

Razmatranje gubitaka u niskonaponskim vodovima sa prikazom rezultata proračuna

Consideration of Losses in Low Voltage Lines with a Presentation of Calculation Results

Siniša Spremić, Dušan Obradović

Elektrodistribucija Srbije – Tehnički centar Novi Sad

Rezime - Od ukupnih tehničkih gubitaka snage i gubitaka električne energije (u daljem tekstu: gubici) u distribuciji električne energije najveći deo otpada na tehničke gubitke u niskonaponskim vodovima. Tehnički gubici su gubici koji nastaju u distribuciji električne energije do potrošača u elektrodistributivnoj opremi za razliku od komercijalnih gubitaka koji obuhvataju neovlašćeno korišćenje električne energije i gubitke zbog grešaka merne opreme. Najveći deo tih gubitaka je u niskonaponskim nadzemnim vodovima, posebno onim izvedenim neizolovanim provodnicima. Glavni izvor tehničkih gubitaka nastaje protokom električne struje kroz provodnike. Neuravnoteženost opterećenja može značajno da utiče na povećanje gubitaka. Određene mere su preduzimane u cilju smanjenja ovih gubitaka, ali ne sistematično. Dat je prikaz i razmatranje razlika tehničkih gubitaka snage za različite vrste opterećenja niskonaponskih vodova i za neuravnoteženost opterećenja. Proračun [1] je urađen u Microsoft Excel-u. Ulazni podaci se ubacuju ručno za svaki proračun. Proračuni pokazuju da se može se očekivati značajna ušteda na gubicima uz sprovođenje mera na uravnotežavanju opterećenja i pomeranjem opterećenja (potrošača) prema početku niskonaponskog nadzemnog izvoda, tj. pravilnim rasporedom potrošača. Ove mere treba da se sprovedu dugoročno i sistematično.

Ključne reči - Tehnički gubici, Niski napon, Nadzemni vod, Opterećenje, Neuravnoteženost

Abstract - The largest part of the total technical losses of power and of electric energy in the distribution of electricity are the technical losses of low voltage lines. Technical losses of electric energy are losses of electric energy that occur in the distribution of electric energy to consumers in electricity distribution equipment, as opposed to commercial losses that include unauthorized use of electricity and losses due to errors in metering equipment. Most of these losses are in low-voltage overhead lines, especially those made of non-insulated conductors. The main source of technical electricity losses is the flow of electric current through conductors. Load asymmetry can significantly increase electric energy losses. Certain measures have been taken to reduce these losses, but not systematically. The calculation of technical power losses for different types of loading of low voltage lines and for load asymmetry is presented

and considered. The calculation [1] was done in Microsoft Excel. Input data is entered manually for each calculation. Calculations show that significant savings on losses can be expected with the implementation of measures to balance the load and shift the load (consumer) towards the beginning of the low voltage line, i.e. proper distribution of consumers. These measures need to be implemented in the long term and systematically.

Index Terms - Technical losses, Low voltage, Overhead line, Load, Asymmetry

I UVOD

Već gotovo dve decenije se pokušava različitim merama uticati na smanjenje gubitaka električne energije (u daljem tekstu: gubitaka) u elektrodistributivnoj mreži Srbije. Napravljeni su različiti programi koji vrše procenu tehničkih gubitaka u distributivnoj mreži. Na osnovu rezultata došlo se do zaključka da je u ukupnim gubicima veliki postotak netehničkih gubitaka. Zbog toga je glavni cilj bio da se eliminišu netehnički gubici kojima je izvor neovlašćeno korišćenje električne energije i gubici zbog grešaka merne opreme. Kontrole neovlašćenog korišćenja električne energije, baždarenje postojeće merne opreme i zamena merne opreme su uticale na smanjenje gubitaka, a u manjoj meri i ulaganje u nove distributivne objekte i rekonstrukciju postojećih distributivnih objekta.

Na području DP Novi Sad je 2010. godine preuzeta električna energija iznosila 8,712 GWh, a 2020. godine 8,307 GWh. Preuzeta električna energija se za 10 godina smanjila za 4,65 %. Dva Ogranka su imala povećanje preuzete električne energije. Ukupni gubici su 2010. godine iznosili 1,224 GWh ili 14,05 %, a 2020. godine 0,76 GWh ili 9,15 %. Smanjenje gubitaka za 10 godina iznosi 0,464 GWh ili za 37,9 %. Na smanjenje gubitaka u određenoj meri utiče i smanjenje protoka električne energije. Do smanjenja gubitaka je došlo i u Ograncima koji su imali povećanje preuzete električne energije, u jednom slučaju postotno smanjenje kao kod ukupnih gubitaka, a kod drugog za oko 21 %.

Cilj ovog rada je prikaz i razmatranje proračuna tehničkih gubitaka kod različitih rasporeda i opterećenja potrošača na niskonaponskom vodu i opis mogućnosti za smanjenje tehničkih gubitaka. Razmatraju se niskonaponski nadzemni vodovi sa

neizolovanim provodnicima izvedeni kao glavni vod bez ogranaka.

II PRETPOSTAVKE, ZANEMARENJA I OPIS MODELA PRORAČUNA

Pretpostavke za izradu modela proračuna su sledeće:

- napon na početku voda (0,4 kV sabirnice transformatorske stanice (u daljem tekstu: TS)) simetričan i po fazi i po veličini (iako se po želji mogu menjati i veličina i fazni pomak napona),
- razmatraju se samo ustaljeni režimi bez kvarova,
- struje čvorova (potrošača) koje se zadaju su sa faktorom snage (koji se takođe zadaje), tj. faznim uglom struje čvora (potrošača) u odnosu na početni napon na 0,4 kV sabirnicama TS $x/0,4$ kV. Time je stvarni fazni ugao između napona čvora (potrošača) i struje potrošača različit od zadanog i u proračunu se izračunava i prikazuje,
- neutralni provodnik je iste vrste provodnika i preseka kao fazni provodnici (što je stvarno stanje na najvećem delu mreže)
- podaci o radnom otporu i induktivnom otporu provodnika su korišćeni iz [2].

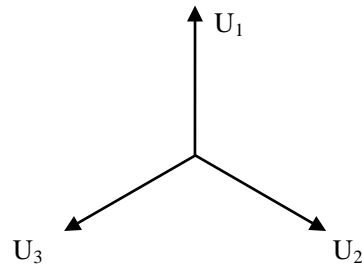
Zanemarenja koja su korišćena za pojednostavljenje modela proračuna:

- zanemaruju se kapacitivnosti vodova zbog malog uticaja na rezultat proračuna,
- zanemaruje se uticaj višestrukog uzemljenja neutralnog provodnika zbog malog uticaja na struju kroz neutralni provodnik u ustaljenom režimu bez kvara [3],
- ne razmatra se povećanje gubitaka usled povećanja temperature provodnika,
- kod nadzemnih vodova se zanemaruje uticaj na nesimetriju od faznog provodnika (posebno izvedenog) za javno osvetljenje koji je obično manjeg preseka od provodnika voda, a javno osvetljenje koristi nulti provodnik niskonaponskog izvoda.

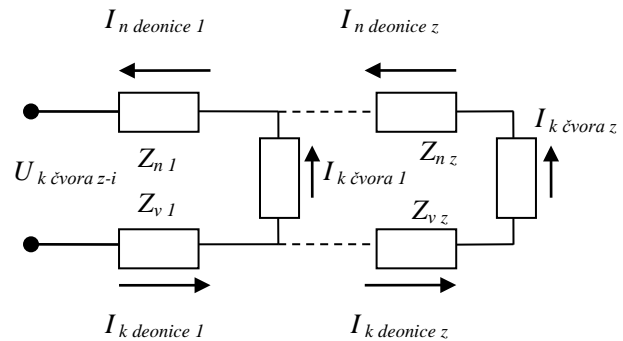
U modelu proračuna se za svaku deonicu voda zadaju šiframa podaci da li je deonica voda nadzemna ili podzemna i podaci o materijalu deonice voda. Za svaku deonicu se zadaju i podaci o preseku provodnika i dužini deonice. Za svaki čvor se u proračunu zadaju struja čvora (potrošača) i faktor snage čvora (struja čvora u odnosu na napon na 0,4 kV sabirnicama u TS $x/0,4$ kV) za svaku fazu posebno. Zadaju se takođe i podaci o veličini napona na 0,4 kV sabirnicama u TS $x/0,4$ kV za svaku fazu i za potrebe proračuna gubitaka zadaju se ekvivalentno vreme trajanja maksimalnog opterećenja T_{max} i ekvivalentno vreme trajanja gubitaka τ .

Proračun je urađen u Microsoft Excel-u, za 20 deonica sa mogućnošću proširewa po potrebi. Pored proračuna nesimetričnih režima mogu da se vrše i proračuni simetričnih režima. Za simetrične režime je proveren proračun sa [2] i dobijaju se isti rezultati.

Naponi su predstavljeni na sledeći način prema slici 1, a pojednostavljena šema za proračun po fazama je data na slici 2.



Slika 1. Prikaz fazora napona



Slika 2. Pojednostavljena šema za proračun sa injektiranjem struja u čvorove

$U_{k \text{ čvora } z-i}$ na slici 2 je u stvari početni napon, tj. napon sekundara transformatora.

Kada se zadaju potrebni podaci tok proračuna je sledeći. Iz zadatih struja i faktora snaga u čvorovima po fazama se izračunaju komponente po x-osi i po y-osi (opet napominjem da je u proračunu faktor snage čvora dat u odnosu struje čvora i napona na 0,4 kV sabirnicama TS $x/0,4$ kV) za svaku fazu posebno.

$$\vec{I}_{k \text{ čvora } i} = I_{k \text{ čvora } i x} + j \cdot I_{k \text{ čvora } i y} \quad (1)$$

U jednačini (1) i u jednačinama koje slede i je broj čvora ($i=0, \dots, z$), x označava komponentu struje po x-osi, y označava komponentu struje po y-osi, a k predstavlja svaku pojedinu fazu.

Struja koja se dobija u neutralnom vodu u čvoru i , se izračuna kao zbir struja pojedinih faza po komponentama x-ose i y-ose.

$$\vec{I}_{\text{čvora } n i} = \sum_{k=1}^3 I_{k \text{ čvora } i x} + j \cdot \sum_{k=1}^3 I_{k \text{ čvora } i y} \quad (2)$$

Proračun se nastavlja izračunavanjem struja deonica faza i i to najpre za poslednju deonicu

$$\vec{I}_{k \text{ deonice } z} = \vec{I}_{k \text{ čvora } z}, \quad (3)$$

pa onda za prethodnu deonicu

$$\vec{I}_{k \text{ deonice } z-1} = \vec{I}_{k \text{ čvora } z} + \vec{I}_{k \text{ čvora } z-1}, \quad (4)$$

i tako dalje do prve deonice

$$\vec{I}_{k \text{ deonice } 1} = \sum_{i=1}^z \vec{I}_{k \text{ čvora } i} \quad (5)$$

Slično se izračunaju struje deonica neutralnog voda

$$\vec{I}_{n \text{ deonice } z} = \vec{I}_{n \text{ čvora } z} \quad (6)$$

$$\vec{I}_{n \text{ deonice } z-1} = \vec{I}_{n \text{ čvora } z} + \vec{I}_{n \text{ čvora } z-1} \quad (7)$$

$$\vec{I}_{n \text{ deonice } 1} = \sum_{i=1}^z \vec{I}_{n \text{ čvora } i} \quad (8)$$

Naponi čvorova (potrošača) se izračunavaju počev od čvora 1

$$\vec{U}_{k \text{ čvora } i} = \vec{U}_{k \text{ čvora } i-1} - \Delta \vec{U}_{k \text{ deonice } i} - \Delta \vec{U}_{n \text{ deonice } i} \quad (9)$$

gde su

$$\Delta \vec{U}_{k \text{ deonice } i} = \vec{I}_{k \text{ deonice } i} \cdot \vec{Z}_{\text{deonice } i} \quad (10)$$

$$\Delta \vec{U}_{n \text{ deonice } i} = \vec{I}_{n \text{ deonice } i} \cdot \vec{Z}_{\text{deonice } i} \quad (11),$$

a iz dobijenih vrednosti po x i y osi se dobijaju apsolutne vrednosti veličina (U i I , $\cos\varphi$) i onda izvedene veličine ΔU %, ΔP , P , ΔP %, W i drugo po potrebi.

III POMERANJE OPTEREĆENJA PREMA KRAJU IZVODA

U proračun [1] su ubačeni podaci o niskonaponskom nadzemnom vodu sa presekom provodnika od 50 mm^2 i za fazne i za neutralni provodnik što je još uvek najčešća vrsta niskonaponskog nadzemnog voda. Niskonaponski izvod se sastoji od 10 deonica dužine od po 40 m, ukupno 400 m sa sabirnicom i deset čvorova. Sagledavanjem potrošnje pojedinačnog domaćinstva procenjeno je da je prosečna potrošnja električne energije pojedinačnog potrošača iz kategorije domaćinstvo (uvećano za uticaj potrošača iz kategorije ostala potrošnja) oko 500 kWh mesečno odnosno 6000 kWh godišnje. Pretpostavka je da je na niskonaponskom izvodu u proseku 30 potrošača sa 3 niskonaponska izvoda po TS [4]. Pretpostavljeno maksimalno jednovremeno opterećenje pojedinačnog potrošača je oko 2,4 kW. Faktor snage je 0,95.

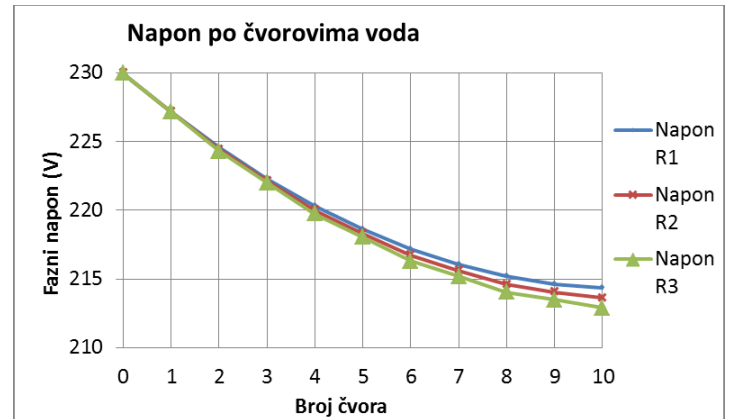
Tabela 1. Strujna opterećenja po čvorovima prema obrascima

Obrazac	Redni broj čvora i opterećenje (A)					
	1.	2.	3.	4.	5.	6.
R1	10	10	10	10	10	10
R2	5	15	5	15	5	15
R3	0	20	0	20	0	20

Prvi primer obrađuje slučaj uravnoteženog (simetričnog) opterećenja po fazama sa jednakim i u dva slučaja različitim opterećenjem po čvorovima. Pomeranje opterećenja prema kraju izvoda je prikazano u Tabeli 1 do šestog čvora, a isti obrazac se ponavlja do desetog čvora. Ovime se želi prikazati koliko se gubici povećavaju sa pomeranjem opterećenja prema kraju izvoda, tj. smanjenjem ukoliko bi pomeranje bilo prema početku izvoda. Ovakvo pomeranje opterećenja može da se pojavi u

niskonaponskom izvodu ukoliko se potrošači povezuju na najbliži stub i zbog promena u korišćenju električne snage potrošača. Rezultat promena u korišćenju električne snage potrošača je promena obrasca koji može biti sličan nekom od prikazanih u Tabeli 1, a mogu biti i nelinearni duž izvoda.

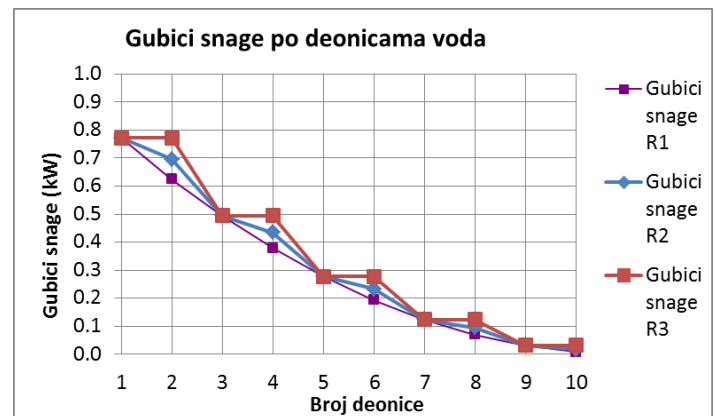
Na Slici 3 su prikazani fazni naponi za sva tri obrasca. Tačka 0 na apscisi označava početnu tačku tj. početak niskonaponskog izvoda u trafostanici sa početnim faznim naponom od 230 V.



Slika 3. Promena napona prema obrascima opterećenja

Za svaki obrazac su jednake vrednosti sva tri fazna napona. Razlike vrednosti napona obrazaca su male i tek na kraju niskonaponskog izvoda dolaze do vrednosti od oko 0,7 V.

Na Slici 4 su prikazani gubici snage po deonicama za sva tri obrasca za slučajevne pomeranja opterećenja prema kraju izvoda.



Slika 4. Gubici snage po deonicama

Sa Slike 4 se vidi da su zbog pomeranja opterećenja prema kraju voda gubici snage nešto povećani. Za obrazac R1 su gubici snage izvoda 2,971 kW (4,532 %), za obrazac R2 su 3,173 kW (4,841 %) i za obrazac R3 su 3,395 kW (5,179 %). Gubici snage se povećavaju za oko 0,2 kW kod obrazaca koji imaju lošiji raspored potrošača. Za obrazac R2 gubici su veći u odnosu na obrazac R1 za 6,8 %, a za obrazac R3 gubici su veći u odnosu na obrazac R1 za 14,3 %. Gubici snage od 0,2 kW ne izgledaju veliki. Uz pretpostavljeno vreme trajanja gubitaka od 1500 h dobijamo gubitke od 4456 kWh za obrazac R1, 4760 kWh za obrazac R2 i 5093 kWh za obrazac R3. Razlike između obrazaca su nešto veće od 300 kWh. Prema [5] u 2020. godini je bilo

3280254 potrošača iz kategorije domaćinstvo u elektrodistributivnom sistemu Srbije. Zanimljivo je da potrošači iz kategorije ostala potrošnja kojih je 409181, a od kojih su većina na niskonaponskoj distributivnoj mreži. Pretpostavimo da se sa niskonaponske nadzemne mreže napaja oko 60 % potrošača iz kategorije domaćinstvo. To čini 1968152 potrošača. Ako taj broj podelimo sa 30 što je prosečan broj potrošača po niskonaponskom izvodu dobijamo 65605 niskonaponskih nadzemnih izvoda. Množeći 65605 niskonaponskih nadzemnih izvoda sa 300 kWh gubitaka između obrazaca R1 i R2 zbog pomeranja opterećenja prema kraju izvoda dobijemo uvećane gubitke od 19681524 kWh u odnosu na obrazac R1 koji ima uravnoteženo opterećenje po čvorovima.

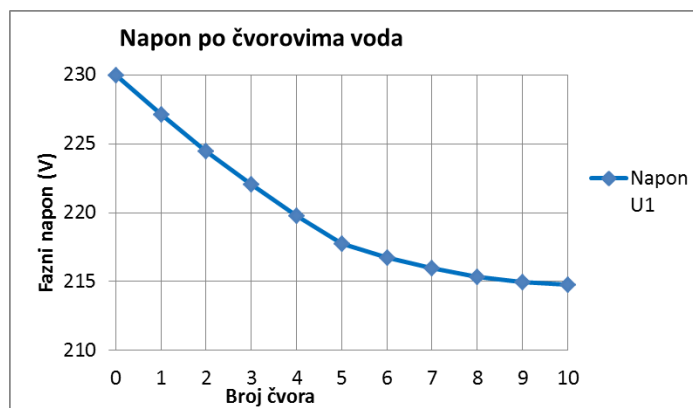
Dodatak drugog primera je slučaj da postoji ogranak na izvodu. U petom čvoru se nalazi ogranak iste dužine i opterećenja kao deo izvoda od petog čvora do kraja glavnog voda. Koristiće se obrazac R4 sa drugačijim vrednostima opterećenja po čvorovima, ali je ukupno opterećenje na početku voda jednako 100 A kao kod obrasca R1. U Tabeli 2 su prikazana opterećenja po čvorovima. Od 7. čvora do kraja opterećenje čvorova je 7 A.

Tabela 2. Strujna opterećenja po čvorovima prema obrascu R4

Obrazac	Redni broj čvora i opterećenje (A)					
	1.	2.	3.	4.	5.	7
R4	7	7	7	7	37	

Ukupno opterećenje je isto, a ovo se može predstaviti kao drugačija brojnost i (ili) raspored potrošača po izvodu.

Na slici 5 je prikazan jedan od faznih napona. Sva tri fazna napona za obrazac R4 su jednaka.

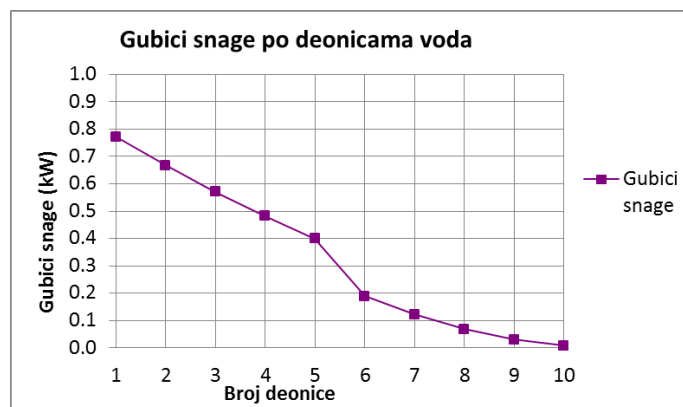


Slika 5. Promena napona prema obrascu opterećenja R4 za obrazac R4.

Za obrazac R4 naponi po čvorovima su približno jednaki onima iz obrasca R1, R2 i R3.

Poređenjem Slike 6 i Slike 4 vidi se da su u čvoru 1 isti gubici, povećani su gubici za obrazac R4 u odnosu na obrazac R1 za čvorove 2 do 5, a za čvorove 6 do 10 su približno jednaki. Za obrazac R4 su gubici snage izvoda 3,307 kW (5,029 %) u odnosu na obrazac R1 gde su gubici 2,971 kW (4,532 %). Ovo povećanje gubitaka je posledica pomeranja opterećenja prema kraju voda.

Često se u slučajevima velikog pada napona kod udaljenijih potrošača obično za opterećenije niskonaponske nadzemne izvode sa ograncima izvodi novi izvod samonosivim kablovskim snopom do prvog ili drugog ogranka. Veliki padovi napona kod potrošača često ukazuju i na velike gubitke.



Slika 6. Gubici snage po deonicama – obrazac R4

Na pomeranje opterećenja prema izvoru napajanja u slučaju navika u korišćenju električne snage potrošača se ne može uticati (izuzev upravljanjem potrošnjom ukoliko postoji) dok se na pomeranje opterećenja prema izvoru u cilju smanjenja gubitaka može uticati pravilnim rasporedom potrošača tako da se po mogućnosti povezuju na stub bliži izvoru napajanja iako bi priključak bio nešto duži. Ovo se može obaviti prilikom rekonstrukcija niskonaponske mreže, kod izgradnje nove niskonaponske mreže pravilnim planiranjem, u slučajevima planiranih isključenja zbog obavljanja remonta/revizije i kod zamene priključka potrošača. Ovi radovi bi se obavljali dugoročno kako bi se uz najmanja moguća ulaganja ostvarile uštede na gubicima. Dodatno bi se, uz poznat raspored potrošača na niskonaponskim nadzemnim vodovima, njihovu potrošnju električne energije, merenjima opterećenja na izvodima, presekcijom niskonaponskih izvoda moglo uticati na uštede u gubicima.

IV POMERANJE OPTEREĆENJA PREMA KRAJU IZVODA I NEURAVNOTEŽENOST OPTEREĆENJA

Drugi primer obrađuje amplitudnu neuravnoteženost opterećenja uključivo pomeranje opterećenja prema kraju izvoda. S obzirom na relativno mali uticaj neuravnoteženosti faktora snage [6] isti se ovde neće razmatrati. Ovime se želi prikazati koliko se gubici povećavaju sa pomeranjem opterećenja prema kraju izvoda, tj. smanjenjem ukoliko bi pomeranje bilo prema početku izvoda.

Moguće je da svi niskonaponski izvodi iz jedne TS imaju značajnu neuravnoteženost, a da merenje na sabirnicama (ili na ampermetrima sa pokazivačem petnaestominutnog maksimuma) ne pokazuje nesimetriju opterećenja ili je ona veoma mala. Takođe je moguće da pojedine deonice imaju značajnu neuravnoteženost koja se duž voda "ispegla" tako da na početku niskonaponskog izvoda nema značajnije nesimetrije. Opterećenje i nesimetrija se menjaju vremenom [7-10]. Nesimetrija u niskonaponskim vodovima se u manjoj meri prenosi na srednji

napon zbog odgovarajuće sprege distributivnih transformatora $x/0,4$ kV [7, 11].

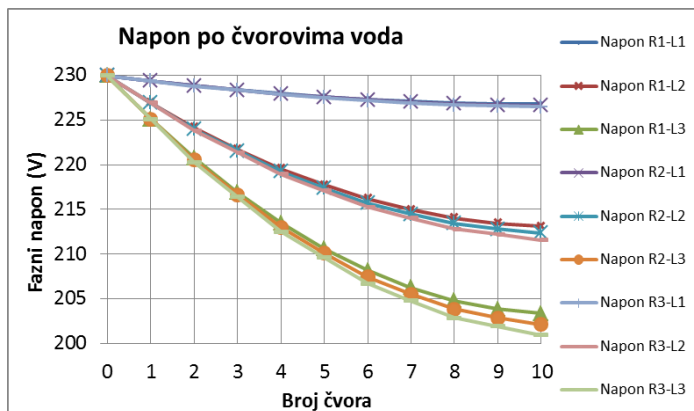
Koriste se prethodno prikazani obrasci R1, R2 i R3 gde su sada za svakog dati primeri promene opterećenja po fazama L1, L2 i L3. Različiti prikazi dijagrama neuravnoteženosti [7-10] na sabirnicama transformatora ili na niskonaponskim izvodima pokazuju da se odstupanje u najvećem delu vremena kreće od ± 20 % do ± 30 % od srednje vrednosti struje. U proračun su ubačeni podaci o tipu neuravnoteženosti gde je struja srednje faze jednaka srednjoj vrednosti struja sve tri faze, a dve krajnje faze odstupaju od srednje vrednosti za -30 % i za $+30$ % što je realan primer neuravnoteženosti na niskonaponskom izvodu. Neuravnoteženost opterećenja na niskonaponskim izvodima može biti veća od ove uzete u proračun, ali i manja.

Pomeranje opterećenja i neuravnoteženosti opterećenja prema kraju izvoda je prikazano u Tabeli 3 do šestog čvora, a isti obrazac se ponavlja do desetog čvora.

Tabela 3. Strujna opterećenja po čvorovima prema obrascima i fazama

Obrazac	Redni broj čvora i opterećenje (A)					
	1.	2.	3.	4.	5.	6.
R1-L1	7	7	7	7	7	7
R1-L2	10	10	10	10	10	10
R1-L3	13	13	13	13	13	13
R2-L1	3,5	10,5	3,5	10,5	3,5	10,5
R2-L2	5	15	5	15	5	15
R2-L3	6,5	19,5	6,5	19,5	6,5	19,5
R3-L1	0	14	0	14	0	14
R3-L2	0	20	0	20	0	20
R3-L3	0	26	0	26	0	26

Na Slici 7 su prikazani fazni naponi za sva tri obrasca iz Tabele 3. Tačka 0 na apscisi označava početnu tačku tj. početak niskonaponskog izvoda u trafostanici sa početnim faznim naponom od 230 V.



Slika 7. Promena napona prema obrascima opterećenja i fazama

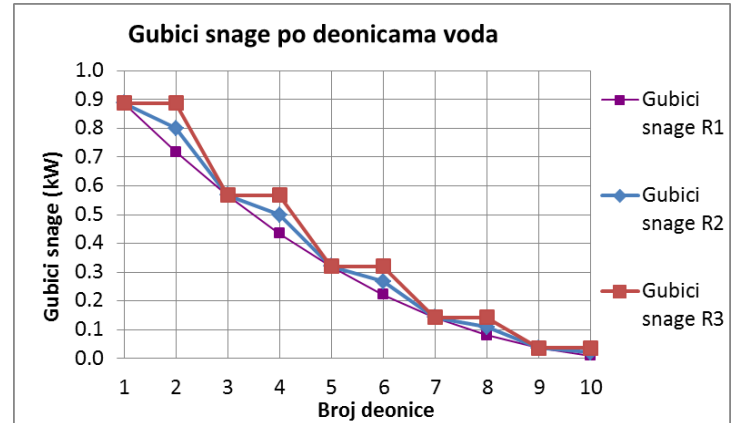
U odnosu na Sliku 3 gde je u proračunu primenjeno pomeranje opterećenja na Slici 7 se može se uočiti da su naponi u fazi koja je opterećenija značajno niži i to nešto više od 10 V. U srednjoj fazi naponi su približno jednaki onima sa Slike 3. U najmanje

opterećenoj fazi je pad napona mali. Razlike između napona po fazama su male, slično kao na Slici 1.

Neuravnoteženost opterećenja značajno utiče na neuravnoteženost napona, može da dovede do toga da vrednost napona izlazi iz granica određenih standardom.

Na Slici 8 su prikazani gubici snage po deonicama za sva tri obrasca za slučajeve pomeranja opterećenja prema kraju izvoda i za neuravnoteženost opterećenja.

Sa Slike 8 se vidi da su zbog neuravnoteženosti gubici snage nešto povećani u odnosu na Sliku 4 gde je uticaj imalo samo pomeranje opterećenja prema kraju izvoda.



Slika 8. Gubici snage po deonicama

Za obrazac R1 su gubici snage izvoda 3,416 kW (5,233 %) u odnosu na 2,971 kW (4,532 %) iz prvog primera, za obrazac R2 su 3,649 kW (5,591 %) u odnosu na 3,173 kW (4,841 %) i za obrazac R3 su 3,904 kW (5,984 %) u odnosu na 3,395 kW (5,179 %). Gubici snage se povećavaju za 0,45 kW do 0,5 kW u odnosu na obrasce samo sa pomeranjem opterećenja prema kraju izvoda. Za obrasce R1, R2 i R3 sa neuravnoteženošću opterećenja (drugi primer) gubici su respektivno veći u odnosu na obrasce R1, R2 i R3 bez neuravnoteženosti opterećenja (prvi primer) za oko 15 %. Ako uzmemo obrazac R2 kao reprezentativan za pomeranje opterećenja prema kraju izvoda i neuravnoteženosti opterećenja možemo proceniti gubitke električne energije u niskonaponskoj nadzemnoj mreži. Razlika gubitaka snage obrasca R2 iz drugog primera i obrasca R1 iz prvog primera je 0,678 kW što uz vreme trajanja gubitaka od 1500 h daje 1017 kWh godišnjih gubitaka po niskonaponskom nadzemnom izvodu. Množeći 1017 kWh sa brojem od 65605 niskonaponskih nadzemnih izvoda dobija se uvećanje gubitaka električne energije za 66720285 kWh u niskonaponskim nadzemnim vodovima u elektrodistributivnoj mreži Srbije usled pomeranja potrošnje prema kraju izvoda i zbog neuravnoteženosti opterećenja. Neuravnoteženost opterećenja dovodi do pojave struje u neutralnom vodu i značajno utiče na povećanje gubitaka.

Od ukupnog broja potrošača veliki broj je monofazni (po proceni oko 50 %), dok je na pojedinim TS većina potrošača monofazna. Ukoliko merenje pokaže neuravnoteženost opterećenja potrebno je snimanje broja i rasporeda monofaznih potrošača, te u slučaju neravnomernog rasporeda potrošača ravnomerno raspoređivanje može da da rezultat u smanjenju neuravnoteženosti opterećenja,

gubitaka i ujednačavanja faznih napona kod potrošača. Uočeno je da kod vertikalnog rasporeda više monofaznih potrošača ima priključak na najnižoj fazi nego na nekoj od preostale dve.

Ukoliko neuravnoteženost opterećenja postoji kod izvoda gde su monofazni potrošači ravnomerno raspoređeni ili ih nema, jedina mogućnost je da se kod jednog dela postojećih trofaznih potrošača (bez obzira da li su u pitanju kolektivni stambeni objekti ili individualni) pokuša sa zamenom faznih priključaka ("rotacijom") na mestu priključenja na stubu ili kablovskoj priključnoj kutiji ili na mernom mestu potrošača. Ovde se mora paziti da se pravilno izvrši zamena kako kod trofaznih obrtnih mašina i drugih uređaja izbegao suprotan smer obrtanja ili nepravilan rad koji može da dovede do oštećenja uređaja.

V ZAKLJUČAK

Razmatranje povećanja gubitaka usled pomeranja opterećenja prema kraju izvoda i usled neuravnoteženosti opterećenja je neophodno uz odgovarajuće proračune koji ukazuju da se određenim merama može uticati da se gubici smanje.

Mere na smanjenju gubitaka usled neuravnoteženosti opterećenja i mere na pomeranju opterećenja prema izvoru napajanja nisu mere koje se mogu izvršiti u kratkom vremenskom roku. Neophodno je da se osmisli postupak kojim bi se dugoročno rešavao problem neuravnoteženosti opterećenja i time povezanih gubitaka, kao i pomeranje opterećenja prema izvoru napajanja. Dugoročno se mogu ostvariti značajne uštede na smanjenju gubitaka.

Procena je da se dugoročnim merama na pomeranju opterećenja prema izvoru napajanja prema prikazanim proračunima, tj. početku niskonaponskog izvoda mogu smanjiti gubici za oko 5%. Pomeranje opterećenja prema izvoru napajanja zajedno sa uravnotežavanjem opterećenja mogu smanjiti gubitke za oko 15%. U nekim slučajevima smanjenje gubitaka može bi i veće i manje.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Spremić, S. Analiza povećanja gubitaka usled nesimetrije opterećenja u niskonaponskoj distributivnoj mreži i mogući načini za analizu i smanjenje gubitaka usled nesimetrije opterećenja, *Elektrodistribucija*, br. 2-3, str. 58-65, 2006.
- [2] J.P. Elektrovojvodina, Paket računarskih programa za izračunavanje gubitaka u elementima mreže, J.P. Elektrovojvodina, 1992.
- [3] Ćirić, R., Ochoa, L.F., Feltrin, A.P., Nouri, H. Analiza kvarova u četverožičnim distributivnim mrežama, *Elektrodistribucija*, br. 1, str. 34-42, 2006.
- [4] Spremić, S. Tehnoekonomska analiza za smanjenje gubitaka u nadzemnim vodovima distributivne mreže minimalnim ulaganjem u povećanje preseka provodnika, *Elektrodistribucija*, br. 1, str. 50-56, 2004.
- [5] *Elektrodistribucija Srbije*, [GI_2020.pdf \(epsdistribucija.rs\)](#) [pristupljeno 14.03.2022.]
- [6] Spremić, S. Analiza uticaja nesimetrije faktora snage po fazama u niskonaponskoj distributivnoj mreži, *Elektrodistribucija*, 2011.
- [7] Švenda, G., Kojić, S. Kvantifikacija nesimetrije u srednjenaponskim i niskonaponskim distributivnim mrežama, in *Proc. I jugoslovensko savetovanje o elektrodistributivnim mrežama*, Zlatibor, 1998.
- [8] Jović, A., Stojanović, D. Merenje prisustva trećeg harmonika u struji neutralnog provodnika u niskonaponskoj distributivnoj mreži, in *Proc. VI savetovanje o elektrodistributivnim mrežama Srbije sa regionalnim učešćem*, Vrnjačka Banja, 2008
- [9] Stojanović, D., Korunović, L., Jović, A. Merenje i analiza nesimetrije opterećenja u niskonaponskoj distributivnoj mreži, in *Proc. VI savetovanje o elektrodistributivnim mrežama Srbije sa regionalnim učešćem*, Vrnjačka Banja, 2008.
- [10] Beharrysingh, S. *Phase unbalance on low-voltage electricity networks and its mitigation using static balancers*, A Doctoral Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the award of the degree of Doctor of Philosophy (PhD), at Loughborough University. 31st March, 2014
- [11] Mitraković, B. *Transformatori*, Beograd: Naučna knjiga, 1979.

AUTORI/AUTHORS

Siniša Spremić - dipl.el.inž., *Elektrodistribucija Srbije* – Tehnički centar Novi Sad, sinisa.spremic@ods.rs, ORCID [0000-0003-3669-3999](#)

Dušan Obradović - dipl.el.inž., *Elektrodistribucija Srbije* – Tehnički centar Novi Sad, dusan.obradovic@ods.rs, ORCID [0000-0001-6332-2515](#)