Realizacija krovne fotonaponske elektrane na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu

VLADIMIR A. KATIĆ, Univerzitet u Novom Sadu,

Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

ZOLTAN J. ČORBA, Univerzitet u Novom Sadu,

Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

DRAGAN M. MILIĆEVIĆ, Univerzitet u Novom Sadu,

Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

BORIS P. DUMNIĆ, Univerzitet u Novom Sadu,

Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

BANE P. POPADIĆ, Univerzitet u Novom Sadu,

Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Stručni rad

UDC: 621.311.243

DOI: 10.5937/tehnika1504655K

Opisana je realizacija i rad krovne fotonaponske elektrane na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Prvo je predstavljen metod izbora lokacije elektrane. Proces projektovanja je uključio procenu proizvodnje, izbor koncepta elektrane i optimizaciju opreme. Sama realizacija je data kroz prikaz izgradnje, ispitivanja opreme i završnih testiranja. Na kraju je analiziran rad elektrane na bazi rezultata u trogodišnjem periodu.

Ključne reči: fotonaponska elektrana, fotonaponski paneli, proizvodnja energije

1. UVOD

Ako se izuzme sektor hidro energije, gde postoje značajni kapaciteti, ostali vidovi obnovljivih izvora energije (OIE) u Srbiji su još uvek slabo iskorišćeni. Procene su da ukupan tehnički iskoristiv potencijal obnovljivih izvora iznosi oko 5,06 Mtoe (miliona tona ekvivalentna nafte - tons oil equivalent, toe), a cilj postavljen za 2020. godinu je da se 27% ukupne primarne potrošnje (15,531 Mtoe) pokrije iz OIE [1]. Procenjeno je da je za ostvarenje tog cilja potrebno 1092 MW novih kapaciteta.

Prosečan intenzitet sunčevog zračenja na horizontalnoj površini na teritoriji Republike Srbije kreće se od 1,1 – 1,7 kWh/m²/dan tokom januara, do 5,9 – 6,6 kWh/m²/dan tokom jula [1,2]. Ovaj podatak ukazuje da se godišnje na ravnoj površini može očekivati od 1.200 – 1.550 kWh/m² sunčevog zračenja. Stepenn zračenja može biti znatno veći (oko 20% - 30%) ako se posmatra zakošena površina ili rotirajuća (koja prati

kretanje sunca), odnosno da se može očekivati od 1.560 – 2.000 kWh/m². Na bazi ovih podataka može se oceniti da su potencijali solarne energije u Srbiji veoma povoljni. Ova vrsta energije se upotrebljava u sklopu solarne termo-energetike [3] i za konverziju solarne u električnu energiju pomoću solarnih fotonaponskih (FN) postrojenja. Na bazi službenih informacija vidi se da je u Srbiji trenutno (maj 2015) operativno 7,98 MWp, a u pripremi još 2,02 MWp solarnih FN elektrana [1].

U ovom radu opisani su postupak projektovanja, izgradnje i analiza rada jedne od prvih fotonaponskih (FN) elektrana u Srbiji postavljene na ravnom krovu Fakulteta tehničkih nauka (FTN) u Novom Sadu. Investitor i realizator bio je sam FTN preko svog Centra za obnovljive izvore i kvalitet električne energije (CRESPO) uz pomoć Pokrajinskog sekretarijata za obrazovanje, upravu i nacionalne zajednice i raznih privrednih organizacija (SMA Solar Technology, Hilti, Gran Solar, Evrotehnika, Eaton Moeler, Elektrokoil, Elektrovodovodina i Banca Intesa). Projekat je realizovan tokom 2011. godine. Cilj izgradnje je bio da se dobije svojevrsan poligon - laboratorija na otvorenom za studente FTN-a i time obezbede uslovi za praktičnu obuku i istraživački rad.

Adresa autora: Vladimir Katić, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6

Rad primljen: 09.03.2015.

Rad prihvaćen: 03.06.2015.

2. IZBOR LOKACIJE FN ELEKTRANE

U procesu određivanja mikro-lokacije FN elektrane razmatrani su raspoloživi ravni krovovi objekata FTN-a u okviru kampusa Univerziteta u Novom Sadu. Na slici 1 se vidi da su na raspolaganju bila dva ravna krova (krov Kule i krov amfiteatara).

Izabrana lokacija za postavljanje FN panela prikazana je na slici 2. To je ravni krov zgrade FTN-a u kojoj se nalaze amfiteatri, biblioteka i čitaonica. Površina ovog ravnog krova iznosi oko 1.100 m². Međutim, pojedini delovi površine ovog ravnog krova tokom dana ulaze u senku okolnih objekata, tako da celokupna površina nije povoljna za postavljanje FN panela. Detaljnom analizom sprovedenom u softverskom paketu PVSyst [4], određeno je da se FN paneli postave na severnom delu krova, odnosno da se tamo smesti fiksna noseća konstrukcija, pod optimalnim nagibnim uglom.

Slika 1 – Lokacija fotonaponske elektrane

Slika 2 – Izgled ravnog krova pre postavljanja FN elektrane i uticaj senčenja

3. PROCEDURA PROJEKTOVANJA

Projektovanje postrojenja FN elektrane instalirane na krovu objekta zahteva određivanje sledećih projektnih koraka:

- procena energetskog potencijala lokacije,

- izbor koncepta FN elektrane,
- određivanje optimalnog položaja na mikro-lokaciji,
- optimizacija i usaglašavanje komponenti FN elektrane.

3.1. Procena solarnog potencijala lokacije

Pre samog početka realizacije projekta, od strane inženjera CRESPO-a Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, urađena je procena energetskog potencijala (ozračenja) date lokacije, kao i očekivana godišnja proizvodnja električne energije. Za obe procene korišćen je interaktivni softverski alat PVSyst [4] i PVGIS [5]. Rezultati proračuna su pokazali da prosečna godišnja vrednost sume ozračenja iznosi 1.537 kWh/m².

Uz pretpostavku da su ukupni gubici u FN elektrani oko 23% [5], od čega su električni gubici 12%, a gubici usled temperaturnih promena FN panela oko 11%, procenjena je mesečna proizvodnja (slika 3). Na osnovu toga dobija se estimacija moguće godišnje proizvodnje ove FN elektrane od 11,2 MWh.

Slika 3 – Procenjena proizvodnja električne energije za FN elektranu po PVSyst

3.2. Izbor koncepta FN elektrane

FN elektrana je planirana za direktno povezivanje na elektroenergetski sistem (*grid-connected*), pa se sastoji od FN panela, invertora (DC/AC pretvarača) i niza DC i AC sklopnih i zaštitnih uređaja, te dvosmernog brojila aktivne energije (slika 4).

Slika 4 – Prikaz strukture, organizacionog koncepta FN elektrane

Za koncept realizacije FN elektrane izabrana je struktura sa invertorom za niz FN panela (string inverter), kome su prilagođene ostale glavne komponente, kao što su noseća metalna konstrukcija i FN paneli. U takvom konceptu, mogu postojati jedan ili više nizova (string) sa većim brojem serijski vezanih FN panela u zavisnosti od mogućnosti odabranog invertora. Na slici 4 je predstavljen slučaj sa dva niza FN panela (niz A i niz B) sa po 20 redno vezanih FN panela, montirana na dve nezavisne noseće metalne konstrukcije. Preko DC rasklopne opreme ovi nizovi su povezani na posebne ulaze invertora, što omogućava njegovu maksimalnu efikasnost. Na izlaznoj strani invertora nalazi se AC zaštitna i sklopna oprema, izabrana saglasno sa uslovima priključenja dobijenim od nadležne elektrodistribucije [6].

3.3. Određivanje optimalnog položaja FN panela

Za potrebe određivanja optimalnog položaja FN panela izvršeno je geodetsko snimanje položaja i visine zgrade na koje je predviđeno postavljanje FN panela, kao i okolnih zgrada (uticaj senčenja). Za nalaženje optimalnog položaja FN panela na krovu korišćen je programski paket PVSyst, čime je omogućena optimizacija proizvodnje električne energije [4].

Dodatni problem za postavljanje FN panela predstavljale su i razne prepreke na krovu, koje su ograničavale izbor slobodnog mesta. Poseban zahtev je bio da se konstrukcija postavi na krov bez njegovog bušenja ili bilo kakvog drugog oštećenja, kako prilikom montaže, tako i u toku eksploatacije FN elektrane. Konstrukcija je morala da zadovolji i druge uslove vezane za temperaturne promene, klimatske uslove, vlagu, udare vetra i sl.

Slika 5 – Trodimenzionalan prikaz okruženja i pozicije FN elektrane (strelica)

Određen je položaj na severnoj polovini krova, tako da se konstrukcija postavi okrenuta prema jugu sa nagibom od 30° (slika 5). Za izabrani položaj određen je dijagram faktora senčenja za celu godinu, što je prikazano na slici 6. Dijagram ukazuje da se najveći gubici usled senčenja javljaju u proseku do 9 sati pre podne i to zbog zgrade nastavnog bloka FTN-a (slika 2).

Slika 6 – Dijagram položaja Sunca sa uticajem senčenja tokom godine

3.4. Optimizacija i usaglašavanje komponenti FN elektrane

Za izbor komponenti FN elektrane, prvo je bilo potrebno izabrati FN panele i invertor. Pri odabiru snage panela posebno se vodilo računa o faktoru dimenzionisanja invertora, k_{inv} [7], koji predstavlja odnos nominalne snage FN panela (P_{FN}) i izlazne nominalne snage invertora (P_{inv}):

$$k_{inv} = \frac{P_{FN}}{P_{inv}} \quad (1)$$

Faktor dimenzionisanja invertora obično se kreće u granicama $0,8 < k_{inv} < 1,25$. Tačna vrednost faktora k_{inv} zavisi od činilaca kao što su geografska lokacija elektrane, sunčevo zračenje, način montaže panela i karakteristike invertora. Analiza prethodno nabrojanih faktora ukazala je na mogućnost većeg faktora, odnosno projektanti su se opredelili za $k_{inv}=1,2$. Za predmetnu elektranu izabran je trofazni invertor Sunny Tripower 8000 TL, proizvođača SMA Solar Technology, nominalne izlazne snage 8 kW, na koji se mogu priključiti dva niza. Na bazi toga, određeno je da nominalna snaga FN panela bude 9,6 kWp. Izabrani su FN paneli izrađeni od polikristalnog tipa silicijuma, proizvođača Jinko Solar, oznake JKM-240P maksimalne snage 240 Wp, raspoređeni u dva niza (niz A i niz B) sa po 20 redno vezanih panela (slika 4).

Prilikom proračuna električne instalacije u FN elektrani naročita pažnja posvećena je minimizaciji električnih gubitaka u provodnicima, koji su ograničeni na 1% [8]. Najznačajniji gubici na AC strani su u napojnom vodu, koji spaja invertor i kablovsku priključnu kutiju (KPK). Izabran je kabl poprečnog preseka $4 \times 6 \text{ mm}^2$, čime su ograničeni maksimalni gubici u napojnom vodu na vrednost od 0,2%. Prosečna vrednost gubitaka u DC kablovima, poprečnog preseka 6 mm^2 , za oba fotonaponska niza, iznosi maksimalno 0,5%.

Dodatni zahtev je provera usaglašenosti naponskih i strujnih nivoa invertora i nizova FN panela, na

osnovu čega se određuje broj panela u rednoj i po potrebi, paralelnoj vezi. Pošto se izlazni napon FN panela značajno menja sa promenom temperature panela, provera naponskih nivoa se vrši u funkciji promene temperature.

Standardna provera za područja sa umerenom kontinentalnom klimom je za temperaturu panela (ćelije) od 70°C , koja se odnosi za uslove rada u letnjim mesecima i za temperaturu od -10°C , za zimske uslove [9]. Preporučuje se provera naponskih nivoa i za niže temperature, odnosno za one koje se mogu pojaviti na datoj lokaciji. Ove provere su potvrdile izbor od 2 x 20 panela.

4. REALIZACIJA PROJEKTA

Nakon projektne faze (proleće 2011. godine), gde su stručnjaci CRESPO-a uradili glavni, izvođački projekat, obezbedili odgovarajuće dozvole i saglasnosti, te tehničke uslove, prešlo se na realizaciju (leto 2011. godine). Izvođenje radova na samoj lokaciji započelo je montiranjem metalne noseće konstrukcije na ravnom krovu.

Metalna noseća konstrukcija pričvršćena je za betonsku podlogu i zatim postavljena u niz. Jedan niz metalne konstrukcije, prikazan u fazi instalacije se može videti na slici 7.

Slika 7 – Metalna konstrukcija u toku montaže

Na pocinkovanu metalnu konstrukciju FN paneli su postavljeni na način da je duža ivica paralelna sa krovom (landscape) i to pod uglom od 30° , kako je određeno prilikom optimizacije. Izgled krova posle postavljanja FN panela (string A) prikazan je na slici 8.

Nakon završene instalacije FN panela na krovu, pristupilo se instalaciji invertora, sklopne i zaštitne opreme kao i komunikaciono-nadzornih uređaja. Sva oprema je smeštena u standardni električni orman, koji je postavljen unutar zgrade fakulteta, a kome je pridružen spoljni monitor (displej) za praćenje parametara FN elektrane.

Slika 8 – String A sa FN panelima

Invertor, koji je prikazan na slici 9, smešten je u orman iz bezbednosnih razloga u cilju sprečavanja povređivanja ljudi usled visokih temperatura, koje se mogu pojaviti na nezaštićenom bočnom delu invertora, kada invertor radi punom snagom.

Slika 9 – Trofazni invertor

Ispod invertora je smeštena neophodna sklopna i zaštitna oprema, koju između ostalog čine i ručni DC i AC prekidači, motorni prekidač, vremenski rele i rele namenjen malim FN elektranama za sprečavanje ostrvskog režima rada.

Pored energetskog dela u FN elektrani postoje i sledeći komunikaciono-nadzorni i merni uređaji: integrisan komunikacioni uređaj u invertoru, uređaj za komunikaciju putem interneta (webbox), merni uređaj (sensorbox) i računar. Webbox sa integrisanim web-serverom, omogućava zapis najbitnijih parametara sistema u internu memoriju i na računar. Sensorbox je mini meteorološka stanica, koja meri sunčevo zračenje, brzinu vetra, temperaturu FN panela i temperaturu vazduha. Ovi uređaji omogućavaju nadzor elektrane na licu mesta, ali i daljinski putem interneta.

Na priključenom računar u instaliran je poseban softver, koji je isporučila firma SMA, čiji zadatak je da obradi informacije iz sensorbox-a i prikaže ih na priključenom monitoru. Pored gore pomenutih merenih podataka, na monitoru se prikazuje i vrednost trenutne snage, proizvedene energije (u tom danu i ukupno od puštanja u rad), ekvivalentno smanjenja emisije CO₂, i par drugih interesantnih podataka. Kompletan rad FN elektrane se može pratiti preko web sajta <https://www.sunnyportal.com>.

5. TESTIRANJE FN PANELA

Instalirani FN paneli u predmetnoj elektrani isporučeni su sa, tj. poseduju 10 različitih sertifikata, kao potvrdu kvaliteta i funkcionalnosti.

Radi provere funkcionalnosti FN panela, saradnici CRESPO-a izvršili su odgovarajuća testiranja na mestu ugradnje. Najpre je izvedeno snimanje I-U i P-U karakteristika jednog, na slučaj izabranog FN panela, a zatim je testirana ispravnost svih ugrađenih FN panela. Cilj ovih testiranja je bio da se proveriti ispravnost FN panela i isključi svaka mogućnost oštećenja nastala prilikom transporta ili ugradnje i time neekonomičnog rada FN elektrane.

5.1. Snimanje karakteristike FN panela pre puštanja elektrane u rad

Strujno-naponska (I-U) karakteristika je osnovni pokazatelj performansi jednog FN panela.

Na početku i na kraju merenja zabeležene su vrednosti intenziteta zračenja i temperature FN panela. Srednja vrednost zračenja tokom izvođenja merenja bila je 612 W/m², dok je srednja vrednost temperature panela iznosila 22 °C. Za pomenute uslove rada dobijeni su sledeći karakteristični podaci za FN panel tipa JKM-240P: struja kratkog spoja $I_{ks}=5,3$ A, napon praznog hoda $U_{ph}=35,3$ V, maksimalna snaga $P_{max}=147$ W, napon u tački maksimalne snage $U_{mp}=28$ V, struja u tački maksimalne snage $I_{mp}=5,25$ A.

Merenje I-U i P-U karakteristika izvršeno je u više karakterističnih tačaka [10]. Na slici 10. prikazane su I-U i P-U krive FN panela JKM-240P snimljene pri vrednosti srednjeg zračenja od 612 W/m² i srednje vrednosti temperature panela od 22°C.

Slika 10 - I-U i P-U karakteristike dobijene merenjem

Snimljene I-U i P-U krive FN panela u ovim uslovima najbliže odgovaraju I-U i P-U karakteristikama datim u katalogu za 600 W/m² i 25°C. Poređenjem ovih karakteristika može se zaključiti da FN panel u potpunosti radi u skladu sa priloženim podacima od strane proizvođača.

5.2. Testiranje ispravnosti ugrađenih FN panela

Pored snimljenih karakteristika, izvršeno je i testiranje svakog FN panela pojedinačno. Prvo je izvršen vizuelni pregled FN panela, da bi se ustanovila eventualna vidljiva mehanička oštećenja. Zatim je digitalnim multimerom merena struja kratkog spoja i napon praznog hoda svakog FN panela. Nakon upoređivanja izmerenih i kataloških vrednosti utvrđena je ispravnost svih FN panela [10].

6. ANALIZA U PRVOJ GODINI RADA

FN elektrana FTN puštena je u rad 25. 10. 2011. godine, posle odgovarajućih provera reagovanja predviđenih mera zaštite i zvaničnog priključenja na mrežu od strane stručnjaka DP Elektrovojvodina iz Novog Sada.

6.1 Simulacija rada FN elektrane

Radi analize ispravnosti rada same elektrane, prvo je urađen simulacioni model kompletne elektrane korišćenjem podataka od proizvođača ugrađenih elemenata (FN panela, DC/AC invertora, DC i AC prekidača i dr.). Kompletan model je opisan i testiran u [11], a poređenja sa stvarnim rezultatima rada elektrane su pokazale ispravnost koncepta. Takođe, time je potvrđen primenjen sistem i konstrukcija, te utvrđeno da se elektrana može nesmetano pustiti u eksploataciju. Nakon test režima od 2 meseca ova elektrana je počela zvanično da isporučuje energiju sistemu EPS-a od 01.01.2012. god.

6.2. Analiza proizvodnje

Radi ilustracije rada FN elektrane, odabrana su dva karakteristična slučaja. Slika 11 prikazuje dnevnu promenu izlazne snage invertora na dan 13. jul 2012. godine, kada je bio pretežno vedar dan. Tog dana je postignuta najveća dnevna proizvodnja tokom dotadašnjeg rada elektrane, koja je dostigla vrednost od 60,9 kWh. U satima sa najvećim zračenjem temperatura FN panela je bila dovoljno niska da elektrana dostigne svoju maksimalnu snagu na izlazu od 8 kW.

Spomenuta problematika senčenja u prepodnevним satima umanjuje ukupnu proizvodnju. Uticaj senke vidi se na slici 11 u jutarnjim satima. Dok su paneli u senci izlazna snaga elektrane veoma sporo raste srazmerno povećanjem zračenja u senci. Nakon toga (u 8:25h) nastaje nagli porast snage, kao posledica izlaska panela iz senke (od 0,5 kW na 4 kW).

Ova problematika će se posebno istraživati u budućim radovima.

Slika 11 – Promena izlazne snage invertora za 13. jul 2012. godine

Slika 12 prikazuje dnevnu promenu zračenja i izlazne snage invertora za 22. decembar 2012. godine, kada je u toku celog dana bila prisutna magla. Ovog dana je proizvedena najmanja količina energije od početka rada elektrane, svega 1,1 kWh. Izlazna snaga invertora tokom celog dana nije dostizala ni 300 W. Zračenje je tokom celog dana bilo manje od 100 W/m².

Slika 12 - Promena izlazne snage invertora za 22. decembar 2012. godine

Da bi se utvrdila efikasnost rada raspoložive solarne elektrane, definiše se faktor performanse (Performance Ratio, PR). On ne zavisi od lokacije i predstavlja svojevrsan faktor kvaliteta rada. Definiše se kao odnos stvarno generisane energije i teoretski predviđene za određenu FN elektranu. Za ovu elektranu PR je vrlo visok zahvaljujući dobrom projektovanju, optimizaciji i usaglašenosti komponenti elektrane. Zimi je veći, a leti nešto manji, tako da prosečna vrednost na godišnjem nivou iznosi 0,85 (inače, praktične granične vrednosti su 0,75 do 0,85).

6.3. Harmonijsko izobličenje

Provera kriterijuma dozvoljenih struja viših harmonika je standard koji se zahteva prilikom puštanja u probni rad elektrane. U vreme puštanja u rad elektrane FTN Novi Sad ovaj kriterijum se nije proveravao. Naime, elektrana je bila prva koja je značajno priključena na distributivnu mrežu, kao FN elektrana u Srbiji, i tada su se tek sticala prva iskustva.

Pošto CRESPO poseduje uređaj za ispitivanje kvaliteta električne energije, naknadno su izvršena odgovarajuća merenja. Po Pravilima o radu distributivnog sistema [6] vrednosti pojedinačnih struja viših harmonika su date svedene na snagu kratkog spoja u tački priključenja elektrane. U tabeli 1 su date granične vrednosti svedenih struja viših harmonika (maksimalno dozvoljene vrednosti u A/MVA), dozvoljene struje pojedinačnih harmonika elektrane preračunate u odnosu na snagu kratkog spoja (I_{vhsdov}) i izmerene maksimalne struje pojedinačnih harmonika (I_{vhsmax}). Kao što se iz tabele vidi, izmerene vrednosti struje pojedinačnih harmonika u FN elektrani su daleko ispod dozvoljenih vrednosti. Merenja su potvrdila da je u potpunosti ispunjen kriterijum dozvoljene struje viših harmonika.

Tabela 1. Svedene vrednosti dozvoljenih struja viših harmonika

Granične vrednosti svedenih struja viših harmonika [A/MVA]	Redni broj višeg harmonika - v							
	5	7	11	13	17	19	23	25
	1,5	1	0,5	0,4	0,3	0,25	0,3	0,25
I_{vhsdov} [A]	4,85	3,23	1,62	1,29	0,97	0,81	0,97	0,81
I_{vhsmax} [A]	0,64	0,50	0,12	0,17	0,12	0,03	0,01	0,00

Ipak treba napomenuti da je proizvođačkom specifikacijom definisano da inverter radi sa malim izobličenjem struje (~2%) samo ako je snaga iznad 50% nominalne. To ukazuje na mogućnost pojave značajnijeg strujnog izobličenja. Slika 13 prikazuje talasne oblike napona i struje jedne faze pri izlaznoj snazi invertora od 5 kW. Kao što se vidi struja nije čisto sinusna. Izobličenje napona je diktirano stanjem u priključnoj mreži i nije relevantno za ocenu rada PV elektrane. Ova pojava zahteva dalje izučavanje i biće predmet posebnog istraživanja.

Slika 13 - Talasni oblik napona i struje

7. ANALIZA NAKON TRI GODINE RADA

7.1 Ostvarena proizvodnja

FN elektrana FTN Novi Sad je u periodu 2012-2014. proizvela ukupno 33.410 kWh „zelene” energije i plasirala je u elektroenergetski sistem Srbije. To veoma dobar rezultat i iznosi oko 2,9% iznad očekivanog. Slika 14 daje uporedni prikaz procenjene i ostvarene mesečne proizvodnje električne energije. Posmatrajući mesečnu proizvodnju tokom dosadašnjeg rada, najveća proizvodnja se postizala u letnjim mesecima - jun, jul i avgust u opsegu od 1.285 kWh do 1.543 kWh. Najmanja mesečna proizvodnja elektrane je u decembru i januaru od 292,2 kWh do oko 500 kWh.

7.2. Snimanje karakteristike FN niza

Kao što je opisano, snimanje karakteristike FN panela je urađeno pre početka puštanja elektrane u rad, a sada je ponovljeno da bi se utvrdilo kolika je degradacija snage. Po uslovima garancije proizvođača slabljenje snage FN panela ne prelazi 0,83% za prvih 12 godina rada. Snimanje je urađeno novom profesionalnom opremom.

Slika 14 – Uporedni prikaz ostvarene i procenjene proizvodnje

Slika 15 prikazuje P-U karakteristiku ispitivanog FN niza pri solarnom zračenju 480 W/m^2 i temperaturi panela od $40,4^\circ\text{C}$. Sada će biti razmotrena samo tačka maksimalne snage (TMS) FN niza. Izmerena vrednost TMS je 2.016 W. Svedeno na standardne uslove testiranja (STC), snaga iznosi 4.535,6 W.

Po kataloškim podacima godišnje slabljenje snage FN panela iznosi 0,83%. Takođe je potrebno uzeti u obzir i toleranciju FN panela od $\pm 3\%$. Kada se uzme u obzir tolerancija maksimalne snage, snaga FN niza sa novim panelima se kreće u opsegu od 4.656 W do 4.944 W. Ovo znači da posle tri godine eksploatacije snaga niza treba da je u granicama od 4.539,6 W do 4.820,4 W. Vidi se da se izmerena snaga FN panela svedena na standardne uslove testiranja, praktično poklapa sa donjom granicom proračuna.

Slika 15 – Karakteristika izlazne snage FN niza

8. ZAKLJUČAK

Posle višegodišnjeg praktičnog i teoretskog sticanja znanja, realizovanih studija izvodljivosti i glavnih projekata izgradnje više FN elektrana, tim stručnjaka CRESPO-a sa FTN-a iz Novog Sada, projektovani su, pribavili sve neophodne dozvole, izveli radove i pustili u rad solarnu FN elektranu snage 8 kW na ravnom krovu zgrade Fakulteta. Značajnu pomoć u realizaciji projekta pružili su i studenti studijskog programa Elektroenergetika - Obnovljivi izvori energije, za koje ova elektrana ima karakter laboratorije na otvorenom, odnosno oglednog poligona. Ona će poslužiti i za njihovu dalju obuku, kako bi osim teorijskih sticali i praktična znanja i veštine. Međutim, ona ima značaj i za dalja istraživanja na FTN iz ove aktuelne oblasti, tako i za popularizaciju korišćenja obnovljivih izvora energije.

Posle trogodišnjeg iskustva može se zaključiti da FN elektrana na krovu Fakulteta tehničkih nauka besprekorno radi i da je elektroenergetskom sistemu Srbije do sada isporučila 35.400 kWh električne energije.

LITERATURA

- [1] Ministarstvo rudarstva i energetike Republike Srbije, Sektor za energetska efikasnost i obnovljive izvore energije, Beograd <http://www.mre.gov.rs/energetska-efikasnost-obnovljivi-izvori.php>
- [2] T. Pavlović, D. Milosavljević, D. Mirjanić, "Obnovljivi izvori energije", Monografija, Akademija nauka i umjetnosti Republike Srpske, Banja Luka, 2013.
- [3] M. Lambić i dr, „Studija o proceni ukupnog solarnog potencijala - solarni atlas i mogućnosti "proizvodnje" i korišćenja solarne energije na teritoriji AP Vojvodine", Studija, Pokrajinski sekretarijat za energetiku i mineralne sirovine, Novi Sad, 2011, <http://www.psemr.vojvodina.gov.rs/>
- [4] PVSyst, <http://www.pvsyst.com/en/>

- [5] PVGIS, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- [6] P. D. Elektrovojvodina, „Pravila o radu distributivnog sistema“, "Službeni glasnik RS", br. (8/2010, 2/2014) 42/2014, <http://www.mre.gov.rs>, 2014.
- [7] The German Energy Society, „Planning & Installing Photovoltaic Systems“, 2010.
- [8] L. R. Maillo, „Optimal cable sizing in PV systems“, Leonardo Energy, 2009.
- [9] ABB, „Technical Application Papers No.10: Photovoltaic Plant“, 2010.
- [10] D. Škorić, „Pregled i testiranje fotonaponskih panela“, Diplomski rad (Mentor: V.Katić), Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2011.
- [11] Z. Čorba, V. A. Katić, B. Dumnić, D. Milićević, “In-Grid Solar-to-Electrical Energy Conversion System Modeling and Testing”, Thermal Science, Vol.16, Suppl.1, 2012, pp. S159-S171.

SUMMARY

The paper describes the implementation and operation of photovoltaic power plants at the Faculty of Technical Sciences in Novi Sad. First the procedure for location selection of the power plants is presented. The design process included evaluation of electricity generation, the concept of plant structure and optimization of equipment. The realization is given through overview of assembling the plant, checking of the equipment and final testing. At the end, the plant operation is analyzed based on the results of the three-year period.

Key words: Renewable Energy Sources, Solar radiation, PV modules, PV plant, Power quality