

Uticaj proizvodnje PV sistema na potrošnju električne energije

Dušan Čorlija
Trebinje, Bosna i Hercegovina
dusan@yahoo.com

Sažetak— U ovom radu je prikazan postupak za određivanje uticaja proizvodnje iz fotonaponskih panela na dijagrame potrošnje u cilju utvrđivanja stepena usklađenosti proizvodnje i potrošnje kao i pogodnih lokacija za instalaciju solarnih elektrana. Analiza uticaja ovako generisane energije vršena je na osnovu nekoliko različitih metoda i na bazi raspoloživih mjernih podataka o srednjoj desetominutnoj horizontalnoj solarnoj iradijaciji i temperaturi ambijenta u toku jedne godine kao i podacima o satnim vrijednostima potrošnje električne energije.

Ključne riječi- fotonaponski panel, potrošnja, modelovanje, stepen usklađenosti

I. UVOD

U bliskoj budućnosti se može očekivati značajan rast udjela električne energije generisane iz fotonaponskih sistema u ukupnoj. Zato je bitno da se minimizuju negativni uticaji fotonaponskih sistema na distributivne mreže [1].

U osnovi idealno bi bilo korelisati potrošnju sa proizvodnjom. Međutim ovo bi podrazumijevalo promjenu životnog stila ljudi. Pokazano je da se različitim inicijativama kao što su dijeljenje brošura sa savjetima za pomjeranje potrošnje iz večernjih sati, instalacijom pokazivača potrošnje u realnom vremenu, i omogućavanjem da podaci o potrošnji budu dostupni na internetu, može smanjiti potrošnja u večernjim satima za nekoliko procenata [2]. To smanjenje, ipak, nije dovoljno kako bi se potrošnja u potrebnoj mjeri prilagodila proizvodnji.

Sa druge strane, znatno je pogodnije „pronaći“ one dijelove konzuma koji su već, barem većim dijelom, usklađeni sa proizvodnjom. U ovom radu je pokazano nekoliko metoda koje bi trebale poslužiti u „pronalaženju“. One kao rezultat daju parametre čije se vrijednosti mogu koristiti ne samo za ocjenu već i poređenje različitih konzuma u pogledu „usklađenosti“ sa potencijalnom proizvodnjom iz solarnih panela na datoj lokaciji.

II. KARAKTERISTIČNI DIJAGRAMI

„Fotonaponski (PV) sistem predstavlja integrisan skup fotonaponskih panela i drugih komponenti, projektovan tako da primarnu solarnu energiju direktno pretvara u električnu energiju kojom se osigurava rad određenog broja potrošača jednosmjerne (DC) i/ili naizmjenične (AC) struje“ [3].

Fotonaponski sistemi se dijele u nekoliko kategorija:

- Samostalni fotonaponski sistemi koji se onda dijele na jednosmjerne i naizmjenične. Oni se koriste za

snabdijevanje udaljenih konzuma uglavnom malih potrošnji, odnosno za tzv. ostrvski rad.

- Hibridni fotonaponski sistemi, koji podrazumijevaju da se energija pored solarnih panela dobija i iz npr. vjetroelektrana.
- Fotonaponski sistemi povezani na distributivnu mrežu. U početku razvoja solarnih panela osnovni pokretač je bio potreba za napajanjem izolovanih potrošača međutim razlog skorašnjem naglom razvoju ove tehnologije upravo leži u potencijalu integracije PV proizvodnje u distributivnu mrežu.
- Fotonaponski sistemi integrisani u krovove i fasade zgrada. Njihova osnovna prednost je što ne zahtijevaju dodatno zemljište ili infrastrukturne instalacije.

Prema [3], jedan od osnovnih pokazatelja performansi PV sistema jeste godišnja proizvodnja električne energije. Ovdje je data statistička metoda za proračun sezonske i godišnje proizvedene energije, koja se zasniva na karakterističnim sezonskim i godišnjim dijagramima proizvodnje. Rezultati dobijeni ovom metodom su upoređeni sa klasičnom metodom izloženom u [3, pp. 187-188].

Klasična metoda (1) računa snagu elektrane kao odnos trenutne iradijacije na panel i iradijacije od jednog sunca, pomnoženom sa snagom (AC) koja se dobija za standardne uslove rada. Naravno, uzet je u obzir i uticaj temperature na efikasnost konverzije.

$$P_{AC} = \frac{I_C}{1000} \cdot P_{DC,ste} \eta k_T \quad (1)$$

Najprije je na osnovu podataka o iradijaciji i ambijentalnoj temperaturi (u desetominutnoj rezoluciji, sa područja Bavaništa za 2009. godinu) izvršen proračun (u istoj rezoluciji) snaga koje daje PV panel sastavljen iz 848 modula naznačene snage od 295W proizvođača *ET Solar*, model *ET-P672295WW*, polikristalne tehnologije koji su inače predviđeni za mrežno povezane panele. Dodatne informacije se mogu naći u [1]. Proračun je vršen pod pretpostavkom da je panel postavljen pod uglom od 34 stepena u odnosu na horizontalu i da je okružen livadom.

Za sve dane u razmatranom periodu, iz dnevnih dijagrama snage proizvodnje PV-a mogu se odrediti karakteristični pokazatelji kao što su maksimalna snaga, srednja i srednje-kvadratna snaga. Ovi se pokazatelji koriste kako bi se odabrao

optimalan karakterističan dan za određeni vremenski period (mjesec, godišnje doba, godinu itd.). U ovom slučaju pokazatelji su bili:

- suma apsolutnih odstupanja od usrednjenog dijagrama proizvodnje i
- suma „relativnih“ odstupanja od usrednjenog dijagrama proizvodnje.

Algoritam a) se može opisati preko (2). Dakle, traži se u nekom periodu dan za koji suma apsolutnih odstupanja snage (u časovnoj ili drugoj rezoluciji) od srednje vrijednosti u tom periodu (u istoj rezoluciji) minimalna. Algoritam b) se zasniva na **Error! Reference source not found.** Tu se vektor snage za potencijalni dan dijeli sa srednjom snagom u tom danu, a vektor srednjih snaga se dijeli sa srednjom snagom na čitavom periodu.

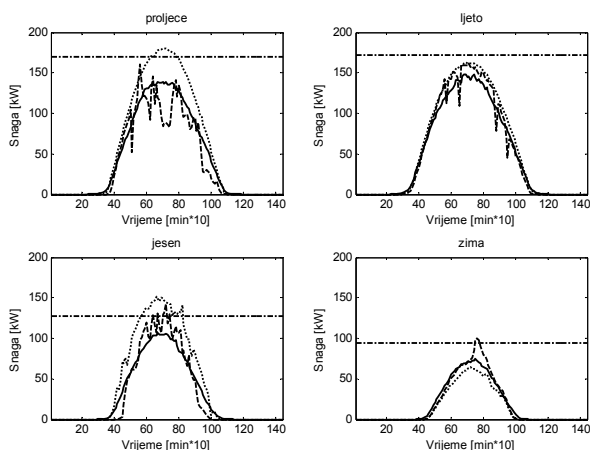
$$\min_{dan=1, \dots, N} \sum_{h=1}^{24} |P_{dan,h} - P_{sr,h}| \quad (2)$$

gdje $P_{dah,h}$ predstavlja snagu u danu dan i času h , a $P_{sr,h} = \frac{1}{N} \sum_{dan=1}^N P_{dan,h}$ predstavlja srednju vrijednost snage u mjesecu za čas h dok je N broj dana u mjesecu.

$$\min_{dan=1, \dots, N} \sum_{h=1}^{24} \left| \frac{P_{dan,h}}{P_{dan}} - \frac{P_{sr,h}}{P_{sr}} \right| \quad (3)$$

$\overline{P_{dan}}$ predstavlja srednju snagu u danu dan , a $\overline{P_{sr}} = \frac{1}{24} \sum_{h=1}^{24} P_{sr,h}$ predstavlja srednju vrijednost snage u mjesecu.

Bolji reprezent mjesecne proizvodnje je dijagram karakterističnog dana prema a). Bolji je u smislu da je njegov integral bliži integralu usrednjenih vrijednosti nego integral dijagrama prema b). Osim toga ovaj dijagram ima izraženiji stohasticizam, kao i veće vršne vrijednosti pa bolje reprezentuje stvarne snage proizvodnje. Na slici 1 su dati dijagrami karakterističnih dana za četiri godišnja doba.



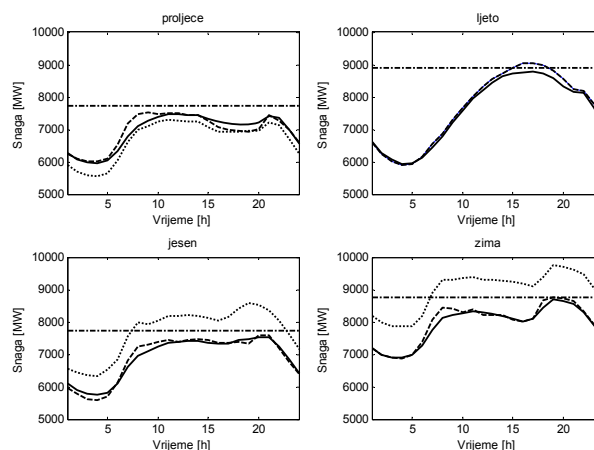
Slika 1. Proizvodnja panela u toku 2009. godine prema karakterističnim dijagramima

TABELA 1. OCJENA REPREZENTATIVNOSTI KARAKTERISTIČNIH DIJAGRAMA PROIZVODNJE

Doba	Srednja dnevna energija [r.j.]		Greška [%]
	Karakteristični dani	Stvarna vrijednost	
Proljeće	1,0232	1	-12,35
Ljeto	1,0385	1	3,85
Jesen	1,0109	1	1,09
Zima	1,0269	1	2,69

Ocjena reprezentativnosti dijagrama karakterističnih dana se može vršiti prema različitim kriterijumima. U tabeli 1 je data ocjena karakterističnog dijagrama dobijenog po a) prema kriterijumu po kome je i biran (energiji proizvodnje).

Na sličan način se može analizom potrošnje dobiti karakteristični dijagrami. U ovom slučaju je razmatrana potrošnja na osnovu podataka kompanije *Ohio Edison* (sa časovnom rezolucijom). Podaci potrošnje su preuzeti iz [2]. Rezultati proračuna su dati na slici 2. Ocjena reprezentativnosti je data u tabeli 2.



Slika 2. Potrošnja snabdijevana od strane *Ohio Edisona* u toku 2014. godine prema karakterističnim dijagramima

TABELA 2. OCJENA REPREZENTATIVNOSTI KARAKTERISTIČNIH DIJAGRAMA POTROŠNJE

Doba	Srednja dnevna energija [r.j.]		Greška [%]
	Karakteristični dani	Stvarna vrijednost	
Proljeće	1,0030	1	0,3
Ljeto	1,0125	1	1,25
Jesen	1,0010	1	0,1
Zima	1,0070	1	0,7

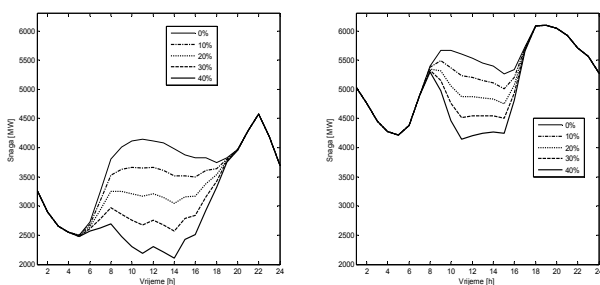
III. USKLAĐENOST PROIZVODNJE I POTROŠNJE

Solarni paneli su još uvijek najskuplji komercijalno dostupan alternativni izvor energije. Stoga je od fundamentalnog značaja uvećati prednosti ovog modularnog, decentralizovanog i čistog izvora energije. U literaturi se definiše tzv. energetska vrijednost (*power value*) ovog izvora kao „ekonomska vrijednost proizvedene energije, uzevši u obzir lokaciju elektrane i njen trend proizvodnje“ [3]. Ona podrazumijeva smanjenje proizvodnih troškova (troškova goriva, upravljanja i održavanja itd.), transportne troškove i, u

nekim slučajevima, smanjenje „rizika od oskudice energijom u kriznim periodima“ [3].

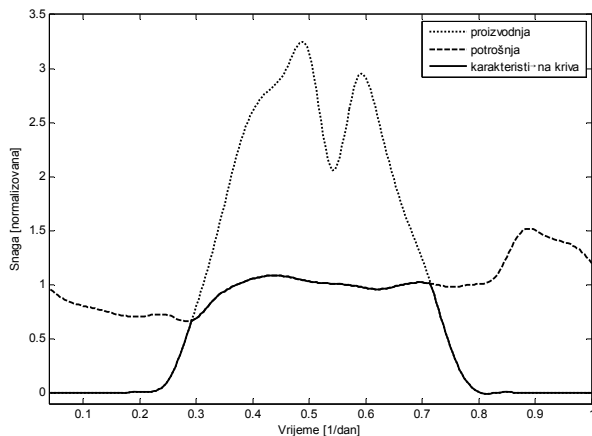
Uticaj PV proizvodnje na dijagram potrošnje može da bude pozitivan ali i negativan. To zavisi od karakteristika oba dijagrama i njihovog međusobnog odnosa. Takođe karakter uticaja zavisi i od nivoa penetracije. Prema [4] nivo penetracije u odnosu na neki izvod se definiše kao „postotak istorijskog maksimuma datog izvoda (AC) snabdijevanog iz PV-a nominalne snage (DC)“. U ovom radu radi jednostavnosti je podrazumijevana ne naznačena snaga (DC) panela već maksimalna snaga (AC) koja se javila u toku mjerenja. Maksimalna snaga (DC) može biti veća od nominalne zbog uticaja temperature, ali kada se uzmu u obzir gubici u pretvaračima dobija se vrijednost veoma bliska onoj definisanoj u [4].

Na slici 3 je dat uticaj PV proizvodnje na dijagram potrošnje u zavisnosti od nivoa penetracije. Korišteni su podaci EPC-a o konzumu za jedan ljetnji i zimski dan 2006. godine.



Slika 3. Uticaj PV proizvodnje na dijagram potrošnje u zavisnosti od nivoa penetracije za 14.06.2006. i 17.01.2006.

Na slici 4 je prikazan način dobijanja faktora usklađenosti. Prikazane su krive snage PV-a opisanog u paragrafu 3 za 2. maj 2009. godine i potrošnje u mjestu Vitanovac za isti dan 2014. godine. Obe krive su normalizovane tako da je integral u periodu od 24 sata jednak 1. U tom slučaju se faktor usklađenosti λ može definisati kao integral ispod karakteristične krive [5].



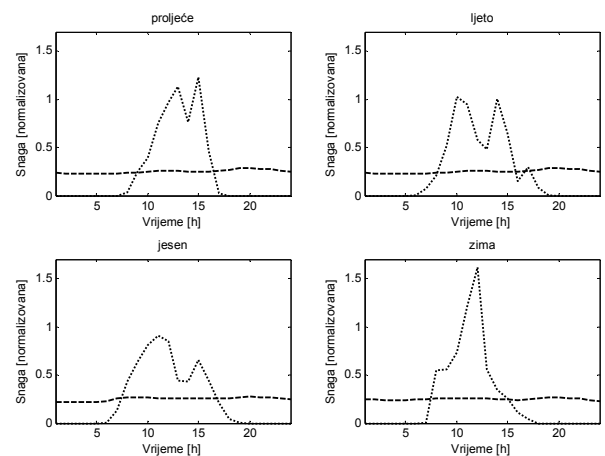
Slika 4. Način dobijanja faktora usklađenosti

Na primjer ako je $\lambda=0.35$ to znači da se površine ispod normalizovanih krivih preklapaju 35%. Ako je snaga PV sistema takva da u toku dana generiše energiju identičnu

potrošnji, onda će se 35% potrošnje moći podmiriti iz PV-a. Maksimalna vrijednost faktora usklađenosti je 1 i odgovara slučaju da su kada su proizvodnja i potrošnja u savršenom sinhronizmu. Ovako definisan faktor usklađenosti predstavlja dnevni faktor usklađenosti. Ako bi se tražio faktor usklađenosti na mjesečnom ili godišnjem nivou, onda je neophodno tražiti aritmetičke sredine dnevnih faktora.

Faktor usklađenosti se mijenja u toku godine, jer se mijenjaju oblici dijagrama potrošnje i proizvodnje. Na slici 5 su četiri dijagrama kao na slici 4 za četiri karakteristična dana u toku godine za potrošnju dobijenu iz [2]. U tabeli 3 su date vrijednosti za realne faktore usklađenosti kao i one proračunate na osnovu karakterističnih dana za četiri godišnja doba. Vidi se da su odstupanja relativno mala.

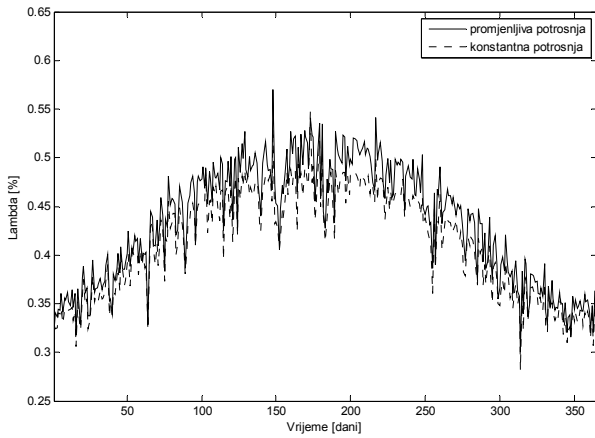
Na slici 6 je prikazana promjena faktora usklađenosti (puna linija) u toku godine. Isprekidanom linijom je prikazana promjena faktora u slučaju da je proizvodnja u toku dana konstantna, tzv. normalizovani faktor usklađenosti. Kriva faktora usklađenosti sa konstantnom potrošnjom je usporedna kriva i služi za procjenu koliko je potrošnja bolje usklađena sa proizvodnjom u odnosu da je potrošnja u toku svakog dana konstantna. Ona pokazuje da postoji sezonski trend koji je posljedica u promjenama trajanja i intenziteta sunčeve iradijacije, ali i činjenice da je potrošnja veća u toku popodneva u ljetnjim mjesecima naročito ako se radi o urbanim sredinama sa velikim udjelom klimatizacionih uređaja u ukupnoj potrošnji.



Slika 5. Usklađenost potrošnje i proizvodnje u karakterističnim danima

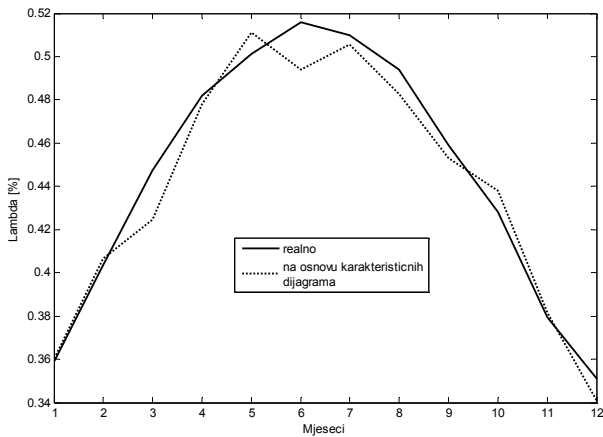
TABELA 3. FAKTORI USKLAĐENOSTI ZA KARAKTERISTIČNE DANE GODIŠNIH DOBA

Doba	Faktor usklađenosti prema karakterističnim dijagramima [%]	Faktor usklađenosti [%]	Apsolutna greška [%]
Proljeće	48,32	48,84	-0,52
Ljeto	50,64	51,96	-1,32
Jesen	43,77	43,51	0,26
Zima	37,30	38,26	-0,96



Slika 6. Promjena faktora usklađenosti u toku godine

Na slici 7 je data usporedba promjene faktora usklađenosti u slučaju da se koriste karakteristični dijagrami potrošnje i proizvodnje dobijeni u prethodnom poglavlju sa realnim vrijednostima. Vidi se da je slaganje zadovoljavajuće sa relativnom greškom odstupanja na godišnjem nivou od 0,96%.



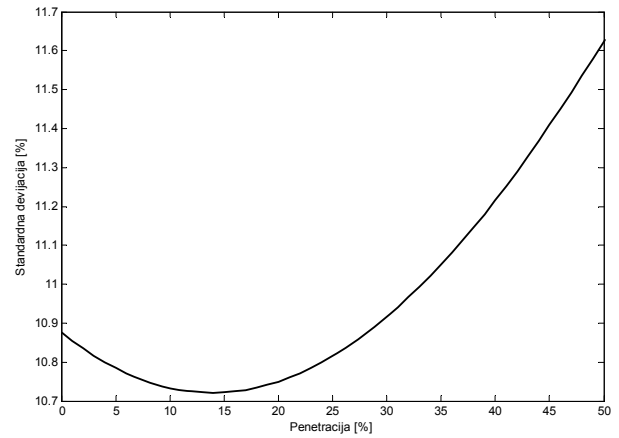
Slika 7. Mjesečne vrijednosti faktora usklađenosti

IV. ENERGETSKI KAPACITET PV SISTEMA

Statističkom analizom uticaja PV-a na dijagrame potrošnje dobijene iz [6], se može odrediti zavisnost standardne devijacije modifikovane potrošnje u zavisnosti od nivoa penetracije (4). Faktor k predstavlja nivo penetracije i računa se kao odnos instalisane snage PV-a i maksimuma potrošnje. Pomenuta zavisnost je data na slici 8. I standardna devijacija i penetracija su date u % od maksimuma potrošnje u toku 2014. godine.

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N |P_i - P_{PV,i} - P_{sr}|} \quad (4)$$

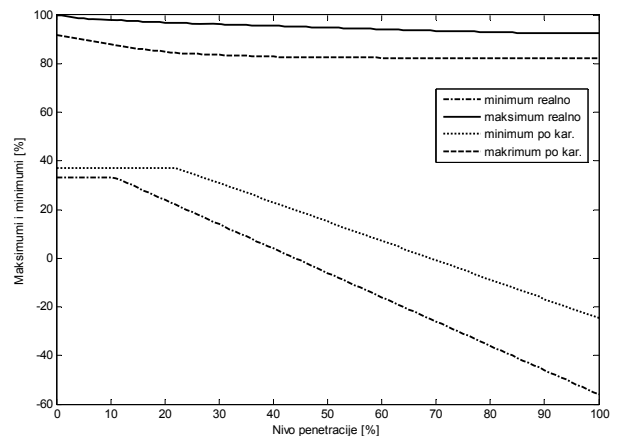
$$P_{sr} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i - k P_{PV,i} \quad (5)$$



Slika 8. Zavisnost standardne devijacije potrošnje od penetracije

Vidi se da je za maksimalan efekat peglanja krive potrošnje optimalno da instalisana snaga bude oko 14% maksimalne potrošnje, što je relativno malo. U nekim slučajevima ove vrijednosti mogu da budu znatno veće (ako je struktura potrošača „specifična“), kada su proizvodnja i potrošnja bolje usklađene. Kako je potrošnja iz [6] reda GW to je njena struktura raznovrsna pa su dobijene (niske vrijednosti) bile očekivane.

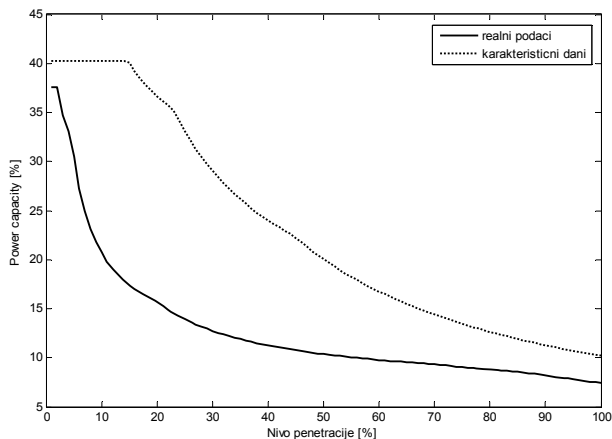
Na slici 9 je prikazana zavisnost maksimuma i minimuma potrošnje u zavisnosti od nivoa penetracije proizvodnje PV-a. Date su vrijednosti proračunate na osnovu podataka u toku cijele godine i na osnovu gorepomenutih karakterističnih dana. Posljednje krive znatno odstupaju od realnih jer karakteristični dani ne odstupaju puno od srednjih vrijednosti, a maksimumi i minimumi su karakteristike dana koji upravo najviše odstupaju od prosjeka.



Slika 9. Minimumi i maksimumi potrošnje

Očigledno je da veća penetracija proizvodnje iz PV-a izaziva veći raspon snaga potrošnje. Sa penetracijom od oko 40% minimum potrošnje postaje negativan. Zavisnost je gotovo linearna. Sa druge strane smanjenje pikova potrošnje, nažalost, nije naročito uspješno iz razloga slabe korelisanosti potrošnje i proizvodnje.

Jedna od veličina kojima se opisuje potencijal kojeg u nekom konzumu električne energije PV može imati jeste i energetska kapacitet (*power capacity*) [3]. Ona se definiše kao razlika između maksimuma potrošnje (bilo koje satne vrijednosti u toku godine) prije i poslije instalacije PV-a. Na slici 10 je prikazana zavisnost ove veličine od nivoa penetracije. Veličina je data u procentima instalirane snage PV-a što odgovara, dakle, nivou penetracije. Na istoj slici je prikazana i zavisnost dobijena na osnovu karakterističnih dana.



Slika 10. Power capacity kao funkcija penetracije

Ono što se najprije uočava je veliko odstupanje između krivih. Kriva na osnovu karakterističnih dana pokazuje mnogo veći kapacitet za isti nivo penetracije. To je zato što dijagrami potrošnje karakterističnih dana (za 12 mjeseci) veoma dobro prate srednje mjesečne vrijednosti potrošnje, što je već pokazano na slici 2. Oni ne obuhvataju ekstremne i vremenski nekarakteristične slučajeve kada potrošnja može da bude znatno veća od usrednjenih vrijednosti.

Može se kazati da dijagrami potrošnje i proizvodnje u toku karakterističnih dana nisu dobri reprezentivi kapaciteta potencijalne PV proizvodnje. To je i očekivano jer je kapacitet kao i maksimumi i minimumi statistička vrijednost i ne može biti proračunata iz ograničenog broja podataka sa zadovoljavajućom tačnošću.

V. EFEKTIVNI KAPACITET PODMIRENJA POTROŠNJE (ELCC-EFFECTIVE LOAD CARRYING CAPACITY)

Efektivni kapacitet nekog izvora se definiše kao „njegov doprinos ukupnom proizvodnom kapacitetu koji je dostupan konzumu“ [7]. Kako je snaga solarnih elektrana neupravljiva (*non dispatchable*), to se podrazumijeva da ona nema efektivnog kapaciteta. Međutim, pokazano je da može postojati veza između zahtjeva potrošnje i PV proizvodnje. Ovo se naročito javlja kod konzuma kod koga dominiraju komercijalna potrošnja čiji su glavni dio klimatizacioni uređaji [7] [8]. Što je potrošnja veća u ljetnjim mjesecima u odnosu na zimu, to je veća i vjerovatnoća da će biti u boljoj korelaciji sa PV proizvodnjom [8].

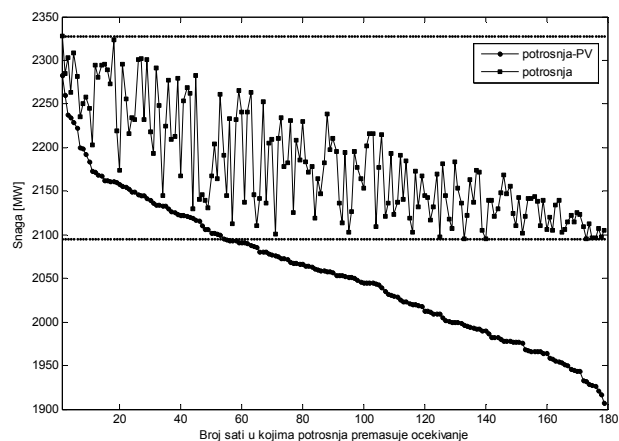
Ako se na nekom području planira instaliranje solarne elektrane, postavlja se pitanje koji izvod će najviše profitirati njenom instalacijom. Drugim riječima, gdje je optimalno „mjesto“ priključenja elektrane, tako da se maksimizuju

benefiti njene izgradnje. Pri nalaženju odgovora na ova pitanja ključno je ustanoviti sljedeća dva parametra [8]:

- 1) kapacitet smanjenja maksimalne potrošnje
- 2) broj ispada, odnosno događaja kada PV proizvodnja ne uspijeva da podmiri potrošnju

Pri odabiru lokacije modeluje se uticaj PV-a na potrošnju nekog izvoda koji uglavnom napaja gradsko središte ili urbanu sredinu uopšte (reda MW). Treba napomenuti da su u nedostatku podataka koji bi se odnosili na potrošnju u urbanim sredinama (sa izraženim ljetnjim pikom i relativno malom potrošnjom u večernjim satima), korišteni podaci na nivou elektrodistribucijskih preduzeća [6] [2]. Radi se, dakle, o potrošnjama reda GW. U takvim konzumima struktura potrošnje je raznovrsna i ne predstavlja idealan potrošač sa stanovišta PV-a. Međutim izložena metodologija ima za cilj da predstavi načine evaluacije potrošnje, u smislu da se odredi da li je podobna za integraciju solarnih izvora, a ne da odredi da li su posmatrani konzumi pogodni ili ne za instalaciju solarnih izvora energije.

Pretpostavljeno je da je nivo penetracije PV-a 10%. Potom se crtaju grafici svih potrošnji koje premašuju maksimum umanjen za instaliranu snagu elektrane (koja odgovara snazi elektrane pri iradijaciji od jednog sunca). Crtaju se takođe i grafici snage potrošnje umanjene za proizvodnju iz PV-a za navedene slučajeve. Radi preglednosti vrijednosti su date u opadajućem redoslijedu i prikazane su na slici 11.



Slika 11. Potrošnja sa i bez PV proizvodnje

Dvije horizontalne linije na slici 11 predstavljaju istorijski maksimum i isti umanjen za nominalnu snagu elektrane. Ako se pretpostavi da je solarna elektrana upravljivi (*dispatchable*) izvor enerije nominalne snage PV-a, onda bi se očekivalo da snaga potrošnje uz proizvodnju iz PV-a nikada ne pređe istorijski maksimum umanjen za nazivnu snagu elektrane, odnosno tzv. graničnu vrijednost (donja horizontala na slici 11). Ako je ova vrijednost ipak premašena, što jeste slučaj, može se ustanoviti koliko se često to javlja i tokom koliko vremena.

Faktor koji predstavlja količinu vremena kada je granična vrijednost premašena se u literaturi naziva PV-LOLE (*PV loss of load expectation*). Faktor koji predstavlja broj puta u godini kada je granična vrijednost premašena se naziva PV-LOLP (*PV*

loss of load probability). Poređenjem vrijednosti ova dva faktora moguće je odrediti prosječno trajanje kvarova. Na primjer, ako je PV-LOLE=8h godišnje i PV-LOLP=4 puta godišnje, onda je prosječno vrijeme kvara 2h.

Sa slike 11 se može vidjeti da za period od jednu godinu:

- a) od ukupno 8760 sati samo u 180 sati potrošnja premašila graničnu vrijednost.
- b) od 180 sati potrošnja umanjena za proizvodnju iz PV-a je bila veća od granične vrijednosti 54 časa. Ovo odgovara vrijednosti PV-LOLE-a od 54h/god.
- c) dogodile su se ukupno 24 situacije kada je kada je potrošnja umanjena za proizvodnju iz PV-a prešla graničnu vrijednost, čemu odgovara faktor PV-LOLP od 24. To znači da je prosječno trajanje „kvara“ bilo 2 časa i 15 minuta.

Vidi se da je relativno mala razlika između maksimuma potrošnje prije i nakon instalacije elektrane. Međutim potrošnja umanjena za snagu generisanu iz elektrane u samo 6 puta prelazi vrijednost od 2200 MW.

VI. ZAKLJUČAK

U ovom radu su predstavljeni načini kojima je moguće ocijeniti proizvodnju iz PV-a kao i njihov odnos prema potrošnji i mogući uticaj. Uticaj distribuirane PV proizvodnje jako zavisi od karakteristika potrošnje koju snabdijeva ali i od nivoa penetracije PV proizvodnje. Stoga je veoma bitno koristiti precizne metode koje omogućavaju utvrđivanje korelisanosti između konzuma i solarnih elektrana.

Korištenje predloženih metoda bi trebalo da pruži osnovne podatke koji treba da odrede optimalne lokacije instalacije buduće elektrane. Kako su u radu korištene potrošnje dobijene iz izvještaja različitih elektroprivrednih preduzeća, to su rezultati korelisanosti relativno niski. Međutim uz valjane podatke bi bilo moguće dobiti znatno povoljnije rezultate na nivou srednjenaponskih mreža koje npr. snabdijevaju poslovna središta velikih urbanih sredina.

Konkretno proračuni ne pokazuju velike prednosti u smislu povećanja energetskog kapaciteta, jer je u slučaju velike penetracije PV kapacitet opada i ispod 10%.

LITERATURA

- [1] W. Heydenreich i K. Kiefer, "Correlation between Photovoltaic Energy Production and Household Electricity Consumption - Evaluation of Data from the German Thousand Roofs Programme," EuroSun, 1996.

- [2] A. Chan, J. G. Moreno i M. Hughes, "Further Analysis of Data from the Household Electricity Usage Study: Electricity Price Signals and Demand Response," Cambridge, 2014.
- [3] J. Mikulović i Ž. Đurišić, "Statistička metoda za procenu proizvodnje električne energije iz fotonaponskog sistema," Infotech, tom XI, pp. 187-192, Mart 2012.
- [4] Photovoltaikweb, "Der schnellste weg zu Solaranlage," 2015. http://www.photovoltaik-web.de/module/solarmodule-datenbank/Hersteller/ET_Solar--122/Module/ETP672295WW--44059.html. [Posljednji pristup 11. septembar 2015].
- [5] PJM Regional Transmission Organization, "Metered load data," 27 January 2015. <http://www.pjm.com/markets-and-operations/ops-analysis/historical-load-data.aspx>. [Posljednji pristup 2. septembar 2015].
- [6] International Energy Agency, "Grid-connected photovoltaic power systems: Power value and capacity value of PV systems," IEA-PVPS publications, Milano, 2002.M. Young, The Technical Writer's Handbook. Mill Valley, CA: University Science, 1989.
- [7] Fraunhofer Institute, "Electricity production from solar and wind in Germany in 2014," 2014. <https://www.ise.fraunhofer.de/en/downloads-englisch/pdf-files-englisch/data-nivc-/electricity-production-from-solar-and-wind-in-germany-2014.pdf/view>. [Posljednji pristup 2. septembar 2015].
- [8] R. Rütther, "Grid-connected PV systems in Brazil can push PV to mass production," Proceedings of the 17th European photovoltaic solar energy conference, tom 17, pp. 2065-2068, 2001.
- [9] J. v. Appen, M. Braun, T. Stetz, K. Diwold i D. Geibel, "Time in the Sun: The Challenge of High PV Penetration in the German Electric Grid," IEEE Power and Energy Magazine, pp. 55-64, February 2013.
- [10] Electric Reliability Council of Texas (ERCOT), "Hourly load data archives," http://www.ercot.com/gridinfo/load/load_hist/index.html. [Posljednji pristup 2. septembar 2015].
- [11] P. Knob, R. Rütther, C. Jardim i H. G. Beyer, "Investigating the peak demand reduction capability of PV: a case study in Florianopolis, South Brazil," 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference, pp. 3087-3090, 7 June 2004.
- [12] R. Rütther, P. J. Knob, C. d. S. Jardim i S. H. Rebechi, "Potential of building integrated photovoltaic solar energy generators in assisting daytime peaking feeders in urban areas in Brazil," Energy Conversion and Management, tom 49, pp. 1074-1079, 27 September 2007.

ABSTRACT

Abstract— This paper presents a methods for analyzing the impact of photovoltaic panels generation on load diagrams in order to obtain compatibility factor and optimal solar power plants installation locations. Determination of compatibility factor is based on different methods. Conducted analysis is based on available measurement data for average ten-minute horizontal irradiation and ambient temperature during a year as well as hourly load data.

IMPACT OF PV GENERATION ON LOAD DIAGRAMS
Dušan Čorlija