

## **ANALIZA UTICAJA PRIKLJUČENJA FOTONAPONSKIH SISTEMA NA FUNKCIONISANJE MREŽE NISKOG NAPONA**

M. MARKOVIĆ, Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Srbija  
S. MINIĆ, Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Srbija  
M. IVANOVIĆ, Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Srbija

### **UVOD**

U ovom radu je sagledan uticaj priključenja fotonaponskih sistema na mrežu niskog napona. Izvršeni su proračuni za različita stacionarna stanja u mreži i analizirani efekti priključenja na naponske prilike i gubitke, za modele gradske i seoske niskonaponske mreže. Opterećenje modelovano u mreži raspoređeno je po kupcima električne energije, srazmerno ukupnim utrošenim energijama tokom godine. Razmatran je režim maksimalnog i minimalnog opterećenja, pri čemu je minimalno opterećenje definisano kao 25% maksimalnog opterećenja. Sa stanovišta priključenja fotonaponskih sistema, akcenat je na stavljen na režim minimalnog opterećenja zato što fotonaponski sistemi nisu u mogućnosti da utiču na vršno opterećenje u ranim večernjim satima. Sagledan je uticaj varijacije mesta priključenja fotonaponskih sistema na mrežu, broja solarnih modula (snage 5 kW po modulu). Analizirano je funkcionisanje niskonaponske mreže u opisanim uslovima kao i nivo injektiranja koji mreža može da podnese sa aspekta naponskih prilika i nivoa opterećenja.

### **ANALIZA FUNKCIONISANJA KONZUMA U OSNOVNOM STANJU I OSNOVNE PRETPOSTAVKE ZA ANALIZU PRIKLJUČENJA**

Za potrebe izrade Studije (3), kupci električne energije su locirani na georeferenciranoj digitalizovanoj geografskoj podlozi i pridruženi svojim napojnim trafostanicama 10/0.4 kV. Uticaj priključenja fotonaponskih sistema na nivo opterećenja i naponske prilike sagledan je na modelu mreže niskog napona koju, preko osam izvoda, napaja TS 10/0.4 kV Tulbe (1 x 630 kVA, 10/0.42 kV/kV) na području Vranja. Ova TS preko 353 priključaka napaja 432 kupca električne energije, pretežno iz kategorije domaćanstava (95%). Ukupna obračunata energija konzuma ove TS iznosi 2 727 135 kWh na godišnjem nivou.

Za kompenzaciju reaktivne energije u trafostanicama SN/NN, koje napajaju široku potrošnju, koriste se neupravljive baterije kondenzatora. Praksa je da se regulatori napona gradskih i prigradskih TS 10/0.4 kV postavljaju u neutralan položaj (prenosni odnos 10/0.42 kV/kV) kao i da se, jednom podešen, prenosni odnos ne menja. Regulacija napona distributivne mreže se vrši u TS 110/35 kV i TS 110/10 kV.

Karakteristika radialno napajanih mreža je da napon opada sa udaljavanjem od napojne TS. Zavisno od opterećenja napojnog voda i udaljenosti od napojne TS SN/NN, napon u razmatranoj tački mreže niskog napona može biti niži od propisanom minimuma.

Prema važećoj Uredbi o uslovima isporuke električne energije (4), nominalna vrednost međufaznog napona u niskonaponskoj mreži iznosi 400 V, pri čemu dozvoljeno odstupanje napona iznosi  $\pm 10\% U_N$ . Po formiranju test mreže izvršen je proračun tokova snaga i naponskih prilika za režime sa minimalnim i maksimalnim opterećenjem, pri nominalnom naponu na sabirnicama 10 kV u TS 10/0.4 kV Tulbe. Rezultati analize su prikazani u TABELI 1 i TABELI 2.

Rezultati su sagledani uzimajući u obzir strukturu i obim mreže koju svaki od izvoda napaja. Kao interesantni slučajevi za razmatranje izdvojili su se izvodi 1 i 6. Za njih je karakteristično da je pad napona, u minimalnom režimu, blizak vrednosti od dozvoljenih 5%. Izvod 6 je skoro za trećinu duži od izvoda 1.

U realnom slučaju, na odluku kupca električne energije da ugradnjom fotonaponskih sistema umanja svoju potrošnju i postane proizvođač električne energije, neće uticati njegov položaj u mreži niti da li je nivo napona koji mu se isporučuje iz distributivnog sistema u propisanim granicama, kao ni nivo gubitaka u mreži niskog napona (gubici se tiču samo operatera distributivnog sistema). Može se samo pretpostaviti da kupci električne energije sa velikom potrošnjom energije mogu sebi da priušte ulaganje u fotonaponske sisteme, sa željom da im se investicija isplati. Najveći kupac iz kategorije domaćinstava na razmatranom konzumu identifikovan je na Izvodu 1. Njegova potrošnja je oko 15% veća od godišnje potrošnje energije najvećeg kupca električne energije na Izvodu 6.

Izvod 1 je najopterećeniji izvod u mreži i gubici po jedinici dužine su najveći na ovom izvodu. Uzevši rezultate sprovedenih analiza u obzir, kao i okvirno razmatranje ponašanja kupaca električne energije, odabrano je da se provera uticaja priključenja fotonaponskih sistema analizira na konzumu Izvoda 1.

Na SLICI 1 (A) dat je naponski profil Izvoda 1 od napojne TS 10/0.4 kV do najudaljenijeg priključka. U režimu minimalnog opterećenja, naponske prilike na izvodu su u okviru propisanih ograničenja, dok je, za režim maksimalnog opterećenja, pad napona izvan dozvoljenih okvira -10% (360 V), na oko 240 m od TS.

Razmatrano je priključenje fotonaponskih sistema na četiri mesta na Izvodu 1: priključak najudaljenijeg kupca, priključak najvećeg kupca, priključak kupca koji se nalazi na polovini izvoda, odnosno na četvrtini izvoda, bliže napojnoj TS.

TABELA 1 - TOKOVI SNAGA I NAPONSKE PRILIKE PO 0.4 KV IZVODIMA IZ TS 10/0.4 KV TULBE PRI MAKSIMALNOM OPTEREĆENJU

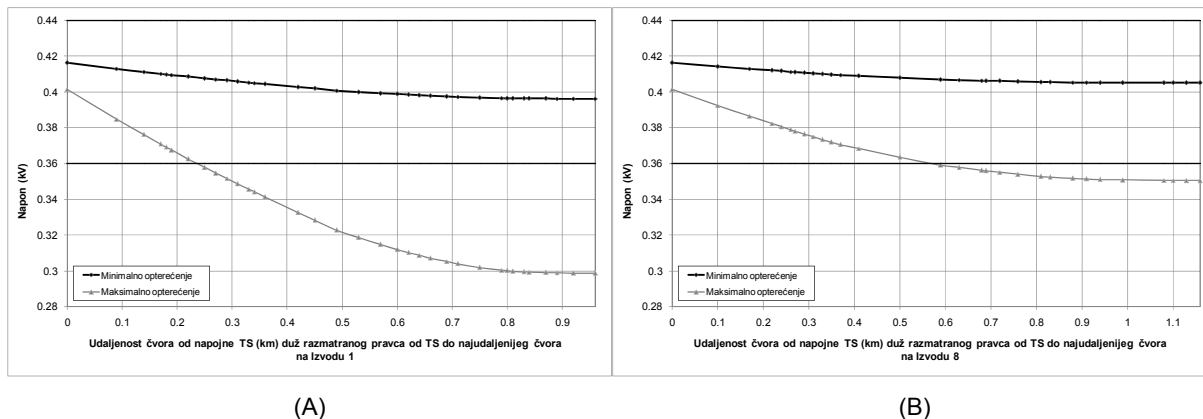
Izvod	Modelovano opterećenje		U <sub>min.</sub> (kV)	ΔU (%) (~ U na 0.4 kV u TS)	Tok po izvodnoj deonici		Ukupni gubici na izvodu		Dužina mreže na izvodu (km)
	P (kW)	Q (kVAr)			P (kW)	Q (kVAr)	P <sub>g</sub> (%)	Q <sub>g</sub> (%)	
1	259.679	81.606	0.2987	25.6%	322.610	106.040	19.5%	23.0%	2.00
2	134.661	42.316	0.3755	6.5%	141.180	44.848	4.6%	5.6%	1.35
3	66.799	20.993	0.3933	2.1%	67.621	21.312	1.2%	1.5%	0.64
4	9.083	2.854	0.4014	0.0%	9.087	2.855	0.0%	0.0%	0.03
5	194.400	61.095	0.3461	13.8%	216.670	69.742	10.3%	12.4%	1.83
6	253.397	79.637	0.2876	28.4%	326.810	108.150	22.5%	26.4%	2.97
7	29.382	9.232	0.3994	0.5%	29.498	9.277	0.4%	0.5%	0.26
8	143.449	45.080	0.3505	12.7%	158.200	50.809	9.3%	11.3%	1.93
	Σ	Σ	min.	max.	max.	max.	max.	max.	Σ
	1090.850	342.813	0.2876	28.4%	326.810	108.150	22.5%	26.4%	11.01

TABELA 2 - TOKOVI SNAGA I NAPONSKE PRILIKE PO 0.4 KV IZVODIMA IZ TS 10/0.4 KV TULBE PRI MINIMALNOM OPTEREĆENJU

Izvod	Modelovano opterećenje		U <sub>min.</sub> (kV)	ΔU (%) (~ U na 0.4 kV u TS)	Tok po izvodnoj deonici		Ukupni gubici na izvodu		Dužina mreže na izvodu (km)
	P (kW)	Q (kVAr)			P (kW)	Q (kVAr)	P <sub>g</sub> (%)	Q <sub>g</sub> (%)	
1	64.918	20.400	0.3963	4.8%	67.340	21.341	3.6%	4.4%	2.00
2	33.668	10.581	0.4104	1.4%	34.017	10.716	1.0%	1.3%	1.35
3	16.703	5.249	0.4144	0.5%	16.750	5.267	0.3%	0.3%	0.64
4	2.271	0.714	0.4163	0.0%	2.271	0.714	0.0%	0.0%	0.03
5	48.600	15.274	0.4043	2.9%	49.669	15.689	2.2%	2.6%	1.83
6	63.358	19.914	0.3948	5.2%	66.020	20.948	4.0%	4.9%	2.97
7	7.346	2.309	0.4159	0.1%	7.353	2.312	0.1%	0.1%	0.26
8	35.148	11.045	0.4051	2.7%	36.585	11.550	3.9%	4.4%	1.93
	Σ	Σ	min.	max.	max.	max.	max.	max.	Σ
	272.012	85.486	0.3948	5.2%	67.340	21.341	4.0%	4.9%	11.01

Za analizu uticaja priključenja fotonaponskih sistema usvojena je snaga fotonaponskog modula od 5 kW. Varijacijom broja priključenih modula (snage 5 kW), utvrđuje se granica injektirane snage sa stanovišta naponskih ograničenja: broj modula se povećava sve dok se na mestu priključenja ne pojavi napon viši od  $1.1 U_N$ .

Ista analiza sprovedena je i za Izvod 8 (naponski profil ovog izvoda dat je na SLICI 1 (B)), čije je opterećenje skoro dva puta manje od opterećenja Izvoda 1, kao i broj kupaca električne energije. Izvod 8 napaja prilično razuđen konzum, koji po izgledu i načinu funkcionisanja liči na prigradski/ruralni konzum.



SLIKA 1 - NAPONSKI PROFIL IZVODA 1 (A) I IZVODA 8 (B) OD TS 10/0.4 KV U PRAVCU NAJUDALJENIJEG POTROŠAČA ZA MINIMALNO I MAKSIMALNO MODELOVANO OPTEREĆENJE

## FUNKCIONISANJE KONZUMA SA PRIKLJUČENIM FOTONAPONSKIM SISTEMIMA NA IZVODU 1

Zbog prirode fotonaponskih sistema, njihovo maksimalno generisanje koincidira sa nivoom usvojenog minimalnog opterećenja mreže (letnji režimi opterećenja). Po priključenju fotonaponskog sistema na mrežu niskog napona može se očekivati poboljšanje naponskih prilika, ali i problem napona većeg od dozvoljenog. Stoga će rezultati analize režima minimalnog opterećenja dati granične okvire za mogućnost priključenja fotonaponskih sistema na mrežu niskog napona.

### *Priključenje fotonaponskog sistema na najudaljeniji priključak na Izvodu 1*

Čvor sa najnižim naponom na Izvodu 1, ( $U_l = 0.396$  kV,  $\Delta u = 4.82\%$  u odnosu na nivo napona na sabirnicama 0.4 kV u TS 10/0.4 kV i  $\Delta u = 0.93\% U_N$ ), je istovremeno i najudaljeniji od TS 10/0.4 kV (0.96 km). Povećanjem broja fotonaponskih modula snage 5 kW, utvrđena je promena naponskog profila Izvoda 1.

Posle priključenja 9 modula (45 kW), napon na mestu priključenja je i dalje ispod granice od 420 V, dok je moguće maksimalno priključiti 18 modula snage od po 5 kW, ukupno 90 kW, tako da napon na mestu priključenja ne bude veći od 440 V. Utvrđeno je da, u proseku, priključenje modula povećava napon na sabirnicama 0.4 u TS 10/0.4 kV za oko 0.0055%. U slučaju priključenja maksimalne snage fotonaponskog sistema sa stanovišta dozvoljenih napona u NN mreži (90 kW), napon na sabirnicama 0.4 kV u napojnoj TS će porasti na 416.8 V, a minimalni napon na konzumu celokupne TS iznosiće 395.2 kV. Generisanje 14 modula, ukupne snage 70 kW, pokriva potrošnju celokupnog Izvoda 1. Daljim priključivanjem modula, menja se smer toka snage na početnoj deonici izvoda.

### *Priključenje fotonaponskog sistema na priključak kupca sa najvećom potrošnjom na Izvodu 1*

Kupac sa najvećom potrošnjom električne energije (koji se napaja sa Izvoda 1), nalazi se na oko 3/4 dužine izvoda od napojne TS 10/0.4 kV. Priključenje 5 modula (25 kW) je bilo dovoljno da se pokrije potrošnja na konzumu iza mesta priključenja, te se tok snage menja, od mesta priključenja ka napojnoj TS. Posle priključenja 11 modula (55 kW), TS napaja potrošače do prve četvrtine Izvoda 1. Napon na mestu priključenja dostiže vrednost 419.3 V za 12 modula ukupne snage 60 kW. U ovom slučaju, napon od 439.1 V dostiže se priključenjem 24 modula (120 kW). Priključenje svakog modula, u proseku povećava napon na sabirnicama 0.4 u TS 10/0.4 kV za oko 0.0053%. Budući da je ukupna dozvoljena snaga fotonaponskog sistema u ovom slučaju 120 kW, napon u TS je povećan sa 416.4 V na 416.9 V a minimalni napon na celokupnom konzumu na 394.4 V.

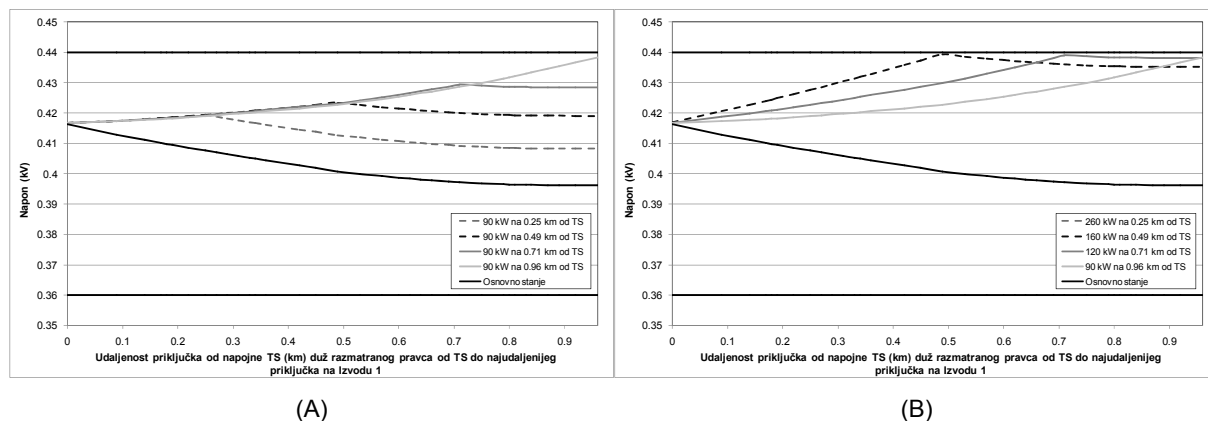
### Priključenje fotonaponskog sistema na priključak na polovini Izvoda 1

Sledeće mesto priključenja koje se analizira nalazi se na polovini Izvoda 1. Raspodela opterećenja duž izvoda je takva da priključenje 50 kW pokriva potrošnju preostalog dela izvoda i gubitke. Do dostizanja napona od 419.9 V na mestu priključenja, moguće je injektirati 75 kW. Maksimalno je moguće priključiti 160 kW, odnosno 32 modula. Pritom, napon na mestu priključenja iznosi 439.4 V. Uticaj svakog priključenog modula na nivo napona van samog Izvoda 1 je istovetan kao u prethodna dva slučaja, a za maksimalni nivo generisanja, napon na sabirnicama u TS je povećan na 416.9 V, a minimalni napon iznosi 395.4 V.

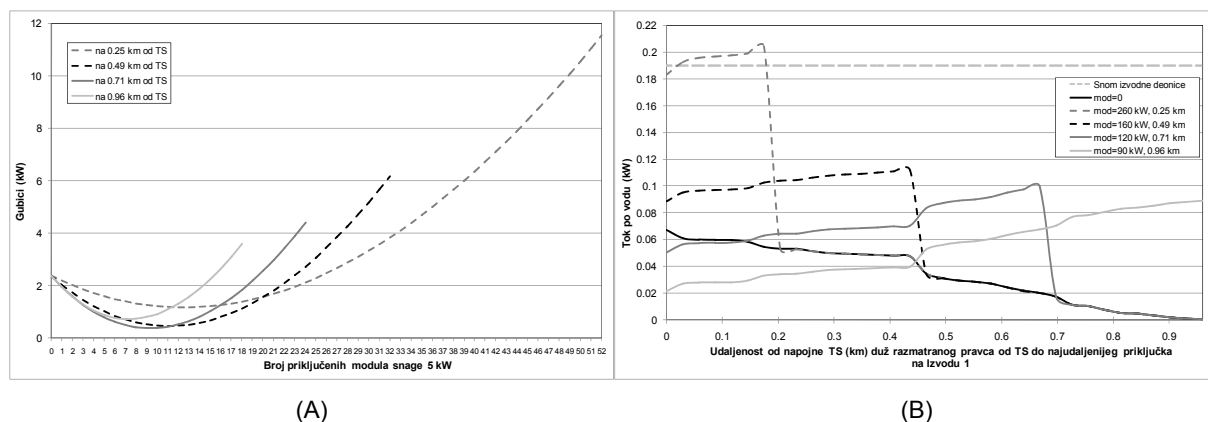
### Priključenje fotonaponskog sistema na priključak na četvrtini Izvoda 1

Poslednji ispitivani slučaj je mesto priključenja najbliže napojnoj TS, na udaljenosti oko 0.25 km. Opterećenja su takva da generisanje od 70 kW pokriva opterećenje izvoda i gubitke. Svaki modul snage 5 kW koji se instalira iznad ove vrednosti na samoj izvodnoj deonici menja tok snage ka napojnoj TS. Instaliranjem 18 modula ukupne snage 90 kW, napon na mestu priključenja je 419.4 V, dok se pri priključenju 260 kW (52 modula) dostiže napon od 439.7 V. U tom slučaju, napon na sabirnicama u TS povećan je na 417.4 V, a minimalni napon u mreži iznosi 395.9 V. Iznos od 260 kW je 90% snage koju zahteva razmatrani konzum TS 10/0.4 kV (opterećenje i gubici).

Na SLICI 2 je prikazano poređenje rezultata analiza za razmatrana mesta priključenja u slučaju da je (A) instalisano 90 kW (18 modula), dobijenih kao granična vrednost generisanja kada je fotonaponski sistem priključen na kraj niskonaponskog izvoda i (B) instalisana maksimalna snaga. Iznos gubitaka aktivne snage na Izvodu 1 za četiri razmatrana mesta priključenja fotonaponskog sistema, u zavisnosti od broja priključnih modula prikazan je na SLICI 3 (A), a na dijagramu (B) iznos toka po deonicama razmatranog pravca izvoda u slučaju priključenja maksimalno dozvoljene snage fotonaponskog sistema.



SLIKA 2 - NAPONSKI PROFIL IZVODA 1 ZA ČETIRI RAZMATRANA MESTA PRIKLJUČENJA U SLUČAJU PRIKLJUČENJA: (A) 90 kW (18 MODULA); (B) MAKSIMALNO DOZVOLJENE SNAGE



SLIKA 3 - ZA ČETIRI RAZMATRANA MESTA PRIKLJUČENJA NA IZVODU 1: (A) PROMENA GUBITAKA NA RAZLIČIT BROJ PRIKLJUČENIH MODULA; (B) TOK PO DEONICAMA RAZMATRANOG PRAVCA ZA MAKSIMALNO DOZVOLJENU SNAGU FOTONAPONSKOG SISTEMA

Na osnovu rezultata analiza može se zaključiti:

- Što je mesto priključenja bliže TS 10/0.4 kV, moguće je priključiti veću snagu fotonaponskog sistema.
- Nezavisno od udaljenosti mesta priključenja od TS 10/0.4 kV, priključenje pojedinačnog modula u istom koraku utiče na povećanje napona na sabirnicama 0.4 kV u TS.
- Priključenjem na većoj udaljenosti od TS, naponske prilike na izvodu se poboljšavaju za manji broj priključenih modula.
- Najveći efekat sa stanovišta smanjenja gubitaka postiže se priključenjem fotonaponskih sistema na trećoj četvrtini NN izvoda. Priključenjem fotonaponskog sistema u maksimalno dobijenim iznosima dovodi do povećanja gubitaka u mreži niskog napona, ali treba imati u vidu da je ovo povećanje kompenzovano smanjenjem gubitaka u mreži viših naponskih nivoa.
- Sa stanovišta nivoa opterećenja ili preopterećenja elementa mreže niskog napona (SLIKA 3 (B)), uočava se da generisanje fotonaponskih sistema za različita mesta priključenja uvek dovodi do povećanja nivoa opterećenja deonice Izvoda 1 duž razmatranog pravca. Najpovoljnije mesto priključenja je treća četvrtina NN izvoda.
- Najnepovoljnije mesto priključenja je na prvoj četvrtini izvoda jer može rezultirati preopterećenjem početnih deonica izvoda.

## **FUNKCIONISANJE KONZUMA SA PRIKLJUČENIM FOTONAPONSKIM SISTEMIMA NA IZVODU 8**

Analize spovedene za Izvod 1 biće ponovljene za slučaj priključenja fotonaponskih sistema na Izvodu 8.

### *Priključenje fotonaponskog sistema na najudaljeniji priključak na Izvodu 8*

Udaljenost poslednjeg priključka na Izvodu 8 iznosi 1.16 km; napon u ovoj tački iznosi 405.1 V a pod napona  $\Delta u=2.7\%$ , u odnosu na nivo napona na sabirnicama 0.4 kV u TS 10/0.4 kV. Posle priključenja 5 modula (25 kW), napon na mestu priključenja iznosi 419.7 V. Ustanovljeno je da je moguće priključiti maksimalno 12 modula (60 kW), tako da napon na mestu priključenja bude manji od 440 V. Pritom, napon na sabirnicama 0.4 kV u TS 10/0.4 kV iznosi 416.4 V (pre priključenja 416.4 V) a minimalni napon 395.1 V (394.8 V pre priključenja). Priključenje svakog modula, u proseku povećava napon na sabirnicama 0.4 u TS 10/0.4 kV za oko 0.005%.

### *Priključenje fotonaponskog sistema na priključak na trećoj četvrtini Izvoda 8*

Na oko 3/4 udaljenosti od napojne TS, razmatrano je priključenje fotonaponskog sistema. Priključenje 2 modula (10 kW) je bilo dovoljno da se pokrije potrošnja na konzumu iza mesta priključenja. U ovom slučaju bilo je moguće priključiti četiri modula više nego u prethodnom, ukupno 80 kW snage. Priključenje svakog modula u proseku povećava napon na sabirnicama 0.4 u TS 10/0.4 kV za oko 0.005%. Budući da je ukupna dozvoljena snaga fotonaponskog sistema u ovom slučaju 80 kW, napon u TS je povećan na 416.7 V, a minimalni napon na celokupnom konzumu na 395.2 V.

### *Priključenje fotonaponskog sistema na priključak na polovini Izvoda 8*

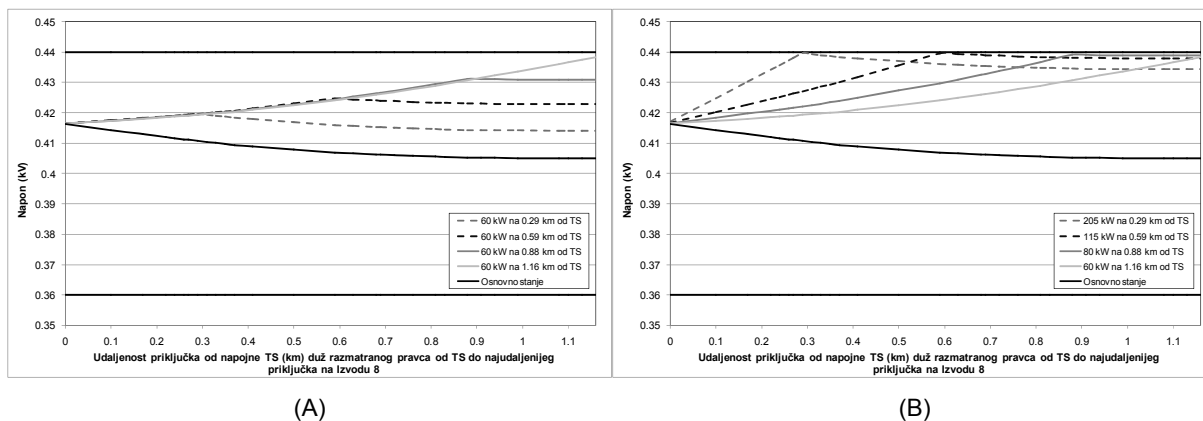
Sledeće mesto priključenja nalazi se na polovini Izvoda 8. Raspodela opterećenja duž izvoda je takva da se ugradnjom 16 kW pokriva potrošnja preostalog dela izvoda i gubici. Moguće je priključiti 115 kW a da napon bude manji od 440 V. Uticaj svakog priključenog modula na nivo napona na ostalim izvodima je u istovetan kao u prethodna dva slučaja. Za maksimalan nivo generisanja napon na sabirnicama u TS je povećan na 416.9 V, a minimalni napon u mreži na 395.3 V.

### *Priključenje fotonaponskog sistema na priključak na četvrtini Izvoda 8*

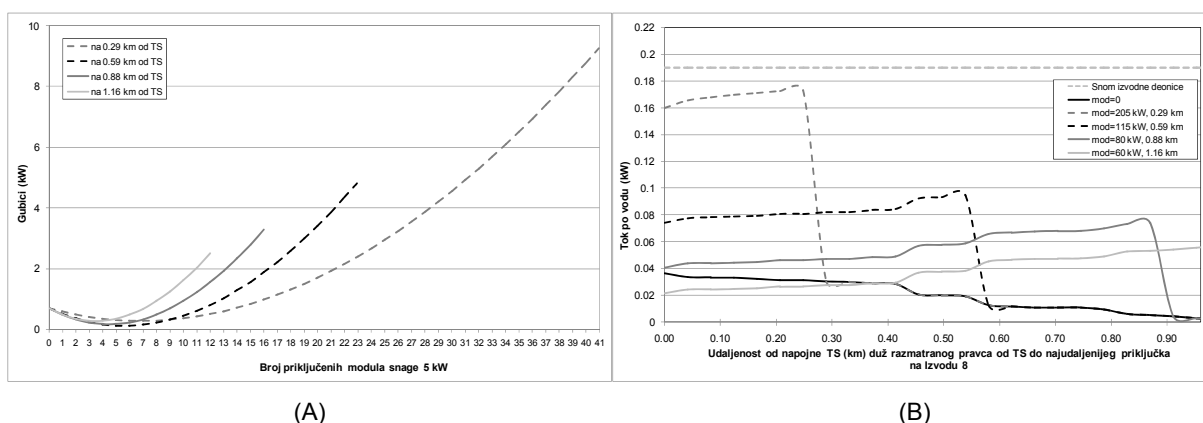
Poslednji razmatrani slučaj je priključenje fotonaponskog sistema najbliže napojnoj TS, na udaljenosti od oko 290 m od napojne TS 10/0.4 kV. Stanje konzuma je takvo da generisanje 35 kW snage na ovoj udaljenosti praktično pokriva opterećenje izvoda i gubitke. Priključenjem 12 modula (60 kW) napon na mestu priključenja iznosi 419.8 V. Granični slučaj sa stanovišta maksimalne vrednosti napona na mestu priključenja dobija se instaliranjem 41 modula ukupne snage 205 kW. U ovom slučaju napon na sabirnicama u TS povećan je na 417.2 V, a minimalni napon u mreži na 395.7 V.

Na SLICI 4 (A) je prikazano poređenje rezultata analiza za razmatrana mesta priključenja u slučaju da je instalirano 60 kW (12 modula), kao granične vrednosti generisanja kada je fotonaponski sistem priključen na kraj NN Izvoda 8, a na dijagramu (B) naponski profil Izvoda 8 kada je priključen maksimalno dozvoljeni iznos generisanja fotonaponskog sistema. Iznos gubitaka aktivne snage na

Izvodu 8 za četiri razmatrana mesta priključenja fotonaponskog sistema, u zavisnosti od broja modula prikazan je na SLICI 5 (A), dok dijagram (B) prikazuje vrednosti toka po deonicama razmatranog pravca izvoda.



SLIKA 4 - NAPONSKI PROFIL IZVODA 8 ZA ČETIRI RAZMATRANA MESTA PRIKLJUČENJA U SLUČAJU PRIKLJUČENJA: (A) 60 kW (12 MODULA); (B) MAKSIMALNO DOZVOLJENE SNAGE



SLIKA 5 - ZA ČETIRI RAZMATRANA MESTA PRIKLJUČENJA NA IZVODU 8: (A) PROMENA GUBITAKA NA RAZLIČIT BROJ PRIKLJUČENIH MODULA; (B) TOK PO DEONICAMA RAZMATRANOG PRAVCA ZA MAKSIMALNO DOZVOLJENU SNAGU FOTONAPONSKOG SISTEMA

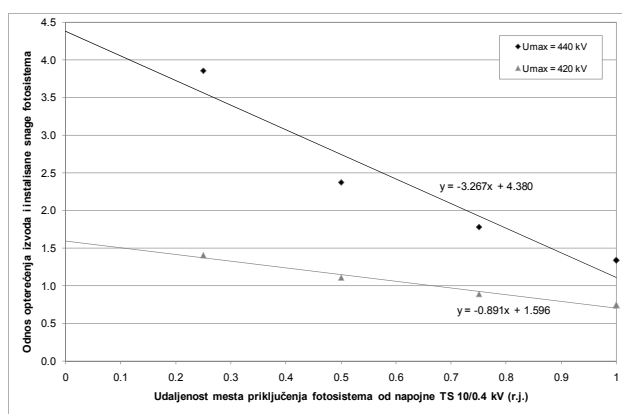
## ZAKLJUČAK

Izvršene su analize mogućnosti priključenja fotonaponskih sistema na mrežu niskog napona na konzumu odabrane TS 10/0.4 kV. Analiziran je režim sa minimalnim opterećenjem (25% maksimalnog opterećenja) pod pretpostavkom da ovako definisano minimalno opterećenje najverovatnije u koincidenciji sa trenutkom maksimalnog generisanja fotonaponskog sistema. Istovremeno, pojava proizvodnje električne energije na niskom naponu bez postojanja bilo kakvog vida prenaponske zaštite kupaca potencijalno ugrožava instalacije niskog napona i ljudske živote.

Rezultati sprovedenih analiza su pokazali sledeće.

- Mogućnost priključenja određene snage fotonaponskog sistema na izvodu niskog napona određena je nivoom i rasporedom opterećenja izvoda kao i udaljenošću mesta priključenja od napojne TS 10/0.4 kV. Što je mesto priključenja bliže napojnoj TS, moguće je priključiti veću snagu fotonaponskog sistema. Na SLICI 6 dat je prikaz uprosečenog odnosa opterećenja izvodne deonice i snage fotonaponskog sistema koji je moguće priključiti u zavisnosti od udaljenosti mesta priključenja od TS 10/0.4 kV. Na osnovu SLIKE 6, ukoliko se kao gornja granica napona usvoji  $+10\% U_N$ , može se zaključiti da je, u proseku, na početku izvoda moguće priključenje fotonaponskog sistema čije je snaga 4.38 puta veća od opterećenja izvodne deonice (u režimu minimalnog opterećenja). Povećanjem udaljenosti mesta priključenja od napojne TS 10/0.4 kV za 10%, maksimalna snaga fotonaponskog sistema, u proseku opada za po 7.5%. Konačno, u najudaljenijoj tački izvoda, moguće je priključenje fotonaponskog sistema čija je instalisana snaga oko 110% opterećenja izvodne deonice.

- Imajući u vidu da je gornja granična vrednost napona od 440 V dosta visoka, na SLICI 6 je prikazan i dijagram za gornju graničnu vrednost napona od 420 V. U ovom slučaju bi na početku izvoda bilo moguće priključenje fotonaponskog sistema čije je snaga jednaka 159% opterećenja izvodne deonice (u režimu minimalnog opterećenja). Povećanjem udaljenosti mesta priključenja od napojne TS 10/0.4 kV za 10% maksimalna snaga fotonaponskog sistema u proseku opada za po 5.6%. Konačno, u najudaljenijoj tački izvoda, moguće je priključenje fotonaponskog sistema čija je instalisana snaga oko 70% opterećenja izvodne deonice.
- Uticaj priključenja fotonaponskog sistema na promene napona na sabirnicama 0.4 kV u napojnoj TS 10/0.4 V je relativno mali, a samim tim i na naponske prilike na ostalim izvodima niskog napona iste TS.
- Za razmatrani raspored opterećenja, u režimu minimalnog opterećenja, efekti priključenja sa aspekta poboljšanja naponskih prilika i smanjenja gubitaka su najveći u slučaju priključenja fotonaponskog sistema na delu izvoda od polovine do treće četvrtine, ukoliko se za gornju graničnu vrednost napona usvoji 420 V. Ukoliko se za gornju graničnu vrednost napona usvoji 440 V (4), priključenje graničnih vrednosti snaga fotonaponskih sistema dovodi do povećanja gubitaka u mreži niskog napona. Treba imati u vidu da bi generisanje na niskom naponu, pored povećanja gubitaka u mreži 0.4 kV, uticalo na smanjenje gubitaka u mreži viših naponskih nivoa.
- Sa stanovišta nivoa opterećenja ili preopterećenja elementa mreže niskog napona, u slučaju da je generisanje fotonaponskog sistema maksimalno, može se očekivati povećanje nivoa opterećenja deonice izvoda niskog napona na koji je fotonaponski sistem priključen. Najpovoljnije je priključenje na delu treće četvrtine niskonaponskog izvoda, a veoma nepovoljno na prvoj četvrtini jer može rezultirati veoma visokim opterećenjem i preopterećenjem prvih nekoliko izvodnih deonica.



SLIKA 6 - FORMIRANA PROMENA ODNOSA OPTEREĆENJA IZVODNE DEONICE I INSTALISANE SNAGE FOTONAPONSKOG SISTEMA U ZAVISNOSTI OD UDALJENOSTI MESTA PRIKLJUČENJA OD NAPOJNE TS 10/0.4 KV ZA RAZLIČITE GRANIČNE VREDNOSTI NAPONA NA MESTU PRIKLJUČENJA

**KLJUČNE REČI:** Mreža niskog napona, Fotonaponski sistemi, Naponske prilike, Gubici u mreži

## LITERATURA

1. Zbirka tehničkih preporuka Direkcije za distribuciju EPS-a, 2001
2. Pravila o radu distributivnog sistema (verzija 1.0), 2009, JP EPS
3. "Studija perspektivnog dugoročnog razvoja električne mreže naponskog nivoa 10 kV na području ogranka Vranje", 2010, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd
4. Uredba o uslovima isporuke električne energije, Službeni glasnik RS, br. 107/05 od 02. 12. 2005. godine