

IZGRADNJA SUNČANE ELEKTRANE NA STUDENSKOM RESTORANU U VARAŽDINU

CONSTRUCTION OF THE SOLAR POWER PLANT ON THE ROOF OF THE STUDENT RESTAURANT IN VARAŽDIN

Dunja Srpak, Sandra Stijačić, Ivan Šumiga

Stručni članak

Sažetak: Člankom je dan pregled tijeka izgradnje i puštanja u rad sunčane elektrane postavljene na krov studentskog restorana u Varaždinu. Opisane su postavljene solarne ćelije, pretvarači, elektro razvod sa komponentama, te odabir smještaja i način montaže. Objašnjeno je povezivanje sustava i puštanje u pogon, uz sve preduvjete koje postavlja distribucijsko područje, u ovom slučaju HEP ODS Varaždin, kao i problematika koja se javlja na terenu tijekom izgradnje.

Ključne riječi: elektro razvod, pretvarač, solarne ćelije, sunčana elektrana

Professional paper

Abstract: The article reviews the course of construction and commissioning of solar power plant installed on the roof of the student restaurant in Varaždin. Mounted solar panels, inverters, power distribution components and their placement and method of assembly are described. Connecting the system and its start-up are explained, with all the conditions imposed by the distribution area, in this case HEP ODS Varaždin, as well as the problems occurring in the field during construction.

Key words: power distribution, inverter, solar cells, solar power plant

1. UVOD

U posljednjih nekoliko desetljeća, a posebice danas, korištenje obnovljivih izvora energije ima sve veću ulogu u proizvodnji energije zbog ekološke osviještenosti ljudi o ograničenosti eksploatacije i njenoj uzročno posljedičnoj vezi prema planetu. Iz jednostavnog razloga da priroda svakodnevno opskrbljuje zemlju besplatno velikim količinama sunca i vjetra, obnovljivi izvori su budućnost planete. Najbolje pozicije za instaliranje fotonaponskih postrojenja su u području oko ekvatora, dok su pozicije koje su udaljene od ekvatora uglavnom nepovoljnije, no čak i u najsjevernijim krajevima insolacija je dovoljno velika da se može iskoristiti ovaj oblik energije. Da bi se poboljšala ekonomičnost fotonaponskih postrojenja, fotonaponski moduli se naginju i orijentiraju prema Suncu. Potencijal iskorištenja solarne elektrane na području Hrvatske se kreće od 970 do 1380 kWh po m² površine solarnog kolektora postavljenog pod optimalnim godišnjim kutom. Svi već navedeni argumenti su i razlog instaliranja sunčane elektrane na studentskom restoranu u Varaždinu.

2. LOKACIJA I NAMJENA SUNČANE ELEKTRANE

Na krovu restorana projektirana je izgradnja sunčane elektrane snage 68 kW. Elektranu čine 274 fotonaponska

modula po 270W_p odnosno ukupne snage 73,98 kW_p, četiri izmjenjivača po 17 kW odnosno ukupne snage 68kW i čelična konstrukcija sa aluminijskom podkonstrukcijom za montažu modula. Elektranu će se priključiti na glavni razdjelnik objekta. Sva proizvedena energija će se koristiti za vlastitu potrošnju, a eventualni višak će se predavati u mrežu. Zbog povoljnog geografskog položaja na području Varaždina potencijali za proizvodnju električne energije su povoljni. Srednja očekivana proizvodnja po kilovatu instalirane snage za fiksni sustav iznosi oko 1150 kWh godišnje.

3. UGRAĐENA OPREMA I KOMPONENTE

Glavni dijelovi sunčane elektrane priključene na elektroenergetsku mrežu su fotonaponsko polje i fotonaponski izmjenjivač. Fotonaponsko polje sastoji se od međusobno serijski povezanih fotonaponskih modula. Sunčeva energija se u sunčanim ćelijama direktno pretvara u istosmjernu električnu energiju. Fotonaponski izmjenjivač pretvara istosmjerni napon u izmjenični odgovarajuće amplitude i frekvencije (400V, 50Hz). Osnovni dio izmjenjivača je poluvodički most sastavljen od upravljivih poluvodičkih sklopki koje su upravljane visokom frekvencijom, te istosmjerni napon pretvaraju u izmjenični. Takav napon se na izlazu filtrira prije spajanja na instalaciju. Osim pretvorbe istosmjernog u izmjenični napon izmjenjivač ima ugrađen još niz

zaštitnih funkcija potrebnih za osiguranje sustava. U sustavima manje snage (< 0,5 MW), kakva je ova, sunčana elektrana se priključuje na niskonaponske sabirnice distribucijske mreže napona 0,4 kV. U sklopu elektrane postoje mjerni i komunikacijski uređaji koji omogućavaju praćenje proizvodnje putem računala.

3.1. Fotonaponski moduli

Fotonaponske ćelije mogu biti izrađene od različitih tipova poluvodičkih materijala, koji mogu biti složeni u različite strukture s ciljem postizanja što bolje efikasnosti pretvorbe. Za izradu se koriste poluvodički materijali i tehnologije:

- Silicij (uključujući monokristalni silicij c-Si, polikristalni silicij p-Si, te amorfni silicij a-Si)
- Polikristalni tankoslojni materijal
- Monokristalni tankoslojni materijal
- Kombinacije strukture materijala

Za predmetnu elektranu su predviđeni monokristalni fotonaponski moduli te su nabavljeni standardni monokristalni 72-ćelijski fotonaponski moduli nazivne snage 270 W. Dimenije modula su 1650x990x40 mm.

Električni parametri odabranih modula su:

Prema standardnim uvjetima testiranja:

Izlazna snaga	P_{max}	270	W
Odstupanje izl. snage	ΔP_{max}	0/+5	W
Učinkovitost	η_{max}	16,5	%
Napon na P_{max}	V_{mpp}	30,5	V
Struja na P_{max}	I_{mpp}	8,85	A
Napon otvorenog kruga	V	38,6	V
Struja kratkog spoja	I	8,37	A

Pri normalnoj radnoj temperaturi:

Izlazna snaga	P_{max}	196,9	W
Napon na P_{max}	V_{mpp}	27,8	V
Struja na P_{max}	I_{mpp}	7,08	A
Napon otvorenog kruga	V	35,7	V
Struja kratkog spoja	I	7,61	A



Slika 1. Prikaz montiranih panela na krovu

3.2. Pretvarači

Energetski učinkiti pretvarači su uređaji koji električnu energiju transformiraju iz ulaznog oblika napona i struje u željeni oblik napona i struje. Prema svojoj osnovnoj funkciji dijele se na:

1. DC – DC pretvarače koji pretvaraju istosmjerni napon određenih karakteristika u istosmjerni napon drugačijih karakteristika. Oni se mogu shvatiti kao

posebna vrsta transformatora istosmjernog napona, a rade na principu tzv. „sječkanja“ napona. Zbog toga se nazivaju „čoperima“.

2. DC – AC pretvarače koji pretvaraju istosmjernu struju u izmjeničnu, a takvi uređaji poznati su pod imenom „invertori“ (izmjenjivači).
3. AC – DC pretvarače koji se nazivaju još i „ispravljačima“ jer izmjeničnu struju pretvaraju u istosmjernu.
4. AC – AC pretvarače koji pretvaraju izmjenični napon i struju jednih karakteristika u izmjenični napon i struju drugačijih karakteristika, bilo direktno ili indirektno (AC-DC-AC)

U solarnim elektranama fotonaponski paneli proizvode istosmjernu struju, a standardni potrošači koriste izmjeničnu, te su potrebni izmjenjivači. Kod dimenzioniranja izmjenjivača za zadano fotonaponsko polje predloženi su izmjenjivači koji svojim ulaznim naponskim i strujnim ograničenjima pokrivaju radno područje fotonaponskog polja u svim uvjetima rada. S obzirom na navedeno odabran je izmjenjivač SUNNY TRIPOWER 17000TL proizvođača SMA (slika 2.). Izlazne električne karakteristike fotonaponskog polja u potpunosti odgovaraju ulaznim električnim karakteristikama izmjenjivača u cijelom temperaturnom opseg u rada elektrane.



Slika 2. Pretvarač SMA Sunny Tripower 17000TL

Sunny Tripower (slika 2.) je izmjenjivač bez transformatora nominalne snage 17 kW i maksimalne učinkovitosti 98,20%. Izmjenjivač ima ugrađene napredne sigurnosne podsustave zaštite od izoliranog pogona, nadstrujne i prenaponske zaštite fotonaponskog polja, te bežičnu komunikaciju i prenaponsku zaštitu nizova modula. Ukupno se koriste 4 izmjenjivača ukupne izlazne snage 68 kW. Mjesto i način montaže prikazano je na slici 3.

Tehnički podaci ugrađenog pretvarača su:

- Maksimalna ulazna snaga DC 17410 W
- Maksimalan ulazni napon DC 1000 V
- Radno područje ul. napona DC 400 -800/ 600V
- Maksimalna izlazna snaga AC 17000 kW
- Nominalni izlazni napon AC 230/400V
- Nominalna frekvencija iz. napona AC 50 Hz
- Maksimalna izlazna struja AC 24,6 A
- Maksimalna iz. struja kratkog spoja AC 50 A

- Zahtijevano je da izmjenjivač mora biti opremljen sa:
- uređajem za isključenje s mreže i uključanje na mrežu
 - sustavom za praćenje valnog oblika napona mreže
 - uređajem za automatsku sinkronizaciju postrojenja sunčane elektrane i mreže
 - zaštitnim uređajem diferencijalne struje
 - sustavom zaštite od injektiranja istosmjerne struje u mrežu
 - mogućnošću podešenja intervala "promatranjem" mreže prije uklopa izmjenjivača
 - sustavom zaštite koji osigurava da svaki ispad napona, uključujući ispad napona u jednoj fazi ili nultog vodiča u elektrodistribucijskoj mreži uzrokuje automatsko odvajanje elektrane od mreže (tropolno odvajanje)



Slika 3. Prikaz smještaja pretvarača na objektu

4. ZAŠTITA I SPAJANJE SUSTAVA

4.1. Zaštita sustava

Zaštitni uređaji trebaju osigurati prekidanje struje kratkog spoja prije nego ta struja prouzroči štetna toplinska i mehanička naprezanja u vodičima i spojevima. Koordinacija zaštitnih vodiča odabrana je tako da svaka struja kratkog spoja, koja se pojavi u nekoj točki strujnog kruga bude prekinuta u vremenu koje ne prelazi ono vrijeme u kojem bi se vodič zagrijavao do maksimalne dozvoljene temperature. Za kratke spojeve koji traju do 5 s, vrijeme t u kojem određena struja kratkog spoja zagrijava vodič od najviše dozvoljene temperature u normalnom radu do maksimalno dozvoljene temperature približno se izračunava izrazom:

$$t = \left(k * \frac{S}{I} \right) \tag{1}$$

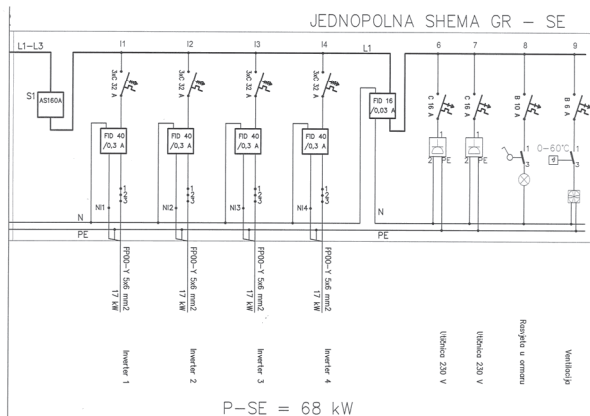
gdje je:

- t – dozvoljeno vrijeme [s],
- I – efektivna vrijednost struje kratkog spoja [A],
- k – konstanta materijala ($k=115$ za Cu vodiče, $k=70$ za Al vodiče, PVC izolacija).

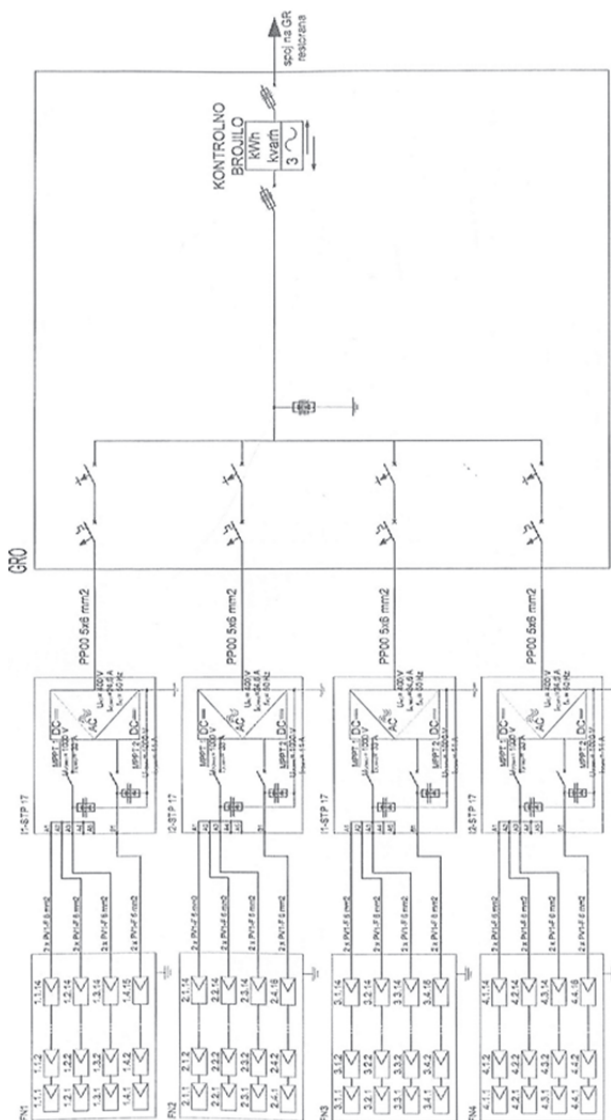
Provjerom vrijednosti maksimalno dopuštenih struja kratkih spojeva u dokumentaciji i usporedbom s vrijednostima i karakteristikama zaštitnih uređaja vidljivih iz jednopolnih shema (slika 4. i 5.) može se zaključiti da je uvijek osiguran trenutni isklop što u potpunosti zadovoljava uvjet dozvoljenog vremena.

Maksimalna struja kratkog spoja pojedinačnog niza I_{sc} iznosi 9,43 A iz čega slijedi da je ukupna struja

kratkog spoja na istosmjernoj strani $I_{kdc} = 35,88$ A što odgovara iznosu maksimalne struje kratkog spoja koja se može pojaviti u priključnim kabelima.



Slika 4. Prikaz jednopolne sheme ugrađenih zaštitnih uređaja u glavnom razvodu [3]



Slika 5. Prikaz jednopolne sheme komponenti sunčane elektrane i spajanje na TS [3]

Zaštita od prenapona i nadstruje

Okvir fotonaponskih modula kao i cijela nosiva konstrukcija je uzemljena. Fotonaponsko polje i ulaz izmjenjivača štiti se od pojave prenapona uzrokovanih atmosferskim pražnjenima odvodnicima prenapona klase I+II: Izlazni krug izmjenjivača štiti se četveropolnim odvodnicima prenapona klase I+II. Nadstrujna zaštita nizova modula ugrađena je u izmjenjivač dok je nadstrujna zaštita izmjenične strane izmjenjivača izvedena kao osigurač sklopka trolpolne izvedbe nominalne struje 32 A.

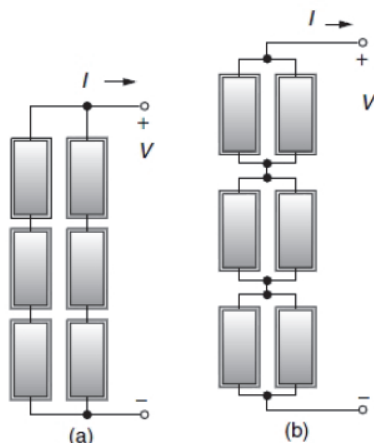
Zaštita od indirektnog dodira provedena je TN-S sistemom zaštite i zaštitnim uređajem diferencijalne struje.

4.2. Spajanje sustava

Fotonaponsko polje se obično spaja kao kombinacija serijski i paralelno spojenih panela. Time se postiže veća snaga polja. Postoje dva načina spajanja panela u seriju, odnosno paralelu (slika 6.)

- Paneli se spajaju u seriju kao nizovi koji se nakon toga spajaju u paralelu
- Paneli se prvo spajaju u paralelu, a nakon toga se te kombinacije panela spajaju u seriju

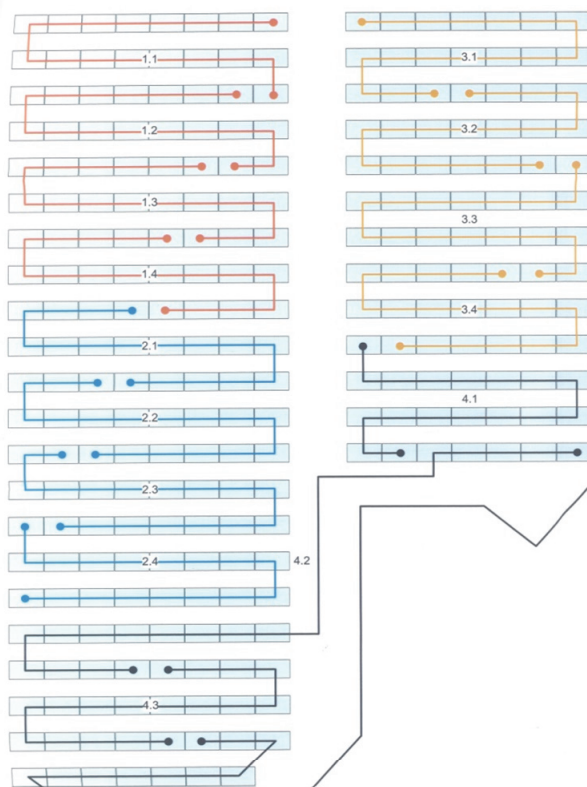
Načini spajanja panela ne utječu na $I - U$ karakteristiku. međutim, ako se odspoji niz serijski spojenih panela radi servisiranja, polje će i dalje davati potrebni napon, uz smanjenu struju, što nije slučaj kod drugog načina spajanja. Iz tih razloga preporuča se spajati panele prema prvom načinu spajanja.



Slika 6. Načini spajanja panela [6]

Odabrani fotonaponski moduli se spajaju međusobno serijski, 17 do maksimalno 19 serijski spojenih modula čine jedan string. Takav string ima maksimalnu ukupnu snagu 5,12 kW_p. Na jedan izmjenjivač snage 17 kW se spajaju tri stringa na ulaz A, a jedan na ulaz B. Prikaz rasporeda stringova predmetne elektrane prikazan je na slici 7. prema navedenom rasporedu spajanja na izmjenjivače:

- izmjenjivač 1: 4 stringa x 17 modula
- izmjenjivač 2: 4 stringa x 17 modula
- izmjenjivač 3: 3 stringa x 17 modula + 1 string x 18 modula
- izmjenjivač 4: 3 stringa x 17 modula + 1 string x 18 modula



Slika 7. Prikaz spajanja stringova sunčane elektrane



Slika 8. Prikaz izvedbe ožičenja i povezivanja stringova na krovu objekta

5. PROBLEMATIKA TIJEKOM GRADNJE I RJEŠENJA

Na svim objektima, a posebice tehnološki zahtjevnijima, da bi se izbjegli problemi kod montaže sunčanih elektrana trebalo bi u početku projektiranja koordinirati radove na elektroinstalacijama zajedno sa ostalim projektima.

Kao nedostaci koji su se javili zbog ne koordinacije i promjena projekata tijekom gradnje, a reflektirali su se direktno na radove montaže elektrane su bili:

- ormar elektrane zbog preinake u strojarskim instalacijama nije bilo moguće smjestiti na za to predviđeno mjesto
- smještaj pretvarača nije bio osiguran
- odzračnici i ostali elementi na krovu nisu bili predviđeni

- d) dovod kabela sa krova na pretvarače nije bio predviđen
- e) pad krova je izveden po cijelom krovu što je dovelo do nagiba panela i stvorilo oblik vala

Rješenja:

- a) ormar je bio smješten u glavni razvod što nije optimalno rješenje jer su iste komponente stisnute u već poddimenzionirani razvod i smještene po cijelom i jedinom predviđenom zidu za isto;
- b) zbog ne definiranog pravog smještaja pretvarača prazne cijevi (6 kom, ϕ 29) su spuštene prema prvobitno idejno planiranom mjestu. Kad se to mjesto pokazalo nedovoljno, drugo mjesto je odabrano u posljednjem trenu, od strane projektanta, kad se već izvodila 20 cm debela izolacija od stiropora za fasadu. Stoga se pod izolaciju montirala nosiva konstrukcija (obzirom da jedan izmjenjivač ima 65 kg), kako ne bi došlo do devastiranja fasade. I to mjesto se nije pokazalo kao „najsretnije“ rješenje, zbog nemogućnosti prilaza i praćenja parametara pretvarača bez ljestvi;
- c) odzračnici na krovu su postavljeni na sredini lijevog i desnog polja panela koje bi trebalo zaobići, pa se naknadno nudilo rješenje izmicanje 6 panela i dorada konstrukcije (koja više ne bi bila simetrična) ili izmicanje odzračnika sa koljenom. Odlučeno je da se postave koljena i izmaknu odzračnici da ne rade zasjenjenje panela;
- d) zatvorene su rupe zbog postavljenih praznih cijevi i naknadno su po krovu postavljeni kanali za spust do novog položaja pretvarača;
- e) zbog nagiba krova sa pokrovom sika (20 cm stiropora po trapeznom limu sa osjetljivim završnim premazom) padovi krova su rađeni na više strana što je pratila i nosiva konstrukcija panela rezultirajući „valom panela“ (slika 9.). Zbog primjedbi investitora pribavljena je izjava ovlaštene tvrtke da pojava ne utječe na proizvodnju energije, ali je nedostatak uzrokovao dodatne financijske izdatke za dokazivanje parametara odnosno izradu elaborata.



Slika 9. Efekt vala usljed nagiba krova

6. ZAKLJUČAK

Obzirom da elektrana pokriva 80 % potrebne energije za rad restorana, korisniku je potpuno isplativa, a uz

činjenicu da je njenu izgradnju financirao Europski fond za obnovljive izvore, njezina je isplativost neupitna.

Godišnji troškovi održavanja očekuju se u iznosu od cca 1000,00 kn. Vijek trajanja je 30 godina uz redovite preglede, ispitivanja i zamjenu oštećenih dijelova instalacije koje se mora povjeriti pravnoj osobi ovlaštenoj za održavanje elektroenergetskih objekata.

Tijek gradnje elektrane je od samog početka bio zahtjevan projekt. Stoga, bez obzira na dodatnu predanost i provjere prije same ugradnje komponenti, te oprezniji i pažljiviji pristup izgradnji, prepreke koje se pojavljuju, uzrokujući dodatne ekonomske izdatke, uglavnom zbog loše upućenosti projektanata, mogu biti temelj problema i teško premostive. Pri tome se podrazumijeva utjecaj projektanata svih struka, a koji imaju svoje sudjelovanje na krovu objekta u bilo kom segmentu.

No, završetkom ovog projekta može se reći da je izgradnju sljedećeg sličnog projekta moguće izvršiti s većom pripremljenošću i sigurnošću, kako bi se posao izvršio lakše, eliminirajući na početku neke od mogućih nedostataka.

7. LITERATURA

- [1] Øystein, U.: "Stand alone power system for the future: Optimal design, operation & control of solar –hydrogen energy systems", Norveška, 1998.
- [2] Planning and Installing Photovoltaic Systems: A guide for installers, architects and engineers second edition, London, 2008.
- [3] Projekat sunčane elektrane
- [4] Solar Energy Technologies Program <http://www1.eere.energy.gov/solar/index.html>
- [5] <http://hr.wikipedia.org/wiki/Insolacija#mediaviewer/File:SolarGIS-Solar-map-Croatia-en.png>
- [6] <http://www.ftn.kg.ac.rs/docs/elektronika/Elektronika II.pdf>

Kontakt autora:

Dunja Srpak dipl.ing.el.

Sveučilište Sjever
104. brigade 3
42000 Varaždin
dunja.srpak@unin.hr

Sandra Stijačić ing.el.

Ranel d.o.o.
Gajeva 3
42202 Trnovec Bartolovečki

mr.sc. Ivan Šumiga, dipl.ing.el.

Sveučilište Sjever
104. brigade 3
42000 Varaždin