

# ISPUNJENJE KRITERIJUMA DOZVOLJENIH STRUJA VIŠIH HARMONIKA PRI PRIKLJUČENJU FOTONAPONSKIH ELEKTRANA NA DISTRIBUTIVNI SISTEM

Zoltan ČORBA, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Srbija  
Dragan MILIČEVIĆ, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Srbija  
Boris DUMNIĆ, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Srbija  
Vladimir KATIĆ, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Srbija  
Bane POPADIĆ, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Srbija

## KRATAK SADRŽAJ

U Srbiji je do sada na distributivni sistem (DS) priključeno skromnih 9MW fotonaponskih elektrana (FNE). Od ukupne instalisane snage više od pola čine pet elektrana (2x2MW, 1x1MW, 1x0,5MW). Ostale elektrane su manjih snaga i uglavnom su krovne FNE. Po pravilima o radu distributivnog sistema da bi se elektrana priključila na DS potrebno je ispuniti tehničke uslove definisane sa šest kriterijuma. Pored toga, elektrana treba da je opremljena zaštitnim i drugim uređajima koji štite DS i generator od oštećenja. Uslovi koji su definisani odobrenjem za priključenje takođe moraju biti ispunjeni prilikom priključenja elektrane.

U radu će ukratko biti predstavljeno nekoliko FNE koji funkcionišu širom Srbije. Sve ove elektrane rade paralelno sa DS i svu proizvedenu količinu električne energije predaju u DS. Između ostalog biće opisane dve elektrane koje se nalaze na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Prilikom priključenja ovih elektrana izvršena su merenja sa trofaznim analizatorom kvaliteta električne energije. Mereni su osnovni parametri električne energije: frekvencija, napon, struja, aktivna, reaktivna i prividna snaga, faktor snage, ukupno harmonijsko izobličenje napona i struje, kao i pojedinačna harmonijska izobličenja struje. Merenja su bila neophodna da bi se utvrdili uslovi ispunjenja nekih od šest kriterijuma. Biće predstavljene dobijene vrednosti merenja nabrojanih parametara. Naglasak će biti na prikazu dobijenih vrednosti pojedinačnih harmonijskih izobličenja struje. Za sve FNE će biti prikazan postupak određivanja ispunjenosti kriterijuma dozvoljenih struja viših harmonika.

Na kraju će se na osnovu iskustvenih rezultata izvesti opšti zaključak o problematici priključenja FNE na distributivni sistem u Srbiji.

**Ključne reči:** kvalitet električne energije, fotonaponske elektrane, harmonijska izobličenja struje

## SUMMARY

Currently, grid connected photovoltaic (PV) power plants in Republic of Serbia have a humble 9 MW of installed power in total, with more than half concentrated within five installations (2x2MW, 1x1MW, 1x0,5MW). The remaining installed power mostly consists of roof mounted PV panels. In all the relevant documents that regulate the field of renewable energy sources (RES) in Serbia, there are 6 basic criteria to be fulfilled in order for grid connection to be allowed. All subsequent requirements introduced by the requirements for system designing and connection, issued by the authorized distribution network operator, have to be met accordingly. In addition, the documents contain the basic requirements for system protective and anti-islanding detection devices.

The paper will present several grid connected PV power plants operating in Serbia, with the total generated electrical energy delivered to the distribution system. Two PV power plants, operational at the Faculty of Technical Sciences in Novi Sad, will also be included. During the first and subsequent operations of the respective PV systems, the basic parameters of the electrical quantities, such as frequency, voltage, current, active power, reactive power, apparent power, power factor, total harmonic distortion of current and voltage were measured using power quality analyzer. The measurement results, used to determine if the grid connection requirements were met, will be presented within the paper. The attention will be given to the individual current harmonic distortion, while the maximum permissible current harmonics criterion verification process will be given for all included systems.

Finally, a summary on the PV system grid connection issues in Serbia will be given based on the accumulated experience in system design, operation, supervision and maintenance.

**Key Words:** Power quality, PV power plant, Current harmonics

## UVOD

U Srbiji se praktična realizacija projekata primene obnovljivih izvora električne energije (OIEE) primenjuje od druge dekade 21. veka. Zahvaljujući donetim strategijama, zakonskim aktima i uredbama definisane su podsticajne cene i kvote za pojedine OIEE. Kvote su za većinu OIEE veoma brzo podeljene. Odmah je bilo jasno da donete kvote za fotonaponske elektrane nisu dobro definisane. Ubrzo je izgrađena većina fotonaponskih elektrana, za koje su dobijene kvote. Bez obzira na veliku zainteresovanost investitora, nove kvote nisu donete. Izgradnja vetroparkova je kasnila nekoliko godina. Trenutno je u toku izgradnja nekoliko vetroparkova. Male hidroelektrane i biogasna postrojenja se kontinualno grade. Dakle, u Srbiji koja ima energetske potencijal sunčeve energije iznad evropskog proseka, trenutno se ne izgrađuju fotonaponske elektrane, koje se spajaju na DS. Sve će biti poboljšano skorašnjim donošenjem novog modela primene fotonaponskog pretvaranja enerigije (1).

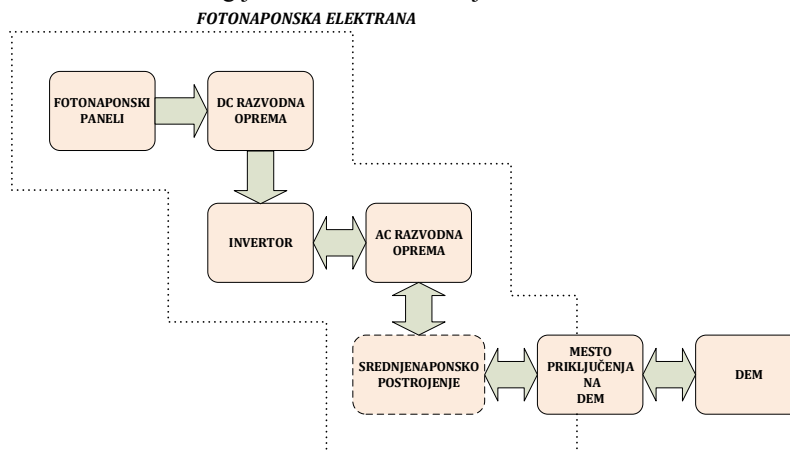
Do danas u Srbiji status povlašćenog proizvođača imaju FN elektrane izgrađene na zemlji čija je ukupna instalisana snaga 5340kW, FN elektrane na objeku (snage manje od 30kW) sa instalisanom snagom 1942kW i FN elektrane na objektima (snage između 30kW i 500kW) sa ukupnom snagom od 1504kW (2). Ovo znači da je od dodeljenih 10MW ukupno iskorišćeno 8,786 MW.

Na Fakultetu tehničkih nauka, Univerziteta u Novom Sadu, pri Katedri za energetske elektroniku i pretvarače 2007. godine je formirana Laboratorija za OIEE. Strukovne studije OIEE su startovale 2010. godine. Godinu dana kasnije je puštena u rad zvanično prvo priključena FNE na DS u Vojvodini, i među prvima u Srbiji. Formiran je Centar za obnovljive izvore i kvalitet električne energije (CRESPQ). Članovi CRESPQ su obavili merenja prilikom priključenja FNE na distributivni sistem širom Srbije. Iskustva i rezultati nekih merenja se prikazuju u ovom radu.

## FOTONAPONSKA ELEKTRANA PRIKLJUČENA NA DEM

Za razliku od ostalih OIEE, fotonaponsko pretvaranje energije je izvodljivo maltene na bilo kom mestu naše planete. Instalacije FNE se izvode na objektima, zemlji i vodi. Snaga elektrana se kreće u širokim granicama, od nekoliko stotina vati do stotina MW. Nedostatak u odnosu na ostale OIEE je potreba za velikom površinom za konverziju energije. Nasuprt drugim oblicima OIEE, fotonaponske elektrane su idealne za primenu u naseljenim mestima.

Fotonaponsko pretvaranje energije je jedini OIEE koji za pretvaranje energije ne koristi rotirajuću mašinu. Fotonaponski paneli, putem fotonaponskog efekta, pretvaraju energiju sunčevog zračenja u električnu energiju. Da bi se FNE mogla priključiti na DS, potrebno je pretvoriti jednosmernu snagu, koju daju FN paneli u naizmeničnu snagu. Slika 1 prikazuje blok šemu FNE koja se spaja na distributivnu električnu mrežu sa osnovnim elementima, fotonaponskim panelom i invertorom, (3). Ostalu, ne manje važnu opremu čine razvodna oprema na jednosmernoj i naizmeničnoj strani električnog kola elektrane. Za elektrane manjih snaga (uglavnom do 100kW) srednjenaponsko postrojenje nije potrebno, jer se priključuju na niski napon. Mesto priključenja je lokacija gde se između ostalog vrši merenje predate i preuzete električne energije sa dvosmernim brojilom.



SLIKA 1 – Blok šema fotonaponske elektrane spojene na distributivni sistem

Na osnovu izlazne snage, odnosno korišćenog invertora, definisana je koncepcija izgradnje elektrane: sa mikroinvertorom, string invertorom i centralnim invertorom. Za sve navedene elektrane postoje pravila koje treba ispuniti prilikom priključenja na DS.

Po Pravilima o radu distributivnog sistema, kada elektrana radi u paralelnom radu sa DS razlikuju se sledeći slučajevi (4):

- proizvedena električna energija se koristi isključivo za sopstvenu potrošnju,
- proizvedena električna energija se u celosti predaje u DS i
- proizvedena električna energija se delom koristi za sopstvenu potrošnju, a delom se predaje u DS.

Prilikom priključenja FNE na distributivni sistem, bez obzira na tok energije, potrebno je ispuniti kriterijume za priključenje, definisane Pravilom o radu distributivnog sistema električne energije.

## **KRITERIJUMI PRIKLJUČENJA MALIH ELEKTRANA NA DEM**

U odeljku "Priključak objekta potrošača" u Pravilima o radu distributivnog sistema električne energije, definisano je da se na DS može priključiti elektrana ako su ispunjeni tehnički uslovi definisani kriterijumima priključenja, postoji zaštitna i druga oprema koja štiti elemente DS, generator i drugu opremu u elektrani i ako su ispunjeni uslovi dati u odobrenju za priključenje (4).

Postoji šest kriterijuma koje treba ispuniti da bi se elektrana mogla priključiti na DS:

1. kriterijum maksimalno dozvoljene snage generatora u elektrani,
2. kriterijum maksimalno dozvoljenih napona u stacionarnom režimu,
3. kriterijum trajno dozvoljenih vrednosti struja elemenata DS,
4. kriterijum snage kratkog spoja,
5. kriterijum flikera i
6. kriterijum dozvoljenih struja viših harmonika i interharmonika.

Trenutno se u Uslovima za priključenje i projektovanje od strane EPS distribucija traži provera kriterijuma od projektanta pod tačkom 1) maksimalno dozvoljene snage generatora u elektrani; 4) kriterijum snage kratkog spoja, 5) kriterijum flikera i 6) kriterijum dozvoljenih struja viših harmonika i interharmonika. Ostale kriterijume proverava nadležna distribucija.

Kriterijumi 1), 5) i 6) se proveravaju u skladu sa Pravilima u radu distributivnog sistema. Kriterijum 5) se proverava u skladu sa definisanom maksimalnom dozvoljenom komponentom struje kratkog spoja od strane elektrane na mestu priključenja, izdatim u Uslovi za priključenje i projektovanje od strane ED.

Kriterijum maksimalno dozvoljene snage generatora u elektrani je definisan u odnosu na maksimalno dozvoljenu promenu napona na mestu priključenja elektrane pri uključenju energetske pretvarača ili asinhronih generatora. Maksimalan prividna snaga generatora se računa po zadatim formulama, koje su zadate posebno za niski i srednji napon. Za zadovoljavanje kriterijuma snage kratkog spoja potrebno je proveriti ukupnu vrednost struje (snage) trofaznog kratkog spoja na mestu priključenja elektrane, koja ne sme preći definisane maksimalne vrednosti trofaznog kratkog spoja na koju je oprema DS dimenzionisana.

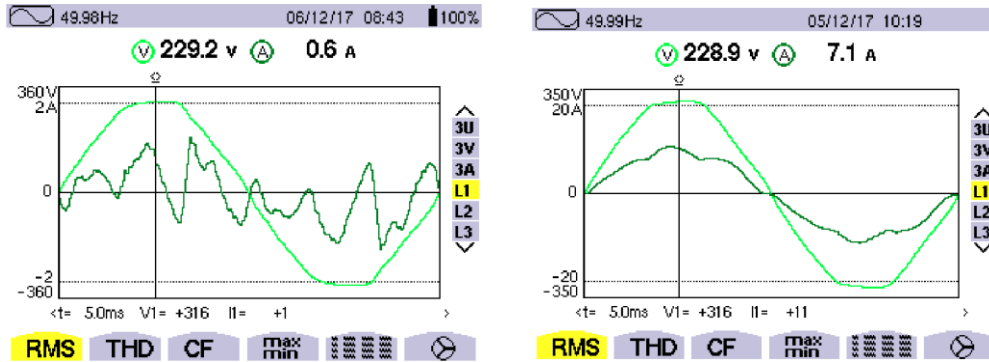
Kriterijum flikera se proverava pomoću dugotrajnog faktora smetnji, i ima značaj kod vetro i fotonaponskih elektrana. Kod provere kriterijuma viših harmonika i interharmonika proveravaju se stvarne vrednosti struje viših harmonika, koje treba da su manje od proračunate maksimalne vrednosti višeg harmonika/interharmonika.

## **ISKUSTVA ISPUNJENJA KRITERIJUMA DOZVOLJENIH STRUJA VIŠIH HARMONIKA MALIH FN ELEKTRANA U SRBIJI**

U periodu između 2011. i 2014. godine, na zahtev investitora, izvršena su merenja parametara električne energije na mestu priključenja FN elektrana. Merenja su vršena prilikom probnog puštanja u rad elektrane, u prisustvu vlasnika i članova komisije nadležne distribucije. Rezultati merenja sledećih FN elektrana su opisana u radu:

- FNE Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, snage 8kVA,
- FNE preduzeća INB u Paliću, snage 30kVA,
- FNE preduzeća DMV iz Niša, snage 30kVA,
- FNE preduzeća TERMO-GAS iz Sente, snage 5kVA,
- FNE poljoprivrednog gazdinstva iz Bačkog Sokolca, snage 30kVA i
- FNE preduzeća NICO u Sajanu, snage 540kVA.

Sva merenja su vršena sa trofaznim analizatorom kvaliteta električne energije proizvođača Chauvin Arnoux, oznake C.A 8332B ili C.A 8334B. Na slici 2 se vidi karakterističan izobličen oblik izlazne struje FN invertora pri malom zračenju (levo) i približno sinusni oblik struje pri velikom zračenju (desno).



SLIKA 2 – Talasni oblici napona i struja pri malom zračenju (levo) i velikom zračenju (desno)

Provera ispunjenosti kriterijuma dozvoljenih struja viših harmonika se vrši prema izrazu:

$$I_{vhdoz} = I_{vhs} \cdot S_{KS} \quad (1)$$

gde je:

$I_{vhdoz}$  - dozvoljena vrednost struje višeg harmonika na naponskom nivou generatora [A],

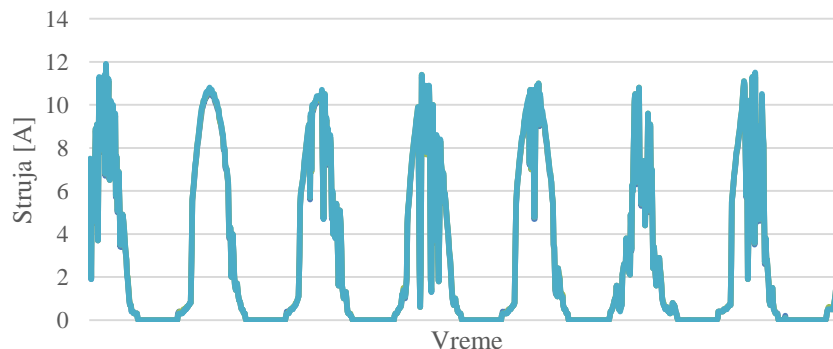
$I_{vhs}$  - dozvoljena vrednost višeg harmonika/interharmonika koja je svedena na snagu kratkog spoja na mestu priključenja na distributivni sistem [A/MVA],

$S_{KS}$  - snaga trofaznog kratkog spoja na mestu priključenja na distributivni sistem [MVA].

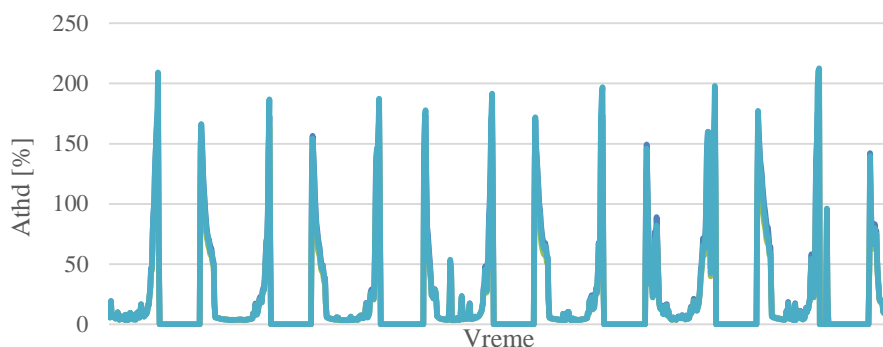
U trenutku puštanja elektrana u rad i merenja harmonijskih izobličenja važila su stara pravila o radu distributivnog sistema, gde su proveravani 5., 7., 11., 13., 17., 19., 23. i 25. harmonik.

### FNE FTN1 Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu

Prva zvanično priključena FN elektrana u Vojvodini je puštena u rad od strane Elektrovjvodine 25.10.2011. godine. Usled neiskustva u priključenju distribuiranih elektrana na električnu mrežu, tada nije vršeno merenje harmonijskih izobličenja (ispitivan je rele sistemske zaštite). Od puštanja u rad elektrane provera kriterijuma dozvoljenih struja viših harmonika je urađeno bezbroj puta, u okviru istraživanja, nastave studenata i izradu završnih radova. U ovom radu su predstavljeni rezultati merenja u periodu 26. juna do 3. jula 2017. Usrednjavanje merenih vrednosti je na svakih deset minuta. Na slici 3 i 4 su prikazani izgled struje i ukupna harmonijska izobličenja struje ( $A_{thd}$ ), sve tri faze.



SLIKA 3 – Izlazna struja invertora u sve tri faze u intervalu merenja



SLIKA 4 – Ukupno harmonijsko izobličenje struje sve tri faze u intervalu merenja

Snaga trofaznog kratkog spoja na mestu priključenja, po uslovima priključenja elektrane je 1,864MVA. Tabela 1 prikazuje maksimalne izmerene struje pojedinačnih faza po harmonicima i dozvoljene vrednosti izračunate na osnovu izraza 1.

TABELA 1 – Izmerene i dozvoljene vrednosti viših harmonika FNE FTN1 Novi Sad

Harmonijska izobličenja struje po fazama	Maksimalne vrednosti	Dozvoljena vrednost
Red harmonika	max [I1, I2, I3] [A]	[A]
5	0,5152	2,796
7	0,7774	1,864
11	0,2208	0,932
13	0,2254	0,746
17	0,2208	0,559
19	0,1380	0,466
23	0,0798	0,559
25	0,0328	0,466

### FNE preduzeća INB u Paliću

Razmatrana FN elektrana realizovana je sa dva trofazna invertora bez transformatora oznake STP 15000TL-10, pojedinačne nominalne snage 15 kW. Merenje je izvršeno 27. decembra 2013. godine u vremenskom periodu od 12:42 časova do 13:41 časova. Parametri su uzorkovani u razvodnom ormaru gde je elektrana priključena na distributivni sistem električne energije. Slika 5 prikazuje detalj elektrane sa FN panelima i mesto priključenja.



SLIKA 5 – FN paneli na krovu (levo) i merenje na mestu priključenja

Prema uslovima priključenja snaga trofaznog kratkog spoja na mestu priključenja na distributivni sistem iznosi 2,07MVA. U tabeli 2 su dati podaci o izmerenoj i dozvoljenoj struji pojedinačnih harmonika.

TABELA 2 – Izmerene i dozvoljene vrednosti viših harmonika FNE INB Palić

Harmonijska izobličenja struje po fazama				Dozvoljena vrednost
Maksimalne vrednosti				$I_{vhsdoz}$
Red harmonika	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	[A]
5	1,260	1,368	1,236	1,45
7	0,790	0,728	1,021	1,24
11	0,197	0,170	0,180	1,04
13	0,120	0,166	0,154	0,62
17	0,119	0,107	0,081	0,62
19	0,099	0,089	0,111	0,41
23	0,050	0,070	0,076	0,41
25	0,038	0,046	0,051	0,41

### FNE preduzeća DMV iz Niša

Razmatrana FN elektrana realizovana je sa jednim trofaznim inverterom bez transformatora oznake TRIO-27.6-TL-OUTD nominalne snage 27,6 kW, maksimalne snage 30kW. Merenje je izvršeno 18. decembra 2014. godine u vremenskom periodu od 11:50 časova do 13:50 časova. Parametri su uzorkovani u ormaru fotonaponske elektrane. Snaga trofaznog kratkog spoja na mestu priključenja na distributivni sistem prema uslovima priključenja iznosi 18 MVA. Na slici 6 levo se vidi noseća konstrukcija sa FN panelima. Ista slika sa desne strane prikazuje razvodni ormar elektrane na početku merenja.



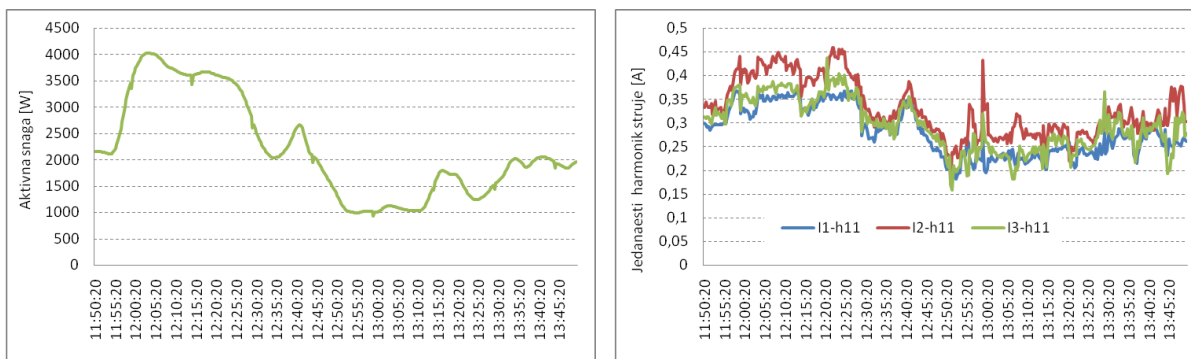
SLIKA 6 – FN paneli na krovu zgrade (levo) i priključenje uređaja (desno)

Tabela 3 prikazuje maksimalne izmerene struje pojedinačnih faza po harmonicima i dozvoljene vrednosti izračunate na osnovu izraza (1).

TABELA 3 – Izmerene i dozvoljene vrednosti viših harmonika FNE DMV Niš

Harmonijska izobličenja struje po fazama				Dozvoljena vrednost
Maksimalne vrednosti				$I_{vhsdoz}$
Red harmonika	[A]	I2 [A]	I3 [A]	[A]
5	0,221	0,206	0,196	12,6
7	0,042	0,053	0,055	10,8
11	0,368	0,459	0,437	9,0
13	0,122	0,299	0,316	5,4
17	0,160	0,211	0,197	5,4
19	0,069	0,171	0,157	3,6
23	0,035	0,114	0,116	3,6
25	0,044	0,048	0,041	3,6

Na slici 7 je prikazana promena aktivne snage na izlazu invertera (levo) i 11. harmonika struje (desno), koja ima najveće vrednosti od svih pojedinačnih harmonika u sve tri faze. Ipak, u odnosu na dozvoljene struje je znatno ispod limita.



SLIKA 7 – Promena aktivne snage (levo) i jedanaestog harmonika struje (desno)

### FNE preduzeća TERMO-GAS iz Sente

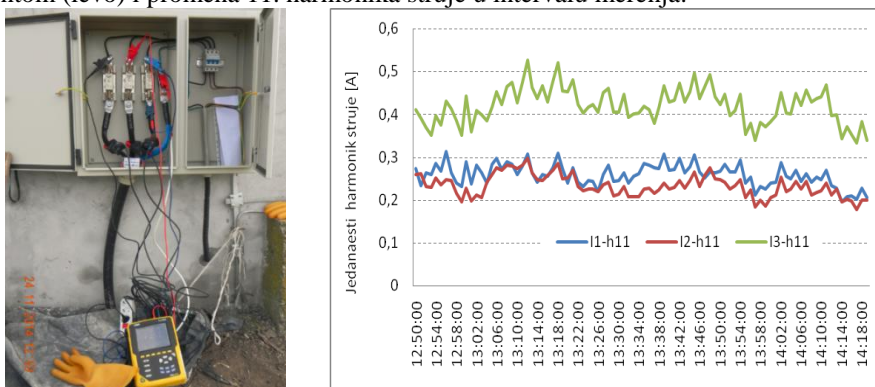
Razmatrana FN elektrana realizovana je sa jednim trofaznim inverterom bez transformatora oznake STP 5000TL-20, pojedinačne nominalne snage 5 kW. Merenje je izvršeno 25. marta 2014. godine u vremenskom periodu od 12:50 časova do 14:20 časova. Parametri su uzorkovani u razvodnom ormaru gde se fotonaponska elektrana priključuje na DSEE. Snaga trofaznog kratkog spoja na mestu priključenja na distributivni sistem i prema uslovima priključenja iznosi 1,14 MVA. Iz podataka tabele 4 se može videti da je najveća struja 5. harmonika, koja iznosi oko 45% dozvoljene vrednosti. Po veličini sledi 13. harmonik, dok su ostali daleko ispod dozvoljene granice.

TABELA 4 – Izmerene i dozvoljene vrednosti viših harmonika FNE TERMO-GAS Senta

Harmonijska izobličenja struje po fazama				Dozvoljena vrednost
Maksimalne vrednosti				$I_{vh\text{sdoz}}$
Red harmonika	[A]	I2 [A]	I3 [A]	[A]
5	0,322	0,376	0,359	0,8
7	0,110	0,158	0,151	0,68
11	0,087	0,076	0,094	0,57
13	0,127	0,126	0,091	0,34
17	0,049	0,048	0,062	0,34
19	0,043	0,036	0,042	0,23
23	0,031	0,034	0,033	0,23
25	0,020	0,020	0,022	0,23

### FNE poljoprivrednog gazdinstva iz Bačkog Sokolca

FN elektrana na poljoprivrednom gazdinstvu (PG) realizovana je sa jednim trofaznim inverterom bez transformatora oznake TRIO-27.6-TL-OUTD, nominalne snage 27,6 kW. Na slici 8 prikazano je mesto merenja sa postavljenim mernim instrumentom (levo) i promena 11. harmonika struje u intervalu merenja.



SLIKA 8 – Izgled mesta priključenja (levo) i promena jedanaestog harmonika struje (desno)



Merenje je izvršeno 24. novembra 2014. godine u vremenskom periodu od 12:50 časova do 14:19 časova. Snaga trofaznog kratkog spoja na mestu priključenja na distributivni sistem prema uslovima priključenja iznosi 3,176MVA. Kao što se iz tabele 5 vidi 11. harmonik struje ima najveću vrednost, posebno u trećoj fazi.

TABELA 5 – Izmerene i dozvoljene vrednosti viših harmonika FNE PG Bački Sokolac

Harmonijska izobličenja struje po fazama				Dozvoljena vrednost
Maksimalne vrednosti				$I_{vh\text{sd}oz}$
Red harmonika	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	[A]
5	0,112	0,072	0,115	2,22
7	0,113	0,086	0,115	1,91
11	0,313	0,297	0,526	1,59
13	0,230	0,131	0,281	0,95
17	0,124	0,090	0,132	0,95
19	0,060	0,055	0,091	0,64
23	0,048	0,043	0,045	0,64
25	0,046	0,029	0,070	0,64

### FNE preduzeća NICO u Sajanu

Fotonaponska elektrana u Sajanu je izvedena sa 18 trofazna invertora bez transformatora oznake TRIO-27.6-TL-OUTD, nominalne pojedinačne snage 27,6 kW, maksimalne snage 30kW. Na invertore je ukupno priključeno 2364 FN panela nominalne pojedinačne snage 245Wp. Na slici 9 levo se vide FN paneli u elektrani, dok je desno prikazana jedna grupa invertora. Merenje je izvršeno u periodu od 28. oktobra do 4. novembra 2014. godine. Vreme usrednjavanja je 5 minuta. Snaga trofaznog kratkog spoja na mestu priključenja na distributivni sistem (naponski nivo 20kV) prema uslovima priključenja iznosi 19,62MVA.



SLIKA 9 – Pogled na polje FN panela (levo) i grupu invertora pod nadstrešnicom (desno)

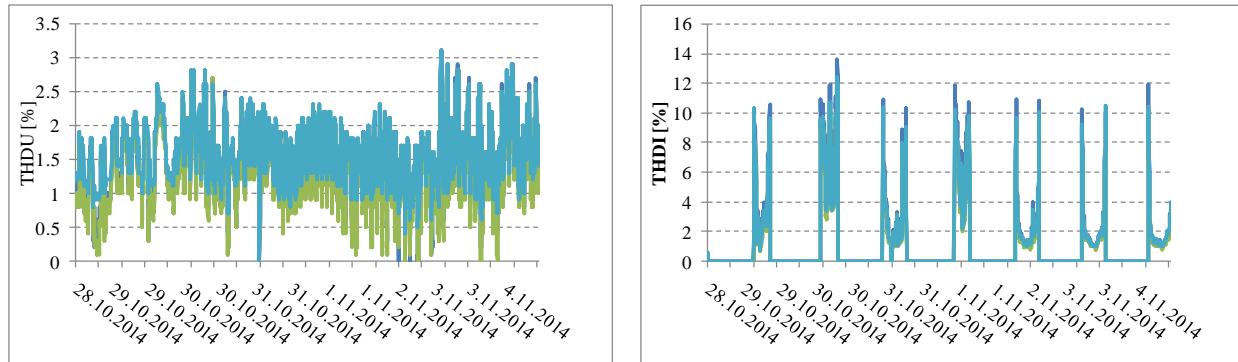
Kao što se iz tabele 6 vidi, svi harmonici struja su daleko ispod dozvoljene maksimalne granice.

TABELA 6 – Izmerene i dozvoljene vrednosti viših harmonika FNE NICO Sajan

Harmonijska izobličenja struje po fazama				Dozvoljena vrednost
Maksimalne vrednosti				$I_{vh\text{sd}oz}$
Red harmonika	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	[A]
5	0,0576	0,0504	0,0432	23,7
7	0,048	0,048	0,0532	20,4
11	0,1136	0,1104	0,1072	17,0
13	0,054	0,056	0,064	10,2
17	0,0708	0,0728	0,074	10,2
19	0,0448	0,0448	0,048	6,8
23	0,0576	0,056	0,0592	6,8
25	0,03	0,0312	0,0288	6,8



Promena ukupnog harmonijskog izobličenja napna (THDU) sve tri faze se vidi na slici 10, levo. THDU praktično ne prelazi vrednost od 3%. Ukupno harmonijsko izobličenje struje (THDI) je prikazano na istoj slici desno. Vidi se karakteristična promena THDI tokom dana u intervalu merenja.



SLIKA 10 – Promena ukupnog harmonijskog izobličenja napona (levo) i struje (desno) tokom intervala merenja

## ZAKLJUČAK

U radu su prikazani rezultati nekih merenja struja viših harmonika na FN elektranama širom Srbije. U radu analizirane FN elektrane imaju ugrađene string invertore. U pitanju su invertori dva različita proizvođača. Kod jednog proizvođača invertora 5. i 7. harmonici struje se ističu, dok je kod drugog proizvođača to 11. harmonik. Posmatrajući grafik karakteristične dnevne promene ukupnog harmonijskog izobličenja struje, naročito u jutarnjim i popodnevним satima, kao i tokom oblačnih dana, vidi se da su ona relativno velika. Međutim, tada su apsolutne vrednosti struja jako male, pa kao što se vidi iz prikazanih tabela, ni jedan pojedinačni harmonik struje ne prelazi maksimalno dozvoljene vrednosti na mestu priključenja elektrana. Može se zaključiti da sve FN elektrane priključene na distributivni sistem zadovoljavaju kriterijum dozvoljenih struja viših harmonika, po tada važećim pravilima o radu. Na FTN postoje dve FN elektrane, jedna koja je opisana u radu, i druga snage 16,2kW. Merenja koja se svake godine sprovode na obe elektrane su pokazala da je kriterijum ispunjen i za nova pravila o radu distributivnog sistema. S obzirom da se sa porastom reda harmonika vrednost struje značajno smanjuje ili je jednaka sa nulom, može se tvrditi da sve elektrane ispunjavaju i nov kriterijum dozvoljenih struja viših harmonika.

## LITERATURA

1. Ministarstvo rudarstva i energetike, 2015, "Program ostvarivanja Strategije razvoja energetike Srbije", 259
2. Ministarstvo rudarstva i energetike, 2018, "Registar povlašćenih proizvođača električne energije"
3. Čorba Z, 2017, "Fotonaponsko pretvaranje solarne energije i fotonaponske elektrane", "Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu", 361
4. EPS Distribucija, 2017, "Pravila o radu distributivnog sistema električne energije", 115