

## ENERGETSKA EFIKASNOST MREŽNIH FOTO-NAPONSKIH ELEKTRANA – PRIMER FNE “FTN NOVI SAD”

Vladimir A. Kati, Zoltan Orba, Boris Dumni, Dragan Milićević, Bane Popadić, Ilija Kovačević  
 Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

**Sadržaj** > Sve veći broj fotonaponskih elektrana (FNE) u svetu, ali i u Srbiji nameće pitanje efikasnosti njihovog rada, odnosno odnosa ostvarenja ili stepena iskorišćenja raspoložive solarne energije (performance ratio, PR). U radu je objašnjeno na in predstavljajući energetske efikasnosti FNE i definisani ključni parametri jedne FNE. Posebno je istaknut Odnos ostvarenja (PR), koji je detaljno objašnjen. Kao primer, dati su rezultati za FNE „FTN Novi Sad“. Rezultati su upoređeni sa vrednostima iz drugih izveštaja. Pokazano je da FNE „FTN Novi Sad“ ostvaruje veoma veliku vrednost PR od čak 86%, što ukazuje na dobru kvalitet projekta, odabir komponenti i održavanje same elektrane.

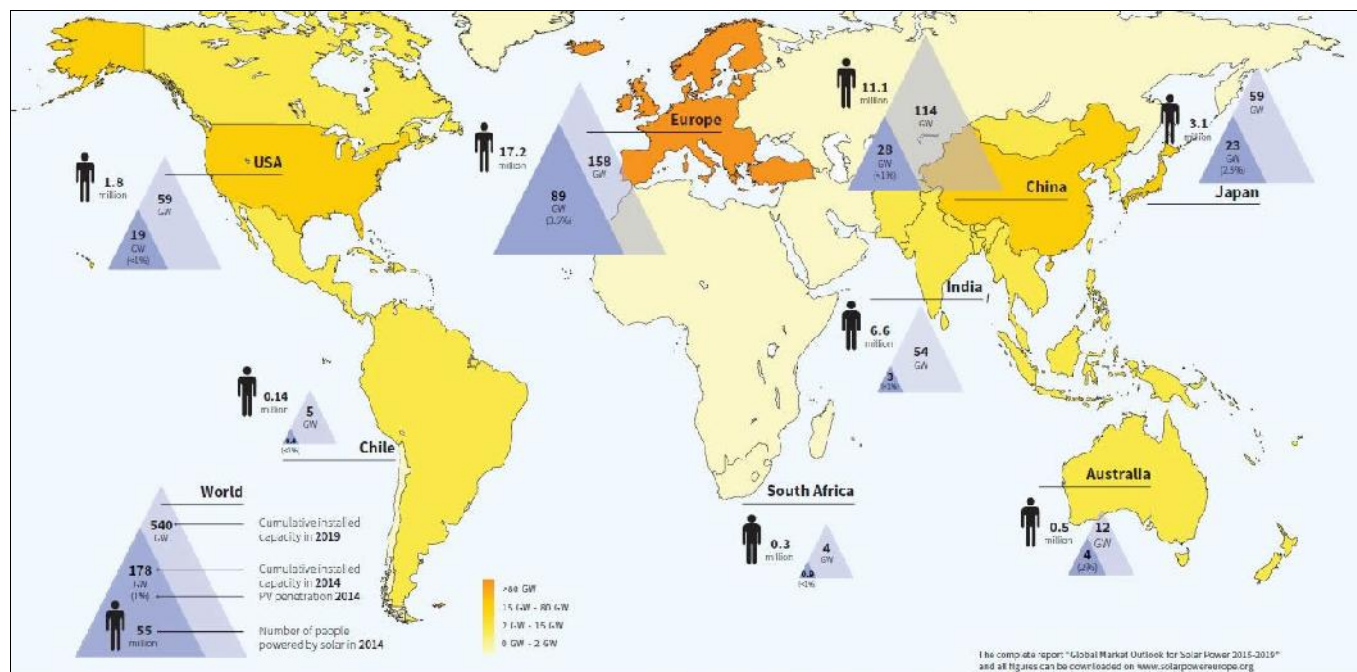
### 1. UVOD

Intenzivno korišćenje solarne energije u cilju njene konverzije u električnu danas se smatra jednim od načina rešavanja sve izraženijeg problema održivog razvoja, vezanog za iscrpljivanje svetskih zaliha fosilnih goriva, efekata staklene bašte, emisije CO<sub>2</sub>, kao i sve očišćenijih klimatskih promena na Zemlji. Foto-naponski (FN) sistemi, odnosno Foto-naponske elektrane (FNE) doživljavaju nagli procvat poslednjih desetak godina i njihovi kapaciteti se ubrzano povećavaju, dodatno podstaknuti državnim finansijskim stimulacijama. Na sl. 1 predstavljeno je globalno stanje instaliranih kapaciteta na kraju 2014. god. i projekcije

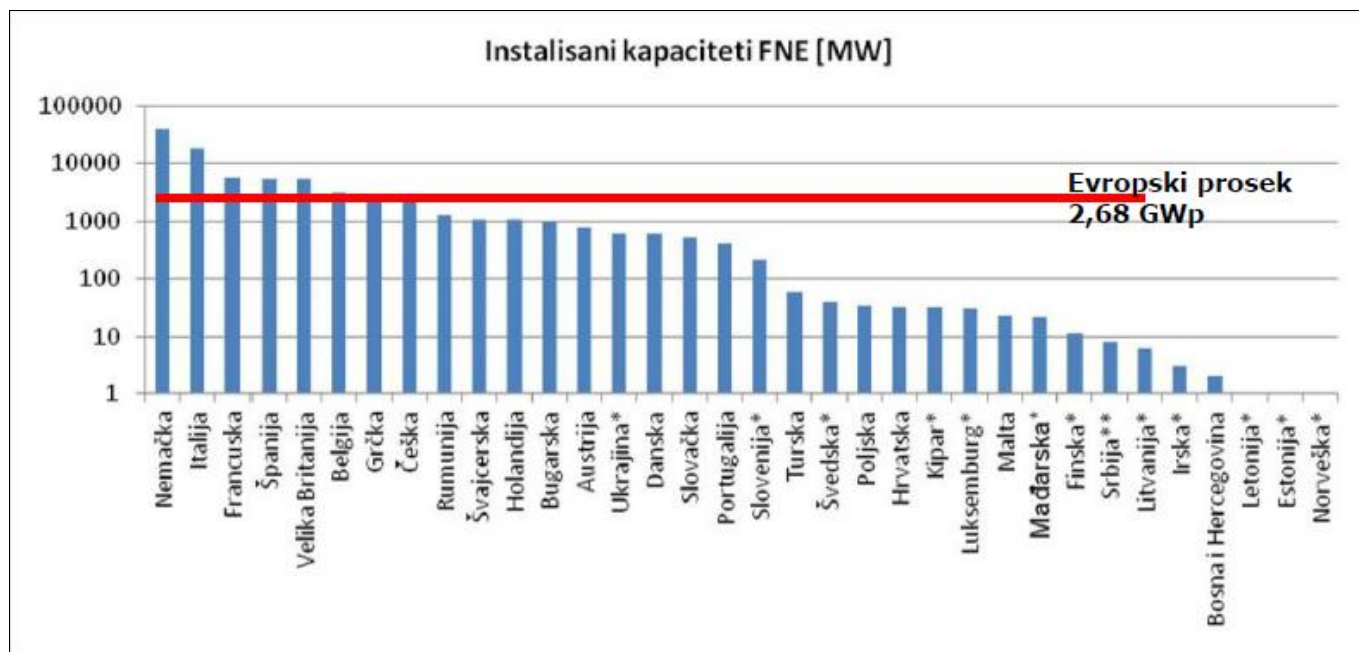
za 2019. god. Može se zapaziti da Evropski kontinent prednjači u ovoj oblasti i da je trenutno instalirano 89 GW, dok su projekcije da će se ovi kapaciteti povećati za četiri godine na čak 158 GW. Na globalnom nivou ove brojke iznose 178 GW u 2015. god. sa izgledima da porastu na čak 540 GW u 2019. god.

U Evropi, najviše pažnje ovom vidu obnovljive energije i njenoj transformaciji u električnu poklanja se u Nemačkoj. Na sl. 2 vidi se nivo instaliranih snaga FNE po zemljama. Najviše kapaciteta ima u Nemačkoj (38.235 MW), Italiji (18.313 MW), Francuskoj (5.632 MW), Španiji (5.388 MW) i Velikoj Britaniji (5.230 MW), a najmanje u Finskoj (11 MW), Srbiji (8 MW), Litvaniji (6 MW), Irskoj (3 MW) i Letoniji (1 MW), s tim da u Estoniji i Norveškoj uopšte nema ni jedne FNE. Evropski proseka je 2.679 MW, ali su iznad proseka FNE u samo 6 zemalja, a u čak 27 zemalja su snage FNE ispod proseka.

U Srbiji se izgradnjom i eksploatacijom FNE uglavnom bave privatni investitori, tako da su ove elektrane malih kapaciteta i u najvećem broju izgrađene na objektima (krovovima). To je rezultat niskih investicionih potreba, ali i veoma povoljnih feed-in tarifa [4]. U tabeli 1, prikazan je trenutni broj i snaga FNE u Srbiji, kao i važeći nivo podsticaja.



Sl.1. Instalirani kapaciteti FNE 2014. i projekcije za 2019. god. [1]



Sl. 2. Ukupni instalisani kapaciteti solarnih elektrana (FNE) u evropskim državama krajem 2014. god. (\*krajem 2013. god., \*\* sredinom 2015. god.) prema podacima iz [1,2,3].

Tabela 1. FNE elektrane u Srbiji [3,4]

Vrsta	Broj	Status	Snaga [MW]	Podsticaj [€/kWh]
Na zemlji	8	U radu	5,34	16,25
Na zemlji	9	U izgradnji	0,66	/
Na objektu <30kW	75	U radu	1,656	20,66
Na objektu <30kW	78	U izgradnji	0,293	/
Na objektu od 30 do 500 kW	10	U radu	1,086	16,25 – 20,66
Na objektu od 30 do 500 kW	10	U izgradnji	0,915	/
UKUPNO:	190		9,95	

Mrežne FNE su FN sistemi, koji su direktno vezani na mrežu, odnosno elektroenergetski sistem. Najčešće se sastoje iz FN panela za konverziju solarne u električnu (DC) energiju, zatim DC/DC konvertora za optimizaciju rada po algoritmu praćenja maksimalne snage panela (MPPT – Maximum Power Point Tracking), mrežnog invertora (DC/AC), te priključnih i zaštitnih sklopova i mernog brojlara. Interes investitora i vlasnika FNE je da elektrana postiže što bolje rezultate u svom radu, odnosno da proizvodi maksimalnu količinu električne energije iz raspoložive solarne. Iz tog razloga je u inostranoj FNE jedan od najvažnijih njenih faktora, a u suštini se radi o nivou njene energetske efikasnosti. U njemu se sadrži efikasnost rada svih pomenutih sklopova, tako da je njihov adekvatan izbor i mešovito dobro uparivanje od ključnog značaja. Na ovaj parametar utiče i niz operativnih faktora van onih, koji se mogu predvideti u procesu projektovanja, a kao rezultat mogu imati manju proizvodnju, kao što su temperatura, nivo oblačnosti, zaprljanost, osneženost, razni kvarovi komponenata, zastoji, pauze u radu i sl.

Cilj ovog rada je da prikaže u inostranoj, odnosno energetske efikasnost jedne FNE, koji se u engleskoj literaturi naziva *Performance Ratio* (PR), kao i da na primeru rezultata FNE „FTN Novi Sad“ prikaže neke konkretne, realno ostvarene veličine.

## 2. KARAKTERISTIKE I PARAMETRI JEDNE FNE

Efikasnost jedne fotonaponske elektrane može da se izrazi različitim parametrima. U literaturi je poznat itav niz parametara, kojima se izražavaju različiti parametri (indikator) rada foto-naponskog sistema (*System performance indices*). Oni su definisani u odgovarajućim standardima, a onda primenjeni u konkretnim situacijama i u skladu sa time odgovarajuće adaptirani [5,6,7,8].

Standard IEC 61724:1998 definiše tri grupe parametara za performance sistema [5]:

1. Dnevni/mesečni/godišnji prinos
2. Normalizovani gubici
3. Efikasnost sistema

### 2.1. Dnevni, mesečni ili godišnji prinos

Dnevni, mesečni ili godišnji prinos definišu stvarni rad elektrane (dobijene energije) u kWh u odnosu na projektovan (instalisan) kapacitet (nazivnu snagu, kWp ili kW) na dnevnom (*day*), mesečnom (*month*) ili godišnjem (*year*) nivou. Razlikuju se prinos niza (*Array Yield - Y<sub>A</sub>*) panela, ukupni (finalni) prinos FN sistema (*Final PV System Yield - Y<sub>f</sub>*) i referentni (*Reference Yield - Y<sub>r</sub>*) prinos opet na dnevnom, mesečnom i godišnjem nivou.

Prinos niza (*Y<sub>A</sub>*) panela definiše se kao odnos dobijene električne (DC) energije iz niza panela na dnevnom, mesečnom ili godišnjem nivou (*E<sub>A,d</sub>*; *E<sub>A,m</sub>*; *E<sub>A,y</sub>*) u kWh i nazivne DC snage instalisanog PV niza (*P<sub>0</sub>*) u kW<sub>p</sub>.

$$Y_{A,d} = \frac{E_{A,d}}{P_0} \text{ (kWh)/(kW}_p\text{) ili hours/day} \quad (1)$$

$$Y_{A,m} = \frac{E_{A,m}}{P_0} \text{ (kWh)/(kW}_p\text{) ili hours/month} \quad (2)$$

$$Y_{A,y} = \frac{E_{A,y}}{P_0} \text{ (kWh)/(kW}_p\text{) ili hours/year} \quad (3)$$

On prikazuje najmanji broj sati koji je potreban PV panelima da pri radu sa nazivnom snagom  $P_0$  (u stvari maksimalnom snagom, koja se može ostvariti na PV panelima kada sun evi zraci maksimalne radijacije padaju na površinu panela pod pravim uglom – kWp) ostvare proizvedenu energiju na dnevnom, mese nom ili godišnjem nivou ( $E_{A,d}$ ;  $E_{A,m}$ ;  $E_{A,y}$ ).

Standard ne definiše situaciju da u FNE ima više nizova panela, jer je pisan u vreme kada takve situacije nisu postojale. Me utim, analognim na inom razmišljanja može se definisati prinos na DC izlazu kao suma prinosa svih nizova (N nizova), opet na dnevnom, mese nom ili godišnjem nivou:

$$\left( Y_{A, d/m/y} \right)_N = \sum_{i=1}^{i=N} \left( Y_{A, d/m/y} \right)_i \quad (4)$$

Krajnji (finalni [5,6], specifi ni [7]) prinos FN sistema ( $Y_f$ ) je odnos proizvedene elektri ne (AC) energije na izlazu FN sistema ( $E_{d/m/y}$ ) u kWh i nazivne DC snage instalisanog PV niza ( $P_0$ ) u kWp, opet na dnevnom, mese nom ili godišnjem nivou.

$$Y_{f, d/m/y} = \frac{E_{d/m/y}}{P_0} \left[ kWh / kW_p \right]_{d/m/y} \quad (5)$$

ili  $\left[ hours \right]_{d/m/y}$

Iz (1)-(3) i (5) se vidi da se Krajnji prinos FN sistema ( $Y_f$ ) može definisati i kao:

$$Y_{f, d/m/y} = Y_{A, d/m/y} \cdot Y_{BOS} \quad (6)$$

gde je  $Y_{BOS}$  koeficijent korisnog dejstva pri konverziju energije (DC i AC dela sistema), odnosno kompletnog dela sistema od DC izlaza panela do AC mrežnog priklju ka. On prikazuje najmanji broj sati koji je potrebno PV sistemu da radi sa nazivnom snagom  $P_0$  (u stvari maksimalnom snagom, koja se može ostvariti na PV panelima kada sun evi zraci maksimalne radijacije padaju na površinu panela pod pravim uglom – kWp) da bi ostvario proizvedenu dnevnu/mese nu/godišnju elektri nu (AC) energiju ( $E_{d/m/y}$ ). On je specifi an za svaku FNE, jer zavisi od kvaliteta panela, vremenskih prilika, temperature, efikasnosti svih sklopova, broja otkaza i sl.

Referentni prinos sistema ( $Y_r$ ) treba da predstavi maksimalne, teorijske mogu nosti FN sistema, odnosno maksimalnu koli inu energije, koja bi se mogla dobiti iz datih panela kada bi oni bili obasjani pod najpovoljnijim uslovima u odnosu na njihovu nominalnu (nazivnu) snagu. Data je kao odnos ukupne (teorijski mogu e) elektri ne (AC) energije koja bi se dobila po kvadratnom metru panela (H) u kWh/m<sup>2</sup> i referentne (maksimalne) instalisane snage (G) po kvadratnom metru u kW<sub>p</sub>/m<sup>2</sup> na toj lokaciji.

$$Y_{r, d/m/y} = \frac{H_{d/m/y}}{G} \left[ (kWh / m^2) / (kW_p / m^2) \right]_{d/m/y} \quad (7)$$

ili  $\left[ hours \right]_{d/m/y}$

$Y_r$  predstavlja broj sun anih sati sa maksimalnom iradijacijom (*peak sunhours*) i u stvari definiše solarne resurse FN sistema za odre enu lokaciju (zato se definiše po kvadratnom metru). To je u stvari maksimalni teorijski broj radnih sati nekog FN sistema pri punom (nazivnom) kapacitetu na dnevnoj, mese noj ili godišnjoj bazi.

## 2.2. Normalizovani gubici

Normalizovani gubici se ra unaju oduzimanjem prinosa i predstavljaju se u kWh/day/kW<sub>p</sub>, odnosno daju broj sati rada dnevno (ili mese no ili godišnje), koji nije iskoriš en. Definišu se gubici u radu niza (*Array capture* -  $L_C$ ), BOS gubici ( $L_{BOS}$ ) i Odnos ostvarenja (*Performance Ratio* – PR).

Gubici u radu niza ( $L_C$ ) su dati kao razlika referentnog prinosa i prinosa niza i predstavljaju gubitke panela, odnosno gubitke u radu niza panela:

$$L_C = Y_r - Y_A \quad (8)$$

BOS (*Balance of System*) gubici ( $L_{BOS}$ ) su ukupni gubici u svim komponentama FN sistema van panela. Tu spadaju gubici u kablovima, prekida ima, zaštitnoj opremi, energetkim pretvara ima (DC/DC i inverter), priklju noj opremi i sl. Ovaj parametar pokazuje uravnoteženost proizvodnje energije u panelima sa jedne strane i potreba potroša a za energijom sa druge strane. Definiše se na slede i na in:

$$L_{BOS} = Y_A \cdot (1 - Y_{BOS}) \quad (9)$$

Odnos ostvarenja (*Performance Ratio* – PR) je odnos krajnjeg i referentnog prinosa sistema:

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \cdot 100 [\%] \quad (10)$$

On u stvari pokazuje koliko je ostvarenje elektrane u odnosu na njen teorijski maksimum. U fizi kom smislu, odnos ostvarenja predstavlja ukupne gubitke u sistemu i to u radu FN panela (usled uticaja temperature, degradacije performansi tokom vremena, zaprljanosti modula i sl.) i u komponentama Fn sistema van panela ( $L_{BOS}$ ).

## 2.3. Efikasnost sistema

Efikasnost sistema se posmatra kao srednja (prose na) efikasnost niza (*Mean Array Efficiency* –  $\eta_{A,mean}$ ) u odre enom (posmatranom) vremenu i kao sveukupna efikasnost FNE (*Overall PV Plant Efficiency* –  $\eta_{TOT}$ ) u odre enom (posmatranom) vremenu .

Efikasnost sistema definiše se kao odnos elektri ne energije dobijene od niza panela u periodu i referentne (maksimalno mogu e) energije za datu površinu panela ( $A_A$ ) u periodu (maksimalne energije solarnog zra enja):

$$\eta_{A,mean} = E_{A,\tau} / A_A \cdot \tau \cdot G = \frac{Y_{A,y}}{\tau_y} \quad (11)$$

gde je  $Y_{A,y}$  godišnji prinos niza, a  $\tau_y$  godišnji broj sati (8760 h).

Sveukupna efikasnost FN elektrane u periodu ( $\tau_{TOT}$ ) ili samo energetska efikasnost ( $\eta$ ) definiše se kao:

$$\eta_{TOT,\tau} = \eta = \eta_{A,mean} \cdot \eta_{BOS} \quad (12)$$

#### 2.4. Kapacitet FN elektrane

Radi lakšeg uklapanja FN elektrane u elektroenergetski sistem i poređenja sa ostalim izvorima, definiše se kapacitet FNE (*Capacity factor, CF*) kao odnos krajnjeg prinosa (u satima), koji reprezentuje ostvarenu godišnju proizvodnju elektrane energije i raspoloživog broja sati, koji predstavlja maksimalno ostvarenje, odnosno maksimalni potencijal dobijanja elektrane energije ukoliko bi elektrana radila sa ukupnom instalisanom (nominalnom) snagom sve vreme (365/24) za godinu dana. Kapacitet solarne elektrane se može izraziti iz izraza:

$$CF = \frac{Y_f [h]}{8760 [h]} = PR \cdot \frac{Y_{r,y}}{8760} \quad (13)$$

Međutim, ako se (6) i (11) uvrste u (12) može se dobiti sledeće:

$$\eta = \frac{Y_{A,y}}{\tau_y} \cdot \frac{Y_{f,y}}{Y_{A,y}} = \frac{Y_{f,y}}{\tau_y} = \frac{Y_f}{8760} = CF \quad (14)$$

odnosno vidi se da je kapacitet FNE u stvari predstavlja njenu sveukupnu efikasnost.

#### 2.5. Realno korišćeni parametri

Najčešće se koriste energetska efikasnost ( $\eta$ ), krajnji (specifični) prinos ( $Y_f$ ), odnos ostvarenja (odnos performansi sistema -PR) i kapacitet (CF) [7].

Međutim, za određivanje u inka celokupnog FN sistema najzgodniji su pokazatelji u odnosu na energetska produkciju, solarne resurse i sveukupne efekte gubitaka sistema. Za to je najpogodniji parametar koji opisuje u inak FNE, odnosno Odnos ostvarenja (*Performance Ratio – PR*) [6,7,8]. Ovaj parametar je pogodan i iz razloga što se preko njega mogu izraziti i svi ostali parametri, što se vidi iz (10) i (14).

### 3. ODNOS OSTVARENJA - PR

Odnos ostvarenja (PR) prikazuje realni u inak FNE u odnosu na teorijski maksimalan mogući i izražava se u procentima. To je jedan od najvažnijih parametara jedne FNE. Kako prikazuje ostvarenje normalizovano u odnosu na solarno zračenje, on kvantifikuje sveukupne efekte gubitaka u FN sistemu (gubici u invertoru, u instalaciji, u FN panelima, gubitke usled refleksije na panelima, smanjenja zbog zaprljanosti panela ili pokrivenoš u snegu, te zbog kvarova komponentata i raznih zastoja u radu).

Što je ovaj parametar bliži maksimalnim mogućim vrednostima elektrane, tim je efikasniji rad, odnosno smanjeni su gubici u radu. Za određivanje PR potrebne su različiti parametri, kao što su:

- Vrednost zračenja na lokaciji fotonaponske elektrane
- Površina površine FN panela
- Efikasnost FN panela

Period za koji se računa može biti dan, mesec ili godina, ali se smatra optimalnim da taj period bude jedna godina, jer su kraći i vremenski intervali manje tačni i mogu biti podložni uticaju kratkotrajnih (ekstremnih, min/max) vrednosti. Najčešći prikaz je za jednu godinu, s tim da se iskazuju mesečne vrednosti [6,7].

Odnos ostvarenja (PR) omogućava upoređivanje energetske efikasnosti FN elektrana na različitim lokacijama, bez obzira na ambijentalne uslove (zračenje, temperatura). U stvarnom radu PR=100% se ne može dostići, zbog raznih neizbežnih gubitaka, tako da se realni godišnji PR kreće između 60% i 90% [6,7,8]. Može se reći da je FN elektrana dobro projektovana i kvalitetna, ako je PR veća od 75%. Elektrane sa veoma kvalitetnim invertorima (velika efikasnost pri različitim uslovima rada) mogu dostići godišnji PR i do 85%.

### 4. FNE „FTN NOVI SAD“

Mrežna FNE „FTN Novi Sad“ je postavljena na ravan krov iznad amfiteatara Fakulteta tehničkih nauka i uspešno radi od oktobra 2011. god. Od januara 2012. god. zvanim je priključena na elektroenergetski sistem EPS-a, kao povlašćeni proizvođač „zelenih energija“. Instalirana snaga je 9,6 kW<sub>p</sub>, dok je izlazna nazivna snaga 8 kW. Realizovana je sa trofaznim invertorom string koncepcije, Sunny Tripower 8000 TL, proizvođača SMA Solar Technology, nominalne izlazne snage 8 kW. Na dva nezavisna ulaza invertora priključeno je po jedan FN niz (*string*), formiran od redne veze 20 FN panela, proizvođača Jinko Solar, oznake JKM-240P. Maksimalna snaga pojedinačnih FN panela iznosi 240 W<sub>p</sub>. Oba ulaza opremljena su DC/DC konvertorima upravljanim sa MPPT algoritmom za praćenje maksimalne snage niza. Na sl. 3 se vide FN paneli postavljeni na noseću konstrukciju, koja je smeštena na ravnom krovu, s tim da su paneli usmereni ka jugu pod nagibnim uglom od 30°.

Mesto instalacije i izabrana noseća konstrukcija FN panela su omogući ili njihov idealan položaj. Pored FN panela i invertora, elektranu čine zaštitna i sklopna oprema, kako na jednosmernoj (DC), tako i na izlaznoj naizmeničnoj (AC) strani. Takođe, uređaj je i upravlja ko-nadzorni sistem koji čine niz senzora (SensorBox), uređaj za nadzor (WebBox) i računarski softver za praćenje stanja u elektrani [9].



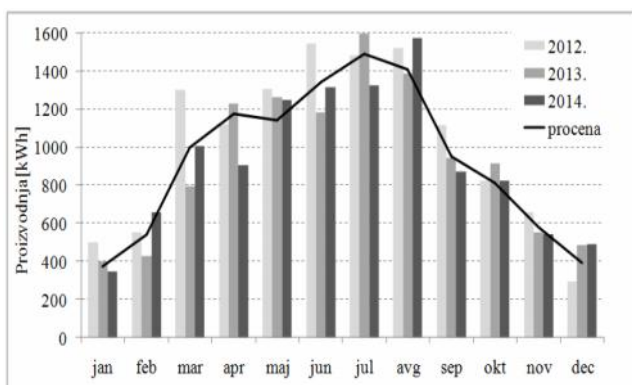
Sl.3. FNE „FTN Novi Sad“ – prikaz pozicije FN panela.

Zbog neposrednog okruženja, elektrana je projektovana sa visokim koeficijentom dimenzionisanja invertora  $k_{inv}$



(koli nik nominalne snage FN panela i nominalne izlazne snage invertora), koji iznosi  $k_{inv}=1,2$  (9600Wp/8000W). Zahvaljuju i položaju FN panela, kvalitetnom invertoru i velikom  $k_{inv}$  u inak elektrane je veoma velik, odnosno elektrana ima dobre performanse.

Na sl. 4 prikazana je procenjena proizvodnja FN elektrane po mesecima (puna linija), koja je određena na osnovu baze podataka zračenja softvera PVGIS. Na istoj slici prikazana je i ostvarena proizvodnja za prve tri godine rada elektrane. Vide se značajna odstupanja u proizvodnji od procene za pojedine meseci, što je posledica stvarnih meteoroloških prilika, koje su odstupale od dugogodišnjih proseka. Ipak, prose na godišnja suma proizvedene električne energije za tri godine se dobro slaže sa procenjenom vrednošću i iznosi 11,7MWh, dok je procenjena vrednost 11,2MWh. Dakle, ukupno odstupanje je samo +4,5%.



Sl.4. Procenjena i ostvarena proizvodnja električne energije FNE "FTN Novi Sad" [9].

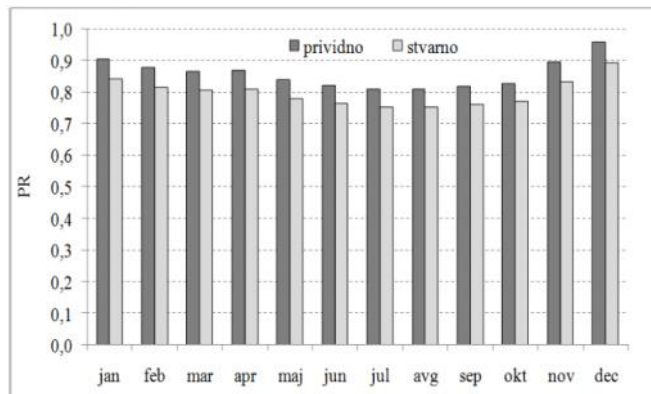
## 5. PREGLED OSTVARENJA (PR) ZA „FTN NOVI SAD“

Da bi se odredio Odnos ostvarenja (PR) FN elektrane, potrebno je u skladu sa (10) uporediti ostvarenu proizvodnju električne energije na izlazu FNE sa solarnom energijom (zračenjem), koja bi dospela na FN panele (referentna energija) u posmatranom intervalu vremena.

U FN elektrani "FTN Novi Sad" solarno zračenje se meri sa kalibrisanom FN elijom, koji je sastavni deo mini meteorološke stanice nazvane SensorBox. SensorBox je postavljen na nose u konstrukciju FN panela, pod istim uglom kao paneli. Zbog okolnih zgrada, FN paneli, a samim tim i SensorBox, nalaze se u senci u jutarnjim satima, što smanjuje ukupni potencijal zračenja, pa i PR, koje softver proračunava na osnovu podataka iz SensorBoxa, biti nazvan *Prividni PR*. Naime, ako postoji problem sa senenjem, dužina insolacije FN panela i senzora zračenja može biti različita. Različita dužina insolacije zavisi od položaja senzora u elektrani (kraće ili duže u senci) i na taj način direktno utiče na veličinu PR (*Prividni PR*). Odnos ostvarenja definisan jednačinom (10) uzima u obzir teoretski maksimalni referentni prinos, što znači da se isključuje senenje tokom proračuna. Nadalje i PR definisan izrazom (10) biti zvan *Stvarni PR*. Analizom senenja lokacije pomoću softvera PVSyst procenjeno je da bi zračenje bez senenja bilo za 7% veće od stvarne situacije.

Na sl. 5 se prikazuje kretanje PR tokom godine, kako prividnog, tako i stvarnog PR. Ovakva promena tokom godine je karakteristična za naše podneblje. Vidi se da je

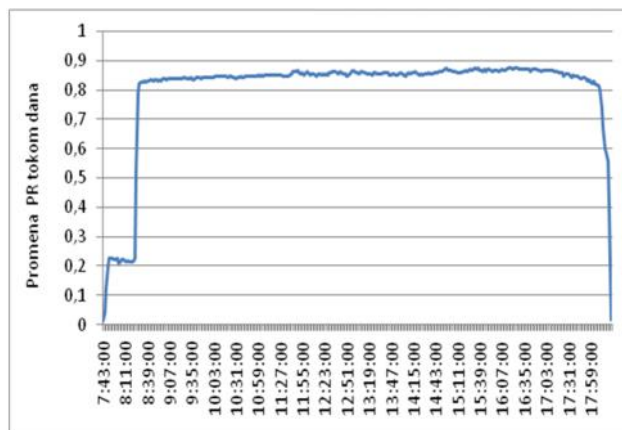
ostvarenje nešto bolje u mesecima kada je slabija proizvodnja (zimski meseci), nego tokom letnjih meseci. Slika 5 anemirani odnos za PR prijavljen je i u [7], s tim da je lokacija te FNE oko 330 km jugo-istočno nije od FNE „FTN Novi Sad“.



Sl.5. Odnos ostvarenja (PR), prividno i stvarno.

Međutim, slični takvi rezultati pokazuju se i u drugim područjima, kao što se može videti u [6], gde se radi o FNE u Arizoni (USA). Objašnjenje je u temperaturnoj zavisnosti izlazne karakteristike FN panela. Naime, zbog visoke temperature samog FN panela u toku letnjih meseci krajnji prinos elektrane  $Y_f$  se više smanjuje nego zimi, u odnosu na referentni prinos  $Y_r$ . Kretanje PR tokom sunčanog letnjeg dana za FNE „FTN Novi Sad“ prikazano je na sl. 6. Ono što je karakteristično za sliku je pojava efekta senenja, koji nije mogao biti izbegnut. PR je veoma malo (oko 20%), jer se FN paneli nalaze u potpunoj, odnosno neposredno pre skoka vrednosti PR, u delimičnoj senci.

Za FNE „FTN Novi Sad“ se dobija da godišnji Odnos ostvarenja elektrane, odnosno godišnji *Prividni PR* iznosi 86%, dok je godišnji *Stvarni PR*, po definiciji (10), 80%. Obe vrednosti PR svrstavaju ovo postrojenje u FN elektranu sa odličnom energetsom efikasnošću. Bez obzira na gubitke usled senenja od 7%, zbog velikog koeficijenta dimenzionisanja invertora, vrednost PR je značajna. Istraživanje uticaja  $k_{inv}$  na PR je vršeno na elektrani, i utvrđeno je da je  $k_{inv}$  dobro odabrano i da bi eventualno njegovo smanjenje dovelo do linearnog smanjenja i PR [10].



Sl.6. Promena odnosa ostvarenja tokom dana.

## 6. ZAKLJU AK

U radu su posmatrani ključni parametri za određivanje energetske efikasnosti jedne FNE, a dati su konkretni podaci za FNE „FTN Novi Sad“ izlazne nominalne snage 8 kW. Pokazano je da se u cilju određivanja energetske efikasnosti koristi parametar Odnos ostvarenja (*Performance Ratio* – PR), koji se kreće između 60% i 90%. Temperaturna zavisnost karakteristike FN panela glavni je uzrok manjeg PR tokom letnjih meseci u odnosu na zimske, što može biti podsticaj da se razmatra primena hibridnih verzija panela (FN/Thermal).

Godišnji Odnos ostvarenja za FNE „FTN Novi Sad“ je PR=80%, a ako se uzme uticaj senjenja, onda se on penje na čak 86%. Ovako dobar rezultat posledica je veoma pažljivog i temeljnog projektovanja same elektrane, kojeg je izvela grupa profesora sa Fakulteta tehničkih nauka iz Novog Sada iz Centra za obnovljive izvore i kvalitet električne energije, kao i kvalitetnog odabira FN panela, sklopova i komponenti, te brižljivog održavanja elektrane u kojem važnu ulogu imaju studenti i diplomci fakulteta.

## 7. LITERATURA

- [1] M. Reinger, F. Thies, G. Masson and S. Orlandi, „Global Market Outlook for Solar Power 2015/2019“, Solar Power Europe, Brussels, 2015. Available On-line: [http://www.solarpowereurope.org/fileadmin/user\\_upload/documents/Publications/Global\\_Market\\_Outlook\\_2015\\_-\\_2019\\_lr\\_v23.pdf](http://www.solarpowereurope.org/fileadmin/user_upload/documents/Publications/Global_Market_Outlook_2015_-_2019_lr_v23.pdf)
- [2] G. Masson, S. Orlandi and M. Reinger, „Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018“, EPIA – European Photovoltaic Industry Association, Brussels, 2014. Available On-line: [http://www.epia.org/fileadmin/user\\_upload/Publications/EPIA\\_Global\\_Market\\_Outlook\\_for\\_Photovoltaics\\_2014\\_-\\_2018\\_-\\_Medium\\_Res.pdf](http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/EPIA_Global_Market_Outlook_for_Photovoltaics_2014_-_2018_-_Medium_Res.pdf)
- [3] \*\*\*, Ministarstvo rudarstva i energetike Republike Srbije, „Registar povlašćenih proizvođača električne energije 04.08.2015.“, Beograd, 2015, Available On-line: <http://www.mre.gov.rs/doc/registar04.08.html>
- [4] \*\*\*, Ministarstvo rudarstva i energetike Republike Srbije, „Uredbu o merama podsticaja za povlašćene proizvođače električne energije“, *Službeni glasnik*, br.8/2013, Beograd, 2013, Available On-line: <http://www.mre.gov.rs/doc/efikasnost-izvori/B02%20Uredba%20o%20merama%20podsticaja%20za%20povlascene%20proizvodjace.pdf>
- [5] BS EN 61724:1998 / IEC 61724:1998, „Photovoltaic system performance monitoring — Guidelines for measurement, data exchange and analysis“, British Standard/IEC Standard, London/Geneva, 1998.
- [6] B. Marion, J. Adelstein, K. Boyle, H. Hayden, B. Hammond, T. Fletcher, B. Canada, D. Narang, D. Shugar, H. Wenger, A. Kimber, L. Mitchell, G. Rich and T. Townsend, „Performance Parameters for Grid-Connected PV Systems“, *31<sup>st</sup> IEEE Photovoltaics Specialists Conference and Exhibition*, Lake Buena Vista, Florida, USA, January 3-7, 2005
- [7] D. D. Milosavljević, T. M. Pavlović and D. S. Piršl, „Performance analysis of a grid-connected solar PV plant in Niš, Republic of Serbia“, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.44, 2015, pp.423–435, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.031>
- [8] \*\*\*, „Performance ratio - Quality factor for the PV plant“, SMA – Technical Information: Perfratio-UEN100810, Ver.1.0, SMA Solar Technology AG, Available On-line: <http://files.sma.de/dl/7680/Perfratio-UEN100810.pdf>
- [9] V. A. Kati, Z. Orba, D. Milićević, B. Dumnić, B. Popadić, „Realizacija krovne fotonaponske elektrane na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu“, *Tehnika*, God.70, Br.4, 2015, pp.655-662.
- [10] J. Matić, „Analiza rada fotonaponske elektrane sa visokim koeficijentom dimenzionisanja invertora“, Završni rad (Mentor: Zoltan Orba), Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Jul 2015.

**Abstract** – An increasing number of photovoltaic generation plants (PVGP) in the World, but also in Serbia raises the question of the efficiency of their work, or their Performance ratio (PR). The paper presents energy efficiency and definitions of key parameters of a PVGP. Special attention is given to Performance ratio (PR), which is explained in details. As an example, some operational results of the PVGP "FTN Novi Sad" are presented. Results were compared with values from other reports. It is shown that the PVGP "FTN Novi Sad" has a very high value PR of 86%, indicating a good quality of project, component selection and maintenance work of the plant.

### ENERGY EFFICIENCY OF IN-GRID PHOTO-VOLTAIC POWER PLANTS – CASE STUDY OF “FTN NOVI SAD”

Vladimir A. Kati, Zoltan Orba, Boris Dumnić, Dragan Milićević, Bane Popadić, Ilija Kovačević