

## **KOMPARATIVNA ANALIZA EKONOMIČNOSTI INTERMITENTNIH OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE U USLOVIMA SLOBODNOG TRŽIŠTA**

J.KUŠIĆ, JP Elektromreža Srbije, Srbija  
Ž.ĐURIŠIĆ, Elektrotehnički fakultet Beograd, Srbija

### **UVOD**

U radu su analizirani tipični sezonski i dnevni dijagrami proizvodnje vetroelektrana i solarnih elektrana. Na osnovu vremenskih profila solarnog zračenja i brzine vetra sagledani su uslovi plasmana električne energije iz ova dva intemitentna obnovljiva izvora na slobodnom tržištu električne energije. Proizvodnja električne energije iz konvencionalnih elektrana je uglavnom planska i može se prilagođavati zahtevima tržišta, pa se na taj način ostvaruje najbolja cena za proizvedeni kWh. Proizvodnja električne energije vetroelektrana i solarnih elektrana je u velikoj meri predvidiva, ali se ne može planirati jer nju direktno diktira varijacija primarnog energenta (insolacija, vetar). U cilju sagledavanja ekonomičnosti ova dva tipa elektrana, pored procene prosečne godišnje proizvodnje, potrebno je izvršiti ekonomsku valorizaciju proizvedene energije. Ključni pokazatelj u pogledu valorizacije električne energije iz OIE je korelisanost vremenskih profila cene električne energije na tržištu električne energije i vremenskog profila snage proizvodnje elektrane. U radu je izvršena korelaciona analiza između tipičnih dnevnih i sezonskih profila snage proizvodnje vetroelektrana i solarnih elektrana i profila cene na tržištu električne energije.

### **MERE PODSTICAJA PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ OIE**

Pri postojećim tržišnim uslovima troškovi proizvodnje električne energije u vetroelektranama i solarnim elektranama su i dalje značajno veći od troškova proizvodnje u konvencionalnim elektranama, pogotovu, što troškovi proizvodnje električne energije još uvek ne obuhvataju eksterne troškove. Eksterni troškovi će značajno opteretiti pre svega

troškove proizvodnje električne energije u konvencionalnim elektranama, čime će se steći uslovi da OIE postanu konkurentni na slobodnom tržištu električne energije.

U cilju podsticanja i motivisanja proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije danas je politika izgradnje OIE implementirana kroz različite mehanizme podrške (1). Sredstva za stimulaciju se mogu dobiti na više različitih načina, a neki od njih su: dobijanje sredstava za stimulaciju direktnom podrškom (novčanom ili kroz poreske olakšice), dobijanje sredstava putem premija koje moraju da plaćaju proizvođači neobnovljive energije kao vrstu odštete zbog zagađivanja i dobijanje sredstava preko povraćaja cene električne energije čime se troškovi stimulisana prebacuju na krajnje potrošače. U zemljama Evropske Unije postoji više modela preko kojih se mehanizmi podrške realizuju, pri čemu je Feed-in Tariff (FIT) sistem koji je najrasprostranjeniji i najčešće primenjivan podsticajni program.

FIT je pravno-ekonomski mehanizam, koji je konstruisan da promovise integraciju OIE u elektroenergetski sistem. Osnovne garancije koje ovaj mehanizam podrške pruža investitorima su:

1. garantovano povezivanje na elektroenergetsku mrežu,
2. dugoročni ugovori za garantovani otkup proizvedene energije,
3. garantovane, tj. fiksne cene određene na osnovu realnih troškova.

Na ovaj način vrednost izlazne energije zavisi od garantovane cene i proizvedene energije, a ne od tržišta i tržišnih cena, pri čemu je svaka elektroprivreda u obavezi da otkupi proizvedenu električnu energiju iz OIE po fiksnoj ceni. Dosadašnja praksa u zemljama Evropske Unije je pokazala da mehanizam FIT predstavlja najuspešniji okvir za razvoj OIE, pa su tako Vlade Republike Nemačke i Kraljevine Španije uspešnom primenom FIT inicirale značajan razvoj i porast u korišćenju OIE.

Fiksni period u kome se, prema sistemu FIT, garantuje cena i plasman proizvedene električne energije iz OIE za većinu zemalja iz Evropske Unije je od 10 do 25 godina. Ovaj period je znatno kraći od vremena trajanja životnog veka elektrane, koji je obično projektovan na 25 do 35 godina. Može se zaključiti da nakon isteka perioda garantovanih cena, u ovom slučaju prema sistemu FIT, intermitentni sistemi će plasirati proizvedenu električnu energiju na slobodnom tržištu, gde se cene električne energije formiraju svakog sata zavisno od ponude i potražnje, prema principu ponude za dan unapred. Slobodno tržište električne energije funkcioniše isto kao i sva druga slobodna tržišta, tako da su sezonske i dnevne varijacije cena na tržištu praktično diktirane dijagramom potrošnje električne energije, odnosno njenom potražnjom. Cene električne energije na slobodnom tržištu uglavnom prate dijagram potrošnje i one mogu da variraju u roku od jednog dana u poređenju sa odgovarajućom prosečnom dnevnom cenom.

## **INDEKS KORELISANOSTI**

U cilju procene ekonomičnosti proizvodnje intermitentnih izvora u uslovima slobodnog tržišta, neophodno je proceniti indeks korelisanosti (2) i (3) između prosečnog vremenskog dijagrama proizvodnje intermitentnih elektrana i prosečnog dijagrama cene električne energije na slobodnom tržištu. Procena indeksa korelisanosti se može primeniti kod svih intermitentnih izvora energije.

$C_{PM}$  je indeks korelisanosti između vremenskih dijagrama promene cene električne energije na berzi električne energije i vremenskog dijagrama proizvodnje elektrane. Ovaj indeks korelisanosti je jedinstven parametar za svaku vetroelektranu ili solarnu elektranu na slobodnom tržištu. Sledećom relacijom se može odrediti kvantitativna procena ovog indeksa:

$$C_{PM} = \frac{1}{24} \frac{\sum_{j=1}^{24} E_j \cdot P_{OMj}}{E_{avg} \cdot P_{OMavg}} = \frac{1}{24} \sum_{j=1}^{24} e_j \cdot p_{OMj} = \frac{P_{OMj}}{P_{OMavg}} \quad (1)$$

gde su:

$E_j$  - prosečna satna proizvodnja električne energije fotonaponske ili vetroelektrane u j-tom satu prosečnog dana

$E_{avg}$  - proizvodnja električne energije (MWh) fotonaponske ili vetroelektrane za prosečan dan

$P_{OMj}$  - cena MWh na tržištu električne energije za odgovarajući j-ti sat prosečnog dana,

$P_{OMavg}$  - očekivana srednja cena električne energije na tržištu električne energije

Vrednosti  $e_j = \frac{E_j}{E_{avg}}$  i  $p_{OMj} = \frac{P_{OMj}}{P_{OMavg}}$  su odgovarajuće normalizovane vrednosti  $E_j$  i  $P_{OMj}$  respektivno.

Za procenu indeksa korelisanosti  $C_{PM}$ , neophodno je poznavati profil proizvodnje elektrane  $e_j$ , kao i profil cena električne energije na slobodnom tržištu električne energije  $p_{OMj}$ . Navedene podatke za željenu lokaciju je neophodno imati za period od najmanje godinu dana.

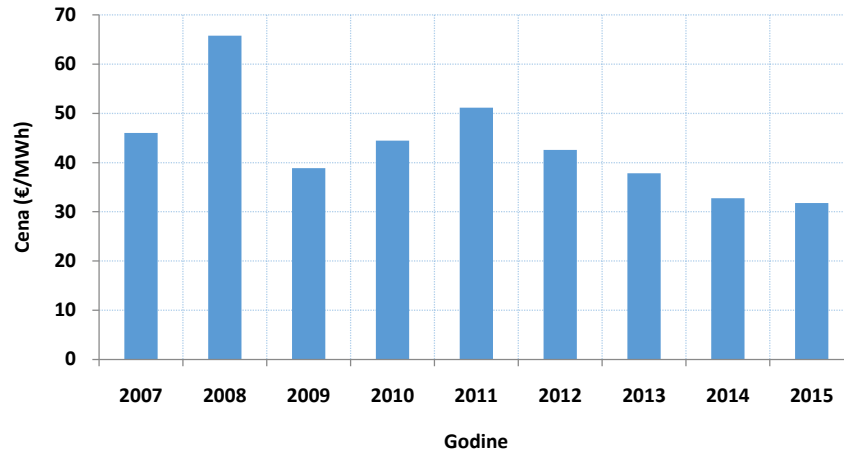
## CENA ELEKTRIČNE ENERGIJE NA TRŽIŠTU ELEKTRIČNE ENERGIJE

Cena električne energije na tržištu električne energije se obično definišu na satnom nivou na osnovu ponude i potražnje, prema principu ponude za dan unapred (*day-ahead auction*). Dnevne promene satnih cena uglavnom prate promenu dnevnog dijagrama potrošnje. Pored strukture potrošnje, na dnevni dijagram utiče i struktura proizvodnje.

Za potrebe ovog rada korišćeni su podaci o cenama na aukcijama Nemačke, a koji su dostupni na sajtu Evropske berze (*The European Power Exchange, EPEX SPOT SE*). EPEX SPOT SE predstavlja platformu za kratkoročnu trgovinu električnom energijom. Organizuju tržište koje je opciono, anonimno i dostupno svim kompanijama koje zadovoljavaju zahteve za prijem, kako bi se obezbedio transparentan i pouzdan mehanizam formiranja veleprodajne cene tržišta električne energije putem poklapanja ponude i potražnje po fer i transparentnoj ceni.

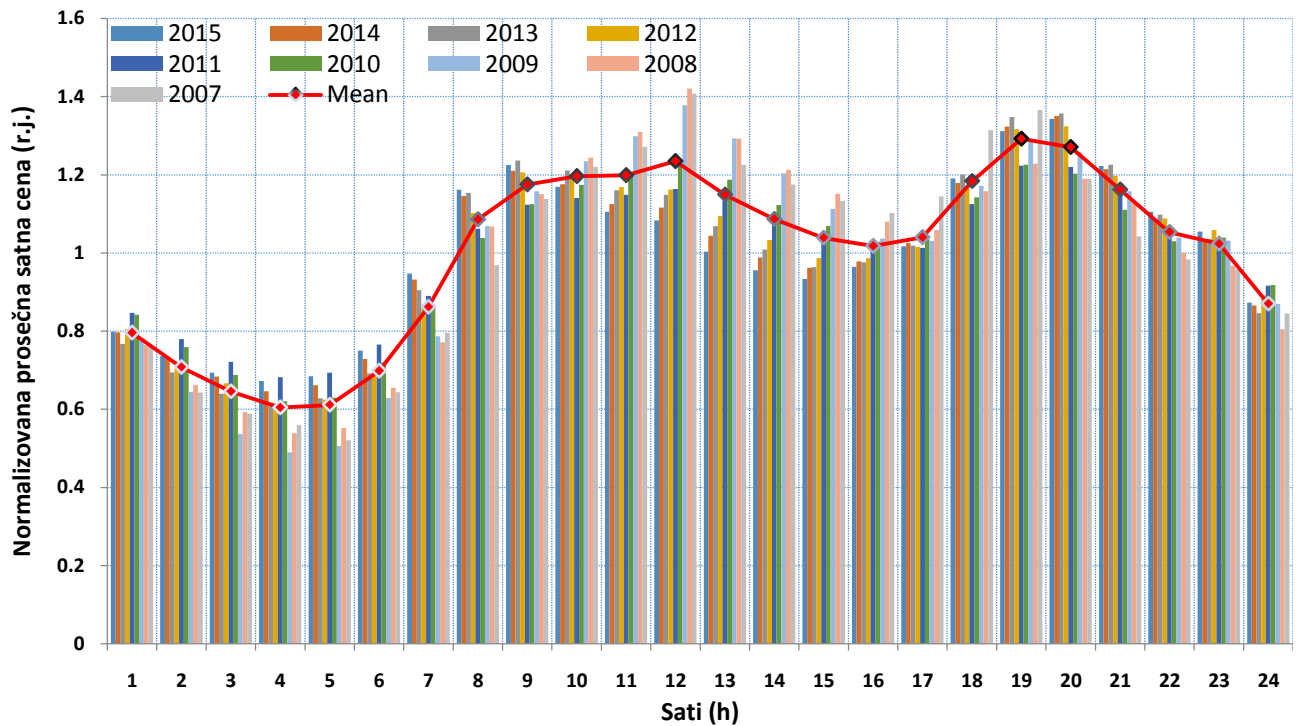
U poslednjih nekoliko godina sve veće prisustvo intermitentnih OIE značajno utiče na profil cene električne energije na nekim tržištima u regionima sa značajnim instalisanim kapacitetima OIE.

Na slici 1. su prikazane prosečne godišnje cene električne energije na Nemačkoj berzi za svaku godinu u periodu od 2007. do 2015. godine. Zbog sve većeg instalisanog kapaciteta OIE, od 2012. godine proizvođači su krenuli naglo da plasiraju energiju dobijenu iz OIE direktno na Nemačkoj berzi. Sa grafika prikazanog na slici 1 može se primetiti da cene električne energije na tržištu padaju sa pojavom OIE na berzi i to sa 51,125 €/MWh (2011. godina) na 31,769 €/MWh (2015. godina).



Slika 1- Prosečne cene električne energije na Nemačkoj berzi za svaku godinu u periodu od 2007. do 2015. godine

Na slici 2 su prikazane srednje normalizovane satne cene električne energije na Nemačkoj berzi za prosečan dan za svaku godinu u periodu od 2007. do 2015. godine. Na osnovu srednjih dnevnih dijagrama, proračunat je odgovarajući srednji normalizovani dnevni dijagram za analizirani period od 2007 – 2015. godine.



Slika 2 - Srednje normalizovane satne cene električne energije na Nemačkoj berzi za svaku godinu u periodu od 2007. do 2015.

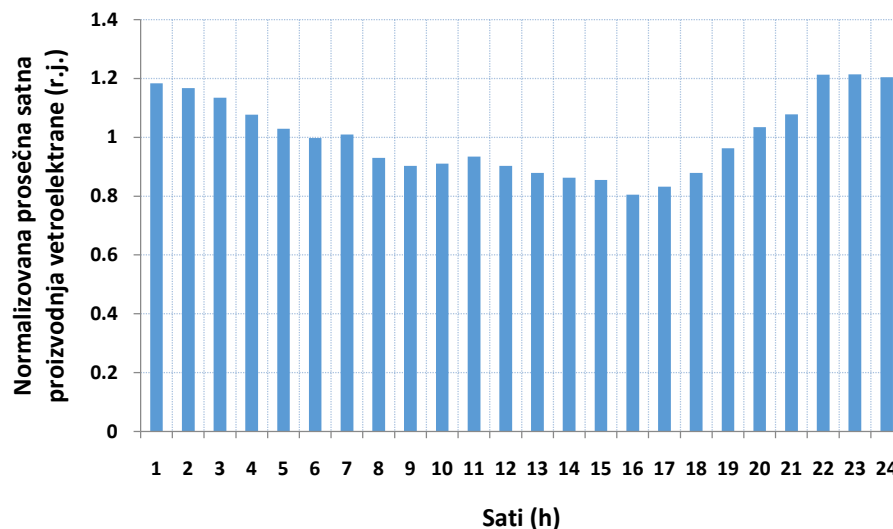
U tržišnim uslovima, prihod po proizvedenom MWh električne energije zavisiće od perioda u kojem je ta proizvodnja ostvarena. Ekonomičnost obnovljivog izvora neće zavisiti samo od toga koliko je neka elektrana

proizvela električne energije već i kada je ta proizvodnja ostvarena. Na osnovu utvrđenih dijagrama profila cene električne energije na berzi biće utvrđena relativna vrednost proizvedenog MWh za svaki od intermitentnih OIE.

## ODREĐIVANJE INDEKSA KORELISANOSTI ZA SOLARNE ELEKTRANE I VETROELEKTRANE U REGIONU VOJVODINE

Za potrebe ove analize bili su na raspolaganju merni podaci o brzini vetra i solarnoj iradijaciji na lokaciji Sečanj. Na osnovu raspoloživih desetominutnih merenja prosečne vrednosti brzine vetra i temperature vazduha na ovoj lokaciji, proračunata je prosečna satna proizvodnja vetroelektrane na istoj lokaciji.

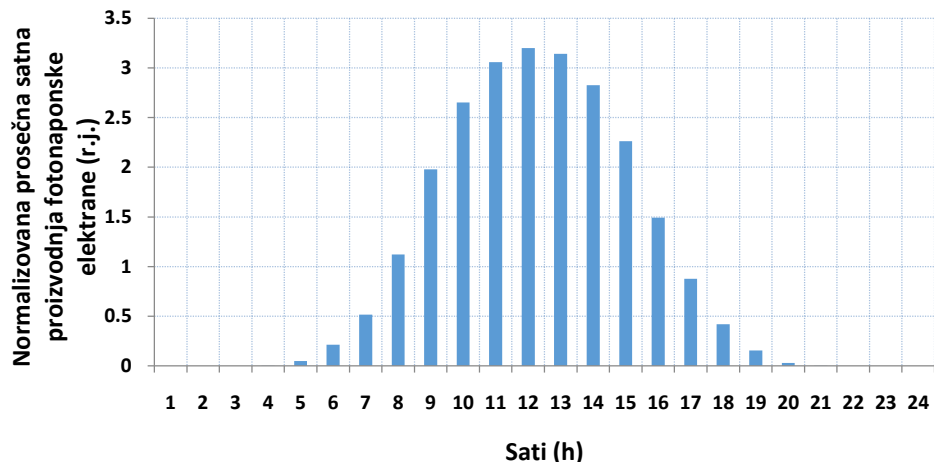
Na osnovu jednogodišnjih merenja u period od 1. jula 2012. do 30. juna 2013., procenjen je dnevni profil proizvodnje vetroelektrane. Na slici 3 je prikazan estimirani prosečni normalizovan satni dijagram proizvodnje vetroelektrane za prosečan dan za pomenuti period.



Slika 3 - Normalizovane prosečne vrednosti proizvodnje vetroelektrane za Sečanj za prosečan dan u periodu od 1. jula 2012. do 30. juna 2013. godine.

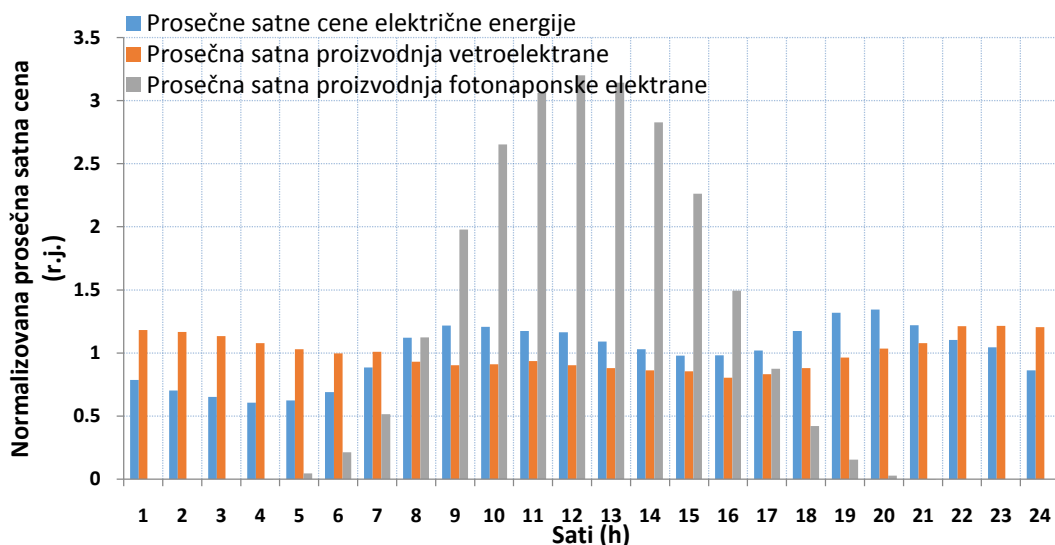
Za period od 1. jula 2012. do 30. juna 2013. takođe su bile poznate i vrednosti srednjih satnih snaga proizvodnje PV panela instalisane snage 500 kWp na lokaciji Sečanj.

Na osnovu jednogodišnjih merenja u period od 1. jula 2012. do 30. juna 2013., procenjen je dnevni profil proizvodnje fotonaponske elektrane. Na slici 4 je prikazan estimirani prosečni normalizovan satni dijagram proizvodnje fotonaponske elektrane za prosečan dan za pomenuti period.



Slika 4 - Normalizovane prosečne vrednosti proizvodnje fotonaponske elektrane za Sečanj za prosečan dan u periodu od 1. jula 2012. do 30. juna 2013. godine.

Na slici 5 su uporedo prikazani normalizovani prosečni dnevni dijagrami proizvodnje vetroelektrane i fotonaponske elektrane u Sečnju, kao i normalizovane prosečne satne cene električne energije na Nemačkoj berzi za jedan prosečan dan u periodu od 1. jula 2012. do 30. juna 2013 godine. Na osnovu raspoloživih prosečnih satnih cena električne energije od 1. jula 2012. do 30. juna 2013 godine, dobijene su normalizovane prosečne satne cene električne energije. Normalizacija svih veličina je izvršena u odnosu na srednju dnevnu vrednost odgovarajuće veličine.



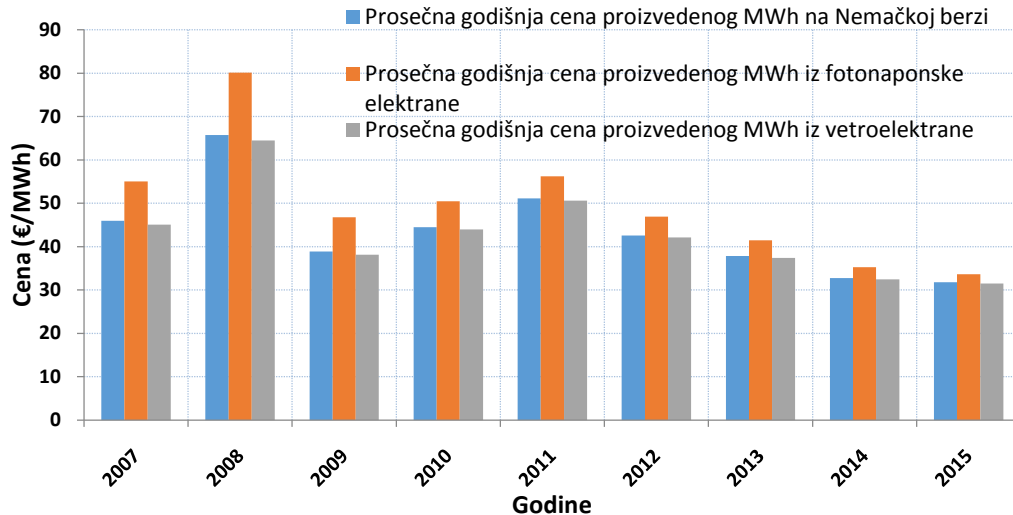
Slika 5 - Normalizovana prosečna satna proizvodnja vetroelektrane, fotonaponske elektrane u oblasti Sečanj i normalizovane satne cene električne energije na Nemačkoj berzi za prosečan dan u period od 1. jula 2012. do 30. juna 2013 godine

Na osnovu relacije za proračun indeksa korelisanosti, dobijeno je da:

- Indeks korelisanosti vetroelektrane iznosi  $C_{PM}^V = 0.989$  ;
- Indeks korelisanosti fotonaponske elektrane iznosi  $C_{PM}^F = 1,103$  ;

Procenjena vrednost indeksa korelisanosti  $C_{PM}^V = 0.989$  pokazuje da će svaki proizveden MWh u vetroelektrani u Sečnju postići cenu na berzi koja približno odgovara prosečnoj godišnjoj ceni MWh.

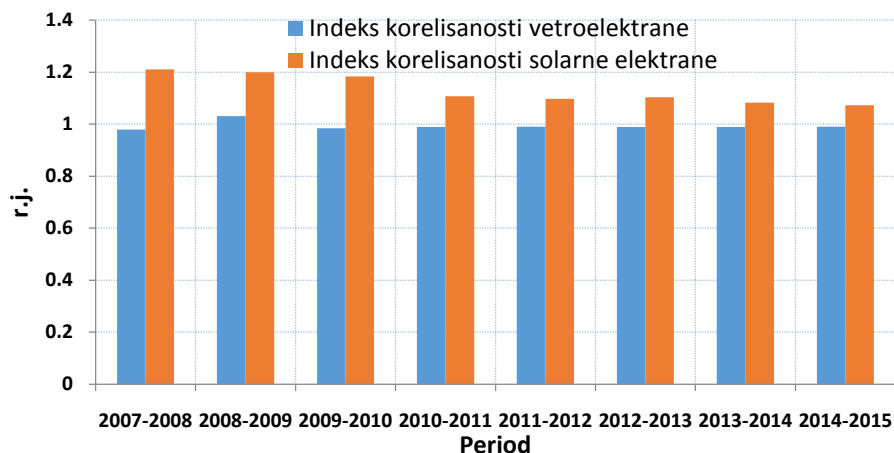
Procenjena vrednost indeksa korelisanosti  $C_{PM}^F = 1,103$  pokazuje da će svaki proizveden MWh u fotonaponskoj elektrani u Sečnju postići cenu na berzi koja je u proseku 10.3% viša u odnosu na prosečnu godišnju cenu MWh. To znači da će na slobodnom tržištu MWh proizveden u fotonaponskoj elektrani biti vredniji za oko 11,4% u odnosu na MWh proizveden u vetroelektrani u Banatu. Na slici 6 dato je poređenje prosečnih cena MWh na Nemačkoj berzi, i prosečna cena MWh proizvedenog iz vetroelektrane i fotonaponske elektrane za period od 2007 – 2015 godine.



Slika 6 - Prosečna cena MWh na Nemačkoj berzi i prosečna cena MWh proizvedenog iz vetroelektrane i fotonaponske elektrane za period od 2007 – 2015 godine.

Ipak, na osnovu podataka prikazanih na slici 2 treba primetiti tendenciju da vršne dnevne vrednosti cene električne energije na tržištu opadaju, dok vršne večernje vrednosti imaju tendenciju porasta. Ovo je upravo posledica sve veće zastupljenosti fotonaponskih elektrana na tržištu električne energije (4). Uvažavajući ovaj trend, prethodne analize treba uzeti kao trenutne, koje će u perspektivi imati određene promene zbog očekivanog povećanja instalisanih kapaciteta solarnih i vetro elektrana.

Na slici 7 predstavljena je uporedna analiza indeksa korelisanosti za vetroelektrane i fotonaponske elektrane u periodu od 2007 – 2015 godine. Na osnovu predstavljenog grafika može se zaključiti da se indeks korelisanosti vetroelektrane neznatno menja i uzima vrednosti bliske jedinici. Za indeks korelisanosti fotonaponske elektrane može se primetiti da se smanjuje i to sa 1.21 na 1.073 u periodu od 2007 – 2015. Uzimajući u obzir prethodno sprovedenu analizu može se zaključiti da je vrednost proizvedenog MWh iz fotonaponske elektrane veća od vrednosti MWh proizvedenog iz vetroelektrane, ali da se ta vrednost poslednjih godina sve više smanjuje. Tokom 2007 vrednost proizvedenog MWh iz fotonaponske elektrane je bila za 23.12 % veća od vrednosti proizvedenog MWh iz vetroelektrane dok je tokom 2015 godine bila veća za 8.22%.



Slika 7 – Usporedna analiza indeksa korelisanosti za vetroelektrane i fotonaponske elektrane u periodu od 2007 – 2015 godine.

## ZAKLJUČAK

U perspektivi, svi izvori električne energije će biti podjednako tretirani na slobodnom tržištu električne energije. U takvim uslovima za ekonomičnost OIE pored godišnje proizvodnje električne energije, potrebno je voditi računa i o profilu dnevnog dijagrama proizvodnje, kao i o prosečnom vremenskom dijagramu cena električne energije.

Definisani indeks korelisanosti između prosečnog dnevnog profila cene električne energije na slobodnom tržištu i prosečnog dnevnog profila proizvodnje određene fotonaponske i vetroelektrane, može poslužiti kao kvantitativna mera uticaja dnevnog profila proizvodnje na ekonomičnost elektrane u uslovima slobodnog tržišta. Ovakve analize su izuzetno značajne radi pravilnog sagledavanja ekonomije i valorizacije proizvedene električne energije za intermitentne izvore električne energije na slobodnom tržištu električne energije.

Na osnovu sprovedene analize u period od 1. jula 2012. do 30. juna 2013 godine zaključeno je da MWh koji je proizveden u fotonaponskoj elektrani ima oko 10% veću cenu u poređenju sa MWh proizvedenim u vetroelektrani u uslovima slobodnog tržišta za analiziranu lokaciju u Banatu. Dakle energija koja je proizvedena u fotonaponskoj elektrani ima znatno veću vrednost od energije proizvedene u vetroelektrani. Sagledavanjem indeksa korelisanosti za poslednjih devet godina unazad od 2007 do 2015 godine, primećeno je da je vrednost proizvedenog MWh iz fotonaponske elektrane veća nego MWh proizvedenog iz vetroelektrane, ali da se ta vrednost poslednjih godina sve više smanjuje. Tokom 2007 godine vrednost proizvedenog MWh iz fotonaponske elektrane je bila za 23.12 % veća od vrednost proizvedenog MWh iz vetroelektrane dok je tokom 2015 godine bila veća za 8.22%.

## LITERATURA

- (1) Uredba o merama podsticaja za povlašćene proizvođače električne energije, Službeni glasnik RS br. 8/2013, Srbija
- (2) Ž. Đurišić, J. Mikulović, I. Babić, Impact of wind speed variations on wind farm economy in the open market conditions, *Renewable Energy* 46 (2012), pp. 289-296
- (3) I. Babić, Ž. Đurišić, Impact of daily variation of solar radiation on photovoltaic plants economy at the open market: A case study "Bavanište" (Serbia), *Thermal Science*, 2015, Vol. 19, No. 3, pp. 837-844 (doi:10.2298/TSCI141025009B)
- (4) Global market outlook for photovoltaics until 2016, 2016, EPIA

Jelena Kušić, Vojvode Stepe 412, Beograd, [jelena.kusic@ems.rs](mailto:jelena.kusic@ems.rs)

Željko Đurišić, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd, [djurisic@etf.rs](mailto:djurisic@etf.rs)