

**REGULACIJA NAPONA I ŠTETA U DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA****THE REGULATION OF VOLTAGES AND DAMAGES IN DISTRIBUTION NETWORKS**Miloš Petrović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** – U ovom radu je razmatran uticaj promene proizvodnje distributivnih generatora (DG) na režim rada distributivne mreže (DM), regulaciju napona i štetu koju trpe potrošači. Analiza uticaja je izvršena na primeru jednostavne DM koju čine tronamotajni regulacioni transformator, sa po pet izvoda na sekundaru i tercijeru.

**Ključne reči:** Distributivna mreža, Regulacija napona i štete.

**Abstract** – In this paper, the influence of the change in the production of distribution generators (DG) on the mode of operation of the distribution network (DM), voltage regulation and damage suffered by consumers is considered. The impact analysis was performed on the example of a simple DM consisting of a three-winding regulation transformer, with five leads each on the secondary and tertiary.

**Keywords:** Distribution network, Regulation of voltages and damages

**1 UVOD**

Sve veći uticaj, tzv. penetracija, obnovljivih energetskih izvora (RES – renewable energy sources) i električnih vozila (EV – electric vehicles) značajno utiče na tradicionalne distributivne mreže (DM). Do juče potpuno pasivne DM, sa nedvosmisleno definisanim tokovima aktivne snage, od korena DM do potrošača, postaju sve aktivnije DM, sa dvosmernim protokom aktivne snage [1,2,3]. Posledica ovakvih promena su zagušenje mreže i niske/visoke vrednosti napona, obrnuti tok snage i suprotstavljenih interesa proizvođača, distributera i korisnika električne energije, itd. [4,5,6]. Jasno je da tradicionalni Volt Var resursi (transformatori sa promenom napona pod opterećenjem, regulatori napona, otočne kondenzatorske baterije) i davno uspostavljeni koncepti regulacije napona (automatski regulator napona sa karakteristikom zakona regulacije, lokalna automatizacija) ne mogu da se izbere sa problemima koje donose aktivne DM.

U posebnom problemu su potrošači koji usled velikih, iznenadnih promena vrednosti napona, trpe štetu. Ukoliko se vrednost napona poveća u odnosu na nominalnu vrednost, dolazi do smanjenja veka trajanja električnih aparata, ako se ona smanji dolazi do smanjenja stepena korisnosti. Upravo mogućnost minimizacije (kontrole) kvantitativnog pokazatelja štete, predstavlja osnovni motiv za regulaciju napona potrošača [1].

**NAPOMENA:**

**Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Goran Švenda, red. prof.**

Nakon uvoda u drugoj glavi dat je kratak pregled osnovnih pojmova koji se spominju u radu. U trećem poglavlju pažnja se posvećuje algoritmu za proračun tokova snaga i proračun regulacije napona potrošača. U četvrtom poglavlju objašnjeni su gubici u DM. U petom poglavlju prikazani su rezultati tokova snaga kao i proračun štete dobijeni uz pomoć Fortran aplikacije, kroz koje se posmatra pozicija regulacione sklopke za koju je šteta najmanja. U šestom poglavlju dat je zaključak o analiziranoj mreži i rezultatima koji su proistekli iz proračuna. Nakon zaključka referentno je navedena literatura korišćena za realizaciju ovog rada.

**2 OSNOVNI POJMOVI**

U ovom poglavlju obrađeni su osnovni pojmovi koji se spominju u radu. Predstavljene su teorijske osnove o modelovanju elemenata EES-a koji su od interesa u predmetnom zadatku.

**2.1 Regulacioni transformatori**

Energetski transformatori su statički uređaji koji na principu elektromagnetne indukcije pretvaraju napon ili struju između dva ili više namotaja, pri istoj učestanosti, na druge vrednosti napona i struja. Primenom transformatora omogućeno je da se energija koristi na naponu koji je najekonomičniji, kao i da se proizvodi na naponu koji je najpogodniji. Ako je moduo ili fazni pomeraj fazora napona promenljiv, takvi transformatori su regulacioni transformatori. Oni mogu da se podele na:

- regulacione transformatore sa regulacijom pod opterećenjem (RTrPO) i
- regulacione transformatore s regulacijom u beznaponskom stanju (RTrBS).

**3 METODOLOGIJA ZA PRORAČUN TOKOVA SNAGE**

Distributivne mreže, za razliku od prenosnih mreža, karakteriše relativno slaba potencijalna upetljanost i radijalni pogon. Standardne metode za proračun tokova snaga u prenosnim mrežama imaju značajno manju efikasnost kada se primenjuju u DM. Da bi se ovi problemi prevazišli, kao i da bi se ovi proračuni maksimalno ubrzali, razvijeni su specijalizovani algoritmi za proračun tokova snaga u distributivnim mrežama.

**3.1 Algoritam sumiranja struja**

Algoritam počinje inicijalizacijom postupka, a nakon toga sledi iterativni postupak, koji se sastoji od tri koraka:

1. Proračun injektiranih struja:

$$i_i^{(h)} = \left( \frac{s_{p,i}}{V_i^{(h-1)}} \right)^* + y_{0,i} \cdot V_i^{(h-1)}, i = 1, \dots, n_{cv} \quad (2.1)$$

2. Proračun struja po granama:

$$j_i^{(h)} = i_i^{(h)} + \sum_{j \in I} j_j^{(h)}, i = n_{gr}, \dots, 1, \quad (2.2)$$

3. Proračuna napona u čvorovima:

$$V_i^h = V_{i-1}^{(h)} - z_i \cdot j_i^{(h)}, i = 1, \dots, n_{cv} \quad (2.3)$$

### 3.2 Regulacija napona potrošača

Smanjenje veka trajanja električnih aparata s povećanjem napona, odnosno smanjenje stepena korisnosti sa smanjenjem napona u odnosu na nominalnu vrednost, samo su neki od brojnih primera negativnih posledica po korisnike električne energije.

Dakle, za napon veći ili manji od te vrednosti, šteta koju trpe električni aparati koji se napajaju s tog mesta - raste.

$$\dot{S} = C \cdot (u - u^{ref})^2 \cdot E, \quad (3.2.1)$$

pri čemu je sa  $E$  označena energija isporučena potrošaču u apsolutnim jedinicama (kWh). Relativne (procentualne) vrednosti napona iznose [2]:

$$u = \frac{U}{U_n} \cdot 100, \quad u^{ref} = \frac{U^{ref}}{U_n} \cdot 100 \quad (3.2.2)$$

pri čemu su sa  $U$  i  $U^{ref}$  označene vrednosti aktuelnog napona potrošača u kV, a sa  $U_n$  odgovarajuće nominalne vrednosti mreže sa koje se taj potrošač napaja.

Proizvod kvadrata odstupanja napona i energije je nosilac štete koju potrošač trpi usled odstupanja napona; njegova dimenzija je (%)<sup>2</sup>kWh. Mogućnost kontrole (minimizacije) kvantitativnog pokazatelja štete (%)<sup>2</sup>kWh, predstavlja osnovni motiv za regulacije napona potrošača. Održavanje tog pokazatelja na tolerantnom nivou zahteva održavanje napona na elementarnim potrošačima unutar tolerantnih granica. Te granice su obično od -5% (donja) do +5% (gornja) u odnosu na nominalnu vrednost [2]. I

## 4 ANALIZA GUBITAKA U DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA

Ostvareni ili ukupni gubici električne energije u DM predstavljaju razliku između preuzete i isporučene (prodate) električne energije. Dakle, kao potreban uslov za praćenje i analizu gubitaka neophodno je raspolagati sa mernim uređajima na mestima nabavke i isporuke električne energije. Na osnovu izračunate razlike između preuzete i isporučene energije može se proceniti da li treba unaprediti funkcionisanje DM, s obzirom na gubitke. Relativno veliki gubici predstavljaju siguran pokazatelj da to treba svakako uraditi. Međutim, tek dodatnim analizama koje za rezultat imaju razdvajanje gubitaka po naponskim nivoima ili pojedinim oblastima, mogu se ustanoviti kritična mesta, odrediti uzroci nastajanja i eventualno preduzeti mere za njihovo smanjenje. Zato je za početak potrebno detaljno predstaviti strukturu gubitaka. Gubici se prema načinu nastanka dele na:

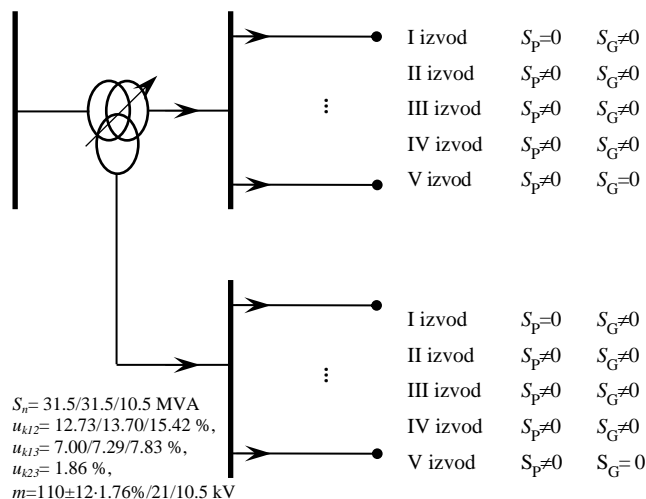
1. tehničke gubitke,
2. komercijalne gubitke [4].

## 5 NUMERIČKA VERIFIKACIJA PRORAČUNA

Cilj ovog rada je da se kroz analizu vrednosti dobijenih proračunima tokova snaga, kvantifikuje uticaj DG na režim DM. Pritom, analiziraju se različiti režimi DM, sa različitim vrednostima potrošnje potrošača i različitim vrednostima proizvodnje DG. Od ključnog interesa za korektan rad celokupnog sistem jeste kvalitetna procena režima DM [7,8].

U tu svrhu, razmatra se jednostavna DM prikazana na slici 5.1. Nju čine tronamotajni regulacioni transformator VN/SN/SN (RTr), sa po pet SN izvoda na njegovom sekundaru i tercijaru:

- I izvod - nema potrošače, na njegovom kraju je priključen distributivni generator (DG<sub>1</sub>) snage S<sub>G</sub>;
- II izvod - na kraju voda je priključen potrošač ukupne snage S<sub>P</sub> i DG<sub>2</sub> snage S<sub>G</sub>;
- III izvod - ima N jednakih ravnomerno raspoređenih potrošača ukupne snage S<sub>P</sub> i DG<sub>3</sub> na kraju voda snage S<sub>G</sub>;
- IV izvod - ima N jednakih ravnomerno raspoređenih potrošača ukupne snage S<sub>P</sub> i DG<sub>4</sub> na sredini voda;
- V izvod - na kraju voda je priključen jedan potrošač ukupne snage S<sub>P</sub>.



Slika 5.1 – Jednostavna distributivna mreža

Razmatraju se sledeći režimi:

- ukupna snaga svih potrošača na izvodima II, III i IV je međusobno jednaka S<sub>P</sub> i u zavisnosti od trenutka iznosi:

$$\begin{aligned} S_P &= 4.0 - j2.0 \text{ [MVA]} \\ S_P &= 4.0 + j2.0 \text{ [MVA]} \\ S_P &= 4.0 - j0.0 \text{ [MVA]} \end{aligned}$$

(ukupna snaga se istovremeno, jednako menja na svim izvodima sa potrošnjom);

- ukupna snaga svih potrošača na izvodima II, III i IV priključenih na tercijar za slučaj kada je S<sub>G</sub>=0 je međusobno jednaka S<sub>P</sub>''' i u zavisnosti od trenutka iznosi:

$$\begin{aligned} S_P''' &= 1.3 - j0.5 \text{ [MVA]} \\ S_P''' &= 1.3 + j0.5 \text{ [MVA]} \\ S_P''' &= 1.3 - j0.0 \text{ [MVA]} \end{aligned}$$

(ukupna snaga se istovremeno, jednako menja na svim izvodima sa potrošnjom);

- snaga DG se menja od 0 do 8 MW, DG rade sa konstantnim faktorom snage  $\cos \varphi_G = 1$  (snaga DG se istovremeno menja na svim izvodima);
- broj ravnomerno raspoređenih potrošača na izvodima III i IV je istovremeno, ili  $N=4$ , ili  $N=9$ .

U nastavku razmatra se devet primera:

1.  $S_G = 0.0 - j0.0$  [MVA]  $S_P = 4.0 - j0.0$  [MVA]
2.  $S_G = 4.0 - j0.0$  [MVA]  $S_P = 4.0 - j0.0$  [MVA]
3.  $S_G = 8.0 - j0.0$  [MVA]  $S_P = 4.0 - j0.0$  [MVA]
4.  $S_G = 0.0 - j0.0$  [MVA]  $S_P = 4.0 - j2.0$  [MVA]
5.  $S_G = 4.0 - j0.0$  [MVA]  $S_P = 4.0 - j2.0$  [MVA]
6.  $S_G = 8.0 - j0.0$  [MVA]  $S_P = 4.0 - j2.0$  [MVA]
7.  $S_G = 0.0 - j0.0$  [MVA]  $S_P = 4.0 + j2.0$  [MVA]
8.  $S_G = 4.0 - j0.0$  [MVA]  $S_P = 4.0 + j2.0$  [MVA]
9.  $S_G = 8.0 - j0.0$  [MVA]  $S_P = 4.0 + j2.0$  [MVA]

Za sve primere, razmatraju se sledeće vrednosti:

- gubici aktivne i reaktivne snage u DM i na svakom izvodu posebno;
- napon na sekundaru i tercijaru  $T_r$  i na kraju svakog izvoda;
- struja na sekundaru i tercijaru  $T_r$  i na početku izvoda.

## 5.1 N=4 – analiza

Izvodi jednostavne DM imaju po četiri ravnomerno raspoređenih potrošača na izvodima III i IV,  $N=4$ .

Ključni rezultati, za razmatranih devet primera, prikazani su u tabeli 5.1.1 i 5.1.2 U tabeli su prikazane optimalne pozicije teretnog menjača  $T_{opt}$ , vrednosti minimalne štete  $\dot{S}_{min}$ , modula napona  $V_{SN-opt}$  i modula struje  $I_{SN-opt}$  na sekundaru RTr, minimalne vrednosti napona u DM  $V_{min}$  i ukupni gubici aktivne snage  $\Delta P$ .

Tabela 5.1.1 – 10kV DM sa 4 čvora

	$T_{opt}$	$\dot{S}_{min}$ [n.j.]	$V_{SN-opt}$ [kV]	$I_{SN-opt}$ [A]	$V_{min}$ [kV]	$\Delta P$ [kW]
1.	10	33	10.09 - j1.21	144.14 - j18.36	9.94 - j1.31	61.61
2.	10	396	10.01 - j0.22	97.05 - j94.63	8.39 - j1.33	1560.6
3.	9	61	9.88 - j1.80	-403.68 - j106.30	9.51 - j1.350	1599
4.	7	5	10.10 - j1.22	150.90 - j36.72	9.99 - j1.38	70.24
5.	8	26	10.30 - j0.08	-26.15 - j23.60	10.06 - j0.48	1948
6.	7	51	10.11 - j0.76	-80.92 - j30.12	9.90 - j0.17	5063
7.	13	7	10.03 - j1.21	138.19 - j74.44	9.84 - j1.26	71.92
8.	14	93	9.91 - j0.038	15.40 - j241.50	9.26 - j0.14	667.80
9.	16	69	9.93 - j2.15	-452.40 - j345.0	9.35 - j1.85	1724.5

Tabela 5.1.2 – 20kV DM sa 4 čvora

	$T_{opt}$	$\dot{S}_{min}$ [n.j.]	$V_{SN-opt}$ [kV]	$I_{SN-opt}$ [A]	$V_{min}$ [kV]	$\Delta P$ [kW]
1.	10	30	20.32 - j2.05	454 - j58	19.38 - j2.71	459
2.	10	59	20.24 - j0.39	10 - j9.56	19.35 - j1.11	357
3.	9	66	19.65 - j2.83	-411 - j93	18.86 - j1.94	1225
4.	7	14	20.19 - j2.03	483 - j161	19.99 - j1.38	564
5.	8	22	20.90 - j0.24	1.82 - j39	20.41 - j0.88	432
6.	7	51	20.47 - j2.26	-81 - j27	20.10 - j1.06	1231
7.	13	64	20.37 - j2.11	433 - j283	19.08 - j2.33	588.
8.	14	60	20.26 - j0.07	13 - j236	18.89 - j0.42	4793
9.	16	121	20.20 - j3.41	-344 - j336	19.03 - j2.87	1679

Analiza pozicije regulacione sklopke i štete za DM za razmatranih devet primera, prikazani su u tabeli 5.1.3 U tabeli su prikazane optimalne pozicije teretnog menjača  $T_{opt}$ , vrednosti minimalne štete  $\dot{S}_{min}$  u celokupnoj DM,

vrednosti minimalne štete  $\dot{S}_{min[10kV]}$  u 10kV delu DM, vrednosti minimalne štete  $\dot{S}_{min[20kV]}$  u 20kV delu DM. Obeležene su minimalne vrednosti za 10 kV deo DM, 20 kV deo DM i celokupnu DM.

Tabela 5.1.3 – Pozicije regulacione sklopke i štete u DM

	$T_{opt}$	$\dot{S}_{min}$ [n.j.]	$T_{opt[10kV]}$	$\dot{S}_{min[10kV]}$ [n.j.]	$T_{opt[20kV]}$	$\dot{S}_{min[20kV]}$ [n.j.]
1.	10	33.00	10	3.14	10	29.86
2.	10	455.24	10	396.36	9	42.63
3.	9	126.88	9	60.90	9	65.98
4.	7	19.04	7	5.02	7	14.02
5.	7	119.35	8	58.65	7	51.25
6.	8	48.14	8	26.22	8	21.92
7.	13	71.79	13	7.80	14	55.33
8.	14	153.18	14	93.53	14	59.65
9.	16	190.64	16	69.72	15	87.09

U tabeli 5.1.4 su dati podaci o aktivnim gubicima u 10kV delu DM, aktivnim gubicima u 20kV delu DM i ukupni aktivni gubici u DM. Aktivni gubici 10kV delu DM su mnogostruko veći o odnosu na aktivne gubitke u 20kV delu DM.

Tabela 5.1.4 – Aktivni gubici u DM

	$T_{opt}$	$\Delta P$ total	$\Delta P$ total 10kV	$\Delta P$ total 20kV
1.	10	520.61	61.61	459.00
2.	10	1917.99	1560.64	357.35
3.	9	2824.77	1598.97	1225.80
4.	7	634.73	70.24	564.49
5.	7	2379.96	1947.96	432.00
6.	8	6294.34	5063.01	1231.33
7.	13	660.36	71.92	588.44
8.	14	1147.63	667.80	479.83
9.	16	3403.57	1724.48	1679.09

Na osnovu prikazanih vrednosti može se zaključiti sledeće:

- Za sve razmatrane slučajeve šteta je minimalna za pozicije oko nominalne pozicije regulacione sklopke.
- Najveći gubici u DM su kada je  $S_G = 8.0 + j0.0$  MVA i generiše se na vodovima broj 8 i broj 13.
- Za vrednost  $S_G = 4.0 + j0.0$  MVA ukupni aktivni gubici u 20kV deo DM se smanjuju dok se za 10kV deo DM aktivni gubici povećavaju.

## 5.2 N=9 – analiza

Ključni rezultati, za razmatranih devet primera, prikazani su u tabeli 5.2.1 i 5.2.2 U tabeli su prikazane optimalne pozicije teretnog menjača  $T_{opt}$ , vrednosti minimalne štete  $\dot{S}_{min}$ , modula napona  $V_{SN-opt}$  i modula struje  $I_{SN-opt}$  na sekundaru RTr, minimalne vrednosti napona u DM  $V_{min}$  i ukupni gubici aktivne snage  $\Delta P$ .

Tabela 5.2.1 – 10kV DM sa 9 čvora

	$T_{opt}$	$\dot{S}_{min}$ [n.j.]	$V_{SN-opt}$ [kV]	$I_{SN-opt}$ [A]	$V_{min}$ [kV]	$\Delta P$ [kW]
1.	10	7	10.09 - j1.20	139.01 - j17.49	9.95 - j1.30	96.82
2.	8	43	9.93 - j0.02	-3.76 - j10.32	9.48 - j0.41	574.85
3.	9	75	9.87 - j1.82	-415.61 - j0.11	9.51 - j1.36	2048.3
4.	8	44	10.01 - j1.37	217.22 - j54.58	9.38 - j1.46	388.44
5.	8	88	10.27 - j0.03	-0.20 - j17.41	9.65 - j0.20	2067.6
6.	8	123	10.12 - j0.78	-80.95 - j6.79	9.57 - j0.56	6302.8
7.	13	8	10.04 - j1.22	139.06 - j0.07	9.84 - j1.28	123.57
8.	14	84	9.93 - j53.29	0.92 - j233.78	9.28 - j127.64	745.74
9.	15	99	9.82 - j1.95	-367.51 - j333	9.22 - j1.65	2226.4

Tabela 5.2.2 – 20kV DM sa 9 čvora

	$T_{opt}$	$\dot{S}_{min}$ [n.j.]	$V_{SN-opt}$ [kV]	$I_{SN-opt}$ [A]	$V_{min}$ [kV]	$\Delta P$ [kW]
1.	10	36.98	20.32 – j2.05	455.32 – j57.50	19.38 – j2.70	432.08
2.	8	43.15	19.87 – j0.05	20.98 – j10.02	18.97 – j0.82	336.06
3.	9	80.37	19.63 – j2.84	-400.66 – j92.	18.85 – j1.94	1057.82
4.	8	19.10	20.19 – j2.32	485.20 – j155	19.55 – j3.42	529.12
5.	8	25.65	20.83 – j0.09	4.36 – j40.41	20.38 – j1.23	398.15
6.	8	79.41	20.56 – j2.26	-78.66 – j28.22	20.19 – j1.08	1062.26
7.	13	77.17	20.39 – j2.12	433.34 – j283	19.11 – j2.34	553.12
8.	14	69.66	20.27 – j0.05	23.05 – j241.05	19.00 – j0.39	439.22
9.	15	91.54	19.94 – j3.03	-355.05 – j322	18.78 – j2.49	1144.58

Analiza pozicije regulacione sklopke i štete za DM za razmatranih devet primera, prikazani su u tabeli 5.2.3 U tabeli su prikazane optimalne pozicije teretnog menjača  $T_{opt}$ , vrednosti minimalne štete  $\dot{S}_{min}$  u celokupnoj DM, vrednosti minimalne štete  $\dot{S}_{min[10kV]}$  u 10kV delu DM, vrednosti minimalne štete  $\dot{S}_{min[20kV]}$  u 20kV delu DM. Obeležene su minimalne vrednosti za 10kV deo DM, 20kV deo DM i celokupnu DM.

Tabela 5.2.3 – Pozicije regulacione sklopke i štete u DM

	$T_{opt}$	$\dot{S}_{min}$ [n.j.]	$T_{opt[10kV]}$	$\dot{S}_{min[10kV]}$ [n.j.]	$T_{opt[20kV]}$	$\dot{S}_{min[20kV]}$ [n.j.]
1.	10	44.37	10	7.39	10	36.98
2.	8	86.47	8	43.32	8	43.15
3.	9	155.70	9	75.33	9	80.37
4.	8	63.09	8	43.98	8	19.10
5.	8	114.06	8	88.41	8	25.65
6.	8	202.62	8	123.21	8	79.41
7.	13	85.92	13	8.76	13	77.17
8.	14	154.49	14	84.83	14	69.66
9.	15	191.10	15	99.56	15	91.54

U tabeli 5.2.4 dati su podaci o aktivnim gubicima u 10kV delu DM, aktivnim gubicima u 20kV delu DM i ukupni aktivni gubici u DM. Aktivni gubici 10kV delu DM su mnogostruko veći o odnosu na aktivne gubitke u 20kV delu DM.

Tabela 5.2.4 – Aktivni gubici u DM

	$T_{opt}$	$\Delta P$ total	$\Delta P$ total 10kV	$\Delta P$ total 20kV
1.	10	528.9	96.82	432.08
2.	8	910.91	574.85	336.06
3.	9	3106.08	2048.36	1057.82
4.	8	917.56	388.44	529.12
5.	8	2465.78	2067.63	398.15
6.	8	7365.08	6302.82	1062.26
7.	13	676.69	123.57	553.12
8.	14	1184.96	745.74	439.22
9.	15	3371.01	2226.43	1144.58

Na osnovu prikazanih vrednosti može se zaključiti:

- Za sve razmatrane slučajeve šteta je minimalna za pozicije oko nominalne pozicije regulacione sklopke.
- Najveći gubici u DM su kada je  $S_G = 8.0 + j0.0$  MVA i generiše se na vodovima broj 8 i broj 13.
- Za vrednost  $S_G = 4.0 + j0.0$  MVA ukupni aktivni gubici u DM se smanjuju u 20kV delu DM dok se u 10kV delu mreže povećavaju i za sva tri tipa potrošača.
- Aktivni gubici u 10kV delu DM su mnogostruko veći u odnosu na 20kV deo DM.

## 6 ZAKLJUČAK

Velike transformacije se dešavaju u celokupnom elektroenergetskom sektoru.

Posebno velike promene trpe DM, one od tradicionalno pasivnih postaju sve više aktivne mreže. Novi uređaji i tehnologije koje te promene donose čine DM sve kompleksnijom, sve težom za upravljanje, analizu, regulaciju i planiranje. Na primeru jednostavne DM analiziran je uticaj DG na regulaciju napona i štetu koju potrošači trpe usled odstupanja napona od nominalne vrednosti.

Na osnovu dobijenih rezultata može da se zaključi sledeće:

- šteta raste sa porastom odstupanja napona od nominalne vrednosti;
- minimalna šteta za 10 kV i za 20 kV deo mreže nije za istu poziciju regulacione sklopke;
- sa porastom snage DG smanjuju se gubici u mreži, ali samo do određenih granica, npr. za snagu od 8 MW gubici u mreži se povećavaju;
- za iste parametre vodova, gubici su veći u 10 kV mreži u odnosu na 20 kV mrežu;

## 7 LITERATURA

1. G.Švenda: Specijalizovani softveri u elektroenergetici, skripta sa predavanja iz istoimenog predmeta na master studijama, Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, 2019.
2. G.Švenda, Z.Simendić: Adaptive On-Load Tap-Changing Voltage Control for Active Distribution Networks; *Electrical Engineering*, vol. 104, pp. 1041-1056, August 2021. DOI: [10.1007/s00202-021-01357-8](https://doi.org/10.1007/s00202-021-01357-8)
3. G.S.Švenda, Z.Simendic, V.Strezoski: Advanced Voltage Control Integrated in DMS, *Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 43, Issue 1, December 2012, pp. 333-343; DOI: [10.1016/j.ijepes.2012.05.014](https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.05.014)
4. J.Quiros-Tortos, L.F.Ochoa, S.W.Alnaser, et al.: Control of EV charging points for thermal and voltage management of LV networks, *IEEE Trans. on PS*, vol. 31, pp. 3028-3039, July 2016. DOI: [iee.org/document/7239654](https://doi.org/10.1109/tpwrs.2016.2596554)
5. S.Hashemi, J.Østergaard: Methods and strategies for overvoltage prevention in low voltage distribution systems with PV, *IET Renew. Power Gener.*; vol. 11, pp. 205-214, November 2016. DOI: [10.1049/iet-rpg.2016.0277](https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2016.0277)
6. A.Ul-Haq, C.Cecati, K.Strunz, et al: Impact of Electric Vehicle Charging on Voltage Unbalance in an Urban Distribution Network; *Intell. Ind. Syst.*, vol 1, pp. 51-60, May 2015. DOI: [10.1007/s40903-015-0005-x](https://doi.org/10.1007/s40903-015-0005-x)
7. G.Švenda, V.Strezoski, S.Kanjuh: Real-life distribution state estimation integrated in the distribution management system, *Int. Trans. Electrical Energy Systems*, Vol. 27, Issue 5, e2296, May 2017, pp. 1-16; DOI: [10.1002/etep.2296](https://doi.org/10.1002/etep.2296)
8. G.Švenda, S.Kanjuh: Automatically Generated Three-Phase State Estimation for Unbalanced Distribution Power Grids; *IEEE PESGM 2021*, No. 21PESGM2111, July 26-29 2021, USA; DOI: [10.1109/PESGM46819.2021.9638188](https://doi.org/10.1109/PESGM46819.2021.9638188)

### Kratka biografija:



**Miloš Petrović** rođen je u Novom Sadu 1994. godine. Osnovne studije završio na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i Računarstvo – Elektroenergetski sistemi 2017. god. i 2017. god. upisao master studije na istom fakultetu