



Mr. sc. Ranko Goić, dipl. ing.  
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje – Split  
Eugen Mudnić, dipl. ing.  
FRACTAL d.o.o. Split  
Zdravko Jadrijević, dipl. ing.  
HEP, DP Elektrodalmacija Split

**31-19**

## **PRIMJENA PROGRAMSKOG PAKETA PowerCAD ZA ANALIZU GUBITAKA SNAGE I ENERGIJE U DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA**

### **SAŽETAK**

U radu je dan prikaz novih mogućnosti programskog paketa PowerCAD (TOKSwin) koji se već duži niz godina koristi za tehničke analize (planiranje, zaštita, projektiranje, upravljanje itd.) prijenosnih i distributivnih mreža u Hrvatskoj elektroprivredi i elektroprivredama u BiH. Primjena programskog paketa PowerCAD prikazana je na primjeru proračuna gubitaka snage i energije u srednjenaponskoj distributivnoj mreži. Korištena je realna 35 kV-tna mreža napajana iz jedne TS 110/35/10 kV, kao i izmjerena radna i jalova opterećenja na 10 kV-tnom naponskom nivou u 15-minutnim intervalima tijekom jednog tjedna. Pokazane su različite metode proračuna gubitaka energije, te osjetljivost rezultata na ulazne parametre i odabranu metodu.

**Ključne riječi:** Gubici snage i energije, distributivna mreža, programski paket

## **APPLICATION OF PowerCAD SOFTWARE PACKAGE FOR CALCULATION OF POWER AND ENERGY LOSSES IN DISTRIBUTION NETWORKS**

### **ABSTRACT**

This work presents the new possibilities of PowerCAD (TOKSwin) software package, which is used for a long period for technical analyses (planning, protection, protecting, control, etc.) of transmission and distribution networks in the power system utilities in Croatia and BiH. The example of application of PowerCAD is shown through the power and energy loss calculation in the mid-voltage distribution network. The real 35 kV network supplied from one transformer station 110/35/10 kV is used, along with data of real and reactive power on 10 kV voltage level, measured in 15-minute intervals, during one week. Some different methods for energy losses calculations are shown, as well as the sensitivity of results on input data and assorted method.

**Key words:** Power and energy losses, distribution network, software package

## 1. UVOD

Problematika gubitaka snage i energije u elektroenergetskim mrežama uvijek je vrlo aktualna. Vrlo često pitanje koje se u našoj elektrodistributivnoj praksi postavlja je realna procjena iznosa tehničkih gubitaka energije u mreži, tj. odjeljivanje tehničkih gubitaka u mreži i gubitaka uzrokovanih neprijavljenom potrošnjom. Osim toga, prilikom planiranja novih distributivnih mreža i postrojenja, problem tehničkih gubitaka se vezuje za optimiranje ukupnih troškova rada mreže (investicije, održavanje i gubici u mreži). Problem gubitaka snage i energije u mreži, odnosno što točnijeg proračuna i procjene gubitaka u pojedinim elementima odnosno dijelovima mreže, postat će u narednim godinama još aktualniji i bitniji s obzirom na predstojeće restrukturiranje i uvođenje tržišnih odnosa u HEP-u.

U ovom radu dana je usporedba dvije različite metode proračuna gubitaka energije u sredjenaponskoj distributivnoj mreži, i to u nekoliko varijanti, ovisno o poznavanju ulaznih parametara i načina aproksimacije opterećenja u mreži. Nužna pretpostavka je poznavanje vršne snage, te eventualno oblika krivulje trajanja opterećenja u promatranom periodu. Primjer proračuna napravljen je za dio 35 kV-tne mreže DP Elektrodalmacija. Za modeliranje mreže i proračune je korišten programski paket PowerCAD 4.0, koji se za razne analize elektroenergetskih mreža već duži niz godina upotrebljava u Hrvatskoj i BiH, a čije su osnovne karakteristike i mogućnosti također prikazane u ovom radu.

## 2. PROGRAMSKI PAKET PowerCAD

Proračuni tokova snaga i kvarova u mreži osnovni su i najčešći proračuni u analizi rada elektroenergetskih sustava (EES). Koriste se za potrebe planiranja, izgradnje, održavanja, vođenja, postoperativne analize i općenito primjena u kojima je potrebno poznavanje tokova snaga, napona sabirnica, gubitaka u mreži i struja kvara za različite pogonske uvjete (opterećenje, uklopno stanje, način regulacije i sl.). Programski paketi za navedene analize redovito se koriste u svim područjima elektroenergetike (proizvodnja, prijenos, distribucija), a redovito se sastoje od:

- odgovarajućeg grafičkog interfejsa za crtanje topologije mreže, unos podataka i pregled rezultata,
- numeričkog dijela za izvođenje proračuna,
- baze podataka koja omogućava održavanje podataka tipskih elemenata elektroenergetskih mreža potrebnih za proračune

Programski paket PowerCAD nova je verzija programskog paketa koji se pod starim nazivom TOKSwin već duži niz godina koristi za navedene proračune u velikom dijelu elektroprivrednih organizacija u Hrvatskoj i BiH. Sadrži prethodno navedene osnovne module, a omogućava slijedeće proračune:

- Proračun naponskih prilika, tokova snaga i gubitaka
- Proračun kvarova u mreži (kratki spojevi i zemljospoj)

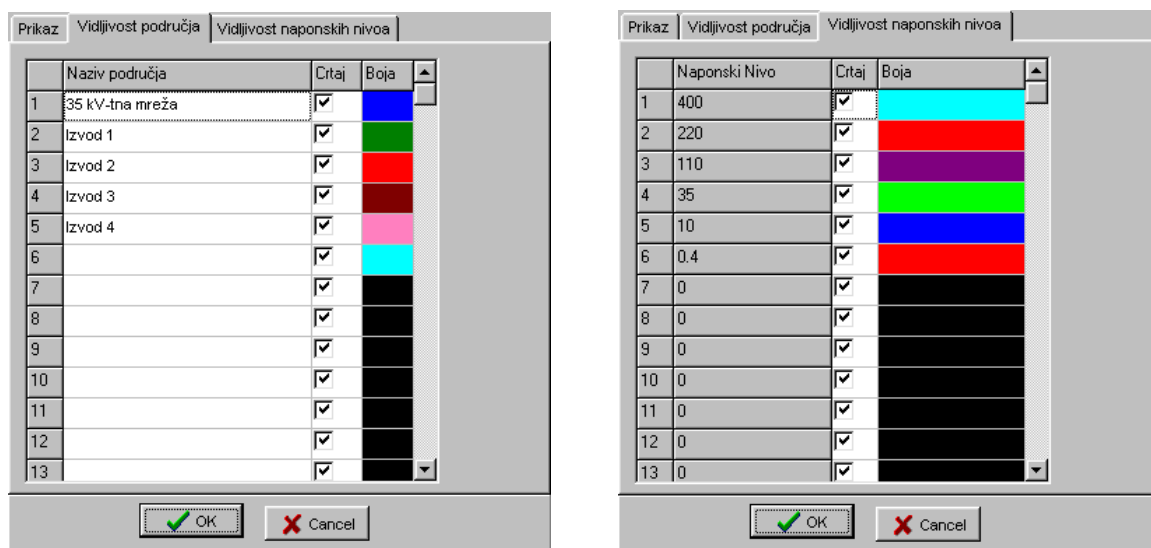
Program je u cijelosti napisan u programskom jeziku C++, dok je baza podataka s kojom program komunicira u DBF formatu. Numerički modul za proračun tokova snaga realiziran je korištenjem kombinacije Gauss-Seidel-ove odnosno Newton-Raphson-ove metode, te omogućava brzu konvergenciju proračuna neovisno o veličini, strukturi i tipu analizirane mreže. Pri tom se koriste napredne metode za rukovanje slabo popunjenim matricama, što bitno doprinosi brzini proračuna. Numerički modul za proračun kvarova u mreži realiziran je u faznim koordinata, što daje mogućnost proračuna višestrukih istovremenih kvarova u mreži. Sve proračune moguće je izvršiti na simetričnoj trofaznoj električnoj mreži, s proizvoljnim brojem naponskih nivoa i za praktične primjene neograničenom veličinom mreže. Detalji o osnovnim karakteristikama programskog paketa dani su u lit. [1], [2] i [3].

Nova varijanta programa pod nazivom PowerCAD razvijena je tijekom protekle dvije godine na osnovu praktičnih iskustava i primjene programskog paketa TOKSwin, tj. na osnovu uočenih nedostataka i zahtijeva za praktičnijom primjenom istog. Osnovna unapređenja u odnosu na staru varijantu su slijedeća:

- Razvijena je potpuno 32-bitna aplikacija koja radi na operativnim sustavima Windows 95/98/ME, Windows NT 3.51-4.0, Windows 2000.
- Direktna posljedica prethodne stavke je ubrzanja proračuna 7-10 puta, ovisno o veličini mreže i tipu proračuna.
- U mreži je omogućeno definiranje područja na način da se svakom elementu ili grupi elemenata mreže može zadati pripadnost jednom od unaprijed definiranih područja. Npr. u distributivnoj mreži područje koje napaja svaka TS 35/10 može se definirati kao posebno

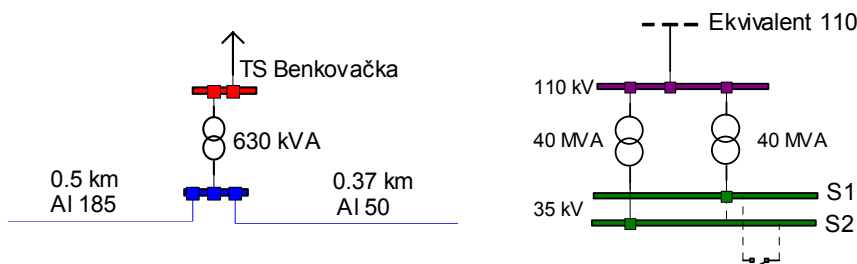
područje, ili svaki 10 kV-tni izvod kao posebno područje. U prijenosnoj mreži svaka država i/ili prijenosno područje može predstavljati posebno područje.

- Na osnovu definiranih područja, omogućen je grafički prikaz mreže svakog područja posebnom bojom.
- Grafičkom prikazu mreže na ekranu dodan je filter koji omogućava iscrtavanje na ekranu samo odabranih područja (slika 1).
- Omogućeno je prebacivanje slike mreže iz aplikacije u MS Word i ostale standardne grafičke aplikacije preko clipboarda u EMF formatu, odnosno u datoteke u EMF formatu. Prebacuju se samo onaj dio mreže koji je selektiran (filtriran), tj. vidljiv na ekranu. Osim toga, moguće je selektirati za grafički prikaz samo odabrani dio mreže, nevezan za definirana područja i naponske nivou (npr. samo elementi i vodovi jednog postrojenja).
- Također je omogućeno filtriranje iscrtavanja na ekranu samo odabranih naponskih nivoua, eventualno u kombinaciji sa filterom područja (slika 1).



Slika 1: Filter prikaza područja i naponskih nivoua

- Bilanciranje svih izvještaja (ulaznih parametara i rezultata proračuna) vrši se prema definiranim područjima.
- Osigurani su dodatni ispisi ulaznih parametara elemenata mreže na ekran (duljine i tipovi vodova, snage transformatora), slika 2.



Slika 2: Primjeri ispisa

- Kod proračuna kvarova u mreži dodani su izvještaji svih faznih i nultih komponenta struja i napona na mjestu kvara po modulu i kutu.
- Uveden je novi, tabelarni mod rada (slika 3) sa svim listama ulaznih parametara i rezultata proračuna, s mogućnošću selekcije odnosno filtriranja ispisa prema:
  - zadanim područjima,
  - naponskim nivouima,
  - kombinacijom područja i naponskog nivoua

Osim toga, omogućeno je i kreiranje korisnički definiranih lista podataka na osnovu postojećih lista odnosno selektiranje posebno interesantnih elemenata mreže u izdvojene liste.

Za sve liste, selektirane prema gore navedenim mogućnostima, omogućeno je prebacivanje preko clipboard-a (djelomično ili kompletna lista) u MS Excel i MS Word tabele.

U listama je posebno dodan prikaz gubitaka radne snage posebno po područjima, naponskim nivoima i tipovima elemenata mreže, tako da je moguć pregledan uvid u mjesto nastanka gubitaka odnosno strukturu istih (tablica 1).

Također je dodana posebna lista bilance razmijene radne i jalove snage prema područjima, te ukupne bilance proizvodnje, potrošnje i gubitaka po zadanim područjima.

The screenshot shows a software window with a table of electrical components. The table has columns for Name, Un[kV], U[kV], f[Hz], dU%, Q-CL[MVar], L/C, Tip, and Pod. The components listed include various types like PV Tap, PQ, and REG, distributed across different regions and voltage levels. To the right of the table, there are two filter panels: 'Područje' (Region) and 'Naponski nivo' (Voltage level). The 'Područje' panel shows a list of regions with checkboxes, and 'Slovenija' is selected. The 'Naponski nivo' panel shows a list of voltage levels with checkboxes, and '400' is selected. At the bottom of the window, there are checkboxes for 'Prikaz samo posebno interesantnih', 'Prikaz isključenih elemenata', and 'Prikaz pomoćnih sabirnica', along with a 'Close' button.

Slika 3: Tabelarni mod rada

Tablica 1: Izvještaj gubitaka u mreži (kW)

PODRUČJE	UKUPNO MREŽA					VODOVI					TRANSFORMATORI				
	Ukupno	110kV	35kV	10kV	0.4kV	Ukupno	110kV	35kV	10kV	0.4kV	Ukupno	110kV	35kV	10kV	0.4kV
Mreža 35	300	48	177	75	0	53	0	53	0	0	247	48	124	75	0
Izvod 1	108	0	0	71	37	34	0	0	34	0	74	0	0	37	37
Izvod 2	28	0	0	16	12	4	0	0	4	0	24	0	0	12	12
Izvod 3	23	0	0	14	9	5	0	0	5	0	18	0	0	9	9
Izvod 4	130	0	0	95	35	60	0	0	60	0	70	0	0	35	35
<b>Ukupno</b>	<b>589</b>	<b>48</b>	<b>177</b>	<b>272</b>	<b>92</b>	<b>156</b>	<b>0</b>	<b>53</b>	<b>103</b>	<b>0</b>	<b>433</b>	<b>48</b>	<b>124</b>	<b>169</b>	<b>92</b>

- Osigurana je mogućnost izmjene naponskih nivoa postojeće mreže u novi naponski nivo (npr. promjena 10 kV-tnog naponskog nivoa u 20 kV-tni), uz mogućnost automatske promjene potrebnih parametara elemenata mreže.
- Omogućeno je horizontalno i vertikalno ravnjanje nacrtanih elemenata mreže.
- Redizajniran je HELP sustav i tiskane upute.
- Definiranje pristupa bazi podataka odvojeno je od aplikacije

Navedena unapređenja omogućavaju daleko jednostavnije korištenje programskog paketa, te pružaju dodatne mogućnosti izvođenja različitih analiza rada prijenosnih i distributivnih mreža.

### 3. PRORAČUN GUBITAKA SNAGE I ENERGIJE U DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA

Proračun gubitaka snage u elektroenergetskim mrežama bilo kojeg naponskog nivoa redovito se vrši kao podsegment proračuna naponskih prilika i tokova snaga, za zadano opterećenje čvorišta i konfiguraciju odnosno uklopno stanje mreže. U prijenosnoj mreži gubici snage ovisni su i o raspodjeli proizvodnje među elektranama, te razmjeni i tranzitu električne energije. U distributivnoj mreži, osim u vrlo rijetkim slučajevima kad je neka manja elektrana priključena na distributivnu mrežu, gubici snage ovise isključivo o opterećenju čvorišta i uklopnom stanju mreže. Budući da se redovno uklopno stanje distributivne mreže rijetko mijenja, za gubitke snage se redovito može pretpostaviti opterećenje potrošačkih čvorišta kao jedini promjenjivi parametar. Isto vrijedi i za gubitke energije u promatranom periodu. Zbog toga je proračun gubitaka energije u distributivnoj mreži relativno jednostavno izvršiti ukoliko je poznata krivulja trajanja opterećenja čvorišta. Općenito se za takav proračun mogu upotrijebiti dvije osnovne metode:

- A) Jednostavna metoda proračuna pomoću aproksimativnih izraza koji uzimaju u obzir gubitke snage pri vršnom opterećenju i upotrebno vrijeme (ili faktor opterećenja):

$$W_g = \left[ a \cdot T_u + (1-a) \cdot \frac{T_u^2}{T} \right] \cdot P_g^{\max}, \quad T_u = \frac{W}{P^{\max}}$$

ili

$$W_g = \left[ a \cdot m + (1-a) \cdot m^2 \right] \cdot T \cdot P_g^{\max}, \quad m = \frac{W}{P^{\max} \cdot T},$$

gdje su:

T (h) – vremenski period za koji se računaju gubici energije

$W_g$  (kWh) – gubici energije u mreži za promatrani vremenski period T

W (kWh) – ukupna potrošnja energije u promatranom periodu T

$P_g^{\max}$  (kW) – vršna snaga u promatranom periodu T

$P_g^{\max}$  (kW) – gubici snage u mreži za vrijeme vršnog opterećenja

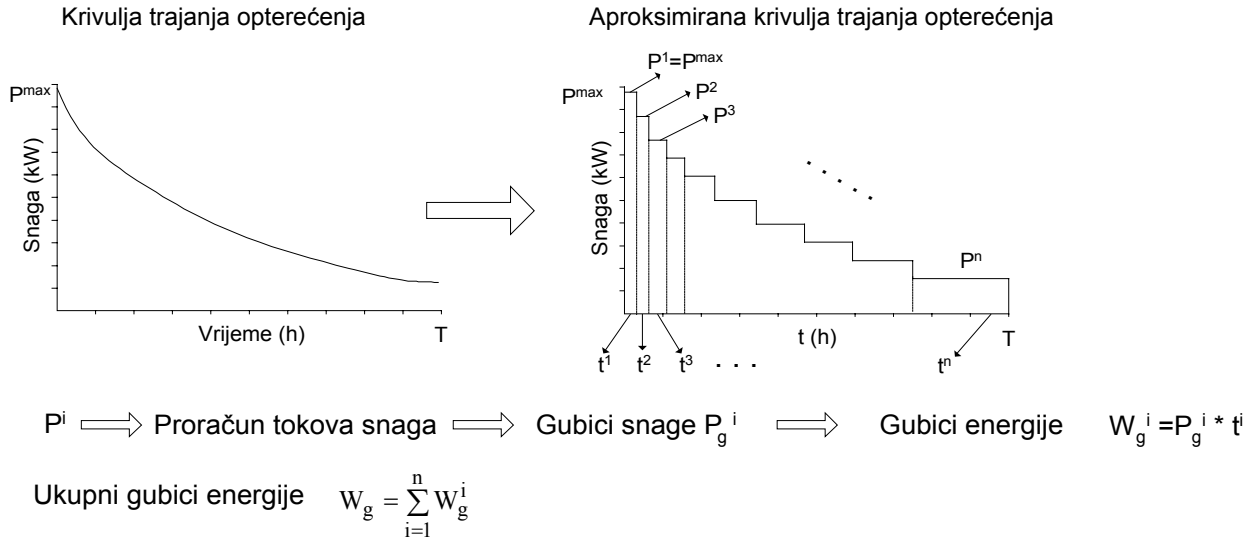
$T_u$  (h) – upotrebno vrijeme

m – faktor opterećenja

a – konstanta koja se u distributivnim mrežama, ovisno o obliku krivulje trajanja opterećenja, obično kreće u granicama 0.15-0.20, a najčešće se pretpostavlja iznos 0.17

Navedeni aproksimativni izrazi najčešće se primjenjuju u niskonaponskim distributivnim mrežama kod proračuna gubitaka u niskonaponskim vodovima, ali mogu poslužiti i za srednjenaponske i prijenosne mreže. Najveći problem predstavlja pretpostavka faktora a, koja može dovesti do velikih pogrešaka u rezultatima proračuna. U proračun prema navedenim formulama mogu se uključiti i gubici transformatora, ali bez konstantnih gubitaka praznog hoda, koje treba posebno izdvojiti i obračunati.

- B) Složenija metoda podrazumijeva poznavanje krivulje trajanja opterećenja u promatranom periodu koja se aproksimira sa određenim brojem konstantnih segmenata. Za svaku vrijednost opterećenja u tako aproksimiranoj krivulji vrši se proračun naponskih prilika i tokova snaga u mreži iz kojeg slijede i ukupni gubici snage u mreži. Množenjem sa vremenom trajanja promatranog segmenta dobiju se aproksimativni gubici energije za promatrani podperiod, a zbrajanjem gubitaka energije u svim podperiodima dobiju se ukupni gubici energije za čitavi period. Opisani postupak ilustriran je na slijedećoj slici.



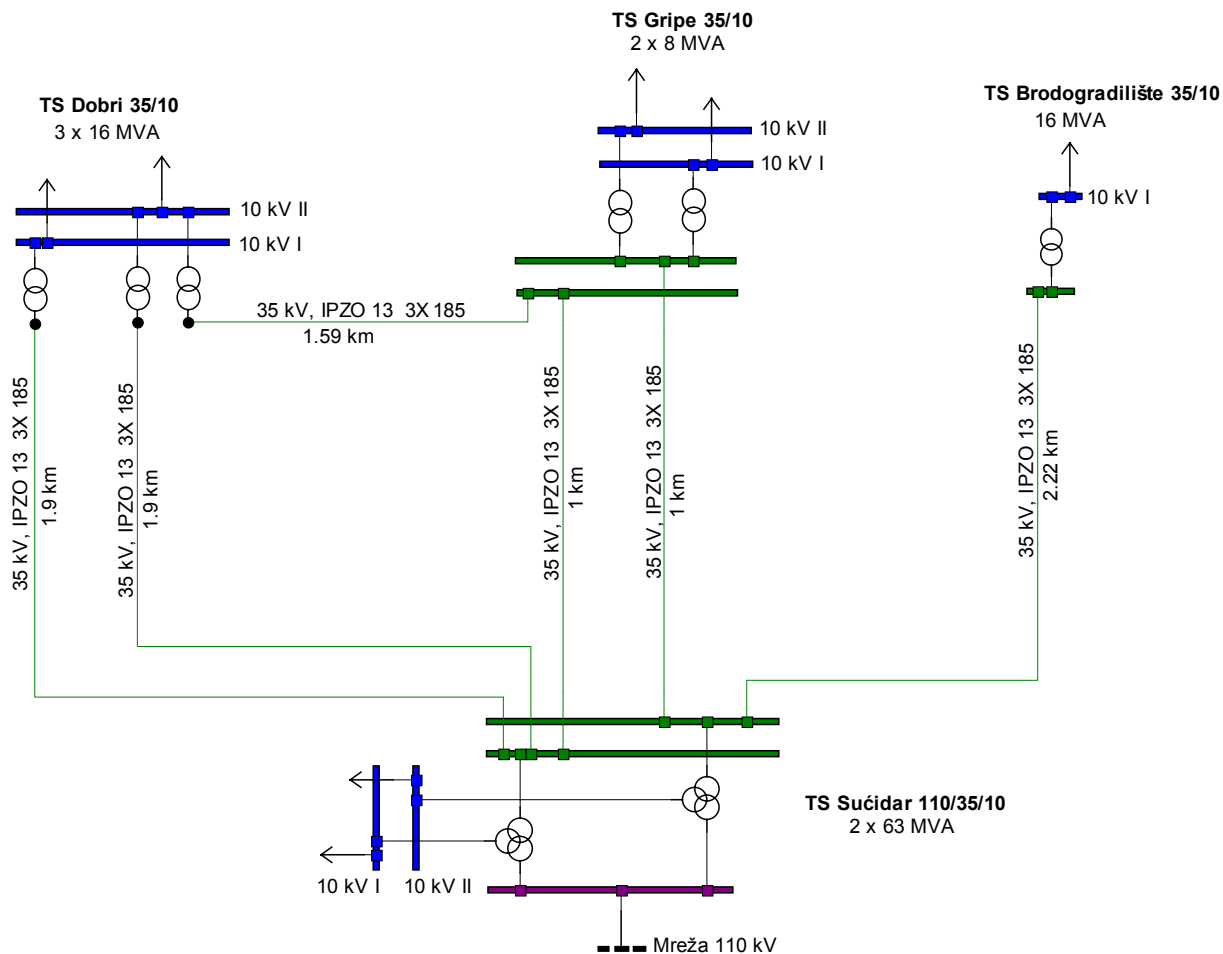
Slika 4: Linearizacija krivulje trajanja opterećenja i slijed proračuna

Ova metoda je, uz dovoljno dobru diskretizaciju krivulje trajanja opterećenja, daleko bolja i točnija od prethodne, budući da se izbjegava greška uslijed pretpostavke iznosa faktora  $a$ . S druge strane, traži bolju pripremu ulaznih parametara (poznavanje krivulje trajanja opterećenja) i vremenski je zahtjevnija.

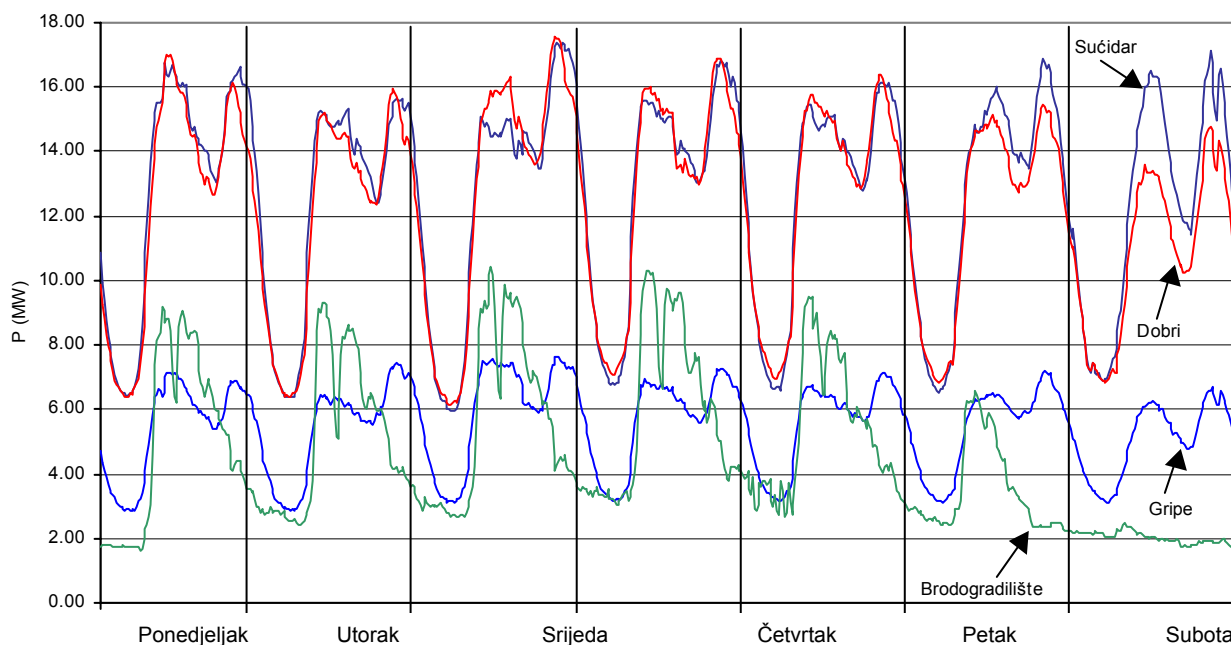
#### 4. MREŽA I ULAZNI PARAMETRI

Primjer proračuna gubitaka snage i energije napravljen je za dio 35 kV-tne mreže grada Splita koji obuhvaća trafostanice TS Sućidar 110/35/10 kV, TS Dobri 35/10 kV, TS Gripe 35/10 kV i dio TS Brodogradilište 35/10 kV. Iz TS Sućidar napajaju se ostale navedene trafostanice, kao i 10 kV-tno postrojenje u istoj TS (priključeno na tercijar). U TS Brodogradilište, transformator na koji je priključeno Brodogradilište Split se napaja iz TS Sućidar, dok je drugi transformator na koji je priklučen distributivni konzum napajan iz TS Meterize 110/35. Sve ostale trafostanice napajaju uglavnom distributivni konzum užeg splitskog područja. Kabelska 35 kV-tna mreža koja povezuje navedene trafostanice vrlo je stara i često preopterećena, kao i većina transformatora u trafostanicama 35/10 kV. Sve navedene trafostanice u dogledno vrijeme očekuje prijelaz na direktno 110 kV-tno napajanje, tj. prijelaz na transformaciju 110/10(20) kV. Naročito je kritično stanje u TS Dobri, za koju bi radovi na rekonstrukciji i prijelaz na 110 kV-tno napajanje iz TS Sućidar trebala početi već ove godine. Jednopolna shema mreže, sa osnovnim parametrima, prikazana je na slici 5.

Za potrebe ovog rada korišteni su podaci opterećenja mreže (radna i jalova snaga) mjereni na 10 kV-tnoj strani svih transformatora. Mjerenje je izvršeno u trećem tjednu ožujka, a uzimana su 15-minutna opterećenja. Uklopno stanje mreže za vrijeme mjerenja odgovara onom prikazanom na slici 5. Oblik dnevnih dijagrama potrošnje za sve trafostanice je uglavnom isti, izuzev za TS Brodogradilište budući da se radi o većem industrijskom potrošaču čija je potrošnja uvjetovana radnim vremenom. Dnevni dijagrami potrošnje u navedenom razdoblju prikazani su na slici 6. Jalova snaga nije prikazana, ali se kreće oko faktora snage 0.94 u dnevnom dijelu dijagrama potrošnje odnosno 0.85-0.90 u noćnom dijelu za sve trafostanice, osim u TS Brodogradilište gdje je zbog kompenzacijskih uređaja faktor snage tijekom dana (u radnim satima) oko 0.96, a inače se kreće oko 1, a povremeno je i u kapacitivnom području. Upotrebno vrijeme na dnevnom nivou u TS Sućidar, TS Gripe i TS Dobri u promatranom vremenu iznosi u prosjeku 17h, tj. ukazuje na dobro ujednačen dnevni dijagram potrošnje unatoč omjeru  $P_{max}/P_{min}$  koji u prosjeku iznosi oko 2.9. S druge strane, za TS Brodogradilište upotrebno vrijeme na dnevnom nivou iznosi 10.5h, dok omjer  $P_{max}/P_{min}$  iznosi 6.4.



Slika 5: Jednopolna shema promatrane 35 kV-tne mreže



Slika 6: Dnevni dijagrami potrošnje

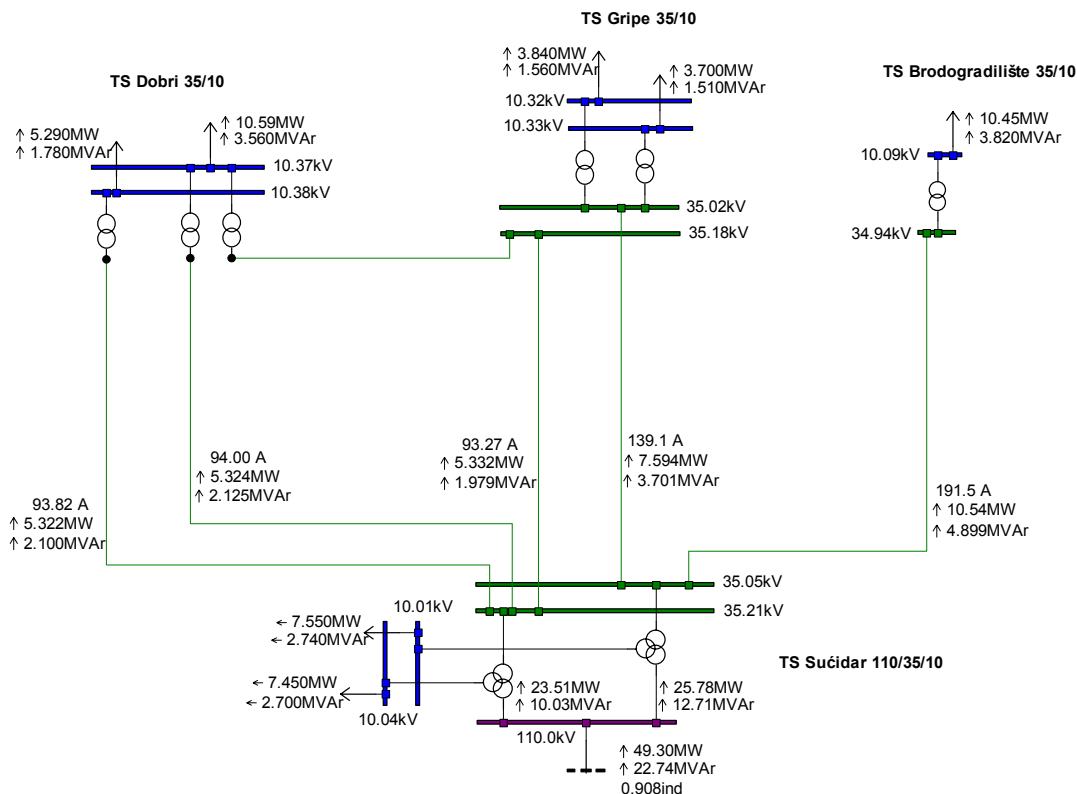
## 5. PRORAČUN GUBITAKA SNAGE I ENERGIJE U MREŽI

Proračun gubitaka snage i energije u mreži napravljen je u nekoliko varijanti, korištenjem dvije metode za proračun gubitaka energije opisane u poglavlju 3. Gubici su računati iz rezultata proračuna tokova snaga, a bilancirani su posebno za 35 kV-tne vodove, odnosno transformatore u mreži. Gubici u transformatorima razdvojeni su na fiksni dio koji odgovara gubicima praznog hoda i varijabilni dio ovisan o opterećenju transformatora. Proračuni su napravljeni na osnovu podataka opterećenja 10 kV-tnih sabirnica transformatora u mreži, za potrošnju izmjerenu u četvrtak.

Gubici snage u mreži pri vršnom opterećenju iznose:

- 456 kW u varijanti proračuna sa neistovremenim maksimumima potrošnje pojedinih TS, tj. pretpostavljajući pojedinačno maksimalno opterećenje za svaku TS
- 425 kW u varijanti proračuna sa istovremenim maksimumom potrošnje u mreži, tj. u satu kad je u mreži zabilježena ukupno najveća potrošnja, što odgovara realnom stanju, tj. stvarnim gubicima snage pri vršnom opterećenju mreže u cjelini, a ne pojedinačnih TS
- 403 kW u varijanti sa ukupnim opterećenjem koje odgovara istovremenom maksimumu (u ukupnom iznosu kao u varijanti b), ali uz raspodjelu snaga po TS proporcionalno opterećenju neistovremenog maksimuma (iz varijante a)

Od navedenih gubitaka, 174 kW otpada na fiksne gubitke praznog hoda transformatora, dok se ostatak odnosi na gubitke u 35 kV-tnim vodovima i varijabilne gubitke transformatora. Postotni iznosi gubitaka u navedenim varijantama iznose 0.86%, 0.8%, te 0.76% u odnosu na vršno opterećenje. Pogreška varijabilnih gubitaka snage pri proračunima u varijantama a) odnosno c) u odnosu na realnu varijantu b) iznosi oko 10%. Tokovi snaga i naponske prilike u mreži za varijantu b) prikazani su na slici 7.



Slika 7: Tokovi snaga i naponi u mreži za varijantu b)

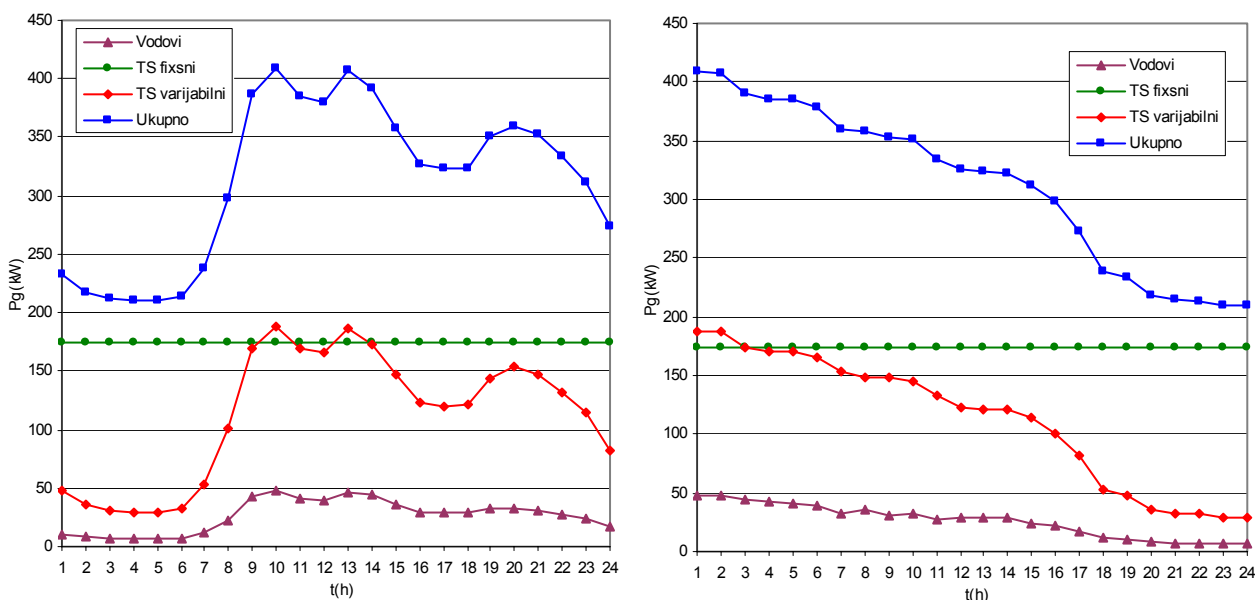
Proračun gubitaka energije tijekom promatranog dana, aproksimativnim izrazom za varijabilne gubitke i uz konstantne gubitke praznog hoda transformatora, uz upotrebno vrijeme za četvrtak u iznosu od 18.4 h, te uz pretpostavljeni faktor  $a$  u iznosu 0.17, dao je slijedeće rezultate po navedenim varijantama:

- a) 8354 kWh
- b) 7895 kWh
- c) 7569 kWh

Proračun gubitaka energije u mreži na osnovu lineariziranih krivulja trajanja opterećenja prema opisu u poglavlju 3, stavka B, izvršen je u dvije varijante. Varijanta sa oznakom d) napravljena je pomoću zbirne krivulje trajanja opterećenja (radna + jalova snaga) računata iz potrošnje svih TS u mreži, aproksimacijom sa sedam linearnih segmenata. Varijanta sa oznakom e) računata je na osnovu lineariziranih krivulja trajanja opterećenja (radna + jalova snaga) pojedinačnih TS i to po satima, tj. sa 24 linearna segmenta. Rezultati proračuna gubitaka energije u ovim varijantama iznose:

- a) 7690 kWh (4176 kWh fiksni gubici transformatora, 3514 kWh gubici u vodovima i varijabilni gubici transformatora)
- b) 7504 kWh (4176 kWh fiksni gubici transformatora, 3328 kWh gubici u vodovima i varijabilni gubici transformatora)

Usporedba rezultata gubitaka energije u varijantama d) odnosno e) pokazuje vrlo malu razliku (186 kWh), pa se može zaključiti da se grublja aproksimacija iz varijante d) također može prihvatiti kao dovoljno točna u odnosu na praktički točan proračun u varijanti e). Krivulje gubitaka snage u mreži za varijantu e) prikazani su na slijedećoj slici, posebno za sve tri kategorije gubitaka, i to kronološkim dijagramom i dijagramom koji odgovara sortiranim opterećenjima u mreži u padajućem nizu.



Slika 8: Kronološke i sortirane (krivulja trajanja) gubitaka snage u mreži

Uspoređujući izračunate gubitke u mreži u najtočnijoj varijanti e) sa rezultatima aproksimativnog proračuna u varijanti b), pokazuje se vrlo dobra podudarnost rezultata. Razlog tome je prvenstveno točan podatak upotrebnog vremena s kojim se ušlo u proračun, te činjenica da je faktor  $a$  u korištenoj aproksimativnoj formuli također dobro pogođen (pretpostavljena vrijednost 0,17). Vrijednost parametra  $a$  za koji bi rezultat aproksimativne formule bio istovjetan rezultatu u varijanti e) iznosi 0,155. Izračunati gubici energije tijekom dana za sve promatrane varijante proračuna dani su u tablici 2.

Tablica 2: Izračunati dnevni gubici energije u mreži u svim varijantama (kWh)

Gubici	Varijanta a)	Varijanta b)	Varijanta c)	Varijanta d)	Varijanta e)
Transformatori, fiksni	4176	4176	4176	4176	4176
Transformatori, varijabilni + vodovi	4178	3719	3393	3514	3328
<b>Ukupno</b>	<b>8354</b>	<b>7895</b>	<b>7569</b>	<b>7690</b>	<b>7504</b>

## 6. ZAKLJUČAK

U ovom radu dan je opis novih mogućnosti programskog paketa TOKSwin (PowerCAD 4.0), koji se između ostalog može koristiti za proračun gubitaka snage i energije u distributivnim mrežama. Primjer primjene proračuna gubitaka snage i energije napravljen je na realnoj 35 kV-tnoj srednjenaponskoj mreži DP Elektrodalmacija napajanoj iz TS 110/35/10 Sućidar. Korištena su mjerena 15-minutna opterećenja radne i jalove snage 10 kV-tnih sabirnica svih trafostanica x/10 kV u promatranoj mreži. Proračuni gubitaka energije napravljeni su korištenjem aproksimativnog izraza za gubitke energije na osnovu poznatog upotrebnog vremena i izračunatih gubitaka snage za vrijeme vršnog opterećenja u nekoliko varijanti, kao i točnijom metodom proračuna gubitaka energije na osnovu linearizirane krivulje trajanja opterećenja, sukcesivnim proračunima gubitaka snage.

Rezultati proračuna pokazali su vrlo dobro slaganje rezultata za dvije različite varijante linearizacije krivulje trajanja opterećenja, ali i relativno malu pogrešku koja nastaje primjenom aproksimativnog izraza. No, bez obzira na dobro poklapanje rezultata u konkretno promatranoj mreži, treba istaknuti vrlo veliku osjetljivost proračuna gubitaka energije na ulazne parametre u slučaju korištenja aproksimativnih izraza, što bi naročito došlo do izražaja u 10 kV-tnoj mreži, sa većim stupnjem nehomogenosti potrošnje i slabijim poznavanjem raspodjele opterećenja potrošačkih čvorišta.

### Pitanja za diskusiju:

1. Praktična iskustva u primjeni programskih paketa za analizu distributivnih mreža u HEP-u
2. Mogućnosti i pouzdanost proračuna gubitaka energije u distributivnoj mreži s obzirom na raspoloživost ulaznih parametara

### LITERATURA:

- [1] Programski paket PowerCAD – upute za rad, Fractal d.o.o., siječanj 2001.
- [2] R. Goić, M. Majstović, E. Mudnić: Grafički orijentirani programski paket za proračun naponskih prilika i tokova snaga, Zbornik radova II savjetovanje CIGRE, Šibenik 1995.
- [3] R. Goić, M. Majstović, E. Mudnić: Analiza struja kratkih spojeva u EES-u na PC u Windows grafičkom okruženju, Zbornik radova III savjetovanje CIGRE, Cavtat 1997.
- [4] Dokumentacija mjerenja opterećenja trafostanica napajanih iz TS 110/35/10 Sućidar – DP Elektrodalmacija, rujan 2001.