

IDEJNO REŠENJE SOLARNE ELEKTRANE INDUSTRIJE MESA „NEOPLANTA” CONCEPTUAL SOLUTION OF SOLAR POWER PLANT IN THE MEAT INDUSTRY “NEOPLANTA”

Petar Jovančević, Vladimir Katić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – Za smanjenje troškova energenata, naročito rashladnih postrojenja u letnjem period, predložena je izrada idejnog rešenja solarne elektrane na krovu industrije mesa “Neoplanta” iz Novog Sada. Dato je idejno rešenje FN elektrane snage 3 MWp i urađena simulacija rada jednog bloka od 12x20 FN panela u programskom okruženju MATLAB (SIMULINK). Nakon simulacije, izvršena je kompletna tehno-ekonomska analiza kao i povrat investicije prema važećim zakonima.

Ključne reči: fotonaponska elektrana, modelovanje elektrane, tehno-ekonomska analiza

Abstract – In order to reduce the costs of energy sources, especially cooling plants in the summer period, it is proposed to develop a conceptual design of a solar power plant on the roof of the meat industry “Neoplanta” from Novi Sad. The conceptual design of a PV power plant with a power of 3 MWp is given and a simulation of the operation of one block of 12x20 PV panels in the MATLAB (SIMULINK) is performed. Also, a complete techno-economic analysis was performed, as well as the return on investment according to the applicable laws.

Keywords: photovoltaic power plant, power plant modeling, techno-economic analysis

1. UVOD

Strategijom razvoja energetike u Republici Srbiji i novim Zakonom o energetici ostvareni su uslovi da se izvrši značajan prodor ka široj primeni obnovljivih izvora, kao što su energija sunca, vetra, biomase, vode i dr. Predviđene i mere za stimulisanje investiranja kroz dobijanja statusa povlašćenog proizvođača [1].

U ovom radu, sagledaće se mogućnost kompenzacije rashladne energije u industriji mesa „Neoplanta“ iz Novog Sada pretvaranjem solarne energije u električnu. Udeo potrošnje rashladnog postrojenja se kreće oko 40% na mesečnom nivou i ideja je umanjiti ovaj utrošak, koji je najveći tokom letnjih meseci i istovremeno povećati sigurnost napajanja fabrike.

2. RASHLADNO POSTROJENJE

Rashladno postrojenje sastoji se od devet vijčanih kompresorskih agregata, pet evaporativnih kondenzatora,

četiri separatora, dva resivera, jedan međuresiver, dvanaest pumpi za amonijak i veliki broj isparivača sa prinudnom cirkulacijom vazduha koji se nalaze po celom kompleksu fabrike [2]. Rashladna postrojenja se razvrstavaju na četiri sistema hlađenja, i to [2]:

- temperaturni režim hlađenja $-2^{\circ}\text{C}/+35^{\circ}\text{C}$, za potrebe komora u novom pogonu, komora za hladno dimljenje i komora za zrenje
- temperaturni režim hlađenja $-10^{\circ}\text{C}/+35^{\circ}\text{C}$, za potrebe komora u novom pogonu, komora u klanici i komora u konzervi
- temperaturni režim hlađenja $-31^{\circ}\text{C}/-10^{\circ}\text{C}$, za potrebe komora zamrznutih proizvoda i uređaja za pravljenje ljušpastog leda
- temperaturni režim hlađenja $-41^{\circ}\text{C}/-10^{\circ}\text{C}$, za potrebe klasičnih tunela za zamrzavanje proizvoda i pločastih zamrzivača

Instalisana snaga kompresorskih agregata iznosi 1.729 MW, amonijačnih pumpi 66 kW a evaporativnih kondenzara 245,9 kW.

3. UPRAVLJANJE, NAPAJANJE I POTROŠAČI

Za prikupljanje podataka sa uređaja za potrošnju električne energije koriste se PLC kontroleri, a za prikazivanje prikupljenih podataka odgovarajući operatorski paneli. Komunikacija između PLC-ova i uređaja za potrošnju električne energije obavlja se korišćenjem Modbus RTU komunikacionog protokola. Na slici 1 prikazan je interfejs praćenja potrošnje rashladnih postrojenja. Na njemu se mogu videti i neki trenutni energetske pokazatelji.



Slika 1 Interfejs PLC-2 za potrošnju rashladnog postrojenja

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Vladimir Katić, red. prof.

Fabrika se napaja iz tri trafostanice. Iz TS Venac 1 se napajaju amonijačni kompresori N250VMD-M (-10°C , 400 kW), N200VLD-M (-10°C , 250 kW) i N200VMD-L

(-2°C, 250 kW). Iz TS Venac 2 se napaja opšta potrošnja mašinske sale i kompresori N250VMD-M (-10°C, 400 kW) N160VLD-L (-2°C, 132 kW), dok se iz transformatorske stanice TS Venac 3 napajaju rashladne kule (evaporativni kondenzatori) i RO-NMS (nova mašinska sala). Sa izvoda RO-NMS napaja se ceo dodatni sistem rashlade -31°C i -41°C koji se sastoji od četiri amonijačna kompresora sa amonijačnim pumpama (-31°C: N160VLD-LB 45 kW, N200VMD-LB 75 kW i -41°C: N160VLD-MB 45 kW i N250VMD-MB 132 kW).

4. IDEJNO REŠENJE SOLARNE ELEKTRANE NEOPLANTA 3 MW_p

4.1. Lokacija

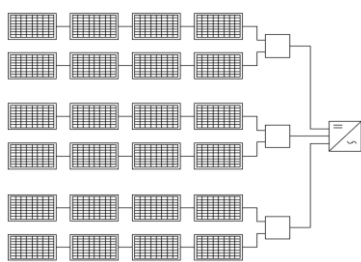
Potencijalna mesta za elektranu su krovovi novog pogona, krovovi starog pogona, krov magacina konzervi, krovovi na transportu (moguća i dogradnja tende za parkiranje automobila) i voćnjak. Na slici 2 je prikazan satelitski snimak fabrike. Može se uočiti da je voćnjak, zbog orijentacije krovova, najzgodnije mesto za izgradnju elektrane.



Slika 2. Moguće površine za izgradnju solarne elektrane

4.2. Topologija

Zbog velike predviđene snage FN elektrane, potrebno je izabrati topologija gde se mogu formirati podjednaka fotonaponska polja, koja se sastoje iz nizova (*string*) FN panela. Oni se vezuju u jedan distributivni orman (*string combiner*), koji se dalje vezuje na inverter. Na slici 3 je data usvojena topologija vezivanja FN blokova prema kojoj je projektovano idejno rešenje elektrane.



Slika 3. Topologija povezivanja FN polja na inverter preko string combiner-a [3]

4.3. Odabir FN opreme:

Pretvaranje solarne energije u električnu odvija se u FN panelima sa DC izlazima, pa je potrebno odabrati panele odgovarajućih karakteristika, kao adekvatan inverter (DC/AC), koji će proizvedenu električnu energiju pretvoriti u naizmeničnu zahtevanog mrežnog kvaliteta. U tabeli 1 dat je pregled najznačajnijih proizvođača FN panela, a u tabeli 2 vodećih fabrikana solarnih invertora,

koji su najviše zastupljeni na evropskom tržištu. Na osnovu detaljne analize, odabran je FN panel firme „LG Energy“, tip Neon R (N-type IBC, 380 W_p) i inverter proizvođača „SMA“ tip Sunny Highpower peak 3 SHP 100 – 20, snage 100 kW.

Tabela 1. Proizvođači sa tipovima panela

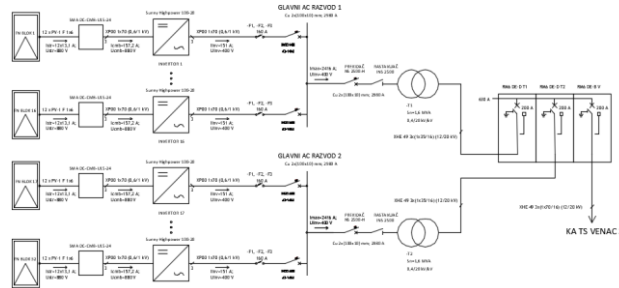
Proizvođač	Vodeći model	Tip ćelije	Snaga	Efikasnost	Radni vek	Cena
1 LG Energy	Neon R	N-type IBC	380 W	22.0%	25 godina	329 €
2 Sunpower	Maxeon 3	N-type IBC	400 W	22.6%	25 godina	425 €
3 REC	Alpha	N-type HJT MBB	380 W	21.7%	20 godina	315 €
4 Hanwha Q cells	QPeak DUO G9	P-type Half-cut MBB	390 W	20.6%	25 godina	305 €
5 Winaico	WST-375MG	P-type Half-cut MBB	375 W	20.6%	25 godina	290 €

Tabela 2. Ponuda invertora na evropskom tržištu

Proizvođač	Model	Ulazni napon [V]	Broj MPPT	Efikasnost [%]	Snaga [kW]	Radni vek	Cena
1 Fronius	FRONIUS ECO 27.0-3-S	1000	1	98,3	27	10	2.832 €
2 Solar Edge	SE 27,6K	1000	3	98	27,6	8	1.825 €
3 SMA	Sunny Tripower 25000TL-30	1000	2	98,4	25	12	2.389 €
4 SMA	Sunny Highpower peak 3 SHP 100 – 20	1000	1	98,7	100	12	5.899 €
5 ABB	Trio-27.6-TL-OUTD-S2X-400	1000	2	98,2	27,6	10	3.586 €

4.4. Principijalne šeme solarne elektrane

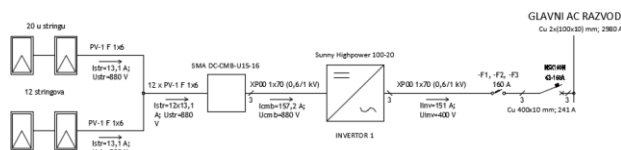
Na slici 4 je prikazana jednopolna šema kompletne solarne FN elektrane. FN paneli su grupisani u 2x16 klastera, koji završavaju inverterom i vezom na AC sabirnicu. NN deo se sastoji od dva glavna AC razvoda koji dalje distribuiraju energiju preko dva energetska transformatora na glavne SN sabirnice. Jedan AC razvod u sebi sadrži 16 FN blokova koji se sastoji od 12 stringova uvezanih preko centralnog string combiner-a, koji je dalje vezan na inverter.



Slika 4. Jednopolna šema FN elektrane

4.3.1. DC-AC razvod

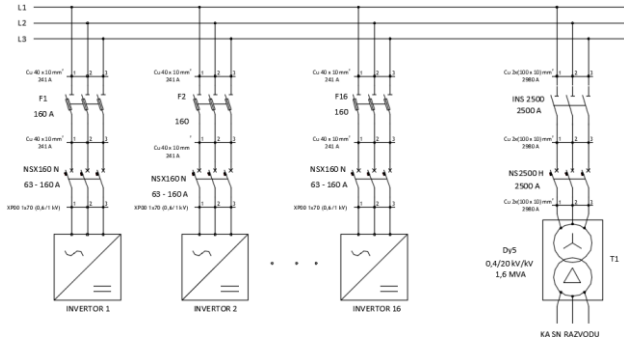
Broj panela za celu elektranu snage 3 MW_p je 7.680 komada. Za inverter snage 100 kW sa 12 stringova dobija se da po stringu imamo 20 panela. Odabrani paneli LG Neon R LG380Q1C-V5 snage 380 W_p imaju prema katalogskom podatku struju od 10,17 A, pa je ukupna struja po stringu 157,2 A nakon proračuna za dimenzionisanje kablova. Na osnovu ovih podataka dimenzioniše se jedan FN blok kao i prateća zaštitno prekidačka oprema kao na slici 5



Slika 5. Šema DC – AC razvoda

4.3.2. AC Razvod 0,4 kV

Topologija same elektrane se sastoji iz dva dela što znači da postoje dva nezavisna AC razvoda. Oni se uglavnom smeštaju u objekat ili kontejnersko montažno postrojenje u kojem se nalazi i transformator sa SN razvodom. Izabrani inverter ima mogućnost podešavanja izlaznog napona na 0,4 kV. Na slici 6 prikazana je šema priključenja na AC razvod.



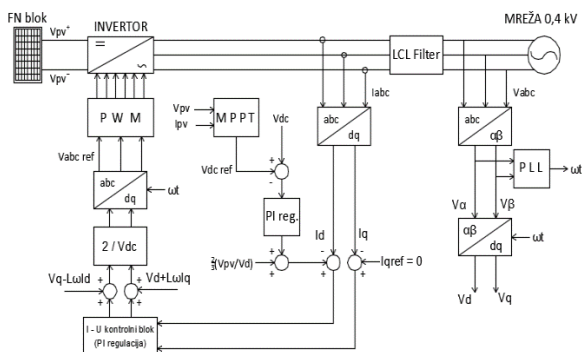
Slika 6. Šema priključenja na AC razvod

Za dalji prenos proizvedene energije, potrebno je dimenzionisati transformator i prateću opremu. Kako je na sa-birnici vezano 16 invertora sa izlaznom snagom 91,2 kW, ukupna snagu je 1,459 MW. Odabran je suvi energetski transformator proizvođača FMT Zaječar snage 1,6 MVA, prenosnog odnosa 0,4/20 kV/kV sprege Dy5.

Kako su predviđena dva sistema AC razvoda sa dva energetska transformatora, planirane su dve transformatorske i jedna vodna ćeliju u sistemu SN postrojenja. Bira se kompaktno postrojenje RM6 - DE-D proširivog tipa nazivnog napona 24 kV za transformatorske ćelije i RM6 – DE-B za vodnu ćeliju.

5. SIMULACIJA FN BLOKA KORIŠĆENJEM MATLAB / SIMULINK SOFTWARE-a

Na slici 7 predstavljen je model za simulaciju dela predviđene FN elektrane. Uočava se nekoliko blok celina i to: model FN bloka, model invertora, model LCL filtera i model mreže, dok su ostale celine signalno upravljačke.

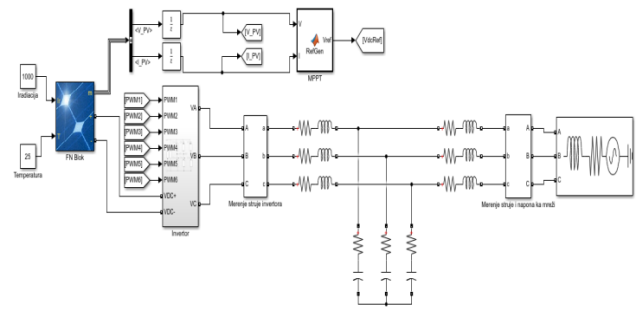


Slika 7. Blok dijagram simulacije sistema [4]

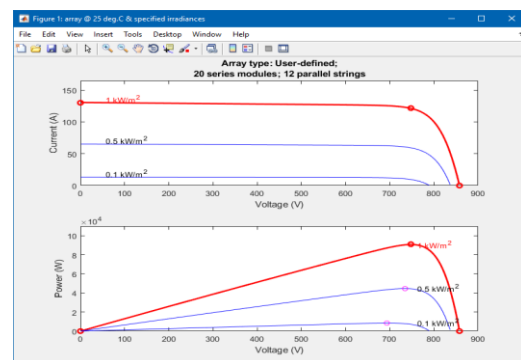
Na slici 8 prikazan je Simulink model komponenti bez upravljačkih signala, koji modeluje blok dijagram sa slike 7. U FN bloku potrebno je podesiti broj stringova i broj panela po stringu. Nakon toga se unose parametri odabranog panela i dobija se izlazna P-V karakteristika sistema FN bloka, koja je prikazana na slici 9.

Simulacija rada MPPT se realizuje preko *Matlab function* bloka u kojem može da se preko matlabovog koda isprogramira funkcija po želji. Za praćenje MPP-a obično

se koristi metoda P&O (*perturbe and observe*). U ovoj tehnici se uvode manje promene vrednosti veličina koji uzrokuje promenu snage FN modula. Izlazna snaga FN se periodično meri i upoređuje sa prethodnom snagom (P_{old} i P_{new}) [4].

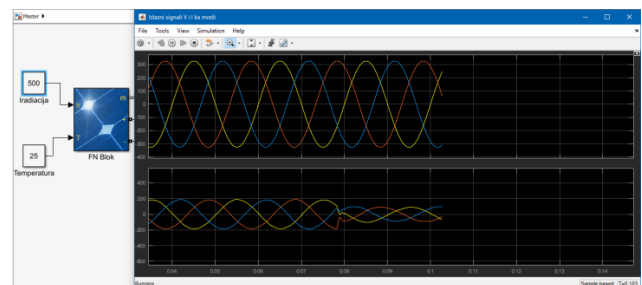


Slika 8. Simulink model FN bloka

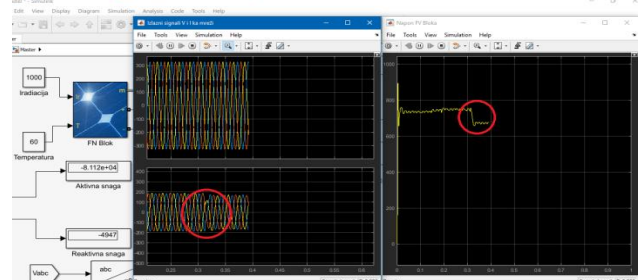


Slika 9. I – U i P – U karakteristike FN bloka

Na slikama 11 i 12 prikazani su neki rezultati simulacije za različite iradijacije i ambijentalne temperature. Na slici 11, može se primetiti da su napon i struja stabilni i pravilnog oblika, a da su vrednosti struje smanjene kod pada nivoa zračenja sa 1000 W/m² na 500 W/m². Na slici 12 vidi se da je promenom temperature došlo do očekivanog pada napona nakon promene iradijacije.



Slika 11. Signali napona i struje nakon promene iradijacije sa 1000 W/m² na 500 W/m²



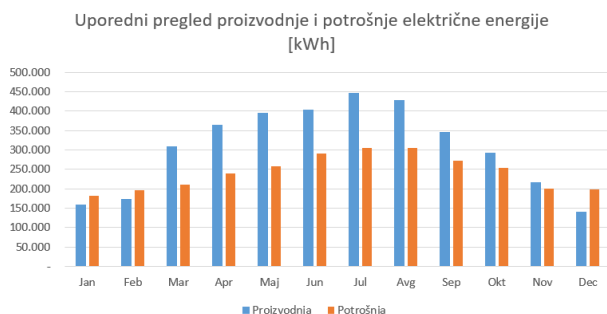
Slika 12. Grafici napona FN bloka i izlaznih veličina U-I ka mreži nakon promene temperature na 60°C

Odavde se može zaključiti da se promenom iradijacije i ambijentalne temperature, menjaju i izlazne vrednosti aktivne i reaktivne snage. Promene izlaznih veličina ka mreži su se dogodile u momentu promene i nakon toga je MPPT algoritam omogućio maksimalnu izlaznu snagu u ovim promenjenim.

6. INVESTICIONA ANALIZA SOLARNE ELEKTRANE

6.1. Proizvodni potencijal FN elektrane

Da bi se pokazala isplativost investicije (ROI) neophodno je analizirati projektovanu proizvodnju električne energije u odnosu na potrošnju rashladnog postrojenja. Potrebne podatke o potencijalnoj proizvodnji električne energije dobijaju se korišćenjem softvera PVGIS software-a kao na grafikonu sa slike 13 [6], dok su podaci o potrošnji od rashladnih postrojenja iz 2020. god. Vidi se da bi solarna elektrana pokrivala kompletnu potrošnju, uz rezervu poznate interminencije solarne energije. Time je opravdano investirati u ovakvo postrojenje.



Slika 13. U poređni grafik proizvodnje i potrošnje električne energije u objektu

6.2. Tehno-ekonomska analiza

Ukupna investicija za izgradnju solarne elektrane iznosi 2.951.082 €. Nakon investicione subvencije od 25 % cena solarne elektrane iznosi 2.213.312 €. Takođe je bitna napomena da država sa povlašćenim proizvođačima potpisuje ugovor o podsticajima u trajanju od 15 godina a nakon toga se cena menja na redovnu proizvodnu od 7 c€/kWh. [7] I iznosi 319.357 €. ROI računamo tako što ukupnu investiciju sa ukupnom planiranom dobiti na godišnjem nivou i dobijamo povrat ispod 7 godina.

Dobit elektrane za prvih 15 godina tokom trajanja podsticajnog ugovora iznosi 4.962.298 €. Nakon 15 godina ističe ugovor i nastavlja se dobit po redovnoj ceni narednih 5 godina zbog trajanja efikasnosti panela kao i troška za nove invertore što iznosi 1.286.522 €.

Imajući u vidu poslednjih 5 godina trajanja garancije na komponente kao i slabljenje efikasnosti panela, imamo finalnu dobit od 1.109.544 €.

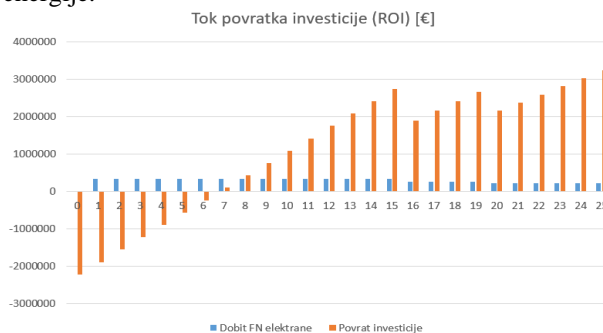
Na slici 14 je prikazan *cash flow* životnog veka elektrane kao i konačna zarada nakon 25 godina eksploatacije koja iznosi 3.247.805 €.

7. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada je bio da se pokaže kako se u velikim industrijama rashladna energija može nadomestiti energijom iz obnovljivih izvora. Svaki industrijski kompleks koji koristi rashladnu energiju imaće velika naprezanja tokom toplijih dana u godini zbog procesa kondenzacije rashladnog energenta kao i nesavršenosti

komora i odeljenja koja zahtevaju rashladnu energiju. Pokazali smo kroz realnu analizu koji je period otplate ovakve investicije i kako se praktično može u realnim radnim uslovima kompenzovati ovaj trošak električne energije.

Sve navedeno nas navodi na, to da je vrlo isplativo graditi elektrane i postrojenja iz obnovljivih izvora energije jer jedno je sigurno. Koliko god se trošile zalihe fosilnih goriva, sunca, vode i vetra će biti kao nepresušnog izvora energije.

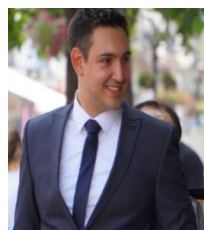


Slika 14. Grafikon povrata investicije (ROI)

8. LITERATURA

- [1] M. Pucar, M. Nenković-Riznić, S. Simonović, "Mogućnost primene foto-naponskih sistema u urbanism sredinama – studija slučaja", Beograd, 2017.
- [2] Projekat izvedenog stanja rashladnih instalacija Industrije mesa Neoplanta AD, Industrial Refrigeration Care d.o.o., Novi Sad, 2013
- [3] Zoltan Čorba, "Fotonaponsko pretvaranje solarne energije i solarne elektrane", Novi Sad, 2017.
- [4] M. Ahmed, M. Abdelrahem, I. Harbi, „An Adaptive Model-Based MPPT Technique with Drift-Avoidance for Grid-Connected PV System“s, Energies,, 2020
- [5] S.A. Lakshmanan, A. Jain, B. S. Rajpourhit "A Novel Current Controlled Technique with Feed Forward DC Voltage Regulator for Grid Connected Solar PV System“, IEEE, 2015
- [6] PVGIS, <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>
- [7] Zakon o korišćenju obnovljivih izvora energije: 40/2021-23, "Službeni glasnik RS", broj 40

Kratka biografija:



Petar Jovančević rođen je 1988. god. u Novom Sadu. Srednju elektrotehničku školu, završio je u Novom Sadu 2007 god. Master studije upisao je 2015 godine na studijskom programu Elektroenergetski sistemi, paralelno počeo da radi u struci i završio master studije 2021. god.



Vladimir A. Katić, red.prof. rođen je 1954. godine u Novom Sadu. Doktorirao je na Univerzitetu u Beogradu 1991. godine. Od 2002. god. je redovni profesor Univerziteta u Novom Sadu. Oblasti interesovanja su mu energetska elektronika, obnovljivi izvori električne energije, kvalitet električne energije i električna vozila.