

Dr. sc. Ranko Goić, dipl. ing. el.  
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje – Split  
Robert Križan, dipl. ing. el.  
JP Elektroprivreda HZHB, Distribucija Livno  
Mr. sc. Eugen Mudnić, dipl. ing. el.  
FRACTAL d.o.o. Split

## **STRUKTURA GUBITAKA SNAGE I ENERGIJE U SREDNJENAPONSKOJ DISTRIBUTIVNOJ MREŽI POGONA LIVNO**

### **1. UVOD**

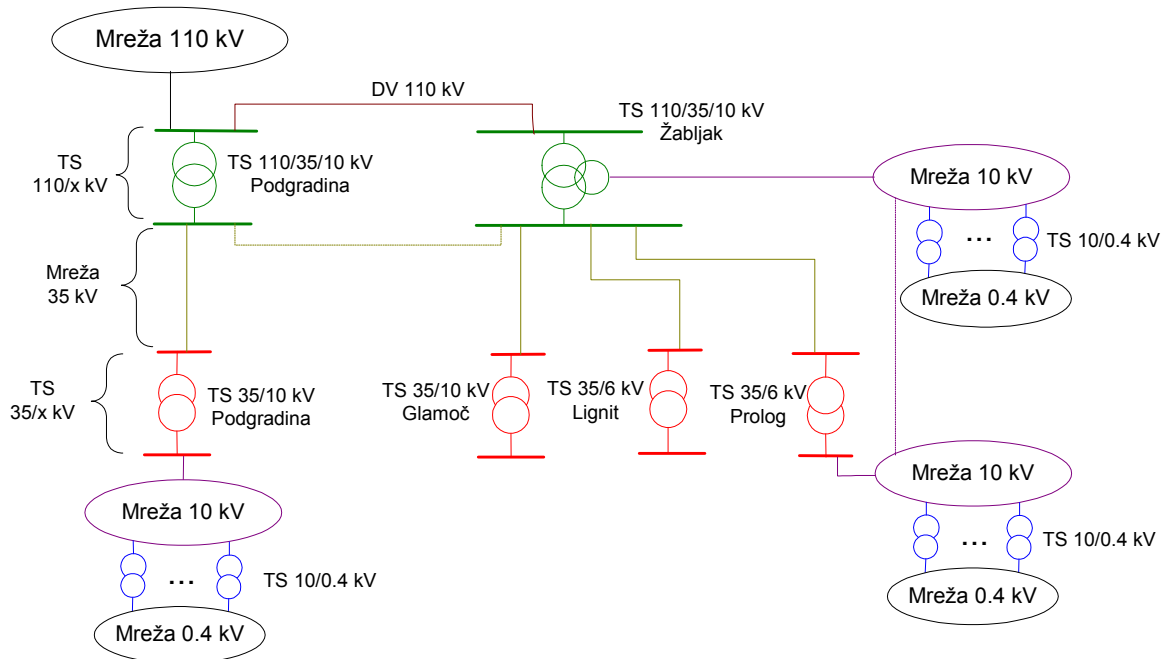
Problematika gubitaka u distributivnim mrežama uvijek je vrlo aktualna, a pogotovo pitanje realnog utvrđivanja iznosa tehničkih gubitaka, tj. odjeljivanje tehničkih gubitaka u mreži i gubitaka uzrokovanih greškama mjerenja, nelegalnom potrošnjom i sl. Gubici snage i energije u mreži postaju sve aktualniji i bitniji s obzirom na restrukturiranje i uvođenje tržišnih odnosa u hrvatskom elektroprivrednom sektoru.

U ovom radu ukratko su prikazani preliminarni rezultati utvrđivanja iznosa gubitaka (tehničkih) snage i energije u srednjenaponskoj distributivnoj mreži, kao i njihove strukture odnosno postotnog udjela po elementima mreže. Proračuni su napravljeni na realnoj srednjenaponskoj distributivnoj mreži pogona Livno - DP Elektrodalmacija, s točnim tehničkim parametrima svih elemenata i na osnovu stvarnih ulaznih podataka vršnih opterećenja i godišnje potrošnje električne energije za 2001. godinu. Za modeliranje mreže i proračune korišten je programski paket PowerCAD 4.1 (lit. 1), koji se za razne analize elektroenergetskih mreža već duži niz godina upotrebljava u Hrvatskoj i BiH.

### **2. MODEL MREŽE I NAČIN PRORAČUNA**

Primjer proračuna gubitaka snage i energije napravljen je za kompletnu srednjenaponsku mrežu pogona Livno, koja uključuje napajanje iz jedne pojne točke (TS 110/35/10 kV Podgradina, odnosno TS 110/35/10 kV Žabljak), te odgovarajuću 35 kV-tnu mrežu, trafostanice 35/10 kV, 10 kV-tnu mrežu, te sve TS 10/0.4 kV. Pri tome je izostavljena 10 kV-tna mreža i trafostanice 10/0.4 kV napajane iz TS 35/10 kV Glamoč. Osnovni energetske pokazatelji za navedenu mrežu u 2001. godini su:

- vršno opterećenje na 110 kV: 12,6 MW
  - ukupna preuzeta godišnja energija: 63,7 GWh
  - pretpostavljeni prosječni faktor snage na 0.4 kV-tnim sabirnicama TS 10/0.4 kV:  $\cos\varphi=0.96$
- Struktura promatrane mreže, s osnovnim parametrima, prikazana je na slici 1.



Slika 1: Srednjenaponska distributivna mreža pogona Livno

Proračun gubitaka snage u promatranoj mreži pri vršnom opterećenju napravljen je pomoću programskog paketa PowerCAD 4.1, koji omogućava automatsko formiranje bilance gubitaka snage po naponskim nivoima i odabranim područjima mreže. Na osnovu rezultata gubitaka snage pri vršnom opterećenju izvršen je i aproksimativni proračun gubitaka energije na godišnjem nivou, uz slijedeće pretpostavke:

- za transformatore su razdvojeni konstantni gubici praznog hoda koji na godišnjem nivou generiraju gubitke energije u iznosu gubitaka snage praznog hoda pomnožene s godišnjim brojem sati, od gubitaka u bakru koji su ovisni o opterećenju i koji su za proračun gubitaka energije na godišnjem računati aproksimativnom formulom kao i vodovi
- godišnji gubici energije u vodovima i gubici u bakru transformatora računati su aproksimativnom formulom:

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

gdje su:

- $T$  (h) – vremensko razdoblje za koje se računaju gubici energije
- $W_g$  (MWh) – gubici energije u mreži za promatrano vremensko razdoblje  $T$
- $W$  (MWh) – ukupna potrošnja energije u promatranom vremenskom razdoblju  $T$
- $P^{\max}$  (MW) – vršna snaga u promatranom vremenskom razdoblju  $T$
- $P_g^{\max}$  (MW) – gubici snage u mreži za vrijeme vršnog opterećenja
- $T_u$  (h) – upotrebno vrijeme
- $a$  – konstanta koja se u distributivnim mrežama, ovisno o obliku krivulje trajanja opterećenja, obično kreće u granicama 0.15-0.20, a za koju je u ovom proračunu pretpostavljen iznos 0.17

Opisani način obračuna godišnjih gubitaka energije pokazuje se kao dovoljno pouzdan za ovakve analize, što su pokazala prethodna istraživanja usporedbom s točnijom metodom koja podrazumijeva poznavanje krivulje trajanja opterećenja (lit. 2). To je vrlo često i jedini mogući izbor, budući da je u praksi vrlo teško doći do podataka na osnovu kojih bi se mogla formirati godišnja krivulja trajanja opterećenja. S druge strane, dodatnu grešku u proračunu čini i pretpostavka konstantnog faktora snage potrošača na 0.4 kV-tnim sabirnicama TS 10/0.4 kV, koji je za vrijeme manjih opterećenja lošiji, tako da je za pretpostaviti neznatno veći iznos godišnjih gubitaka od izračunatih. Međutim, prema izvršenim dodatnim simulacijama za minimalno opterećenje mreže, pokazuje se da navedena aproksimacija ne unosi grešku veću od 5%, tj. da se rezultati mogu smatrati realnim.

### 3. REZULTATI PRORAČUNA – STRUKTURA GUBITAKA SNAGE I ENERGIJE

Proračunom tokova snaga pri vršnom opterećenju promatrane distributivne mreže dobiveni su gubici radne snage grupirani na slijedeći način:

- a) gubici voda 110 kV
- b) gubici transformatora 110/35/10 kV
- c) gubici 35 kV-tnih vodova
- d) gubici transformatora 35/x kV
- e) gubici 10 kV-tnih vodova
- f) gubici transformatora 10/0.4 kV

Ukupni gubici snage pri vršnom opterećenju iznose 0,514 MW odnosno **4,1%** u odnosu na ukupnu potrošnju. Rezultati po grupama, u apsolutnim vrijednostima i postotnim udjelima pojedine grupe, prikazani su u tablici 1.

Tablica 1: Struktura gubitaka snage pri vršnom opterećenju sredjenaponske distributivne mreže pogona Livno

Grupa	DV 110 kV	Transf. 110/x kV	Vodovi 35 kV	Transf. 35/x kV	Vodovi 10 kV	Transf. 10/0.4 kV	Ukupno
Gubici (kW)	21	128	82	65	74	144	514
Udio (%)	4,1	24,9	16,0	12,6	14,4	28,0	100

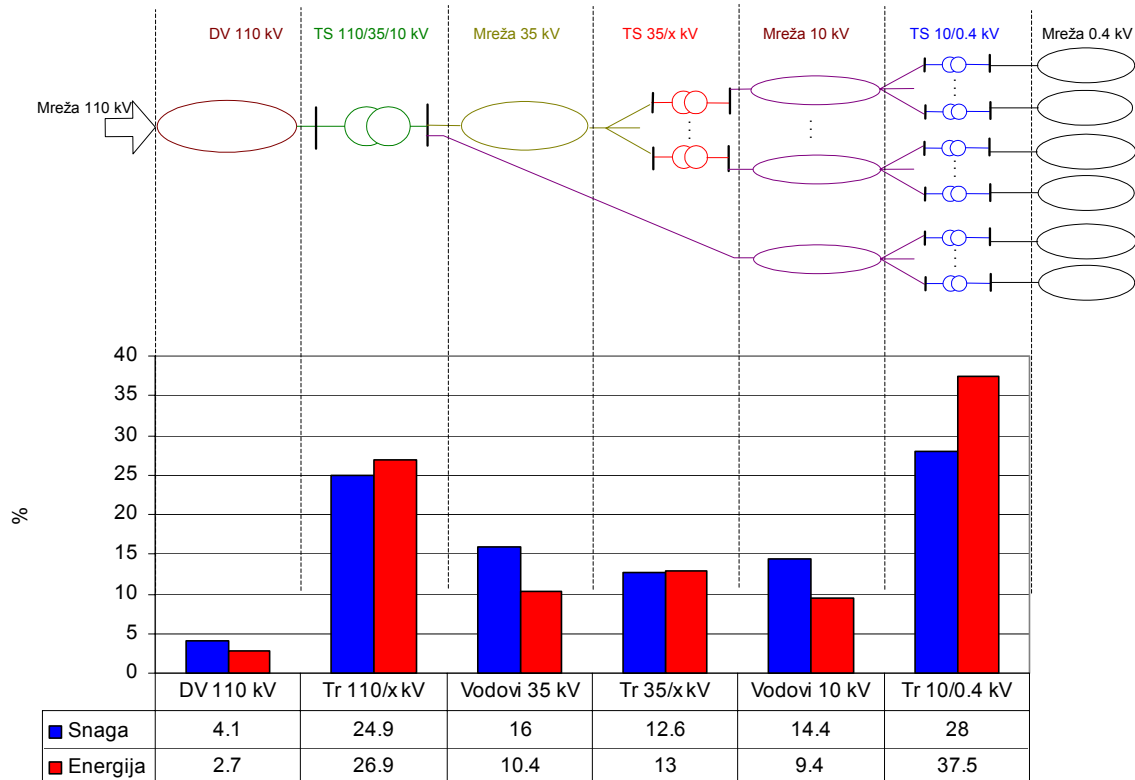
Rezultati proračuna gubitaka energije na godišnjem nivou, uz pretpostavke i način proračuna opisanim u prethodnom poglavlju, daju rezultate prikazane u tablici 2. Ukupni gubici od 2579 MWh iznose **4,05%** u odnosu na ukupnu godišnju potrošnju električne energije.

Tablica 2: Struktura godišnjih gubitaka energije sredjenaponske distributivne mreže pogona Livno

Grupa	DV 110 kV	Transf. 110/x kV	Vodovi 35 kV	Transf. 35/x kV	Vodovi 10 kV	Transf. 10/0.4 kV	Ukupno
Gubici (MWh)	69,0	694,1	269,2	336,6	243,0	967,0	2578,9
Udio (%)	2,7	26,9	10,4	13,0	9,4	37,5	100

Lako se uočava da najveći udio gubitaka generiraju transformatori 10/0.4 kV, a pogotovo gubitaka energije. To je direktna posljedica relativno velikog broja transformatora manje snage, a prosječno slabo opterećenih koji imaju značajan udio gubitaka praznog hoda. Godišnji gubici energije praznog hoda transformatora 10/0.4 kV veći su od gubitaka u bakru za 4.5 puta, dok su kod transformatora 35/10 kV gubici praznog hoda za oko 40% veći od gubitaka u bakru. Vezano za efekt fiksnih gubitaka u transformatorima, interesantan je i podatak da gubici snage u mreži pri minimalnom godišnjem opterećenju (pretpostavljenom u iznosu od 27% vršnog opterećenja) u postotnom iznosu prema konzumu iznose 6,3%, tj. u postotnom iznosu znatno su veći od gubitaka pri vršnom opterećenju! Inače, godišnji gubici praznog hoda svih transformatora u mreži iznose 1425 MWh odnosno 55% u odnosu na ukupne godišnje gubitke energije u promatranoj mreži.

Usporedni prikaz strukture gubitaka snage i energije za promatranu mrežu dan je na slici 2.



Slika 2: Postotnu udjeli gubitaka snage pri vršnom opterećenju i godišnjih gubitaka energije u srednjenaponskoj mreži pogona Trogir

#### 4. ZAKLJUČAK

U ovom radu dan je primjer analize strukture gubitaka snage i energije u srednjenaponskoj distributivnoj mreži, od 110 kV-tnog od 0.4 kV-tnog naponskog nivoa. Primjer je napravljen na realnoj srednjenaponskoj mreži pogona Livno, u koju su uključene i TS 110/35/10 kV Podgradine odnosno Žabljak, te DV 110 kV koji ih povezuje. Proračuni gubitaka snage, na osnovu odgovarajućeg modela mreže, napravljen je pomoću programskog paketa PowerCAD 4.1, a proračuni gubitaka energije napravljeni su aproksimativnim izrazima za gubitke energije na osnovu poznatih podataka vršnog opterećenja i ukupne potrošnje.

Proračunom je ilustrirana relativno jednostavna metoda utvrđivanja strukture gubitaka snage i energije u srednjenaponskoj mreži, koja se može lako može primijeniti i za brojne dodatne analize gubitaka vezane za strukturu i osjetljivost istih s obzirom na utjecajne parametre (ukupna potrošnja, vršno opterećenja, faktor snage, izgradnja novih elemenata mreže, uklopno stanje itd.). Kao i svaki drugi model, i opisani ima svoje manjkavosti i nedostatke, te ga u svakom slučaju treba nastojati poboljšati i testirati na različitim specifičnim slučajevima. Osnovni preduvjeti za ovakve analize su poznavanje što točnijih tehničkih parametara elemenata mreže i odgovarajućih energetskih parametara, dok je sam proračun najmanji problem, jasno uz dobro poznavanje problematike rada distributivne mreže i odgovarajuću programsku podršku.

Posebno se ipak mora razmatrati i proučavati problem gubitaka u niskonaponskoj mreži koji se zbog dimenzija niskonaponske mreže i uvažavanja faktora istovremenosti praktički mora izdvojiti od proračuna u srednjenaponskoj mreži (lit. 3). S druge strane, za niskonaponsku mrežu sam proračun je daleko jednostavniji, ali zahtijeva pažljiv odabir karakterističnih varijanti realnih niskonaponskih mreža na kojima se može napraviti sličan proračun i naknadno bilanciranje rezultata na nivou pogona ili distribucijskog područja u cjelini.

Samo uz pažljivi i odgovoran pristup utvrđivanju realnih tehničkih gubitaka u distributivnoj mreži može se doći i do odgovora na vrlo bitna pitanja kao što su razlaganje tehničkih i ostalih gubitaka, utvrđivanje mjera za saniranje tehničkih gubitaka, te brojnih pitanja koja će se u domeni gubitaka u prijenosnoj i

distributivnoj mreži postaviti širenjem tržišta električne energije, odnosno kompletnim preuzimanjem odgovornosti za gubitke od strane odgovarajućeg operatera mreže.

#### **LITERATURA:**

1. Programski paket PowerCAD 4.1 – upute za rad, Fractal d.o.o., ožujak 2002.
2. R. Goić, E. Mudnić, Z. Jadrijević: Primjena programskog paketa PowerCAD za analizu gubitaka snage i energije u distributivnim mrežama, V savjetovanje CIGRE, Cavtat 2001.
3. Programski paket WINdis 2.1 – upute za rad, Fractal d.o.o., veljača 2001.
4. Tehnička dokumentacija pogona Livno za 2001. godinu