

Oprema za ispitivanje i učenje o fotonaponskim sustavima *Testing equipment for learning about photovoltaic systems* D. Pelin^{1,*}, A.Brandis¹, Z.Ćosić¹

¹Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: dpelin@ferit.hr

Sažetak

Za potrebe učenja o fotonaponskim (FN) sustavima u smislu povezivanja s elektroenergetskom mrežom, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek (FERIT) je kroz projekte programa prekogranične suradnje Hrvatska-Mađarska, nabavio vrijednu opremu za izvođenje laboratorijskih vježbe te za znanstveno istraživanje. Stoga su u radu opisani FN emulator i didaktičko-multimedijalna oprema za učenje o FN sustavima. Predložena su testiranja u svrhu određivanja proizvedene električne energije FN sustava različitih tehnologija FN modula primjenom postupka brze emulacije kojom se znatno smanjuje vrijeme emulacije u odnosu na standardnu emulaciju. Dodatno, provedeni su pokusi za učenje o karakteristikama FN modula, snimanjem i analiziranjem $u-i$ karakteristika s obzirom na jačinu svjetlosti i temperaturu. Pri tome su prikazane $u-i$ karakteristike nizova pri serijskom i paralelnom spajanju više FN modula te utjecaj nagiba postavljanja FN modula u odnosu na izvor svjetlosti, kao i na intenzitet svjetlosti, a kako bi korištenje FN sustava bilo energetski učinkovito.

Abstract

For learning about Photovoltaic (PV) systems regarding of connection such systems on the power grid, the valuable equipment was purchased by Faculty of electrical engineering, computer science and information technology Osijek through management of two projects of the cross-border cooperation programme Croatia Hungary. These equipment had been using for laboratory exercise as well as scientific research. Thereby in this paper, PV emulator and small scale PV learning platform are introduced. The testing are proposed for estimation of the electric energy production for PV systems with different technology of PV module by using fast emulation which multiple reduce time of emulation concerning standard emulation procedures. In addition, experiments for learning about $v-i$ characteristics of PV module are carried out by recording and analysing $v-i$ characteristics in respect to intensity of embedded artificial light source and temperature. Therefore, $v-i$ characteristics of PV strings are obtained and sensitivity analysis with regard to the light source angle as well as and intensity of light are carried out for the purpose of energy efficient power production.

Ključne riječi: didaktičko-multimedijalna oprema, fotonaponski emulator, ispitivanje, *u-i* karakteristike.

Key words: didactic-multimedia equipment, photovoltaic emulator, testing, *v-i* characteristics.

1. Uvod

Energija Sunčeva zračenja jedan je od najistaknutijih oblika obnovljivih izvora energije, čiji se potencijal sve više primjenjuje [1-3]. Jedan od izraženijih načina direktne pretvorbe Sunčeva zračenja u električnu energiju je FN tehnologija [4-6]. Razvojem tehnoloških rješenja FN modula i elektroničke opreme došlo je do porasta instaliranih snaga FN sustava, a samim time i do povećanja interesa za instaliranjem FN sustava. Danas se proizvođači FN opreme suočavaju sa raznim problemima glede tehničkih ispitivanja opreme. Ispitivanje elektroničkih energetskih pretvarača velikih snaga pri spajanju FN modula/nizova na mrežu u realnim uvjetima nije ekonomski i prostorno prihvatljivo, odnosno povećani su troškovi izgradnje takvih sustava [7]. Zbog toga dolazi do potrebe uvođenja novih uređaja, pri čemu provedena ispitivanja neće ovisiti o vanjskim uvjetima (jakosti zračenja i temperatura FN modula) kao i o prostornim uvjetima, tzv. FN emulatori [8]. U radu je opisan jedan takav FN emulator čiji su podsustavi nabavljeni kroz projekt programa prekogranične suradnje Mađarska- Hrvatska. Dizajniran je PV emulator i predložen je postupak brze emulacije pomoću kojeg se na dnevnoj bazi može emulirati proizvodnja električne energije FN sustava u ovisnosti o snazi i tehnologiji izrade FN modula. Dodatno, nabavljen je i skalirani FN sustav, dizajniran u obliku didaktičko-multimedijalne opreme koji se koristi u laboratorijskim vježbama. Zbog spuštenih naponskih nivoa ispod 50 V ova oprema je sigurna za rad sa studentima. U radu su predloženi pokusi s uvedenom opremom u cilju učenja o stvarnim FN sustavima u smislu postavljanja FN modula i njihovo međusobno povezivanje.

2. Oprema za učenje o fotonaponskim sustavima

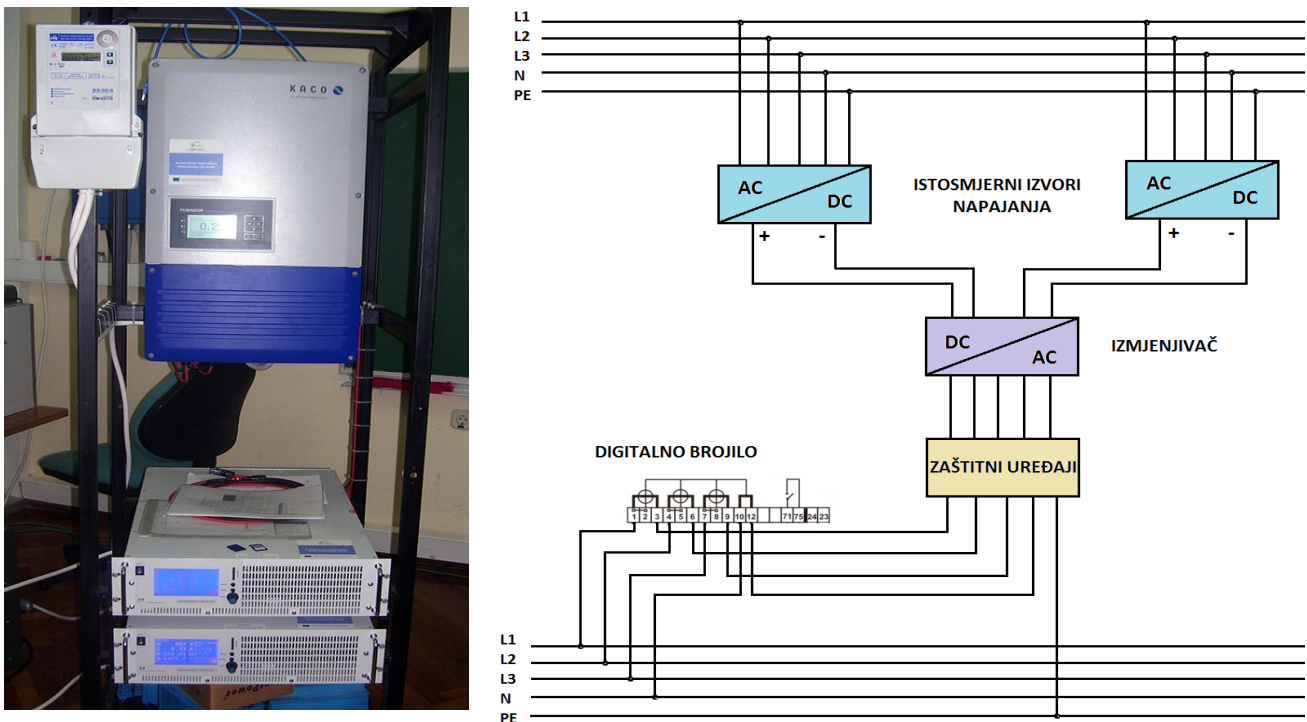
FERIT je kroz zadnja dva poziva programa prekogranične suradnje Mađarska–Hrvatska (IPA II i INTERREG) [9] bio nositelj dvaju projekata vezanih za primjenu obnovljivih izvora energije (OIE) u proizvodnji električne energije. Kroz projekte je nabavljena vrijedna oprema za učenje o FN sustavima. Tako je za vrijeme prvog projekta dizajniran FN emulator [10] koji se koristi u nastavi na laboratorijskim vježbama ali i za znanstveno istraživanje, dok je za vrijeme drugog projekta nabavljena didaktičko-multimedijalna oprema [11] pogodna za izvođenje laboratorijskih vježbi iz kolegija vezanih za tematiku OIE, točnije FN sustava.

2.1 FN emulator

Osnovni problemi prilikom emulacije FN sustava s ciljem pronalaženja optimalnog FN sustava s obzirom na tehnologiju izrade FN modula i elemente klime na mjestu postavljanja, a kako bi proizvedena električna energija bila maksimizirana, su potrebna površina za postavljanje FN modula koja je proporcionalna snazi FN sustava i velika osjetljivost proizvodnje električne energije o promjeni Sunčevog zračenja koja se očituje u



promjeni naponsko-strujnih karakteristika FN modula, tzv. *u-i* karakteristika [12]. Jedno od predloženih rješenja za navedene probleme, a kojim se može ispitivati elektroničke opreme za povezivanje FN modula s mrežom, kao i emulirati proizvodnja električne energije FN sustava različitih po snazi i tehnologiji FN modula je fotonaponski emulator. Jedan takav emulacijski sustav nalazi se u Laboratoriju za energetska elektroniku; FERIT-a Osijek, slika 1.



Slika 1. FN emulator i blok shema podsustava FN emulatora

FN emulator se sastoji od nekoliko međusobno povezanih uređaja koji čine jedan cjeloviti sustav:

- Dva programabilna istosmjerna izvora napajanja LAB/HP 101000 proizvođača ET System electronic [X],
- izmjenjivač Powador 12.0 TL3 INT, proizvođača KACO [X],
- digitalno brojilo EBT308 proizvođača RIZ [X],
- priključni ormarić u kojem su smješteni zaštitni uređaji,
- metalno kućište na koje su pričvršćeni svi uređaji.

Istosmjerni izvori napajaju se iz trofazne mreže napona 3x400 V, frekvencije 50 Hz. Izlazi programabilnih izvora povezani su s izmjenjivačem i to tako da je svaki izvor spojen na jedan neovisni MPPT ulaz izmjenjivača. Pri emuliranju električne energije FN sustava, jedan istosmjerni izvor predstavlja jedan niz FN modula. U pojnom dijelu izmjenjivača postavljena je prenaponska zaštita te nadstrujna zaštita čija je uloga zaštititi uređaj u slučaju kvara, te ujedno zaštititi korisnika od opasnog napona dodira. Na izlazne stezaljke zaštitnih uređaja spojeno je digitalno brojilo čija je svrha mjeriti količinu predane električne energije. Električna energija predana u mrežu jednaka je energiji proizvedenoj za vrijeme trajanja emulacije. Emulator može oponašati rad FN sustava snage do 12 KW.



2.2 Didaktičko-multimedijalna oprema

Još jedno rješenje za učenje o karakteristikama FN modula, neovisno o vanjskim uvjetima (temperatura i intenzitet sunčevog zračenja) predstavljeno je didaktičko-multimedijalnom opremom, slika 2. Oprema se sastoji od skaliranih komponente/uređaje potrebnih za izgradnju otočnog FN sustava. Skalirani FN sustav sastoji se od:

- napajanja,
- sučelja,
- izvora svjetlosti,
- radne ploče s FN modulima, trošilima i senzorima.



Slika 2. Didaktičko-multimedijalna oprema

Na radnoj ploči nalaze se 24 FN ćelije koje su fizički spojene u četiri FN modula. Dodatno, na ploči se nalaze trošila: ventilator te LED svjetiljka od 12 V i potenciometar. Nadalje, sustav sadrži olovnu bateriju kao spremnik energije te konektore za spajanje trošila, FN modula, komponenata i uređaja. Kao izvor svjetlosti koristi se svjetiljka snage 120 W koja ima mogućnost mijenjanja intenziteta zračenja svjetlosti te promjenu upadnog kuta zračenja. Ugrađeni su senzori temperature i intenziteta svjetlosti. Sučelje se s pomoću USB kabela spaja sa računalom, na kojem se uz instaliran softver LabSoft rezultati mjerenja mogu prikazati putem virtualnih laboratorijskih uređaja (ampermetar, voltmetar, osciloskop, ploter, itd). Zbog spuštanja naponskih razina na iznose ispod 50 V ova je oprema sigurna za rad sa studentima, te idealna za izvođenje laboratorijskih vježbi.

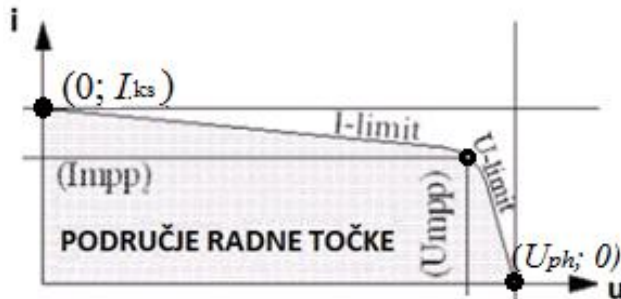
3. Predloženi postupci i testiranja s opremom za učenje o FN sustavima

Nabavljena oprema koristi se dvojako; za učenje o FN sustavima kroz laboratorijske vježbe na kolegijima vezanim uz primjenu elektroničkih energetske pretvarača te za znanstveno-istraživački rad vezano za uvođenje novog postupaka emulacije FN sustava. Tako je kroz znanstveno-istraživački rad s FN emulatorom uveden postupak brze emulacije [13], a didaktičko-multimedijalna oprema se koristi za snimanje i analizu $u-i$ karakteristika FN-modula ovisno o načinu njihovog spajanja, intenzitetu rasvjete, temperaturi FN modula i kutu rasvjetnog tijela u odnosu na fiksno položene FN module na radnoj ploči.



3.1 Brza emulacija

Za provođenje brze emulacije potrebno je koristiti bazu podataka s karakterističnim vrijednostima $u-i$ karakteristike jednog FN modula ili FN niza. Na slici 3. prikazane su 3 karakteristične točke $u-i$ karakteristike.



Karakteristične vrijednosti:

- I_{ks} - struja kratkog spoja,
- I_{mpp} - struja točke maksimalne snage,
- U_{mpp} - napon točke maksimalne snage,
- U_{ph} - napon praznog hoda,

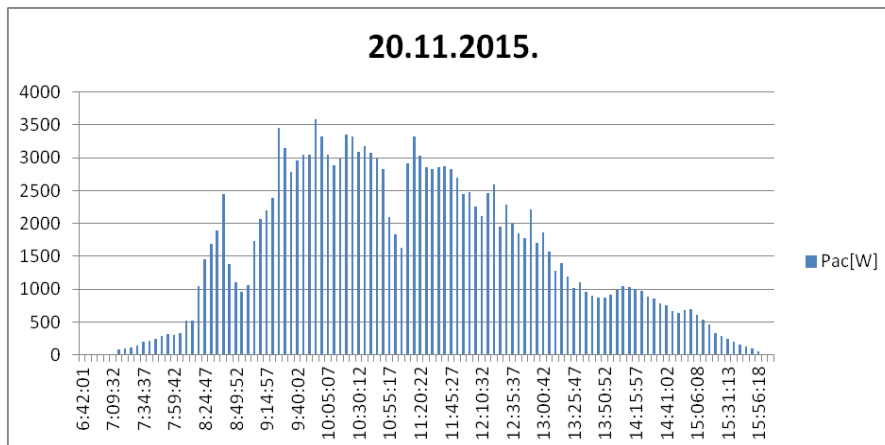
Slika 3. $u-i$ karakteristika FN modula/niza s karakterističnim vrijednostima

Programabilni istosmjerni izvori mogu raditi u tzv. Pvsim načinu rada, gdje se putem korisničkog sučelja, ručno unose 4 karakteristične vrijednosti i tako definira $u-i$ karakteristika FN modula/niza. Na ovaj način, istosmjerni izvori oponašaju stvarne FN module/nizove čime je riješen problem površine potrebne za instalaciju FN sustava. Ručno postavljanje vrijednosti preko upravljačke ploče oduzima vrijeme, te je potrebno postaviti uređaj u stanje pripravnosti (tzv. Standby) kako bi se ponovo namjestili parametri i odabrala nova $u-i$ karakteristika. Ovakav način provođenja emulacije (tzv. standardna emulacija) dovodi do pogreške pri emulaciji zbog nemogućnosti istodobnog unosa svih karakterističnih vrijednosti. Zato se za emulaciju FN sustava predlaže ubrzana emulacija, pri čemu se koristi poseban način rada programabilnih izvora gdje korisnik programira niz operacija u jednu skriptu koju uređaj učitava preko memorijske SD kartice [14]. Takav način rada istosmjernog izvora se naziva skriptni način rada. Skripta je tekstualni dokument izrađen u nekom računalnom alatu za obradu teksta, npr. „.txt“ dokument koji se sastoji od niza naredbi napisanih od strane korisnika. Korisnički definirane naredbe se dalje koriste za upravljanje izvorom. Prednost ovog načina rada izvora je mogućnost uzastopnog izvršenja većeg broja naredbi u određenom vremenskom intervalu. Skripta način rada daje niz mogućnosti upravljanja istosmjernim izvorom pri kojem su prijelazi između naredbi trenutni, odnosno omogućen je simultani rad oba izvora.

U radu je prikazana brza emulacija za jedan odabran dan pri čemu se kao ulazni podaci programabilnih izvora koriste podaci s centralnog izmjenjivača solarne elektrane ETFOS1 snage 10kWp. ETFOS1 je instalirana na krovu zgrade FERIT-a i sastoji se od 40 FN modula povezanih u dva niza. Svaki niz sadrži po 20 u seriju spojenih FN modula različite tehnologije izrade. U prvom nizu nalaze se monokristalni FN moduli BMO-250 proizvođača BISOL, dok su u drugom nizu nalaze polikristalni FN moduli BMU-250 istog proizvođača. Oba niza spojena su na dva neovisna MPPT ulaza izmjenjivača Powador 12.0 TL3 INT, proizvođača KACO.

Za provođenje brze emulacije odabran je sunčani dan 20.11.2015. za koji su preuzeti podaci s izmjenjivača elektrane. Vremenski interval uzorkovanja ulazno-izlaznih veličina je 301 sekunda, odnosno 5 minuta i jednu sekundu, te je sadržano ukupno 113 $u-i$

karakteristika što je određeno postavkama izmjenjivača. Ukupna proizvedena električna energija elektrane očitana s centralnog izmjenjivača iznosila je 14,09 kWh. Za bolji uvid u proizvodnju elektrane za odabrani dan kreiran je dijagram predane snage u mrežu; P_{AC} koji je prikazan slikom 4.



Slika 4. Dnevni dijagram snage P_{AC} elektrane ETFOS1 za 20.11.2015.

Standardnom emulacijom bilo bi potrebno, svakih 5 minuta unositi po 4 karakteristične vrijednosti za jedan niz i 4 karakteristične vrijednosti za drugi niz. Pri tome bi se zbog pojedinačnih unosa svake vrijednosti stvaralo kašnjenje koje bi unosilo grešku pri emulaciji. Dodatno, takva emulacija bila bi vremenski zahtjevna jer bi unošenje podataka u izvore trajalo koliko i dnevni dijagram snage tj. za odabrani dan od 7 sati do 16 sati ili oko 9 sati. Za ljetne mjesece standardna emulacija može trajati i preko 12 sati. Istosmjerni programabilni izvori u skriptu načinu rada imaju ograničenja koje je uveo proizvođač. Tako je maksimalno trajanje jedne $u-i$ karakteristike 1 minutu, a broj karakteristika je ograničen na 35 [15]. Smanjenje broja karakteristika je izvedeno na način da se uzimaju podaci za veći vremenski interval. Stoga je odabran vremenski interval od 30 minuta i 6 sekundi, gdje je ukupan broj od 113 početnih $u-i$ karakteristika sveden na svega 18, tablica 1.

Tablica 1. Podaci s izmjenjivača ETFOS1 svedeni na vremenski interval od 30 minuta i 6 sekundi

Vrijeme	U_{mpp1} [V]	I_{mpp1} [A]	P_{mpp1}	U_{mpp2} [V]	I_{mpp2} [A]	P_{mpp2}	P_{DC}	P_{AC}	W (kWh)
7:19:34	470,6	0,08	41	472,9	0,13	63	105	100	0,0502
7:49:40	474,6	0,29	141	477	0,34	163	305	302	0,1515
8:19:46	553,8	1,38	769	623,4	0,49	306	1077	1063	0,5333
8:49:52	611,2	0,93	572	627,3	0,89	562	1139	1123	0,5634
9:19:58	632,3	1,92	1211	648,7	1,88	1225	2438	2406	1,2070
9:50:04	617,9	2,48	1535	635,1	2,46	1564	3101	3064	1,5371
10:20:10	612,5	2,75	1688	624,1	2,75	1721	3412	3367	1,6891
10:50:16	595,6	2,40	1432	610,5	2,37	1449	2883	2851	1,4303



11:20:22	599,6	2,60	1559	620,3	2,46	1527	3087	3047	1,5286
11:50:28	591,8	2,56	1517	632,6	1,94	1227	2747	2711	1,3600
12:20:34	598,5	2,35	1408	650,9	1,10	713	2121	2099	1,0530
12:50:40	604,9	2,16	1308	629,2	1,05	662	1973	1950	0,9783
13:20:46	641,7	0,98	634	615,3	0,96	595	1230	1206	0,6050
13:50:52	613,4	0,72	447	601,7	0,75	457	906	894	0,4485
14:20:58	590,8	0,83	490	604,7	0,83	505	998	981	0,4921
14:51:05	591,7	0,53	314	589,8	0,58	345	661	653	0,3276
15:21:11	475,9	0,34	165	536,2	0,34	186	353	349	0,1751
15:51:17	474,6	0,03	14	477	0,17	84	98	97	0,0487
								Wuk	14,1786

Referentna električna energija; W_{UK} iz tablice 1 izračunava se prema:

$$W_{UK} = \sum_{i=1}^n (U_{mpp1} \cdot I_{mpp1} + U_{mpp2} \cdot I_{mpp2}) \cdot \Delta t_i \cdot \eta \quad (1)$$

gdje je: Δt_i - trajanje jednog vremenskog intervala,

η - stupanj djelovanja izmjenjivača, $\eta = 0,984$

i predstavlja polaznu proizvedenu električnu energiju koja se uspoređuje s dobivenom emuliranom električnom energijom. Referentna električna energija; W_{UK} iznosi 14.18 kWh što predstavlja odstupanje od 0,63% u odnosu na ukupnu proizvedenu električnu energiju i smatra se tehnički prihvatljivim odstupanjem. Kada se u obzir uzme baza podataka [16] koja je za vrijeme prvog projekta napravljena za karakteristične vrijednosti pojedinačnih module obje tehnologije, te kataloški poznati faktor ispune [17]; FF:

$$FF = \frac{I_{mpp,j} \cdot U_{mpp,j}}{I_{ks,j} \cdot U_{ph,j}} \quad (2)$$

uzimajući u obzir da je; $I_{ks,i} = k \cdot I_{mpp,i}$ [A], dobiveni su svi ulazni podaci za unošenje u istosmjerne programabilne izvore. Napisana je skripta i proveden je postupak brze emulacije gdje se svaka $u-i$ karakteristika niza pri emulaciji izvodi s maksimalnim dopuštenim vremenom od 1 minutu a zatim se vrijednosti očitane proizvedene emulirane električne energije brojiлом; $W_{em,br}$ preračunava na interval od 30 minuta. Emulacija je provedena 3 puta za isti skup ulaznih podataka te su rezultati emulacije prikazani u tablici 2. pri čemu je odstupanje emulirane energije u odnosu na referentu definirano kao:

$$\delta_b = \frac{W_{UK} - W_{em,br}}{W_{UK}} \cdot 100 \quad (3)$$

Tablica 2. Rezultati emulacije

Red emulacije	$W_{uk}[kWh]$	$W_{em,br}[kWh]$	δ_b [%]
Emulacija 1	14,179	13,846	3,29
Emulacija 2		13,545	3,39
Emulacija 3		13,545	3,31

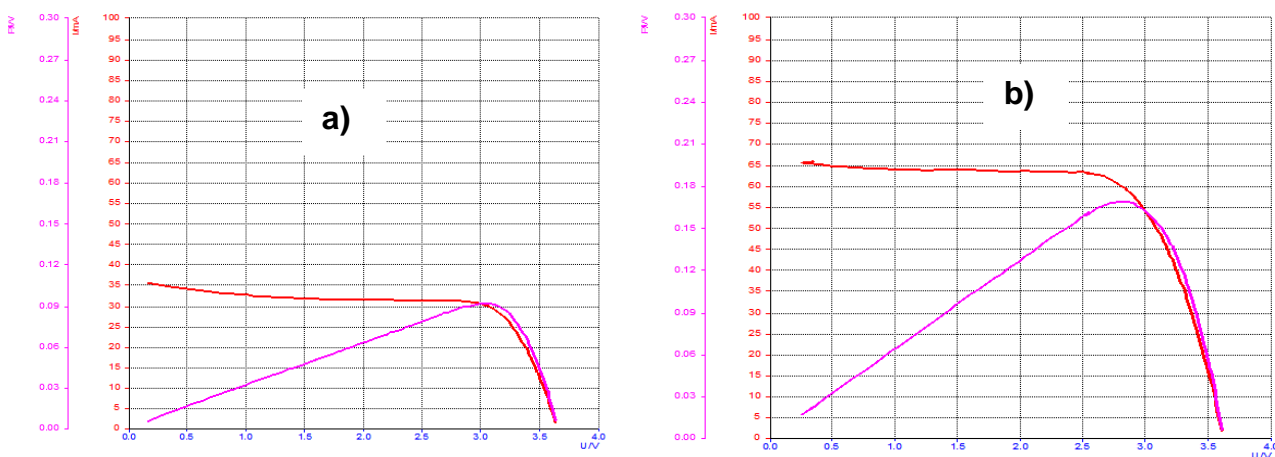
Svaka emulacija traje 18 minuta čime je značajno smanjeno vrijeme emulacije u odnosu na standardnu emulaciju koja je traje 9 sati, pri čemu je relativno odstupanje 3,3% što se smatra tehnički prihvatljivim. Korištenjem brze emulacije moguće je predvidjeti proizvodnju FN sustava različitih snaga i tehnologije FN modula na osnovu baze podataka jednog FN modula čime su ostvarene značajne ekonomske uštede te uštede na prostoru i vremenu.

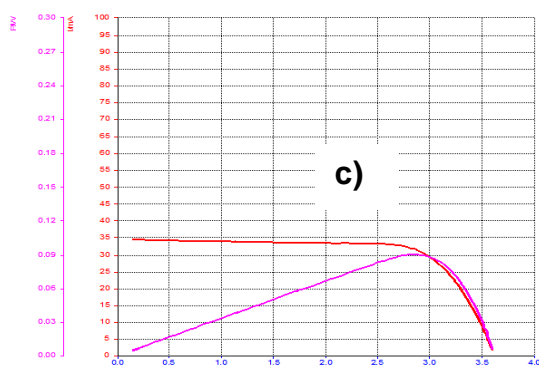
3.2 Predloženi pokusi za provođenje s didaktičko-multimedijalnom opremom

S didaktičko-multimedijalnom opremom predlaže se provođenje dvije grupe pokusa kojima se demonstrira kako se skaliranim sustavom može oponašati stvarni FN sustav. Provedeni su sljedeći pokusi: proizvodnja električne energije u ovisnosti o utjecajnim parametrima (zračenju i kutu upadu zraka) te serijsko i paralelno spajanje modula.

➤ proizvodnja električne energije u ovisnosti o utjecajnim parametrima

Putanja Sunca je od Istoka prema Zapadu pa zbog toga raspoloživa energija varira. Kod fiksiranih sustava kakav je skaliran ovom opremom, dio energije nije moguće prihvatiti i koristiti za pretvorbu s obzirom da su FN moduli postavljeni fiksno. Drugi način praćenja Sunčevog zračenja je primjena FN sustava koji mijenjaju svoj položaj (engl. *tracker*) koji rade na principu suncokreta [18], odnosno prate kretanje Sunca te tako povećavaju učinkovitost proizvodnje električne energije. Najveća proizvodnja električne energije je oko podneva, dok je najmanja prilikom izlaska i zalaska Sunca. Uvedena oprema ima mogućnost mijenjanja kut upadnog zračenja na FN module te su primjenom *u-i* metode, uz korištenje virtualnog plotera softvera, snimaju *u-i* i *p-u* karakteristike pomoću kojih se dolazi do zaključka o kutu maksimalne proizvodnje električne energije modula, slika 5.





d)

KUT °	TEMP C°	ZRAČENJE W/m ²	SNAGA W
30	51,2	455	0,093
60	61,5	690	0,14
90	69	790	0,17
120	66,1	775	0,135
150	56,5	510	0,091

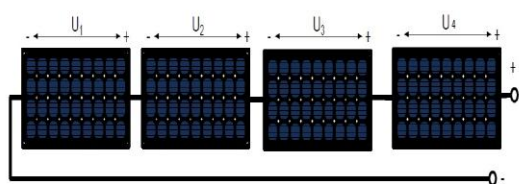
Slika 5. Karakteristike FN modula pri mijenjanju kuta zračenja:

a) kut = 30°, b) kut = 90°, c) kut = 120°, d) tablica mjerenja

Iz snimljenih karakteristika uočeno je kako snaga modula raste do kuta 90°, što odgovara najvišem položaju Sunca na horizontu, nakon čega snaga, a time i proizvedena električna energija opada na sličan način kao što je rasla. Ovo u stvarnosti odgovara sunčanom danu bez oblaka. Naravno, mjesto instaliranja elektrane može se nalaziti na bilo kojem kontinentu, stoga kut od 90° treba sagledati prema zemljopisnom položaju instaliranog sustava, a zbog čega je optimalni nagib postavljanja FN-modula za grad Osijek, nagib od 37,68° [19]. Slični zaključak dobiven je pri pokusima mijenjanja intenzitet zračenja, a pri fiksiranju kuta izvora svjetlosti.

➤ serijsko i paralelno spajanje

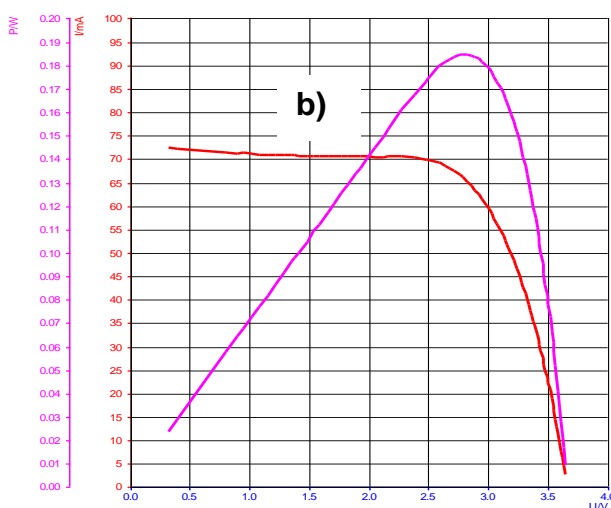
FN se moduli međusobno mogu spajati u seriju kako bi se povećao napon niza ili u paralelu kako bi se povećala struja niza. FN nizovi sastavljeni su obično od kombinacije serijsko i paralelno spojenih FN modula kako bi se povećala snaga cijelog sustava. Načelna shema serijskog spajanja četiri FN modula, snimljene karakteristike, te tablica s karakterističnim podacima mjerenja nalaze se na slici 6.

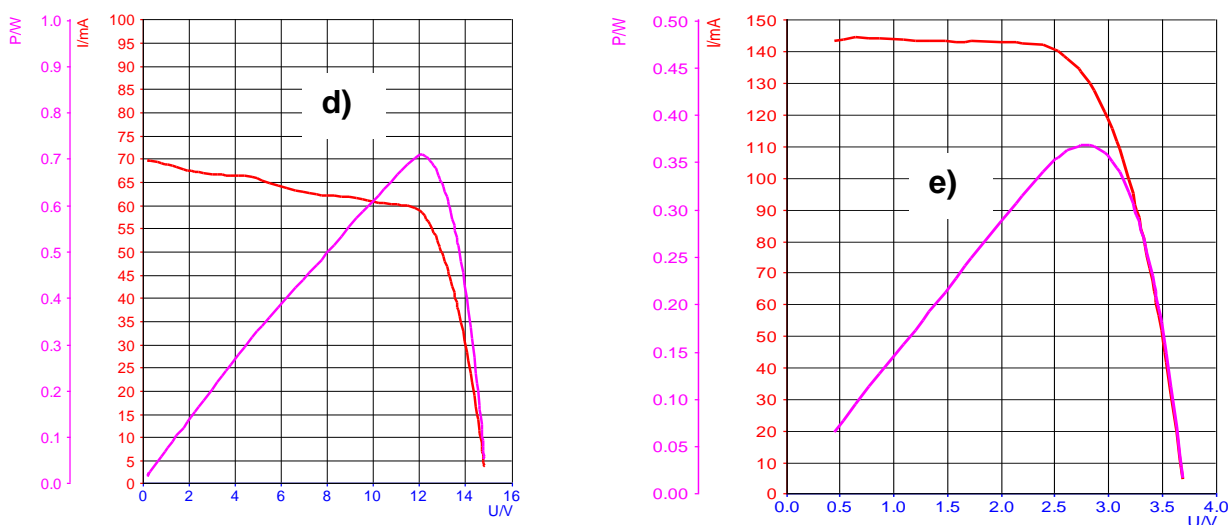


a)

BROJ MODULA	NAPON V	STRUJA mA	SNAGA W
1	3.7	73	0.185
2	7.38	73	0.38
3	11.3	73	0.56
4	15	73	0.7

c)





Slika 6. Karakteristike FN modula pri mijenjanju broja FN modula:

- a) shema serijskog spoja, b) 1 modul, c) tablica mjerenja, d) serijski spoj 4 modula, e) paralelni spoj 2 modula.

Intenzitet zračenja izvora svjetlosti je podešen na 1150 W/m². U pokusu je spajano više modula (maksimalno 4) u seriju, te su FN moduli terećeni promjenjivim otpornikom. FN nizovi stvarnih elektrana obično se spajaju mješovito, tj. serijski i paralelno radi dobivanja željenih strujnih i naponskih veličina. Najčešće se moduli spajaju prvo u seriju radi postizanja željenog naponskog nivoa, pa se potom dobiveni niz multiplicira paralelnim spojem do željene izlazne snage.

4. Zaključak

Primjenom postupka brze emulacije značajno se smanjuje vrijeme emulacije u odnosu na standardnu emulaciju s otprilike 9 sati na 18 minuta. Vrijeme izvođenja je smanjeno na način da je originalna baza podataka FN elektrane ETFOS1 vremenskim uzorkovanjem smanjena na broj $u-i$ karakteristika koje su unutar ograničenja broja karakteristika FN emulatora pri čemu je odstupanje između referentne proizvedene električne energije i emulirane električne energije oko 3%. Time je omogućeno emuliranje FN sustava različite snage i različite tehnologije FN modula, na dnevnoj bazi, pod uvjetom postojanja baze podataka karakterističnih veličina $u-i$ karakteristika jednog FN modula odgovarajuće tehnologije izrade.

Prezentirana didaktička oprema predstavlja platformu praktičnog učenja o stvarnim FN sustavima. Ovakav pristup omogućuje provođenje pokusa u svrhu proučavanja utjecajnih parametara na proizvodnju električne energije iz FN sustava kao što su nagib postavljanja stvarnih FN modula ili način pozicioniranja FN sustava tokom dana, tzv. suncokret. Također, provođenjem pokusa prepoznati su međusobni strujno-naponski odnosi pri mješovitom spajanju identičnih FN modula u nizove.



Zahvalnost

Rad je rezultat dijela istraživanja na projektu RuRES, HUHR/1601/3.1.1./0033 financiranog u okviru *Interreg V-A Mađarska-Hrvatska Programa suradnje 2014-2020*.

6. Literatura

- [1] F. Blaabjerg. D.M. Ione: Renewable Energy Devices and Systems—State-of-the-Art Technology, Research and Development, Challenges and Future Trends Electric Power Components and Systems, 43(12):1319–1328, 2015.
- [2] Renewable Global Status Report 2018; REN21 <http://www.ren21.net/status-of-renewables/> pristup 1.8.2018.
- [3] Samir Kouro, Jose I. Leon, Dimitri Vinnikov, Leopoldo G. Franquelo: Grid-Connected Photovoltaic Systems: An Overview of Recent Research and Emerging PV Converter Technology, IEEE Industrial Electronics Magazine, Vol: 9, Issue: 1, March 2015.
- [4] Ahteshamul Haque, Zaheeruddin: Research on Solar Photovoltaic (PV) energy conversion system: An overview, Third International Conference on Computational Intelligence and Information Technology (CIIT 2013), 18-19 Oct. 2013.
- [5] Zhiqiang Gao, Song Li, Xuesong Zhou, Youjie Ma: An overview of PV system, 2016 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, 7-10 Aug. 2016.
- [6] S. C. W. Krauter, Solar Electric Power Generation - Photovoltaic Energy Systems. 2006; ISBN 978-3-540-31346-5
- [7] A. S. Gujari ; M. M. Wagh ; N. N. Shinde; A techno-economic feasibility of inverter selection for MegaWatt(MW) scale grid connected solar photovoltaic power plant, 2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS), 2017, 282 - 288.
- [8] Ayop, Razman; Tan, Chee Wei: A comprehensive review on photovoltaic emulator; Renewable and Sustainable Energy Reviews, 80, 2017, 430-452.
- [9] Program prekogranične suradnje HR-HU; <http://www.hu-hr-ipa.com/hr/baza-financiranih-projekata> ; pristup 1.8. 2018.
- [10] Pelin, Denis; Jukić Antolović, Jelena; Rapčan, Vjekoslav: PV Emulator, International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems. Vol. 5 (2014) , Number 1; 21-26.
- [11] Course – Power Engineering: Photovoltaics ; <https://www.lucas-nuelle.us>, pristup 1.8. 2018.
- [12] A. Durgadevi, S. Arulselvi, S.P. Natarajan: Photovoltaic modeling and its characteristics, 2011 International Conference on Emerging Trends in Electrical and Computer Technology, 2011, 469 - 475.
- [13] Pelin, Denis; Opačak, Milan; Pal, Matej: PV Emulation by using DC Programmable Sources. International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems. VOL 8 (2017) , No.1; 11-17.
- [14] Pelin, Denis; Opačak, Milan: Skripta način rada DC izvora fotonaponskog emulatora, Zbornik radova 14. Skupa o prirodnom plinu, toplini i vodi i 7. Međunarodnog skupa o prirodnom plinu, toplini i vodi / Raos, Pero (ur.).Osijek : HEP-Group ; HEP-Plin Ltd., 2016. 168-176.
- [15] Pal, Matej: Emulacija fotonaponskih sustava korištenjem skripta načina rada ; Diplomski rad, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, 2018
- [16] Regphosys- Online baza podataka: <http://regphosys.eu/hr/node/105/51>; pristup 1.8.2018
- [17] Kataloški podaci modula BMU-250 proizvođača BISOL: <http://www.bisol.com/files/Datasheets/CRO/BISOL%20Produktna%20specifikacija%20BMU%20HR.pdf> ; pristup 1.8. 2018.
- [18] Majdandžić , Ljubomir: Solarni sustavi, Zagreb: Graphis d.o.o., 2010.
- [19] Nekić, Jure: Određivanje optimalnog nagiba i orijentacije fotonaponskih modula ; Diplomski rad, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, 2017.