

PRORAČUN NAPONA OTVORENOG KOLA I STRUJE KRATKOG SPOJA FOTONAPONSKIH PANELA U NIZU POVEZANIH NA INVERTOR

CALCULATION OF OPEN CIRCUIT VOLTAGE AND CURRENT SHORT CIRCUIT OF PHOTOVOLTAIC PANELS CONNECTED TO THE INVERTER

Nikola CVETANOVIĆ, Elektrodistribucija Srbije d.o.o. Beograd, Odsek Leskovac, Srbija
Ninoslav SIMIĆ, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla” Beograd, Srbija
Miroslav DOČIĆ, Elektrodistribucija Srbije d.o.o. Beograd, Odsek Leskovac, Srbija
Aleksandar ANĐELKOVIĆ, Elektrodistribucija Srbije d.o.o. Beograd, Odsek Leskovac, Srbija

KRATAK SADŽAJ

Proizvodnja električne energije u solarnim elektranama se odvija fotonaponskom konverzijom Sunčevog zračenja u električnu energiju putem fotonaponskih panela, koji se postavljaju u nizove. Prema dosadašnjim iskustvima potrebno je posvetiti veću pažnju proračunu broja panela u nizu. U ovom radu je, na konkretnom primeru solarne elektrane snage 200 kW, detaljno predstavljen proračun struje kratkog spoja i napona otvorenog kola panela koji su priključeni na invertore. Analiziran je uticaj broja panela u nizu sa stanovišta vrednosti napona u granicama prihvatljivim za pravilan rad invertora i pri tome je razmatran i uticaj temperature ambijenta na vrednost napona panela povezanih u nizove. Dobijene vrednosti napona otvorenog kola u zavisnosti od broja panela i temperature su prikazane tabelarno. Na osnovu proračuna, odnosno minimalne i maksimalne granične vrednosti napona, za datu elektranu je definisan optimalan broj panela u jednom nizu. Cilj rada je da se ukaže na potrebu za detaljnim proračunom broja panela u nizu, sa svrhom izbegavanja ispada ili oštećenja invertora tokom eksploatacije solarne elektrane.

Ključne reči: solarna elektrana, fotonaponski panel, napon otvorenog kola, struja kratkog spoja, inverter.

SUMMARY

The production of electricity in photovoltaic power plants is done by photovoltaic conversion of solar radiation into electricity through photovoltaic panels, which connected electrically in series. Based on the past experience, more attention should be paid to calculating the number of panels in a string. In this paper, we present in a detailed calculation of the short-circuit current and open circuit voltage of the panels connected to the inverters, through a specific example of a 200 kW solar power plant. The influence of the number of panels in a string was analyzed from the standpoint of voltage values within the limits acceptable for the proper operation of the inverters. The effect of ambient temperature on the value of the voltage of the panels connected to the series was also considered. The obtained open circuit voltage values, depending on the number of panels and temperature, are shown in tables. We defined the optimal number of panels in a string based on the calculation, that is, the minimum and maximum voltage limit values for the given power plant. The aim of the paper is to point out the need for a detailed calculation of the number of panels in a string, in order to avoid power failures or prevent damage of inverter during the operation of a solar power plant.

Key words: solar power plant, photovoltaic cell, photovoltaic panel, short-circuit current, open circuit voltage, inverter.

Nikola Cvetanović, Elektrodistribucija Srbije d.o.o. Beograd, Odsek Leskovac, Stojana Ljubića 16, 16000 Leskovac, Srbija, nikola.cvetanovic2@ods.rs
Ninoslav Simić, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“ Beograd, Koste Glavinića 8a, 11000 Beograd, Srbija, simic.ninoslav@gmail.com
Miroslav Dočić, Elektrodistribucija Srbije d.o.o. Beograd, Odsek Leskovac, Stojana Ljubića 16, 16000 Leskovac, Srbija, miroslav.docic@ods.rs
Aleksandar Andelković, Elektrodistribucija Srbije d.o.o. Beograd, Odsek Leskovac, Stojana Ljubića 16, 16000 Leskovac, Srbija, aleksandar.andjelkovic@ods.rs

UVOD

Fotonaponski sistem male solarne elektrane (MSE), je po pravilu, sačinjen od fotonaponskih panela koji su povezani u nizove. Tako formirani nizovi se povezuju na invertore koji dalje vrše pretvaranje proizvedene jednosmerne električne energije, iz fotonaponskih panela, u naizmeničnu električnu energiju i istu plasiraju u elektroenergetski sistem.

U toku eksploatacije solarne elektrane, fotonaponski paneli mogu da dostignu različite vrednosti napona i struje. Potrebno je da ove vrednosti budu u granicama prihvatljivim kako za same panele koji se povezuju međusobno, tako i za invertore na koje su povezani. Granične karakteristične vrednosti fotonaponskih panela zavise od temperature ambijenta na mestu ugradnje [1, 2] i kao takve moraju biti u granicama karakterističnih veličina invertora, datih u kataloškoj specifikaciji proizvođača.

U radu je prikazan proračun graničnih vrednosti napona otvorenog kola i struje kratkog spoja jednog fotonaponskog panela na različitim temperaturama, kao i granične vrednosti napona otvorenog kola i struje kratkog spoja fotonaponskih panela povezanih u niz, a na osnovu kataloških karakteristika ugrađenih fotonaponskih panela. Proračuni graničnih vrednosti fotonaponskog sistema su neophodni iz razloga bezbednog i pouzdanog rada, kako samog fotonaponskog sistema tako i invertora na koji se ovi sistemi povezuju. Takođe, urađena je analiza uticaja broja fotonaponskih panela u nizu sa stanovišta vrednosti napona u granicama prihvatljivim za pravilan rad invertora, na različitim temperaturama. Dobijene vrednosti napona otvorenog kola u zavisnosti od broja panela i temperature su prikazane tabelarno. Takođe, na osnovu minimalne i maksimalne granične vrednosti napona, za datu elektranu definisan je optimalni broj fotonaponskih panela u jednom nizu.

TEHNIČKI OPIS MALE SOLARNE ELEKTRANE

Mala solarna elektrana snage 200 kW sačinjena je od 714 fotonaponska panela, jedinične snage 280 W, koji su ugrađeni na krov objekta. Fotonaponski paneli su serijski, na red, povezani u nizove, a nizovi raspoređeni na četiri trofazna invertora, svaki snage po 50 kW (slika 1).

Osnovne tehničke karakteristike ugrađenih fotonaponskih panela su:

| | |
|--|------------|
| - Nazivna vršna snaga P_{mpp} : | 280 W |
| - Efikasnost η : | 17,28 % |
| - Struja kratkog spoja I_{sc} : | 9,25 A |
| - Napon otvorenog kola U_{oc} : | 39,10 V |
| - Napon vršne snage U_{mpp} : | 31,65 V |
| - Struja vršne snage I_{mpp} : | 8,85 A |
| - Maksimalni napon U_{max} : | 1000 V |
| - Temperaturni koeficijent αI_{sc} : | 0,039 %/°C |
| - Temperaturni koeficijent βU_{oc} : | -0,29 %/°C |
| - Temperaturni koeficijent $g P_{max}$: | -0,42 %/°C |

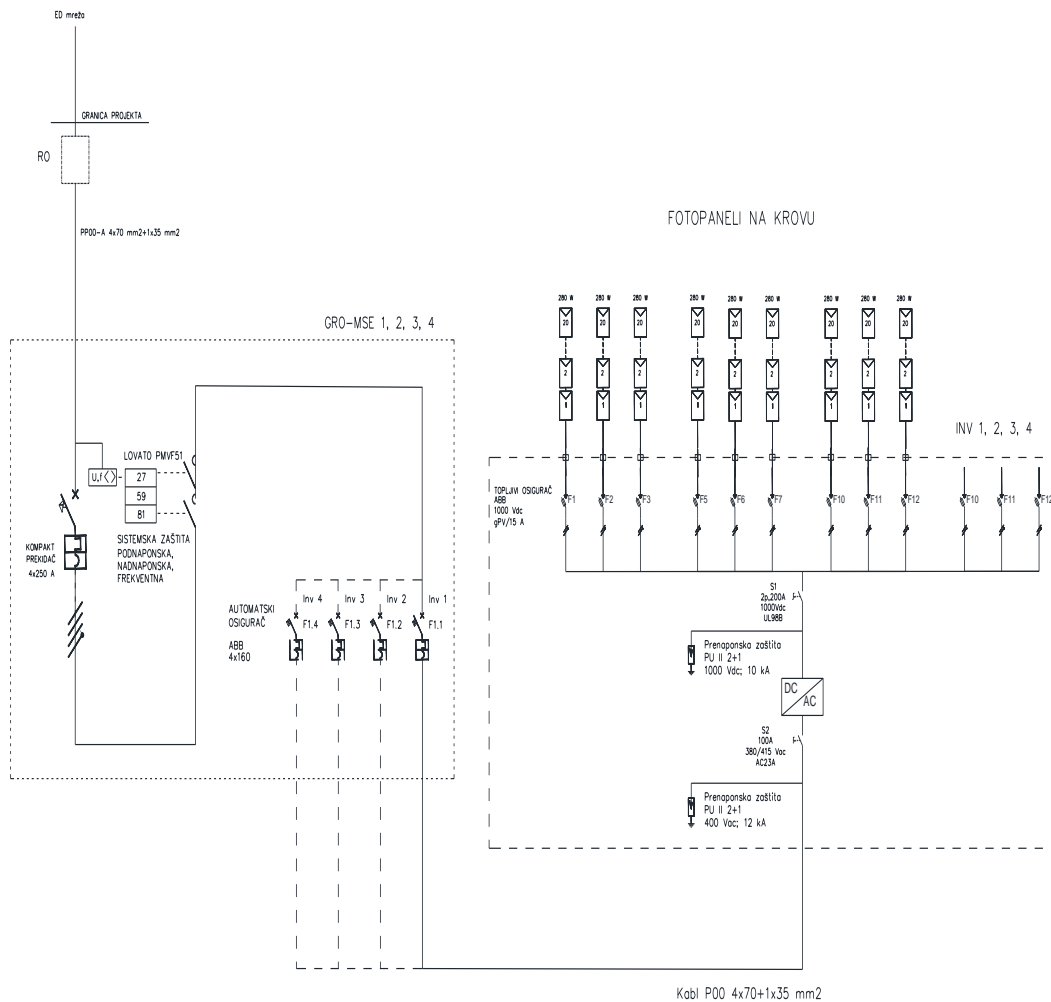
Osnovne tehničke karakteristike ugrađenih trofaznih invertora su:

1) Ulaz DC:

| | |
|---|------------------------|
| - Apsolutni maksimalni ulazni napon $U_{max,abs}$: | 1000 V |
| - Nazivni ulazni napon U_{dcn} : | 610 V |
| - Ulazna nazivna snaga P_{dcn} : | 52000 W |
| - Broj nezavisnih MPPT kanala (<i>Maximum Power Point Tracking</i> – kanal za praćenje optimalne snage fotonaponskog sistema) [3]: | 1 |
| - MPPT DC opseg napona do P_{acn} : | 480-800 V |
| - Maksimalna DC ulazna struja I_{dcmax} : | 110 A |
| - Maksimalna struja kratkog spoja I_{scmax} : | 160 A |
| - Maksimalna dozvoljena struja za svaku grupu ulaza: | 54 A |
| - DC prekidač (I/U): | 200 A / 1000 V |
| - Struja osigurača niza I_f : | 15 A ($gPV/1000$ Vdc) |

2) Izlaz AC

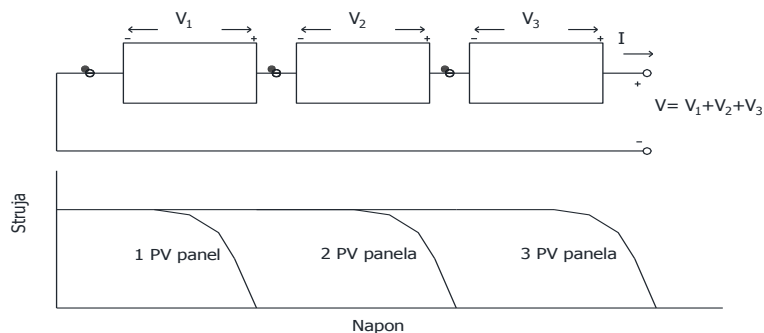
- Nominalna/maksimalna izlazna snaga P_{acn} : 50000 W
- Nominalni izlazni napon U_{acn} : 400 V
- Nominalna izlazna struja I_{acn} : 77 A
- Nominalna izlazna frekvencija: 50 Hz
- Maksimalna efikasnost η_{max} : 98,30 %



Slika 1. Jednopolna šema povezivanja fotonaponskih panela i invertora

FOTONAPONSKI SISTEM MALE SOLARNE ELEKTRANE

S obzirom da se radi o solarnoj elektrani male snage, izabrani su invertori koji mogu da prihvate nizove fotonaponskih panela povezane serijski. Na slici 2 je prikazan način povezivanja fotonaponskih panela na red i $I-U$ karakteristika ovako povezanih panela. Fotonaponski paneli povezani u seriji proizvode veći napon, koji je zbir napona pojedinačnih panela, dok ista struja teče kroz svaki panel [1, 2].



Slika 2. Serijsko povezivanje fotonaponskih panela

U nastavku rada, na konkretnom primeru razmatrane MSE, biće ukratko prikazan postupak proračuna napona i struje fotonaponskih panela, kao i postupak određivanja veličine niza fotonaponskih panela. Takođe, prikazana je i analiza uticaja broja fotonaponskih panela u nizu.

Proračun napona i struje fotonaponskih panela

Proračunom napona i struje fotonaponskih panela proveravaju se najviši i najniži očekivani napon, kao i najviša očekivana struja jednog fotonaponskog panela na mestu ugradnje. Cilj je obezbediti uslove da svaki fotonaponski panel, povezan u niz, radi u režimu dozvoljenih napona i struje.

Proračun najvišeg očekivanog napona jednog fotonaponskog panela

Napon otvorenog kola jednog fotonaponskog panela ima najvišu vrednost pri niskim temperaturama i to kada u električnom kolu nema proticanja struje. Maksimalni napon u otvorenom kolu može se izračunati korišćenjem napona u otvorenom kolu panela i koeficijenta temperature [4].

Kako se maksimalni jednosmerni napon otvorenog kola fotonaponskih panela očekuje pri niskim temperaturama, isti se računa prema sledećoj formuli:

$$U_{oc\max} = U_{oc} \cdot \left[1 + \frac{T_{KVoc}}{100} \cdot (T_{\min} - T_{STC}) \right], \quad (1)$$

gde su:

$U_{oc\max}$ - maksimalni napon otvorenog kola jednog fotonaponskog panela [V],

U_{oc} - napon otvorenog kola jednog fotonaponskog panela [V],

T_{\min} - najniža očekivana temperatura ambijenta (usvojeno $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$),

T_{STC} - temperatura u standardnim uslovima ispitivanja na $25\text{ }^{\circ}\text{C}$,

T_{KVoc} - temperaturni koeficijent napona otvorenog kola fotonaponskog panela [%/ $^{\circ}\text{C}$].

Nakon zamene brojnih vrednosti, za ugrađene fotonaponske panele, u relaciji (1), dobija se najviši očekivani napon jednog fotonaponskog panela, na mestu ugradnje, koji iznosi $44,2\text{ V}$.

Proračun najnižeg očekivanog napona jednog fotonaponskog panela

Napon otvorenog kola jednog fotonaponskog panela ima najnižu vrednost pri visokim temperaturama, i to kada u električnom kolu nema proticanja struje. Minimalni napon u otvorenom kolu može se izračunati korišćenjem najnižeg napona koji fotonaponski panel može da proizvede U_{mpp} i koeficijenta temperature tog napona T_{KVmp} (u slučaju da među podacima o fotonaponskim panelima nema ovog podatka koristi se koeficijent temperature snage) [4].

Kako se minimalni jednosmerni napon fotonaponskih panela očekuje pri visokim temperaturama, isti se računa prema sledećoj formuli:

$$U_{mpp\min} = U_{mpp} \cdot \left[1 + \frac{T_{KVmp}}{100} \cdot (T_{\max} + T_{add} - T_{STC}) \right], \quad (2)$$

gde su:

$U_{mpp\min}$ - minimalni napon jednog fotonaponskog panela [V],

U_{mpp} - nominalni napon fotonaponskog panela [V],

T_{KVmp} - temperaturni koeficijent fotonaponskog panela pri V_{mpp} [%/°C],

T_{\max} - najviša očekivana temperatura ambijenta (usvojeno +45 °C),

T_{add} - temperature fotonaponskih panela u zavisnosti od načina ugradnje:

- 1) na krovu objekta, paralelno, nagib < 6°: 35 °C,
- 2) na krovu objekta, na nosačima, nagib > 6°: 30 °C,
- 3) na zemlji: 25 °C.

Nakon zamene brojnih vrednosti, za ugrađene fotonaponske panele, u relaciji (2), dobija se najniži očekivani napon jednog fotonaponskog panela, na mestu ugradnje, koji iznosi 24,34 V.

Proračun najviše očekivane struje jednog fotonaponskog panela

Najviša struja fotonaponskog panela može se očekivati pri visokim temperaturama. Ona se može izračunati korišćenjem struje kratkog spoja (I_{sc}) i temperaturnog koeficijenta ($T_{\alpha I_{sc}}$). Struja kratkog spoja je struja koja teče kroz spoljašnje strujno kolo kada su izvodi fotonaponskog panela kratko spojeni. Ona predstavlja maksimalnu struju pri nultom naponu i srazmerna je intenzitetu upadnog Sunčevog zračenja. Sa porastom temperature fotonaponskog panela, koja je u praksi uvek povezana sa povećanjem intenziteta upadnog Sunčevog zračenja, povećava se struja kratkog spoja i ona linearno zavisi od intenziteta Sunčevog zračenja. Najviša struja fotonaponskog panela može se izračunati prema sledećoj formuli [4]:

$$I_{sc\max} = I_{sc(45^\circ\text{C})} = I_{sc} \cdot \left[1 + \frac{T_{KIsc}}{100} \cdot (T_{\max} - T_{STC}) \right], \quad (3)$$

gde su:

$I_{sc\max}$ - maksimalna struja jednog fotonaponskog panela pri najvećoj očekivanoj temperaturi [A],

I_{sc} - struja kratkog spoja jednog fotonaponskog panela [A],

T_{\max} - najviša očekivana temperatura ambijenta (usvojeno +45 °C),

T_{STC} - temperatura u standardnim uslovima ispitivanja na 25 °C,

T_{KIsc} - temperaturni koeficijent struje kratkog spoja fotonaponskog panela [%/°C].

Nakon zamene brojnih vrednosti, za ugrađene fotonaponske panele, u relaciji (3), dobija se najviša očekivana struja jednog fotonaponskog panela, na mestu ugradnje, koja iznosi 9,32 A.

Određivanje veličine niza fotonaponskih panela

Kako je to već na početku naglašeno, fotonaponski paneli su povezani serijski u nizove. Da bi se odredio broj fotonaponskih panela u nizu potrebno je da svaki od ovih nizova ispuni sledeće uslove:

- 1) maksimalni napon niza ne sme da prekorači dozvoljeni ulazni napon na invertoru (1000 V);
- 2) minimalni napon niza ne sme da bude manji od potrebnog napona za rad MPPT regulatora (480 V);
- 3) maksimalna struja niza ne sme da prevazilazi struju osigurača tog niza (15 A);
- 4) maksimalna struja nizova u jednom kanalu ne sme da prevazilazi projektovanu struju kanala (54 A);
- 5) snaga invertora je 52 kW.

Na osnovu navedenih uslova [5], možemo pristupiti određivanju broja fotonaponskih panela u jednom nizu. Određivanjem minimalnog i maksimalnog broja fotonaponskih panela u jednom nizu obezbeđuje se bezbedan i pravilan rad invertora.

Određivanje maksimalne veličine niza (n_{\max})

Maksimalna veličina niza predstavlja maksimalni broj fotonaponskih panela koji se mogu serijski povezati i održavati maksimalni jednosmerni napon ispod dozvoljenog ulaznog napona invertora (1000 V). Ako napon niza prekorači ulazni napon invertora, gubici u proizvodnji mogu nastati zbog kasnog pokretanja ili oštećenja invertora prenaponom. Takođe, maksimalni napon ne sme prelaziti dozvoljeni sistemski napon fotonaponskih panela [4, 5].

Na osnovu gore navedenog možemo izračunati maksimalni broj fotonaponskih panela prema sledećoj formuli [4]:

$$n_{\max} = \frac{U_{\max}}{U_{oc\max}}. \quad (4)$$

Nakon zamene brojnih vrednosti u relaciji (4), maksimalni broj fotonaponskih panela u jednom nizu ne sme preći 22.

Određivanje minimalne veličine niza (n_{\min})

Minimalna veličina niza predstavlja minimalni broj fotonaponskih panela koji se mogu serijski povezati, potrebnih kako bi inverter mogao nesmetano da radi i u letnjem periodu, pri visokim temperaturama. Najmanji napon pri kome MPPT regulator može da radi i prati maksimalnu snagu fotonaponskih panela za ovaj inverter je 480 V [4, 5].

Na osnovu gore navedenog možemo izračunati minimalni broj fotonaponskih panela prema sledećoj formuli [4]:

$$n_{\min} = \frac{U_{MPPT\min}}{U_{mpp}}. \quad (5)$$

Nakon zamene brojnih vrednosti u relaciji (5) minimalni broj fotonaponskih panela u jednom nizu ne sme biti manji od 20.

Proračun najveće struje niza i provera osigurača

Struja niza fotonaponskih panela vezanih na red je ista kao i struja jednog fotonaponskog panela. Takođe, odabrani inverter poseduje osigurače na svakom nizu na (+) i na (–) strani. Prilikom proračuna ove struje mora se voditi računa o izboru osigurača koji obezbeđuje odgovarajuću zaštitu serijskog niza fotonaponskih panela. Proizvođač invertora dopušta opseg za proračun struje osigurača, koji se nalazi u samom invertoru, koji štiti niz [4], [5]:

$$I_f \geq (1,4 \sim 1,5) \cdot I_{sc}. \quad (5)$$

S obzirom da je najveća izračunata vrednost struje kratkog spoja jednog fotonaponskog panela na usvojenoj temperaturi ambijenta 45 °C, nakon zamene brojnih vrednosti u relaciji (6) biće odabran osigurač sa nominalnom strujom od 15 A.

Analiza uticaja broja fotonaponskih panela u nizu

Nakon izvršenih proračuna naponskih vrednosti fotonaponskih panela na mestu ugradnje kao i definisanih graničnih vrednosti broja fotonaponskih panela u nizu, a na osnovu projektovanih vrednosti invertora, izvršena je analiza uticaja broja panela u nizu. Analiza je izvršena sa aspekta granice napona i uticaja temperature na rad fotonaponskog sistema povezanog na invertore i prikazana je tabelarno.

Granične vrednosti napona sa aspekta bezbednog rada invertora i uticaj temperature ambijenta na mestu ugradnje prikazane su u Tabeli 1.

TABELA 1 – Granične vrednosti $U_{oc\ max}$

| Broj FN panela u jednom nizu | $U_{oc(-20^{\circ}C)}=44,2\ V$ | $U_{oc(-10^{\circ}C)}=43,1\ V$ | $U_{oc(-5^{\circ}C)}=42,5\ V$ | $U_{max}=1000\ V$ |
|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| 18 | 795,6 V | 775,8 V | 765 V | Zadovoljava |
| 19 | 839,8 V | 818,9 V | 807,5 V | Zadovoljava |
| 20 | 884 V | 862 V | 850 V | Zadovoljava |
| 21 | 928,2 V | 905,1 V | 892,5 V | Zadovoljava |
| 22 | 972,4 V | 948,2 V | 935 V | Zadovoljava |
| 23 | 1.016,6 V | 991,3 V | 977,5 V | Ne zadovoljava |
| 24 | 1.060,8 V | 1.034,4 V | 1.020 V | Ne zadovoljava |

Granične vrednosti napona sa aspekta pouzdanog rada regulatora MPPT invertora i uticaj temperature ambijenta na mestu ugradnje prikazane su u Tabeli 2.

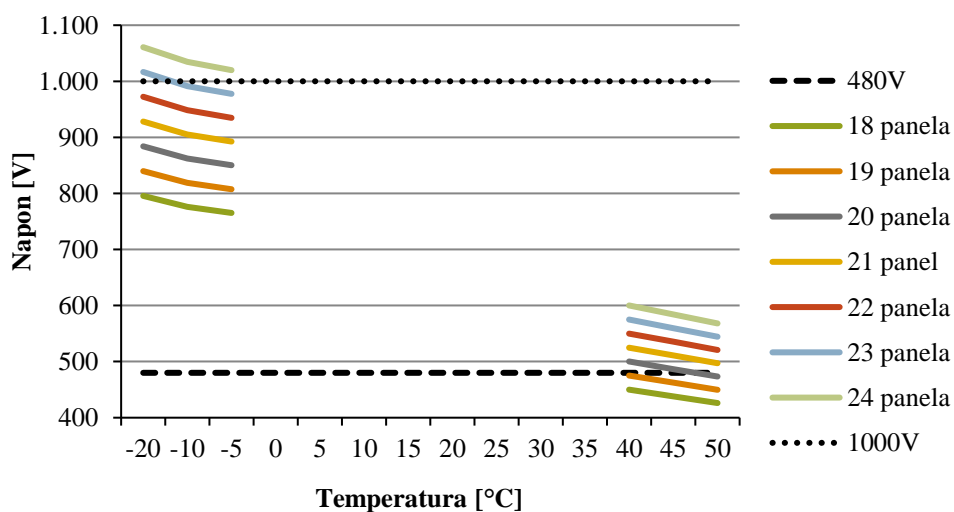
TABELA 2 – Granične vrednosti U_{mpp}

| Broj FN panela u jednom nizu | $U_{mpp(40^{\circ}C)}=25,0\ V$ | $U_{mpp(45^{\circ}C)}=24,34\ V$ | $U_{mpp(50^{\circ}C)}=23,67\ V$ | $U_{MPPTmin}=480\ V$ |
|------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| 18 | 450 V | 438,12 V | 426,1 V | Ne zadovoljava |
| 19 | 475 V | 462,46 V | 449,73 V | Ne zadovoljava |
| 20 | 500 V | 486,8 V | 473,4 V | Ne zadovoljava |
| 21 | 525 V | 511,14 V | 497,1 V | Zadovoljava |
| 22 | 550 V | 535,48 V | 520,74 V | Zadovoljava |
| 23 | 575 V | 559,82 V | 544,41 V | Zadovoljava |
| 24 | 600 V | 584,16 V | 568,1 V | Zadovoljava |

Proračunate granične vrednosti napona fotonaponskih panela u nizu prikazane su i na slici 3, sa koje se jasno može uočiti da se dozvoljeni broj fotonaponskih panela povezanih serijski u niz, na invertore, pri usvojenoj temperaturi ambijenta $45^{\circ}C$, za predmetnu solarnu elektranu, kreće između 20 i 22 panela.

Na kraju je ukupan broj fotonaponskih panela, 714 komada, snage 280 W po fotonaponskom panelu, što daje ukupnu snagu od 199,92 kW, raspoređen na četiri invertora snage 50 kW, u nizove, prema sledećim usvojenim graničnim uslovima:

- Maksimalni napon niza 1000 V [5];
- Minimalni napon niza 480 V [5];
- Maksimalna snaga invertora na ulazu 52 kW [5];
- Granična temperatura ambijenta $45^{\circ}C$ [6];
- Minimalni broj fotonaponskih panela u nizu 20 komada;
- Maksimalni broj fotonaponskih panela u nizu 22 komada.



Slika 3. Grafički prikaz graničnih vrednosti napona otvorenog kola u zavisnosti od broja fotonaponskih panela u nizu i temeprature ambijenta

Raspored fotonaponskih panela po invertorima, ukupan broj nizova povezanih na inverter, kao i broj fotonaponskih panela u nizu, prikazan je u Tabeli 3.

TABELA 3 - Raspored fotonaponskih panela

| Invertor | Ukupan broj nizova | Ukupan broj fotonaponskih panela u nizu | Ukupan broj fotonaponskih panela | Instalisana snaga P_{dc} [kW] |
|----------|--------------------|---|----------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 9 | 20 | 180 | 50,40 |
| 2 | 9 | 20 | 180 | 50,40 |
| 3 | 9 | 20 | 180 | 50,40 |
| 4 | 6 | 22 | 174 | 48,72 |
| | 2 | 21 | | |

Kao što se može videti iz Tabele 3, na invertorima br. 1, 2 i 3 povezano je 180 fotonaponskih panela u 9 nizova. Na invertoru br. 4 povezana su 174 fotonaponska panela, u šest nizova po 22 panela i u dva niza po 21 fotonaponski panel, a sve u skladu sa izvedenim proračunima.

ZAKLJUČAK

Pravilan odabir broja panela u nizu, kao i broj nizova priključenih na inverter, od presudnog je uticaja na ispravan rad male solarne elektrane. Posledice izbora neodgovarajućeg broja nizova, odnosno broja panela u nizu su dvojake. Ukoliko se instalira previše modula u nizu, tada je premašen maksimalni ulazni napon invertora čime se rizikuje oštećenje električne opreme, a u najgorem slučaju može doći do požara. Ukoliko se ugradi premalo panela u nizu, inverter će zbog smanjenog napona na ulazu raditi sa gubicima ili u najgorem slučaju može prestati sa radom, a sistem će umesto maksimalne proizvodnje zabeležiti gubitke. U cilju izbegavanja neželjenih događaja, u ovom radu je na primeru male solarne elektrane prezentovan izbor broja panela u nizu. Kao što je pokazano proračunom, najviši očekivani napon jednog fotonaponskog panela raste sa padom temperature, čime je definisan maksimalni broj panela. Najniži očekivani napon jednog fotonaponskog panela opada sa povećanjem temperature ambijenta i ovim je definisan minimalni broj panela. Dakle, jasno je da će se proračunom dobiti opseg dozvoljenog broja panela koji se može odabrati. U tom opsegu je potrebno izabrati odgovarajući broj panela u nizu, odnosno broj nizova, tako da ne bude prekoračena snaga invertora, niti maksimalna ukupna struja svih nizova po jednom invertoru. Dodatno, na osnovu proračunate maksimalne struje niza potrebno je izabrati osigurač za zaštitu od povratne struje kroz niz tokom kratkog spoja. S obzirom da svi navedeni proračuni zavise od temperature ambijenta, od tačnosti ovih podataka na određenoj lokaciji zavisi i tačnost proračuna [6]. Ovakvim pristupom se obezbeđuje pouzdan rad fotonaponske elektrane tokom celog perioda eksploatacije. S obzirom na sve veći broj solarnih elektrana na teritoriji Republike Srbije preporučuje se da ovi proračuni budu sastavni deo tehničke dokumentacije. Dodatno se preporučuje pravljenje baze podataka u postojećim elektranama, u kojoj bi se jasno videla zavisnost električnih veličina od uslova ambijenta. Na taj način bi se za pojedine lokacije u zemlji detaljno definisali parametri za optimalan izbor električne opreme u ovim elektranama.

LITERATURA

1. Masters G. M., 2004, „Renewable and Efficient Electric Power Systems“, John Wiley & Sons, New Jersey, ISBN 0-471-28060-7.
2. Messenger R. A., Ventre J., 2004, „Photovoltaic Systems Engineering – second edition“, CRC Press, Boca Raton – London – New York – Washington D.C.
3. Dokić B., Blanuša B., Ivanović Ž., 2013, „Energetski pretvarači u obnovljivim izvorima“, Akademska Misao, Beograd.
4. SMA Solar Technology AG, „Planning of a PV Generator - Planning Guidelines“, DC-PL-en-11 (Version 1.1), www.SMA-solar.com
5. Product manual Trio-50.0.TL-outud from 50 kW, ABB solar inverters.
6. Republički hidrometeorološki zavod Srbije, leto 2017, „Sezonski bilten za Srbiju“, <http://www.hidmet.gov.rs/podaci/meteorologija/latin/2017.pdf>