547479	0.019327219	0.220060456	0.003813909	0.650715824	0.759622213
Maj	5.270064757	0.023622691	0.003157654	0.012880615	1.700025428	0.031458511	0.359748632	0.006208233	1.064288935	1.243633291
Jun	4.636895764	0.017464356	0.001579227	0.011570616	1.525743922	0.028252863	0.322832343	0.005574375	0.955012446	1.115753063
Jul	5.440799156	0.020584294	0.00188842	0.013553198	1.789755837	0.03310345	0.378752736	0.006534316	1.120547485	1.309460223
Avgust	1.303091791	0.007065265	0.001287958	0.003143699	0.409560357	0.007641867	0.086551979	0.001505497	0.255827516	0.298313946
Septembar	3.693708845	0.014057806	0.001297801	0.009230453	1.213568267	0.022510386	0.256708302	0.004441497	0.759229687	0.886619535
Oktobar	3.325828061	0.012520782	0.001121129	0.008330381	1.093803901	0.02030599	0.231342683	0.004005807	0.684147732	0.798769936
Novembar	5.146196212	0.018468869	0.001469457	0.012897074	1.702430688	0.031503043	0.360257525	0.006216974	1.065795149	1.245392786
Decembar	3.989042599	0.013901524	0.001004814	0.010068432	1.323077089	0.024541935	0.279872368	0.004845609	0.827647075	0.96651278
Totalni gubici energije [MWh]	50.13668726	0.194789574	0.019307591	0.124846996	16.44288337	0.304657169	3.478824031	0.060124566	10.29008831	12.0200617