

Projektovanje i realizacija fotonaponske elektrane izlazne snage 1500 kW na krovu fabrike „Flash“-Apatin

Marko Đurović*, Arsenije Ćirić*, Željko V. Despotović**

*Institut „Mihajlo Pupin“- Projekt Inženjering, Beograd, Srbija

**Institut „Mihajlo Pupin“, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija

Rezime - U radu su prikazani projektovanje i realizacija fotonaponske elektrane izlazne snage 1500 kW na krovu hale fabrike „Flash“ u Apatinu. Solarna elektrana je povezana na NN sabirnice u transformatorskoj stanici 20/0.4 kV 1600 kVA i preko njih napaja potrošače fabrike. U periodima kada nema dovoljno sunčeve insolacije napajanje potrošača u fabrici se ostvaruje iz elektroenergetske mreže. Solarna elektrana sadrži 3780 fotonaponskih panela monokristalnog tipa, svaki snage 455 W. Krovna površina objekta okrenuta je u pravcu jugozapad - severoistok. Fotonaponski paneli su postavljeni na krovnoj površini proizvodne hale sa upravnim delom. Specifičnost krovne konstrukcije sastavljene od dve celine (krov sa krovim kosinama i ravni deo krova) je uslovala niz projektantskih rešenja koja će biti detaljnije prikazana u radu. U radu su takođe prikazani dispozicija invertora i njihova međusobna komunikacija, kao i sistem za praćenje izlaznih parametara (napon, struja, snaga) i kvaliteta isporuke električne energije ka potrošačima u fabrici.

Ključne reči – Solarne elektrane, OIE, kupac-proizvođač, invertori, PV moduli

I UVOD

U solarnoj elektrani, zračenje koje dolazi od sunčevih zraka pretvara se u električnu energiju za kućnu ili industrijsku upotrebu koristeći različite sisteme kao što su solarne termoelektrane ili fotonaponske elektrane. Proces proizvodnje električne energije u solarnoj elektrani je potpuno ekološki i ne stvara zagađujuće elemente po životnu sredinu, i jedan je od najefikasnijih obnovljivih izvora energije (OIE) koji trenutno postoje. Zahvaljujući ovim prednostima u poređenju sa energijama proizvedenim iz fosilnih goriva ili neobnovljivih izvora, solarna energija, predstavlja ključno sredstvo za razvoj novog dugoročno održivog modela proizvodnje energije koji je potpuno ekološki prihvatljiv[1-2].

Proizvodnja solarne fotonaponske (PV) energije je proces pretvaranja sunčeve energije u električnu energiju pomoću solarnih panela. Solarni paneli, koji se često nazivaju i PV paneli, kombinovani su u okviru PV sistema u nizove (stringove). PV sistemi se takođe mogu instalirati u konfiguracijama koje su povezane sa elektroenergetskom mrežom („On-Grid“ sistemi) ili van nje (samostalni ili „Off-Grid“). Osnovne komponente ove dve konfiguracije PV sistema uključuju solarne panele, DC i AC kombinovane razvodne kutije, energetske pretvarače (DC/DC, DC/AC), optimizatore, rastavljače i prekidače. PV sistemi povezani na mrežu dodatno

mogu uključivati brojila, baterije, kontrolere punjenja i sisteme za upravljanje radom baterija [3-4].

Postoji nekoliko prednosti i nedostataka proizvodnje PV energije. Što se tiče prednosti, sunčeva svetlost je besplatna i lako dostupna u mnogim delovima zemlje. PV sistemi ne proizvode emisije toksičnih gasova, gasove staklene bašte ili buku. PV sistemi nemaju pokretne delove. PV sistemi smanjuju zavisnost od nafte. PV sistemi imaju mogućnost da generišu električnu energiju na udaljenim lokacijama koje nisu povezane sa mrežom. PV sistemi povezani na mrežu mogu smanjiti račune za električnu energiju. I pored ovih prednosti, PV sistemi imaju veliku početnu investiciju. PV sistemi zahtevaju velike površine za proizvodnju električne energije. Količina sunčeve svetlosti može da varira. Kada ne mogu da obezbede puni kapacitet, PV sistemi zahtevaju skladištenje viškova energije ili pristup drugim izvorima, kao što je elektroenergetska mreža,

Pored konvencionalnih solarnih elektrana, fotonaponski sistemi instalirani na krovovima zgrada poznati kao solarne zajednice, koji proizvode električnu energiju za sopstvenu potrošnju i smanjuju troškove energije (tzv. solarne farme), dva su odlična primera primene solarne energije [3-6].

U ovom radu je prikazana realizacija fotonaponske elektrane izlazne snage 1500 kW na krovu hale fabrike „Flash“ u Apatinu. Solarna elektrana je povezana na NN sabirnice u transformatorskoj stanici 20/0.4 kV 1600 kVA i preko njih napaja potrošače fabrike. U periodima kada nema dovoljno sunčeve insolacije napajanje potrošača u fabrici se ostvaruje iz elektroenergetske mreže. U periodima kada je potrošnja mala, a sunčeva insolacija značajna višak električne energije koji solarna elektrana proizvodi se šalje u elektroenergetsku mrežu. Realizovana solarna elektrana sadrži 3780 fotonaponska panela monokristalnog tipa, svaki snage 455 W. Krovna površina objekta okrenuta je u pravcu jugozapad - severoistok. Specifičnost krovne konstrukcije sastavljene od dve celine (krov sa krovim kosinama i ravni krov) je uslovala niz projektantskih rešenja koja će biti detaljnije prikazana u nastavku.

II OPIS LOKACIJE SOLARNE ELEKTRANE

Za potrebe investitora „Flash“ SRB d.o.o je izgrađena solarna elektrana na krovu objekta kompanije „Flash“ SRB d.o.o sa sedištem u ulici Italijanskog prijateljstva 2, Apatin. Na krovu objekta kompanije je realizovana solarna elektrana izlazne snage 1500 kW AC. Solarna elektrana se sastoji od 3780 fotonaponskih panela monokristalnog tipa, proizvođača „Ulica Solar“ (svaki panel je snage 455 W). Krovna površina objekta okrenuta je u

pravcu jugozapad - severoistok. Fotonaponski paneli su postavljeni na krovnoj površini proizvodne hale sa upravnim delom. Krov hale je podeljen na dve celine, kao što pokazuje Slika 1: (1) Celina krova sa krovnim kosinama, (2) celina krova sa nagibom krova 4°, u daljem tekstu ravan krov (napomena: ugao nagiba krova do 5° može se smatrati kao ravan krov).

Solarni paneli su postavljeni na pojedinačne krovne kosine pod uglom od 23° tj. fotonaponski paneli prate nagib kosog krova. Na ravnom delu krova nagiba 4° koristi se konstrukcija sa balastima.



Slika 1. Prikaz krova hale "Flash" SRB iz vazduha (slikano dron letelicom)

III ENERGETSKI POTENCIJAL LOKALITETA I ANALIZA SUNČEVOG ZRAČENJA

Prema podacima „PV GIS“[7] optimalni ugao postavljanja solarnih panela za Srbiju iznosi 34°. Predmetna lokacija solarne „Flash“ SRB d.o.o. nalazi se na području grada Apatina i ima prosečnu vrednost godišnjeg solarnog zračenja na horizontalnoj ravni od 1200 kWh/m² do 1300 kWh/m². Prosečna vrednost solarnog zračenja koja se ima na panelima postavljenim sa optimalnim uglom za predmetnu lokaciju iznosi od 1400 kWh/m² do 1500 kWh/m².

Tehničkim rešenjem predstavljenim u ovom radu je obezbeđeno postavljanje solarnih panela na dva načina: (1) Na krovnim kosinama-solarni paneli se instaliraju na izabranu potkonstrukciju tako da prate ugao nagiba krovne kosine od 23°, (2) Na ravnom delu krova-solarni paneli se instaliraju na potkonstrukciju sa balastima. Nagib solarnih panela je 10°. Solarni paneli su orijentisani tako da je jedna polovina okrenuta prema severozapadu, a druga polovina prema jugoistoku. Ovakvim rešenjem postignuta je najveća iskorišćenost krovne konstrukcije, a time je skoro eliminisan uticaj tzv. „sišućeg“ vetra.

Za precizno određivanje prosečne vrednosti globalne solarne radijacije korišćeno je softversko rešenje METEONORM, razvijeno od strane kompanije METEOTEST iz Švajcarske. Program METEONORM sadrži podatke sa 8325 meteoroloških stanica u celom svetu i sa 5 geostacionarnih satelita, kao i sa svih registrovanih meteoroloških stanica u RHMZ-a Srbije. Podaci o globalnoj radijaciji, direktnoj radijaciji, temperaturi i padavinama su dostupni za period od 1996. do 2015. godine.

Sa sistemom baziranim na modelu interpolacije koji je ugrađen u softveru moguće je dobiti precizne podatke za bilo koji lokalitet sa prilično velikom tačnošću. Na Slici 2 su dati prikaz izbora

lokacije za kreiranje projektnih parametara i klimatski parametri dobijeni u METEONORM programu [8-9] za fabričku halu „Flash“ SRB d.o.o.



Climate Data		Location	
Country	Serbia, Republic Of	Location	Apatin (1996-2015, Meteornorm 8.1())
Latitude	45° 39' 13" (45.65°)	Annual sum of global irradiation	1260 kWh/m ²
Longitude	18° 58' 20" (18.97°)	Annual Average Temperature	12.1 °C
Time zone	UTC+1		
Time Period	1996 - 2015		
Source	Meteornorm 8.1()		

Slika 2. Lokalitet za određivanje projektnih parametara solarne elektrane i klimatski parametri dobijeni u METEONORM programu za lokaciju hale „Flash“ SRB d.o.o.

U Tabeli 1 je dat prikaz prosečnih mesečnih vrednosti globalnih radijacija za temperature na lokacijama na kojima su postavljeni solarni paneli elektrane.

Tabela 1. Prikaz prosečnih vrednosti globalnih radijacija na horizontalnoj ravni i prosečne temperature za period od 1996-2015.

	Radijacija na horiz. ravan (kWh/m ²)	Spoljnja prosečna temperatura (°C)
Mesec	1260,2	12
JAN	31,7	0,7
FEB	50,4	2,2
MAR	95,2	7,1
APR	132,5	12,3
MAJ	168,8	17,5
JUN	180,7	21
JUL	188,8	23,1
AVG	165,1	22,8
SEP	106,5	16,8
OKT	76,4	12
NOV	39,6	6,7
DEC	24,5	1,8

Analiza sunčevog zračenja

U ovom delu je dat prikaz kretanja Sunca tokom kratkodnevnicke, ravnodnevnicke i dugodnevnicke, za prethodno opisanu lokaciju.

Pri izradi trajektorije sunčevog kretanja za predmetnu lokaciju solarne elektrane, korišćeno je softversko rešenje „Sun Earth tools”[10]. Dijagrami i vrednosti u ovom poglavlju poslužili su za sagledavanje kretanja sunca tokom karakterističnih perioda, kako bi se usvojio napadni ugao sunca za potrebe proračuna

Na Slici 3 je dat prikaz trajektorije Sunca tokom kratkodnevnic (21. decembar), dok je na Slici 8 dat prikaz kretanja sunca tokom kratkodnevnic u odnosu na ostale mesece u godini.



Slika 3. Prikaz kretanja Sunca tokom dana 21. Decembra - kratkodnevnic

U Tabeli 2 je dat prikaz trenutka izlaska i zalaska Sunca, elevacije i azimuta kao i trajanje dana, a u Tabeli 3 je dat prikaz Sunčeve pozicije (elevacije i azimuta) u zavisnosti od vremena, sa korakom od 30 minuta.

Tabela 2. Prikaz vremena izlaska i zalaska Sunca tokom kratkodnevnic

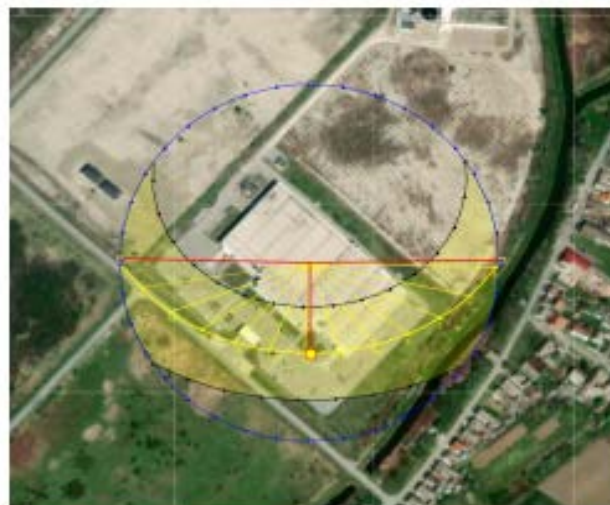
POZICIJA SUNCA	ELEVACIJA	AZIMUT	GEOG.ŠIRINA	GEOG.DUŽINA
21/12/2023 11:42 GMT1	20.91°	179.99°	45.6537674° N	18.9725044° E
SUMRAK	IZLAZAK SUNCA	ZALAZAK SUNCA	AZIM. IZLASKA SUNCA	AZIM. ZALASKA SUNCA
SUMRAK -0.833°	07:21:28	16:02:36	123.65°	236.35°
CIVIL SMRAK -6°	06:47:03	16:36:57	117.67°	242.31°
NAUTIČKI SUMRAK -12°	06:09:17	17:14:43	111.35°	248.63°
ASTRONOMSKI SUMRAK -18°	05:33:05	17:50:55	105.41°	254.57°
DNEVNA SVETLOST	hh:mm:ss	diff. dd+1	diff. dd-1	PODNE
21/12/2023	08:41:08	-00:00:02	00:00:05	11:42:02

Ravnodnevnic se javlja 21. Marta i 23. Septembra. Pošto su podaci za oba datuma gotovo identični, za potrebe proračuna korišćeni su podaci za 21. Mart. Na Slici 4 je dat prikaz trajektorije Sunca tokom ravnodnevnic.

U Tabelama 4 i 5 su dati trenuci izlaska i zalaska Sunca, kao i položaj Sunca u zavisnosti od vremena tokom ravnodnevnic.

Tabela 3. Prikaz položaja Sunca tokom kratkodnevnic u zavisnosti od vremena

DATUM:	21/12/2023 GMT1	
KORDINATE:	45.6537674, 18.9725044	
LOKACIJA:	45.65376740,18.97250440	
VREME	ELEVACIJA	AZIMUT
07:21:28	-0.833°	123.65°
8:00:00	4.53°	130.67°
9:00:00	11.73°	142.52°
10:00:00	17.12°	155.58°
11:00:00	20.25°	169.73°
12:00:00	20.79°	184.4°
13:00:00	18.67°	198.85°
14:00:00	14.14°	212.38°
15:00:00	7.6°	224.71°
16:00:00	-0.46°	235.89°
16:02:36	-0.833°	236.35°



Slika 4. Prikaz kretanja Sunca tokom 21. Marta – ravnodnevnic

Tabela 4. Prikaz trenutaka izlaska i zalaska Sunca tokom ravnodnevnic

POZICIJA SUNCA	ELEVACIJA	AZIMUT	GEOG.ŠIRINA	GEOG.DUŽINA
21/03/2023 11:51 GMT1	44.57°	179.86°	45.6537674° N	18.9725044° E
SUMRAK	IZLAZAK SUNCA	ZALAZAK SUNCA	AZIM. IZLASKA SUNCA	AZIM. ZALASKA SUNCA
SUMRAK -0.833°	05:46:10	17:57:25	88.96°	271.32°
CIVIL.SUMRAK -6°	05:16:32	18:27:04	83.65°	276.65°
NAUTIČKI SUMAK -12°	04:41:45	19:01:58	77.27°	283.07°
ASTRONOMSKI SUMRAK -18°	04:06:03	19:37:50	70.42°	289.98°
DNEVNA SVETLOST	hh:mm:ss	diff. dd+1	diff. dd-1	PODNE
21/03/2023	12:11:15	00:03:15	-00:03:13	11:51:47

Na Slici 5 je dat prikaz trajektorije sunca tokom dugodnevnice (21. jun). U Tabelama 6 i 7 je dat prikaz izlaska i zalaska Sunca i položaja Sunca u zavisnosti od vremena tokom dugodnevnice.

Obzirom da je najniži upadni ugao tokom solarnog maksimuma kada se javlja kratkodnevica 21. Decembra, za potrebe proračuna potrebnog rastojanja između panela, procenjen je upadni ugao Sunca koji se tada javlja i koji iznosi 20.91°.

Fotonaponski paneli na krovnim kosinama biće orijentisani u pravcu jugozapada, a na ravnom delu krova će polovina biti orijentisana u pravcu severozapada, a druga polovina u pravcu jugoistoka. Prethodnom orijentacijom postiže se optimalno rešenje i u smislu iskorišćenja dostupnih površina krova i u smislu efikasnosti rada i proizvodnje energije solarne elektrane na hali „Flash“ SRB d.o.o.

Tabela 5. Prikaz položaja Sunca tokom ravnodnevnice u zavisnosti od vremena

DATUM:	21/03/2023 GMT1	
KOORDINATE:	45.6537674, 18.9725044	
LOKACIJA:	45.65376740,18.97250440	
VREME:	ELEVACIJA	AZIMUT
05:46:10	-0.833°	88.96°
6:00:00	1.59°	91.44°
7:00:00	11.99°	102.33°
8:00:00	21.96°	114.08°
9:00:00	30.97°	127.51°
10:00:00	38.35°	143.43°
11:00:00	43.17°	162.25°
12:00:00	44.54°	183.02°
13:00:00	42.14°	203.44°
14:00:00	36.51°	221.47°
15:00:00	28.6°	236.64°
16:00:00	19.27°	249.52°
17:00:00	9.16°	260.97°
17:57:25	-0.833°	271.32°



Slika 5. Prikaz kretanja Sunca tokom 21. Juna – dugodnevnica

Tabela 6. Prikaz izlaska i zalaska Sunca tokom dugodnevnice

POZICIJA SUNCA	ELEVACIJA	AZIMUT	GEOG.ŠIRINA	GEOG.DUŽINA
21/06/2023 12:45 GMT1	67.78°	179.46°	45.6537674° N	18.9725044° E
SUMRAK	IZLAZAK SUNCA	ZALAZAK SUNCA	AZIM. IZLASKA SUNCA	AZIM. ZALASKA SUNCA
SUMRAK -0.833°	04:54:39	20:37:06	54.27°	305.73°
CIVIL.SUMRAK -6°	04:16:25	21:15:16	47.17°	312.81°
NAUTIČKI SUMAK -12°	03:25:10	22:06:30	36.94°	323.04°
ASTRONOMSKI SUMRAK -18°	02:14:50	23:16:47	21.44°	338.53°
DNEVNA SVETLOST	hh:mm:ss	diff. dd+1	diff. dd-1	PODNE
21/06/2023	15:42:27	-00:00:01	-00:00:02	12:45:52

Tabela 7. Prikaz položaja Sunca u zavisnosti od vremena tokom dugodnevnice

DATUM:	21/06/2023 GMT1	
KOORDINATE:	45.6537674, 18.9725044	
LOKACIJA:	45.65376740,18.97250440	
VREME	ELEVACIJA	AZIMUT
04:54:39	-0.833°	54.27°
5:00:00	-0.07°	55.23°
6:00:00	9.04°	65.58°
7:00:00	18.91°	75.46°
8:00:00	29.23°	85.44°
9:00:00	39.7°	96.3°
10:00:00	49.91°	109.38°
11:00:00	59.15°	127.11°
12:00:00	65.92°	153.44°
13:00:00	67.6°	188.52°
14:00:00	63.19°	220.27°
15:00:00	54.99°	242.04°
16:00:00	45.17°	257.17°
17:00:00	34.78°	268.99°
18:00:00	24.34°	279.31°
19:00:00	14.19°	289.16°
20:00:00	4.63°	299.21°
20:37:06	-0.833°	305.73°

IV POTKONSTRUKCIJA SOLARNE ELEKTRANE

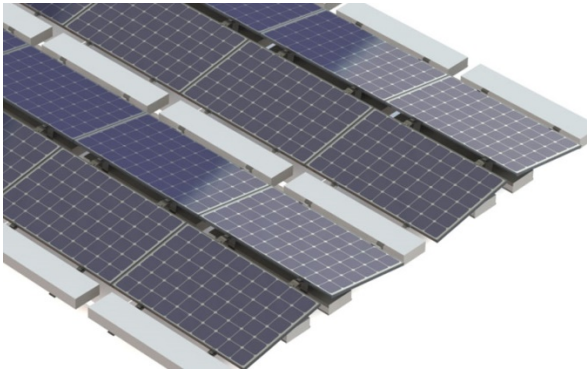
PV moduli solarne elektrane su postavljeni pod unapred definisanim uglom u odnosu na postojeću potkonstrukciju koja se nalazi na krovu objekta, u skladu sa dobijenim podacima o sunčevom zračenju na konkretnoj lokaciji. Primenjeno je tehničko rešenje sa fiksnim uglom (bez automatskog zakretanja panela). Nije predviđeno da se u toku godine u zavisnosti od godišnjeg doba vrši ručno podešavanje ugla nagiba panela, već je obezbeđeno postavljanje solarnih panela u sledeća dva fiksna položaja u zavisnosti od toga na kojoj se krovnoj celini postavljaju:

- 1) na krovnim kosinama nagiba 23° solarni paneli montiraju se na odgovarajuće potkonstrukcije tako da

prate nagib od 23°. Treba napomenuti da su PV paneli su orijentisani u pravcu jugozapada,

- 2) na krovnoj celini ravnog krova fotonaponski moduli montiraju se na potkonstrukciju sa balastima prilagođenu za ravan krov.

Moduli se ređaju u dva reda pod uglom od 10° kao što je prikazano na Slici 6. Paneli su orijentisani u pravcu severozapad – jugoistok (prate granice bočnih strana krova zbog maksimalnog iskorišćenja krovne konstrukcije).



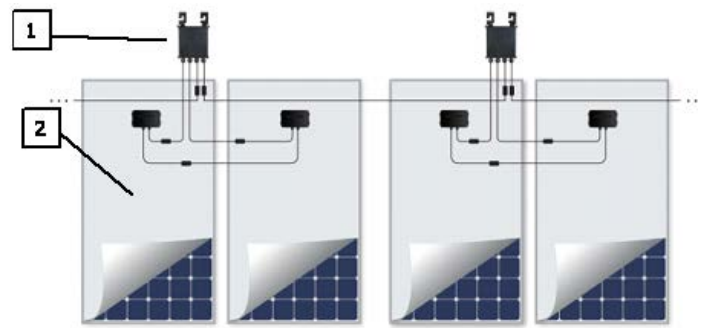
Slika 6. Raspored PV panela za slučaj potkonstrukcije sa balastom koja je prilagođena za ravan krov

Ovakvim načinom montaže obezbeđuje se optimalna apsorpcija sunčevog zračenja za datu lokaciju. Kod fiksnih sistema montaže je izabran optimalan ugao pri kom se dobija maksimalna proizvedena električna energija, a pri tom uvažavajući sledeće parametre: (1) gubitke energije usled refleksije svetlosti, (2) gubitke u izabranom tipu solarnog panela, (3) gubitke u instalaciji, (3) azimut u odnosu na južni pol za pomenutu lokaciju montaže, (4) azimut Zemlje.

Fotonaponski paneli se međusobno povezani tako da formiraju jedan niz ili lanac (popularno nazvan „string“) panela. Postoji više načina međusobnog povezivanja solarnih panela, kao i njihovog povezivanja na energetski pretvarač (inverter). Kada se na jedan inverter ugrađuje po jedan solarni panel, tada se ima tzv. *mikro invertorski sistem*, odnosno mikro invertorska topologija. Kada se solarni paneli vezuju redno u tzv. stringove (lance) dobijamo široko korišćenu topologiju gde su stringovi povezani direktno na odgovarajuće ulaze invertora.

U konkretno realizovanom sistemu je primenjeno rešenje bazirano na primeni optimizatora snage solarnih panela. Solarni paneli se vezuju redno u tzv. stringove (lance), ali na svaki drugi panel se postavlja uređaj koji se naziva optimizator snage solarnog panela. Ovakvo rešenje omogućava da inverter pored energetskog pretvaranja jednosmernog u naizmenični napon ima nadzor nad celokupnim stringom solarnih panela i nad svakim pojedinačnim solarnim panelom u stringu. Ovo primenjeno tehničko rešenje je prikazano na Slici 7.

U ovom projektu je primenjeno distribuirano rešenje rasporeda i povezivanja solarnih panela i invertora. Način povezivanja fotonaponskih panela na invertore zavisi od snage invertora, tako da je moguće ili priključiti manji broj modula na više invertora manje snage koji bi stajao kod solarnih panela (distribuirano rešenje).



Slika 7. Povezivanje solarnih panela u stringove sa implementacijom optimizatora snage solarnog panela; 1 – Solarni panel, 2 - Optimizator – Izvor „SolarEdge Technologies“

Solarni paneli se postavljaju na pojedinačne krovne kosine pod uglom od 23° tj. fotonaponski paneli će pratiti nagib kosog krova, dok se na ravnom delu krova nagiba 4° koristi konstrukcija sa balastima za postavljanje fotonaponskih panela na ravan krov.

Primenjeno je tehničko rešenje standardne potkonstrukcije za montažu solarnih panela proizvodnje „ANTAI SOLAR“. Krovne kosine koriste tehničko rešenje „ANTAI SOLAR“ naziva „MiniRail“ (Slika 8.).



Slika 8. Prikaz "MiniRail" potkonstrukcijskog rešenja, izvor „ANTAI SOLAR“

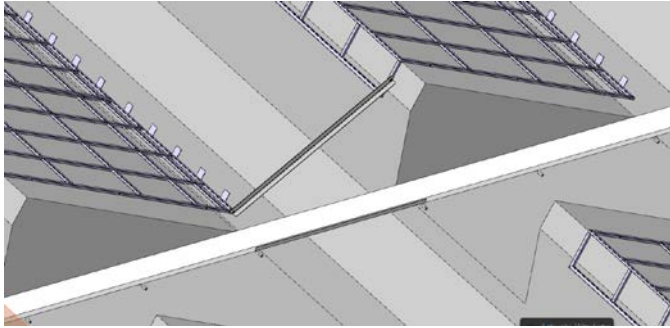
Na ravnom delu krova primenjeno je takođe tehničko rešenje sa betonskim balastima istog proizvođača-ANTAI SOLAR..

V MONTAŽA PNK REGALA I INVERTORA

Glavna trasa kablovskih regala (PNK300) kojom su uvedeni aluminijumski kablovi 4x240 mm² kablove u halu FIORANO, izrađena je od PNK regala dimenzija 300mm x60 mm. Veza PNK regala kablova solarnih panela (PNK50 i PNK100) je ostvarena vijčanom vezom koja je povezana sa potkonstrukcijom panela kao što je prikazano na Slici 9.

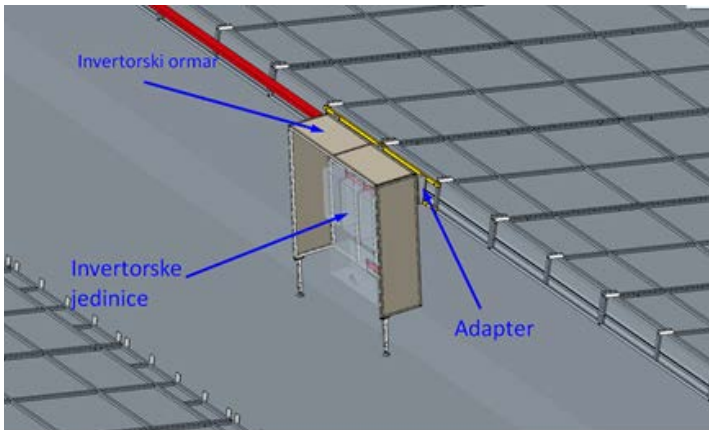
Prelaz sa vrha kosine u podnožje sledeće kosine je ostvareno uz pomoć PNK prevodnice koja je izrađena od hladno oblikovanog pocinkovanog „L“ profila. Glavna trasa PNK300 biće jednim

delom postavljena na „SIKA“ prekrivaču na prolazima između kosina i na ravnom delu krovnih kosina. Drugim delom PNK regali glavne trase vodiče se preko lima na parapetu hale.



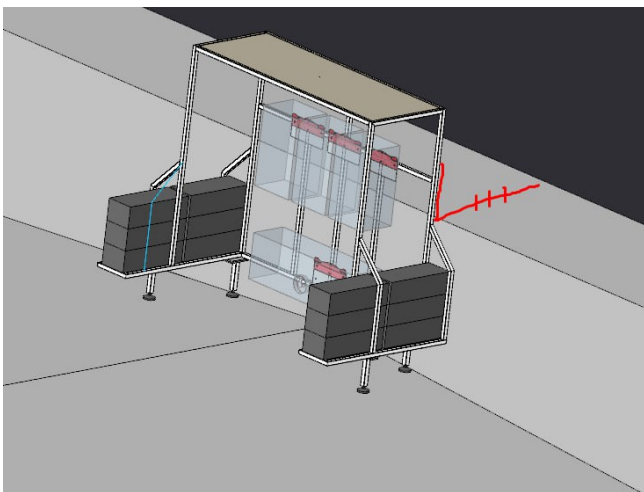
Slika 9. Prikaz vođenja kablova i PNK regala na delu krova sa krovnim kosinama

Invertorske jedinice su smeštene u ormare koji su vijčanom vezom (Slika 10), uz posredstvo adaptera za kompenzaciju ugla nagiba kosine povezane na zadnji deo potkonstrukcije.



Slika 10. Montaža invertorskih ormara na krovnim kosinama

Na ravnom delu krova rešenje za postavljanje invertora je rešenje sa balastima prikazano na Slici 11.



Slika 11. Montaža invertorskih ormara na ravnom delu krova

VI ELEKTROENERGETSKI DEO

Instalirana solarna elektrana na krovu objekta „Flash“ SRB d.o.o. snage 1500 kW (AC) sadrži 3780 fotonaponskih panela postavljenih na dve krovne celine.

Na prvoj krovnoj celini, sa krovnim kosinama, solarni paneli se postavljaju horizontalno orijentisani („landscape“) tako da prate nagib od 23°, na izabranu noseću potkonstrukciju. Postoje 72 krovne kosine od kojih se 70 koristi za postavljanje fotonaponskih modula.

U izvođenju solarne elektrane se koristi 56 krovnih kosina dužine 17,9 m instaliraju solarni paneli. Na ovaj način je na krovne kosine moguće postaviti ukupno po 24 solarna panela. Ostalih 14 kosina planiranih za postavljanje solarnih panela su dužine 20,4 m i na njih je moguće postaviti po 26 solarnih panela. Izlazna snaga PV elektrane u ovom slučaju je 1719,19 kW.

Proizvedena električna energija koristi za sopstvenu potrošnju, sa mogućnošću predaje viška proizvedene električne energije u elektrodistributivni (EDB) sistem po tzv. sistemu „kupac-proizvođač“. [11-13].

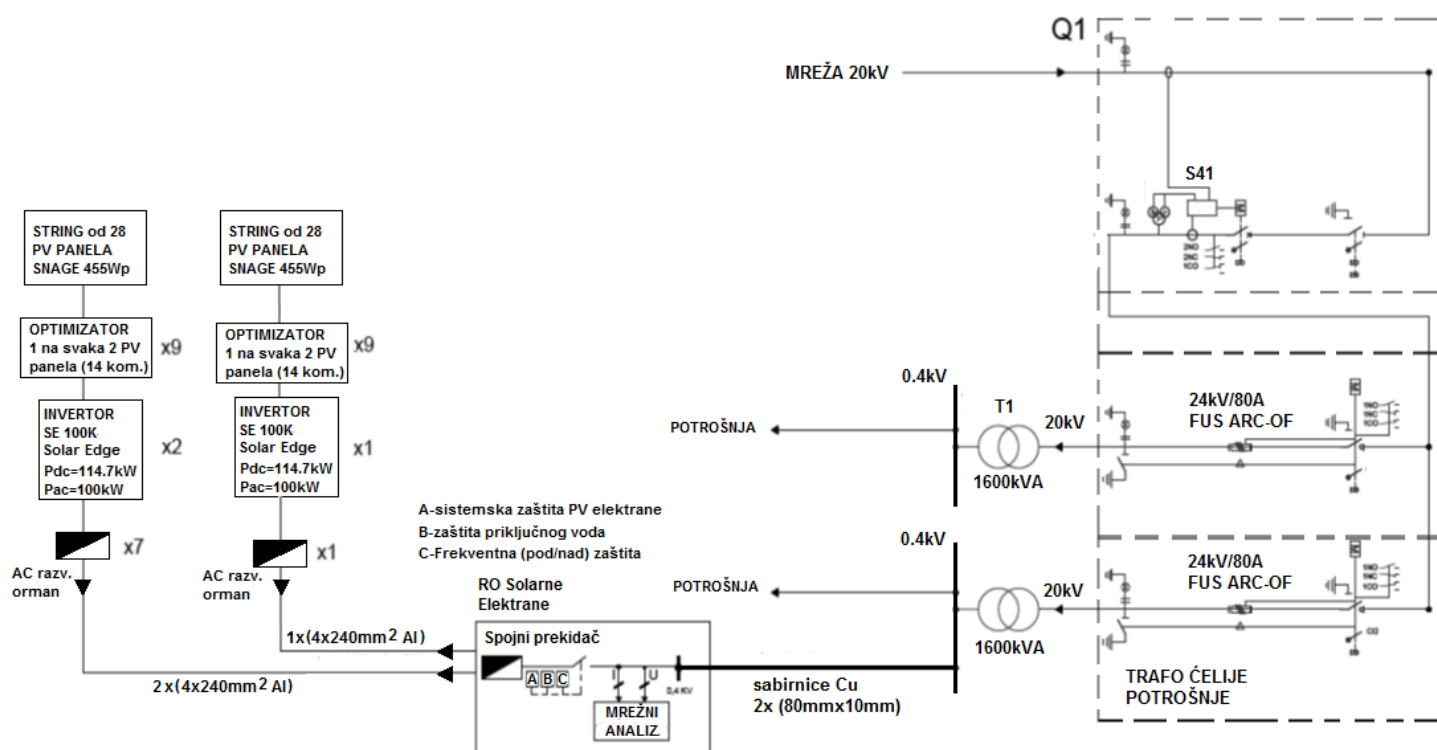
Invertori solarne elektrane (15 kom.) su automatski upravljani i međusobno su povezani preko komunikacione mreže.

Kada je prisutan mreži napon na sabirnicama 0,4 kV, odnosno kada imaju napon sa strane mreže proizvode električnu energiju, što se detektuje preko pametnog merača tzv. „Smart Meter -a“. Ukoliko dođe do prekida mrežnog napajanja na 0,4 kV strani, odnosno isključenja objekta fabrike sa ED mreže na sredjenaponskoj strani, invertori se automatski isključuju. Na ovaj način je obezbeđena zaštita od tzv. „ostrvskog rada solarne elektrane“.

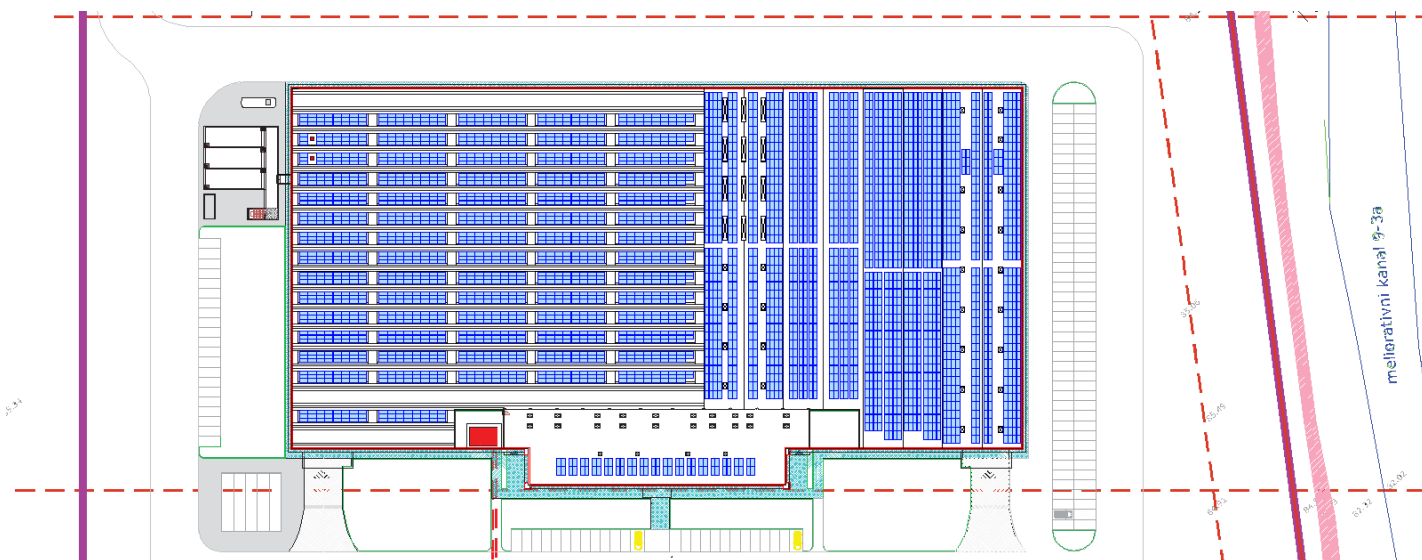
Solarna elektrana se sastoji od sledeće specificirane elektroenergetske opreme:

- 3780 fotonaponskih panela snage 455 W (Proizvođača „Ulica Solar“ model „UL-455M-144HV“),
- 15 invertora snage 100 kW (proizvođač „SolarEdge“ model „SE100K-RW001BNC4“),
- 1890 optimizatora snage solarnih panela (proizvođač „SolarEdge“ model „P950-4RMXMBY“),
- Sistema za monitoring (implementiran u opremi proizvođača invertora i optimizatora, uz primenu odgovarajućeg softverskog sistema proizvođača „SolarEdge“),
- 8 AC ormara,
- 1 sabirni AC orman solarne elektrane (ROSOL),
- „Smart meter“ – Pametni merač snage i energije,
- strujni transformatori pametnog merača snage i energije.

Na Slici 12 je prikazana principna blok šema elektroenergetskog dela solarne elektrane, dok je na Slici 13 prikazana dispozicija rasporeda solarnih panela (pogled odozgo). Jednopolna električna šema solarne elektrane je data na Slici 14. Za ovu konfiguraciju solarne elektrane je ugrađeno 15 invertora snage 100 kW. Na invertore snage 100 kW vezuje se po 9 stringova, svaki string sa 28 panela u nizu. Na svakom stringu nalazi se po 14 optimizatora snage solarnog panela, odnosno na 1 optimizator se implementiraju 2 solarna panela.



Slika 12. Blok šema elektroenergetskog dela solarne elektrane

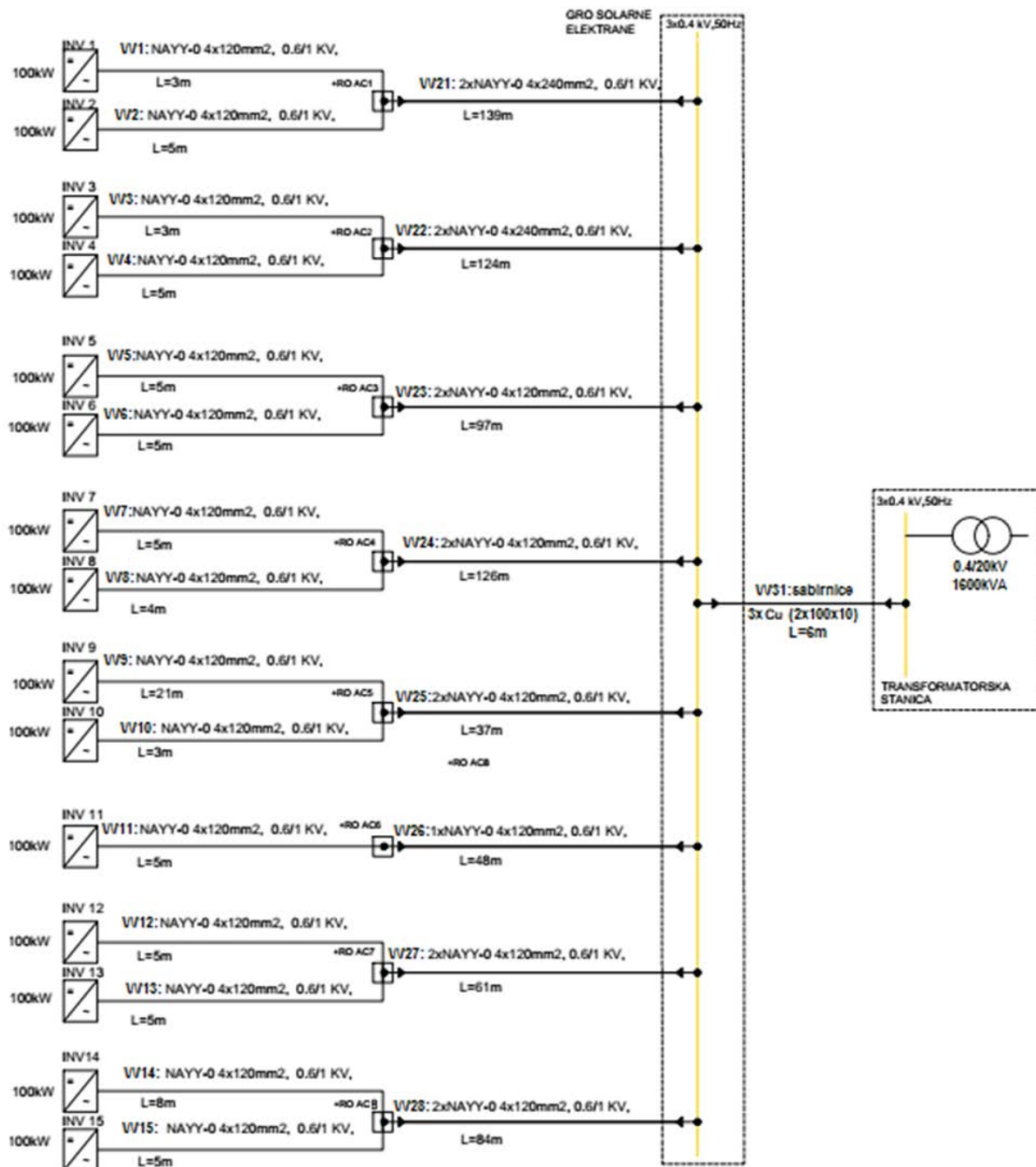


Slika 13. Dispozicija rasporeda solarnih panela - pogled odozgo

AC razvodni ormani solarne elektrane obezbeđuju povezivanje invertora u odgovarajuće grupe na AC strani. Takođe u njima se nalaze odgovarajuće AC prenaponske zaštite. AC ormani su za spoljašnju montažu sa stepenom zaštite IP 65. Ukupno je instalirano 8 razvodnih AC ormana. Na sedam AC razvodnih ormana su povezana dva invertora od po 100 kW. Stoga je maksimalna izlazna snaga iz svakog AC ormana 200 kW. Na jednom AC razvodnom ormanu je povezan jedan inverter snage 100 kW. Jednopolna šema jednog tipskog AC ormana data je na Slici 15.

Prethodno opisani AC razvodni ormani su povezani na na

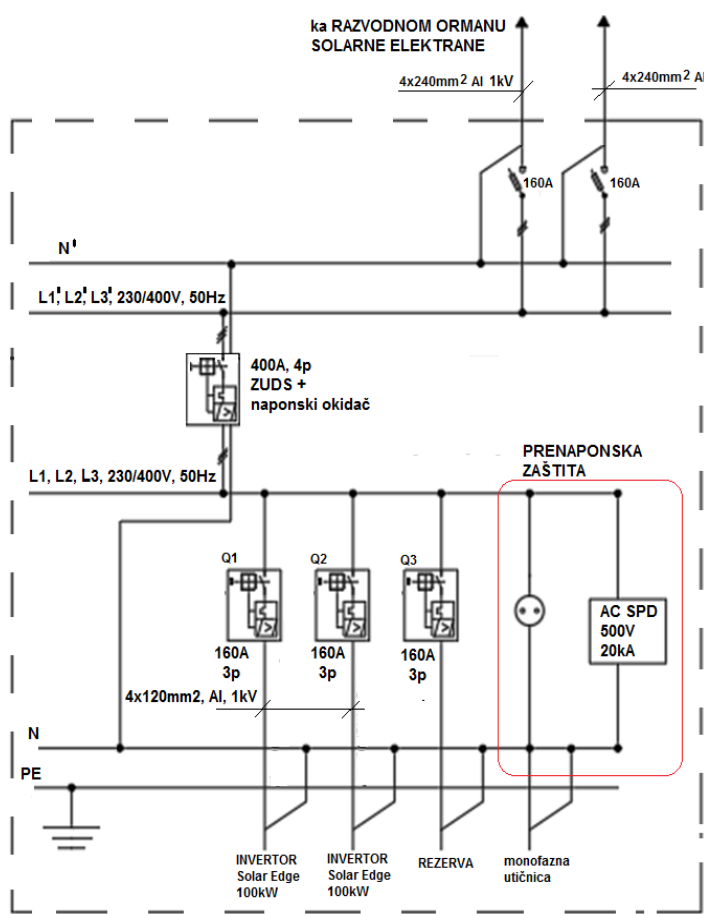
razvodni orman solarne elektrane (+ROSOL) preko odgovarajućih energetskih kablova. AC ormani se montiraju na zidnu površinu koja postoji na krovu objekta elektrane. Sva oprema montira se unutar ormana. Na dnu AC ormana su obezbeđeni otvori sa uvodnicama za uvod sledećih kablova: (1) aluminijumski kablovi preseka $4 \times 150 \text{ mm}^2$ – dva otvora (odnosno jedan otvor kod ormana na koji se vezuje samo jedan inverter), (2) aluminijumski kabl preseka $4 \times 240 \text{ mm}^2$ – dva otvora (odnosno jedan otvor kod ormana na koji se vezuje samo jedan inverter), za kablove koji idu ka +ROSOL. Razvodni orman solarne elektrane (+ROSOL) je smešten u prostoriji hale „Flash“ SRB d.o.o.. Izlazna snaga iz ovog ormana je 1500 kW.



Slika 14. Jednopolna električna šema solarne elektrane

+ROSOL prihvata kablove iz razvodnih ormara AC1....AC 8. U +ROSOL je ugrađen spojni prekidač kojim će se +ROSOL vezivati putem glavnog voda elektrane sa razvodnim postrojenjem. U okviru +ROSOL je ugrađena sistemska zaštita, koja se sastoji od naponske i frekventne zaštite. U slučaju nestanka napona na distributivnoj mreži ova zaštita ujedno omogućava automatsko isključenje elektrane sa distributivnog elektroenergetskog sistema na spojnom prekidaču (prema standardu DIN VDE 0126). Preko odgovarajućeg automatskog zaštitnog prekidača (kompakt prekidač za 2500A) se obezbeđena je prekostrujna zaštita solarne elektrane (preopterećenje i kratak spoj) i zaštita priključnog voda.

U sklopu elektroenergetskog dela su izvedene zaštite na DC strani i zaštite na AC strani. Zaštite na DC strani obuhvataju: (1) optimizatore, koji omogućavaju trenutno smanjenje napona na 1 volt ukoliko dođe do greške u toku rada solarne elektrane, (2) zaštita od atmosferskih pražnjenja, (3) prenaponska zaštita na ulaznoj strani (DC strani) invertora, (4) GPV zaštitni osigurači svakog stringa solarne elektrane. Zaštite na AC strani obuhvataju: (1) zaštitu od ostrvskog rada elektrane, (2) zaštitu od struje kratkog spoja i zaštitu od preopterećenja koje se ostvaruju prekidačima na izlazu iz invertora, (3) zaštitu od diferencijalne struje, (4) zaštitu od prenapona, (5) zaštitu od pojave prevelike jednosmerne komponente u izlaznoj struji elektrane.



Slika 15. Jednopolna šema AC razvodnog invertorskog ormara

Za paralelni rad elektrane sa mrežom, elektrana je opremljena odgovarajućom zaštitnom opremom:

- koja osigurava uslove paralelnog pogona: pod (nad) naponska zaštita; pod (nad) frekventna zaštita; zaštite su tako podešene da kod nestanka napona u mreži dođe do isključenja solarne elektrane sa mreže,
- zaštitom od smetnji i kvarova u mreži (zaštita od preopterećenja, kratkog spoja (u mreži i u elektrani),
- zaštitom od ostrvskog rada,
- zaštitom od smetnji i kvarova u elektrani,
- uređajem sa mogućnošću memorisanja događaja koji su prouzrokovali uključenje zaštite

Razdvajanje kola jednosmerne i naizmenične struje (PV izvorna kola- jednosmerna i invertorska izlazna kola-naizmenična) je obezbeđeno načinom izvođenja potpuno odvojenih i na propisnom rastojanju udaljenih (kablovske staze, nosači kablova i sl.), a prema NEC 2014 690.31. PV provodnici sistema su identifikovani i grupisani u skladu sa zahtevima. Sredstva za identifikaciju označena su odvojenim bojama kodiranja, markiranjem trake i sl.

VII KOMUNIKACIONI DEO I PRAĆENJE RADA SOLARNE ELEKTRANE

Praćenje proizvedene električne energije iz solarne elektrane omogućuje se pristupom internet stranici proizvođača opreme „SolarEdge“, odakle se udaljenim pristupom sa računara i

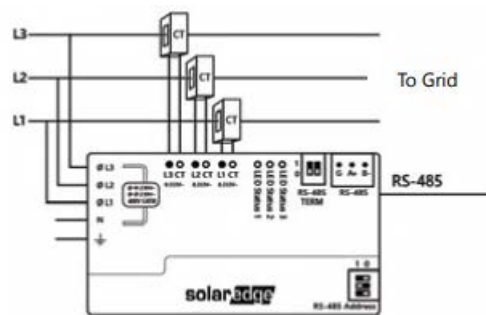
mobalnog telefona očitavaju trenutne vrednosti i istorija proizvodnje i korišćenja solarne električne energije.

Za mobilne telefone postoji takođe Android aplikacija koja omogućuje da se prati status uključenosti elektrane, trenutna i mesečna proizvodnja elektrane. Sistem je projektovan da u realnom vremenu dostavlja informacije o uključenosti sistema, trenutnoj proizvodnji električne energije, invertoru ili pojedinačnom solarnom panelu, sa mesečnim i godišnjim praćenjem proizvedene električne energije.

Za praćenje rada elektrane neophodna je ETHERNET konekcija kartice invertora sa lokalnom računarskom mrežom. Komunikaciona kartica na glavnom invertoru (tzv. MASTER), putem komunikacije sa ruterom se povezuje na internet, gde šalje podatke na odgovarajući Web server, kome se pristupa sa interneta. Sa internet portala, na internet stranici proizvođača invertora i na aplikaciji za mobilne telefone, moguće je očitavati parametre poput uključenosti sistema, vrednosti dnevne, mesečne i godišnje proizvodnje iz sistema. Radi omogućavanja udaljenog praćenja rada elektrane na portalu solar.web potrebno je da se odobri pristup spolja ka IP adresi invertora.

Elektrana je projektovana da napaja instalaciju proizvodnog pogona kompanije „Flash“ SRB d.o.o. iz Apatina, dok bi se višak proizvedene energije predao u sistem EDB-a posredstvom ugovora Korisnika i EDB-a.

Za praćenje radnih parametara solarne elektrane koristi se uređaj „Energy Meter with Modbus Connection - SolarEdge“. Uređaj se montira na DIN šine u ormanu +ROSOL. Na Slici 16 je prikazana blok šema povezivanja pametnog brojila na provodnik mreže solarne elektrane.



Slika 16. Električna šema povezivanja pametnog brojila solarne elektrane

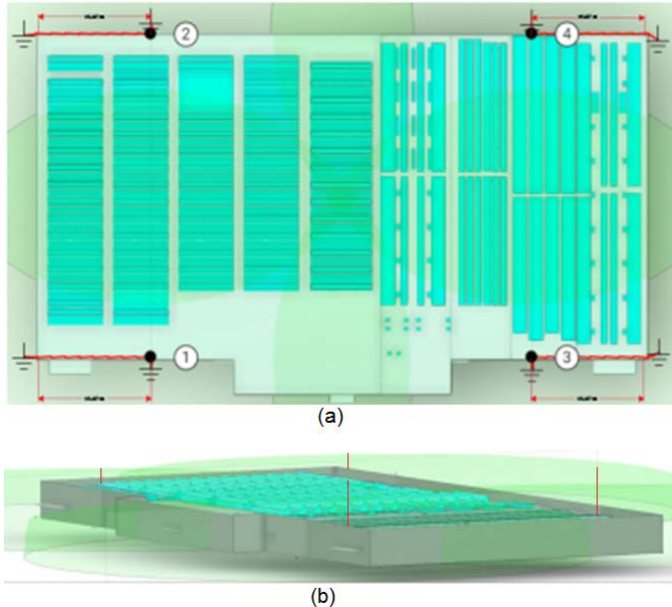
Karakteristike pametnog brojila „Energy Meter with Modbus Connection - SolarEdge“: (1) nominalni napon 400 Vac, klasa tačnosti 1, stepen mehaničke zaštite IP20, interfejs prema invertoru – RS485, vreme odziva 200 ms.

VIII GROMOBRANSKA ZAŠTITA SOLARNE ELEKTRANE

Za solarnu elektranu i objekat na koji se postavljaju fotonaponski paneli je izvedena gromobranska zaštita pomoću četiri štapne hvataljke sa uređajem za rani start.

Zaštitna zona ovog gromobrana pokriva celu površinu krova objekta, te zaštitne hvataljke štite pored objekta i solarnu elektranu koja je montirana na krovu objekta.

Aluminijumska potkonstrukcija solarnih panela je galvanski povezana sa spušnim provodnicima preko kojih su i gromobranske hvataljke povezane sa sistemom zaštitnog uzemljenja objekta (temeljni uzemljivač objekta i konturni uzemljivač objekta - pocinkovana čelična traka FeZn 25mm x4 mm). Na Slici 17 je prikazana dispozicija gromobranskih hvataljki na krovu objekta.



Slika 17. Dispozicija prihvata sistema gromobranske zaštite solarne elektrane; (a) pogled odozgo, (b) korner jugo-istok

Na Slici 18(a) je dat prikaz i dispozicija gromobranskog sistema sa pogledom odozgo, dok je na Slici 18(b) dat prikaz kornera jugo-istok.



Slika 18. Prikaz 3D modela solarne elektrane

Na Slici 18 je dat 3D izometrijski prikaz modela solarne elektrane koji je bio osnova za proračun i procenu proizvodnje električne snage i električne energije. Na ovom prikazu se jasno uočavaju dve krovne celine: kosi krov i ravni deo krova sa pripadajućim solarnim panelima. Takođe na osnovu ovog modela je izvršena procena uticaja senke na krovnim kosinama i na ravnom delu krova solarne elektrane. U tom smislu su dati 2D prikazi na neke karakteristične delove krova solarne elektrane. Na Slici 19 je dat 2D prikaz postavljanja solarnih panela sa uticajem senke na krovnim kosinama 1-4. Na Slici 20 je dat 2D prikaz postavljanja solarnih panela sa uticajem senke na ravnom delu krova.

IX REZULTATI PROJEKTA

Prilikom projektovanja korišćen je specijalizovan program „Valentine Software PV Sol Premium 2022“. U ovom poglavlju dat je prikaz proizvodnje solarne elektrane „Flash“ SRB d.o.o. snage 1500 kW. Proračunski program „Valentine Software PV Sol Premium 2022“ [14] je specijalizovan softverski alat za proračune fotonaponskih sistema. PV Sol programski paket sadrži bazu svih proizvođača panela, invertora i baterija koje se redovno ažuriraju. Pored toga u sebi sadrži integrisan softver za meteorološke podatke „Meteonorm“ [8-9].

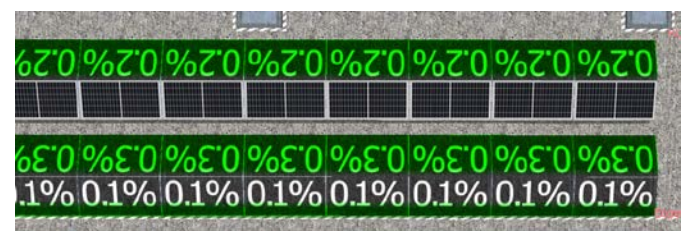
Primenom preciznih meteoroloških parametara softver ima mogućnost proračuna uticaja senke na solarnu elektranu, te daje veoma precizne proračune proizvodnje električne energije.

Proračun prinosa električne energije radi se na bazi 3D modela i uzima u obzir kretanje sunca na svakih sat vremena i 365 dana u godini. Takođe, program poseduje mogućnost podešavanja da se analiza proračuna proizvodnje obračunava na jednogminutnom nivou. Pri proračunu proizvodnje solarne elektrane je korišćen 3D model sa usvojenom konfiguracijom solarne elektrane koja je prikazana na prethodnom blok dijagramu i jednopolnoj šemi.

Gubici u kablovima su dobijeni prema detaljno sprovedenom proračunu pada napona i trajno dozvoljenih struja. Za primenjeno



Slika 19. Prikaz uticaja senke na solarne panele na krovnim kosinama



Slika 20. Prikaz uticaja senke na solarne panele na ravnom delu krova

U Tabeli 8 su dati proračunski parametri solarne elektrane, dok je u Tabeli 9 dat prikaz izvoda proračuna ostvarene proizvodnje dobijenog na osnovu 3D modela, specifičnih parametara lokacije dobitaka (nagib, orijentacija, refleksija i sl.) i gubitaka (zaprljanje, nanosi i sl.). U Tabeli 10 je dat prikaz očekivanog prinosa solarne elektrane snage 1500 kWp AC.

Tabela 8. Proračunski parametri solarne elektrane

Solarna elektrana „Flash“ SRB d.o.o.		
Izlazna snaga solarnih panela	1,719.90	kWp
Specifični godišnji prinos	1,116.40	kWh/kWp
Odnos performansi	87.13	%
Uticaj senke na solarnu elektranu	2.9	%
Godišnja proizvodnja	1,920,904	kWh/god
Godišnja proizvodnja nakon prve godine (uračunata degradacija solarnih panela nakon prve godine rada)	1,907,915	kWh/god
Godišnja potreba invertora za solarnom energijom u stanju mirovanja	810	kWh/god
CO ₂ emisije su izbegnute	1,824,089	kg / god

Tabela 9. Proizvodnja solarne elektrane

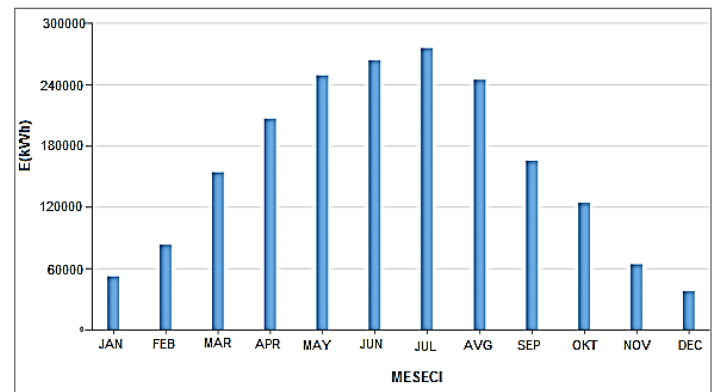
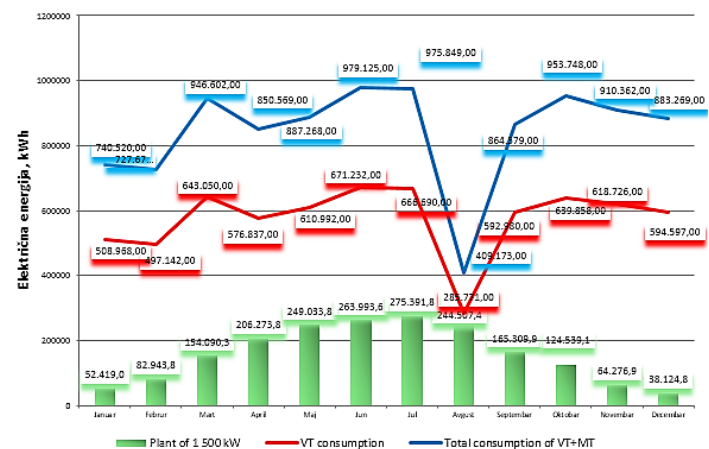
Globalno zračenje- horizontalno	1,260.20	kWh/m ²	
Globalno zračenje – horizontalno (odstupanje)	-12.60	kWh/m ²	-1.00 %
Odstupanje od standardnog spektra	5.68	kWh/m ²	0.46 %
Refleksija tla (Albedo)	28.17	kWh/m ²	2.25 %
Orijentacija i nagib površine modula	-0.14	kWh/m ²	-0.01 %
Senčenje nezavisno od modula	-29.90	kWh/m ²	-2.33 %
Refleksija na površini modula	1,251.41	kWh/m ²	
Globalno zračenje na modulu			
1,251.41kWh/m ² x 8216.102m ² = 10,281,679kWh			
Globalno PV zračenje	10,281,679.33	kWh	
Zaprljanje	0.00	kWh	0.00 %
STC konverzija (procenjena efikasnost modula 20,93 %)	-8,129,494.99	kWh	-79.07 %
Nazivna PV energija	2,152,184.34	kWh	
Delimično senčenje specifično za modul	-46,323.14	kWh	-2.15 %
Performanse pri slabom osvetljenju	-16,521.08	kWh	-0.78 %
Odstupanje od nazivne temp. modula	-62,414.11	kWh	-2.99 %
Diode	-1,870.60	kWh	-0.09 %
Nepodudaranje (informacije o proizvođaču)	0.00	kWh	0.00 %
Nepodudaranje (konfiguracija/senčenje)	-7,734.91	kWh	-0.38 %
Optimizator snage (DC konverzija/kliping)	-10,118.53	kWh	-0.50 %
PV energija (DC) bez invertorskog klipa	2,007,201.96	kWh	
Obrezivanje na račun maks. AC snage/cos fi	-174.84	kWh	-0.01 %
MPPT	0.00	kWh	0.00 %
PV energija (DC)	2,005,756.59	kWh	
Energija na ulazu invertora	2,005,756.59	kWh	
Ulazni napon odstupa od nazivnog napona	0.00	kWh	0.00 %
DC/AC konverzija	-45,650.45	kWh	-2.28 %
Potrošnja u stanju pripravnosti (invertor)	-809.98	kWh	-0.04 %
Ukupni gubici kablova	-39,202.12	kWh	-2.00 %
PV energija (AC) minus upotreba u stanju pripravnosti	1,920,094.04	kWh	
PV generator energije (AC mreža)	1,920,904.01	kWh	

Tabela 10. Prikaz očekivanog prinosa energije u toku prve godine rada

„Flash“ SRB d.o.o. – 1500 KW AC snage	
Mesec	Energija u kWh
Januar	52419
Februar	82943,8

Mart	154090,3
April	206273,8
Maj	249033,8
Jun	263993,6
Jul	275391,8
Avgust	244507,4
Septembar	165309,9
Oktobar	124539,1
Novembar	64276,9
Decembar	38124,8
Suma:	1.920.904,01

Na Slici 21 je dat grafički prikaz proizvodnje solarne elektrane po mesecima i na godišnjem nivou. Na Slici 22 je dat prikaz uporedne potrošnje električne energije u objektu i planirane proizvodnje solarne elektrane.

**Slika 21.** Grafički prikaz proizvodnje solarne elektrane po mesecima na nivou jedne godine**Slika 22.** Uporedni prikaz proizvodnje i potrošnje energije fabrike "Flash" SRB d.o.o.

Na Slikama 23-28 su prikazani pojedini delovi realizovane solarne elektrane na krovu fabrike „Flash“ d.o.o. Na Slici 23 je dat prikaz montaže solarnih panela na ravnom delu krova fabrike. Na Slici 24 je dat raspored solarnih panela na krovnim kosinama. Uočavaju se dva tipa krovnih kosina o kojima je bilo reči u prethodnom delu rada. Na Slici 25 je data dispozicija montaže i ugradnje AC invertorskog sabornog ormara i položaj invertorske grupe 2x100kW u odnosu na njega. Na Slici 26 je dat prikaz jedne invertorske grupe SolarEdge 2x100kW. Na Slici 27 je

prikazan izgled unutrašnjosti +ROSOL, raspored zaštitnih prekidača i sabirničkog sistema. Uočava se kablovski dovod sa AC invertorskih ormara sa gornje strane +ROSOL.



Slika 23. Raspored solarnih panela na ravnom delu krova



Slika 24. Raspored solarnih panela na krovnim kosinama



Slika 25. Dispozicija montaže i ugradnje AC razvodnog ormara i invertorske grupe



Slika 26. Prikaz invertorske grupe SolarEdge 2x100kW



Slika 27. Prikaz unutrašnjosti +ROSOL snage 1500kWac

X ZAKLJUČAK

U radu su prikazani projektovanje i realizacija solarne krovne elektrane fabrike „Flash“ d.o.o. izlazne snage 1500kW. Poseban akcenat u radu je dat na proračune koji se tiču energetske kapaciteta sunčevog zračenja za datu lokaciju objekta. Takođe u radu su dati rezultati realizacije i izvođenja solarne elektrane, sa detaljnim opisom rešenja potkonstrukcije sistema solarnih panela koja je prilagođena specifičnim karakteristikama i dispozicijom krova fabrike. U radu je opisana elektroenergetski deo, kao i način povezivanja DC/AC mrežnih pretvarača (invertora). Na kraju su dati ključni rezultati projektovanja, kao i rezultati realizacije solarne elektrane. Solarna elektrana na krovu fabrike „Flash“ d.o.o u Apatinu je tehnički izvedena krajem Marta 2024. Trenutno je u fazi priprema za integraciju sa elektroenergetskom distributivnom mrežom. Očekuje se povezivanje na mrežu i finalno puštanje u rad u naredna dva meseca.

ZAHVALNICA/ACKNOWLEDGEMENT

Publikacija ovog rada je podržana najvećim delom iz komercijalnog projekta firme Institut „M.Pupin“-Projekt Inženjering i firme Calcedonia (Ugovor br. 1507/23 od 15.05.2023.), a jednim delom kroz krovni projekat Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, Ugovor br. 451-03-66/2024-03/200034 od 05.02.2024.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] The breakthrough agenda report, Accelerating sector transitions through stronger international collaboration, IRENA, IEA Publications,

- International Energy Agency, 2023.
<https://www.iea.org/reports/breakthrough-agenda-report-2023> [pristupljeno 4.01.2024]
- [2] Microgeneration Certification Scheme ('MCS'). Guide to the Installation of Photovoltaic Systems, London EC3M 3BE, 2012.
<https://static.solartricity.ie/wp-content/uploads/2014/07/MCS-guide-to-installation.pdf> [pristupljeno 10.01.2024]
- [3] Luque, A., Hegedus, S. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, A John Wiley and Sons, United Kingdom, 2011.
- [4] Wenham, S.R., Green, M.A., Watt, M.E., Corkish, R. *Applied Photovoltaics*, Earthscan in the UK and USA, 2007.
- [5] Vukovic, M., Despotovic, Z.V., Simonovic, B. Design and construction of a photovoltaic solar power plant of 500 kW on the roof of the factory "GRUNER" Serbian Ltd. -Vlasotince, in Proc. *Proceedings of International Symposium Power Plants 2021*, Belgrade, Serbia, 17-18 November, 2021.
<https://e2021.drustvo-termicara.com/book> [pristupljeno 12.01.2024]
- [6] Vukovic, M., Despotovic, Z.V., Simonovic, B. Iskustva u izvođenju i eksploataciji fotonaponske elektrane instalisane snage 500 kW u fabrici „Gruner“ d.o.o.-Vlasotince, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol. 24, No. 4, pp. 57-67, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-4.57V>
- [7] PVGIS User manual.
- [8] https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/getting-started-pvgis/pvgis-user-manual_en [pristupljeno 12.01.2024]
- [9] Remund, J., Müller, S., Schmutz, M., Barsotti, D., Studer, C., Cattin, R. *Meteonorm Handbook Part I: Software V.7*, Meteotest, Bern, 2020.
https://meteonorm.com/assets/downloads/mn73_software.pdf [pristupljeno 12.01.2024]
- [10] Remund, J., Müller, S., Schmutz, M., Barsotti, D., Studer, C., Cattin, R., *Meteonorm Handbook Part II: Theory V.7.3.4*, Meteotest, Bern, 2020.
https://meteonorm.com/assets/downloads/mn73_theory.pdf [pristupljeno 12.01.2024]
- [11] Tools for consumers and designers of solar.
https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php [pristupljeno 12.01.2024]
- [12] Wicki, L., Pietrzykowski, R., Kusz, D. Factors determining the development of prosumer photovoltaic installations in Poland, *Energies*, Vol. 15, No. 16, pp. 5897, 2022. <https://doi.org/10.3390/en15165897>
- [13] Karalus, S., Köpfer, B., Guthke, P., Killinger, S., Lorenz, E. Analysing grid-level effects of photovoltaic self-consumption using a stochastic bottom-up model of prosumer systems, *Energies*, Vol. 16, No. 7, pp. 3059, 2023.
<https://doi.org/10.3390/en16073059>
- [14] Jiang, A., Yuan, H., Li, D. Energy management for a community-level integrated energy system with photovoltaic prosumers based on bargaining theory, *Energy*, Vol. 225, 120272, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120272>
- [15] Valentine Software PV Sol Premium 2022. <https://valentin-software.com/en/tag/pvsol-premium-2022/> [pristupljeno 15.01.2024]

AUTORI/AUTHORS

Marko Đurović, - master maš.inž, IMP Projekt Inženjering, marko.djurovic@impprojekt.com, ORCID [0009-0001-7461-8044](https://orcid.org/0009-0001-7461-8044)
Arsenije Ćirić - master maš.inž., IMP Projekt Inženjering, arsenije.ciric@impprojekt.com
Željko V. Despotović- PhD E.E., Univerzitet u Beogradu, Institut "M.Pupin", zeljko.despotovic@pupin.rs, ORCID [0000-0003-2977-6710](https://orcid.org/0000-0003-2977-6710) (autor za korespondenciju)

Design and Realization of a Photovoltaic Power Plant with an Output Power of 1500 kW on the Roof of the "Flash" - Apatin Factory

Abstract – The paper presents the realization of a photovoltaic power plant with an output power of 1500 kW on the roof of the "Flash" factory hall in Apatin, Serbia. The solar power plant is connected to the LV bus-bars in the 20/0.4 kV 1600 kVA transformer station and supplies the factory's consumers through them. In periods when there is not enough solar insolation, the power of consumers in the factory is realized from the power grid. The solar power plant contains 3780 mono-crystalline photovoltaic panels, each with a power of 455 W. The roof surface of the building faces southwest - northeast. Photovoltaic panels are installed on the roof surface of the production hall with the administrative part. The specificity of the roof structure composed of two units (a roof with roof slopes and a flat roof) caused a series of design solutions that will be presented in more detail in the paper. The paper also shows the disposition of DC/AC power converters-inverters and their mutual communication, as well as the system for monitoring output parameters (voltage, current, power) and the quality of electricity delivery to consumers in the factory.

Index Terms – Solar power plants, RES, Prosumer, Inverter, PV modules