

Analiza isplativosti izgradnje solarne elektrane na krovu industrijskog objekta

Bojan Lazić, Predrag Mršić, Čedomir Zeljković

Univerzitet u Banjoj Luci, Elektrotehnički fakultet, Banja Luka, Republika Srpska
bojan.lazic@student.etf.unibl.org, predrag.mrsic@etf.unibl.org, cedomir.zeljkovic@etf.unibl.org

Sažetak—U ovom radu se razmatra mogućnost izgradnje male solarne elektrane (MSE) na krovu industrijskog objekta. Analizira se ekonomska isplativost investicije za tri različita načina korišćenja proizvedene električne energije: (1) proizvedena električna energija se koristi isključivo za vlastite potrebe i ni u jednom trenutku se ne isporučuje u mrežu; (2) kompletna proizvedena električna energija se isporučuje u mrežu; i (3) proizvedena električna energija se prvenstveno koristi za vlastite potrebe, a višak se isporučuje u mrežu. Takođe, u radu su detaljno opisane mogućnosti priključenja MSE u zavisnosti od načina korišćenja proizvedene električne energije. U prvom dijelu rada, uz pomoć softverskog paketa *PVSol*, generisani su dijagrami potrošnje analiziranog objekta kao i procjene proizvodnje električne energije MSE za više varijanti instalisane snage MSE. Na osnovu dobijenih rezultata izvršen je izbor optimalne snage MSE tako da se maksimizuje profit tokom procijenjenog životnog vijeka, u skladu sa različitim načinom korišćenja proizvedene električne energije.

Ključne riječi—*mala solarna elektrana (MSE); PVSol; električna energija; instalisana snaga; ekonomska analiza.*

I. UVOD

Veliki porast proizvodnih kapaciteta fotonaponskih modula i energetske pretvarača, posebno u Kini, i veliki pad cijena materijala za proizvodnju modula i pretvarača doveo je do značajnog smanjenja troškova izgradnje solarnih elektrana, što je učinilo solarnu energiju pristupačnijom nego ikada [1]. Broj elektrana koje se grade na krovovima su u stalnom porastu od 2018. godine. Veća cijena električne energije i manji troškovi izgradnje solarne elektrane izazvali su porast broja solarnih elektrana koje se koriste za vlastitu potrošnju [2]. Neke od prednosti MSE kada se izgradi na krovu industrijskog objekta, a proizvedena električna energija se koristi za vlastite potrebe su [3]:

- smanjenje troškova napajanja električnom energijom;
- smanjenje emisije štetnih gasovita (CO_2) u procesu industrijske proizvodnje;
- solarni moduli imaju vijek trajanja koji je u većini slučajeva 25 godina, a tokom eksploatacije zahtijevaju minimalno održavanje;
- solarni moduli se postavljaju na krovnu površinu koja je slobodna i neiskorišćena, pa ne zauzimaju dodatan prostor u objektu ili u okolini objekta.

Za izradu gotovog proizvoda potrebni su energenti, materijali i rad u procesu proizvodnje. Cijena gotovog proizvoda zavisi od ulaznih energenata i materijala potrebnog da se proizvod napravi. U Republici Srpskoj cijena električne energije

za privredu je u stalnom porastu. Na cijenu gotovog proizvoda utiče i cijena električne energije koja se koristi u procesu proizvodnje kao ulazni energent. Da bi se održala konkurentnost na tržištu proizvođači su primorani da investiraju u mehanizme koji će smanjiti cijene ulaznih energenata. Da bi se smanjila cijena električne energije, kao ulaznog energenta u procesu proizvodnje, kompanije se odlučuju za izgradnju MSE na krovnim površinama industrijskih objekata. Krovne površine industrijskih objekata predstavljaju površine koje su u većini slučajeva neiskorišćene i maksimalno osunčane. Te površine sadrže veliki potencijal i pogodnosti za postavljanje fotonaponskih modula. Kod industrijskih objekata i skladišta krovna površina je obično velika i na nju se može izgraditi MSE snage od nekoliko desetaka kWp do nekoliko MWp. U Republici Srpskoj postoji veliko interesovanje za izgradnju MSE kako na zemlji tako i na krovnoj površini industrijskih i komercijalnih objekata. U zavisnosti od načina korišćenja proizvedene električne energije, MSE koja se izgradi na krovu industrijskog objekta može se povezati na elektroinstalacije samog objekta ili na elektrodistributivnu mrežu. Na osnovu pravilnika o uslovima za priključenje elektrana na elektrodistributivnu mrežu Republike Srpske definisane su šeme i načini priključenja MSE [4]. Postoje tri načina korišćenja proizvedene električne energije iz MSE izgrađene na krovu industrijskog ili komercijalnog objekta:

- I način: „zero feed in“ - gdje se proizvedena električna energija koristi isključivo za vlastite potrebe i ni u jednom trenutku energija se ne isporučuje u elektrodistributivnu mrežu.
- II način: „feed in“ - gdje se kompletna proizvedena električna energija isporučuje u elektrodistributivnu mrežu i prodaje po tržišnoj cijeni ili po garantovanoj otkupnoj cijeni [5].
- III način: „kupac-proizvođač sa isporukom viška proizvedene električne energije u mrežu“ - gdje se proizvedena električna energija prvenstveno koristi za vlastite potrebe, a višak se isporučuje u elektrodistributivnu mrežu i prodaje po ugovorenoj cijeni [6].

Načini priključenja MSE zavise od načina korišćenja proizvedene električne energije. Kada se energija koristi na I način MSE se povezuje na elektroinstalacije objekta ili na trafostanicu koja je u vlasništvu kompanije. Kada se energija koristi na II način MSE se priključuje na trafostanicu koja je u vlasništvu elektrodistributivnog preduzeća. Ako je za potrebe priključenja MSE potrebno izgraditi novu

trafostanicu, koja će biti u vlasništvu elektrodistributivnog preduzeća, troškove izgradnje finansira investitor koji gradi MSE. Kada se proizvedena energija koristi na *III način* MSE se povezuje na trafostanicu koja je u vlasništvu investitora ili na elektroinstalacije objekta neposredno poslije mjernog mjesta posmatrajući od strane elektrodistributivne mreže. Za povezivanje elektrane na *II i III način* potrebna je saglasnost elektrodistributivnog preduzeća da bi se energija mogla isporučivati u elektrodistributivnu mrežu [7]. U određenim dijelovima Republike Srpske, zbog već izgrađenih i povezanih elektrana, ne mogu se povezati nove elektrane, odnosno ne može se isporučivati električna energija u mrežu. Prema tome, jedina mogućnost povezivanja MSE je na trafostanicu koja je u vlasništvu investitora ili na električne instalacije objekta, s tim da se energija koristi na *I način*.

U ovom radu analizirana je mogućnost izgradnje MSE na krovu industrijskog objekta i analizirana je njena ekonomska isplativost, u zavisnosti od načina korišćenja proizvedene električne energije. Razmatrani objekat se nalazi u proizvodnom kompleksu kompanije koja se bavi preradom drveta i proizvodnjom gotovih proizvoda od drveta. Kompanija je smještena u banjalučkoj regiji. Analizirani objekat je zakrenut u odnosu na jug za 15° prema zapadu, a krovne strane su pod uglom od 7° u odnosu na horizontalnu površinu. Jedna strana krova je orijentisana prema jugozapadu za 15° u odnosu na jug, dok je druga strana krova orijentisana prema sjeveroistoku za 165° u odnosu na jug. Ukupna krovna površina pogodna za postavljanje fotonaponskih modula je 1500 m^2 . Na pomenutu krovnu površinu maksimalno može da se postavi 516 fotonaponskih modula pojedinačne snage 640 Wp . Instalirane snage MSE koje su analizirane u ovom radu su: 50 kWp , 75 kWp , 100 kWp , 150 kWp , 200 kWp , 250 kWp , 300 kWp , uzimajući u obzir da se prilikom postavljanja modula prvo popunjava strana koja je jugozapadno orijentisana.

II. METODOLOGIJA PRORAČUNA

Proizvodni kompleks analizirane kompanije je u 2024. godini potrošio je $837\,204 \text{ kWh}$ električne energije. U Republici Srpskoj krajni korisnik, pored energije, plaća i prenosnu mrežarinu, distributivnu mrežarinu kao i naknadu za obnovljive izvore električne energije (OIEE). Cijene pomenutih stavki zavise od manjih dnevnih tarifnih stavova (MT) i od viših dnevnih tarifnih stavova (VT). MT primjenjuju se u vremenu od 22:00 do 6:00 časova za zimsko računanje vremena, odnosno od 23:00 do 7:00 časova za ljetno računanje vremena i u dane vikenda neprekidno od petka u 22:00 (23:00) do ponedjeljka u 6:00 (7:00) časova [8]. U zavisnosti kojoj kategoriji potrošnje pripada krajnji kupac, različite su cijene energije, prenosne i distributivne mrežarine. Za 2025. godinu, te cijene su prikazane u tabeli I. Prikazane vrijednosti u tabeli I ne sadrže porez na dodatu vrijednost (PDV). U odnosu na 2024. godinu, u 2025. godini došlo je do rasta cijene električne energije, a cijene prenosne mrežarine, distributivne mrežarine i naknade za OIEE su ostale iste. Za analizirani industrijski objekat cijena električne energije je porasla sa $0,1478 \text{ KM/kWh}$ na $0,1706 \text{ KM/kWh}$ za vrijeme VT, odnosno sa $0,0985 \text{ KM/kWh}$ na $0,1137 \text{ KM/kWh}$ za vrijeme MT.

TABELA I. CIJENE ENERGIJE, PRENOSNE MREŽARINE, DISTRIBUTIVNE MREŽARINE I NAKNADE ZA OIEE ZA 2025. GODINU

	Energija [KM/kWh]	Prenosna mrežarina [KM/kWh]	Distributivna mrežarina [KM/kWh]	Naknada za OIEE [KM/kWh]	Ukupno [KM/kWh]
$C_{P,VT}$	0,1706	0,0192	0,0043	0,0007	0,1948
$C_{P,MT}$	0,1137	0,0096	0,0021	0,0007	0,1261
$C_{Q,VT}$	-	-	0,0361	-	0,0361
$C_{Q,MT}$	-	-	-	-	-
C_{OS}	-	1,0744	9,7499	-	10,8243

U tabeli I data je ukupna cijena $C_{P,VT}$ koja je jednaka zbiru cijene aktivne energije, mrežarine i naknade za OIEE za vrijeme VT, ukupna cijena $C_{P,MT}$ koja je jednaka zbiru cijene aktivne energije, mrežarine i naknade za OIEE za vrijeme MT, ukupna cijena $C_{Q,VT}$ koja je jednaka cijeni distributivne mrežarine reaktivne energije za vrijeme VT i ukupna cijena obračunske snage C_{OS} koja je jednaka zbiru cijene obračunske snage prenosne i distributivne mrežarine. Ukupni troškovi električne energije $T_{E,M}$ u toku jednog obračunskog perioda, koji je najčešće jedan mjesec, računaju se prema izrazu (1):

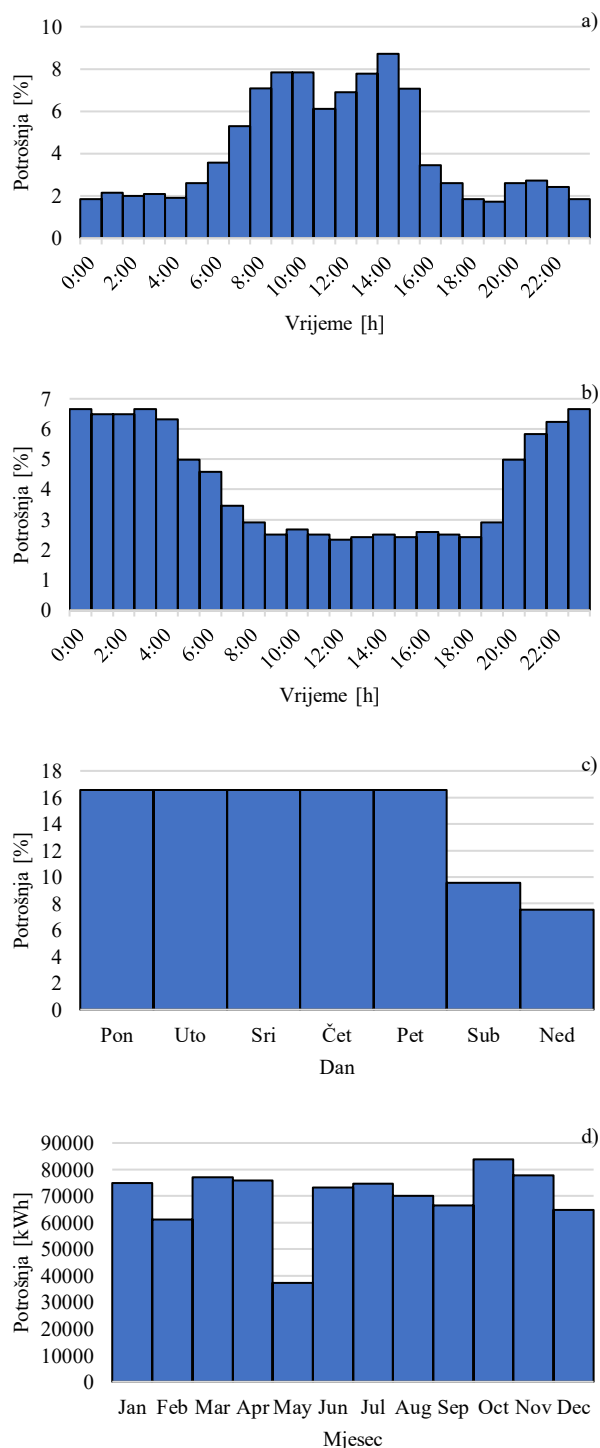
$$T_{E,M} = E_{P,VT} \cdot C_{P,VT} + E_{P,MT} \cdot C_{P,MT} + E_{Q,VT} \cdot C_{Q,VT} + P_{OS} \cdot C_{OS} \quad (1)$$

gdje je $E_{P,VT}$ aktivna energija koja se koristi za vrijeme VT, $E_{P,MT}$ aktivna energija koja se koristi za vrijeme MT, $E_{Q,VT}$ reaktivna energija koja se koristi za vrijeme VT i P_{OS} obračunska snaga. Obračunska snaga P_{OS} je tarifni element u kojem se mjeri i izražava proizvodni, prenosni i distributivni kapacitet, potreban da se podmiri maksimalno opterećenje kupca u svakom trenutku tokom obračunskog perioda [7].

A. Modelovanje potrošnje

Na osnovu dostupnih računa za utrošenu električnu energiju posmatranog objekta, korišćenjem softverskog paketa *PVSol* dobijeni su dnevni, sedmični i mjesečni profili potrošnje. *PVSol* u svojoj bazi posjeduje profile potrošnje za različite vrste potrošača i objekata, a mogu se unijeti i novi profili potrošnje. Za potrebe ovog rada, sa računa za električnu energiju, očitane su ukupne vrijednosti utrošene električne energije za svaki mjesec i te vrijednosti su unesene u *PVSol* na osnovu kojih je dobijena srednja mjesečna potrošnja. Poznajući da u analiziranom objektu proizvodni pogoni rade pet dana u sedmici, u *PVSol* su uneseni procenti potrošnje svakog dana u sedmici i dobijena je srednja sedmična potrošnja. Na osnovu toga što u objektu postoje potrošači koji rade 24 h pet dana u sedmici i toga što proizvodni pogoni rade u prvoj smjeni od 7:00 do 15:00 časova, u *PVSol* su unesena procentualna srednja opterećenja na satnom nivou u toku dana. Uneseni procenti potrošnje izračunati su na osnovu utrošene aktivne električne energije $E_{P,VT}$ i $E_{P,MT}$, i pomoću poznatog broja sati VT i MT za određeni mjesec. Na slici 1 prikazani su dnevne (za radni i neradni dan), sedmični i mjesečni profili potrošnje objekta, koji su usvojeni za dalju analizu. Procenti potrošnje energije u jednom satu označavaju koliki se dio energije troši u tom satu u odnosu na ukupnu energiju koja se troši u danu. Isto tako, procenti potrošnje energije u jednom danu označavaju

dio energije koja se troši u tom danu u odnosu na ukupnu energiju koja se troši u jednoj sedmici.



Sl. 1. Profili potrošnje objekta: (a) dnevni profil za radni dan, (b) dnevni profil za neradni dan, (c) sedmični profil, (d) mjesečni profil

B. Modelovanje proizvodnje MSE

U softverskom paketu *PVSol* modelovan je objekat dimenzija i orijentacije koja odgovara razmatranom objektu.

Na krov modela objekta postavljeni su modeli fotonaponskih modula i konfigurisane su fotonaponske elektrane instalisanih snaga $P_{in,DC}$: 50 kWp, 75 kWp, 100 kWp, 150 kWp, 200 kWp, 250 kWp, 300 kWp. *PVSol* estimira satne vrijednosti proizvodnje elektrane koristeći podatke za tipičnu meteorološku godinu. Takođe, uzima u obzir karakteristike, nagib i orijentaciju fotonaponskih modula, karakteristike i konfiguraciju invertora i uvažava gubitke u kablovima. U tabeli II data je mjesečna i godišnja proizvodnja električne energije analiziranih solarnih elektrana. Za pomenute elektrane fotonaponski moduli su prvo postavljani na stranu krova koja je orijentisana prema jugozapadu, a kada je ta strana krova popunjena, moduli su postavljani na stranu krova koja je orijentisana prema sjeveroistoku.

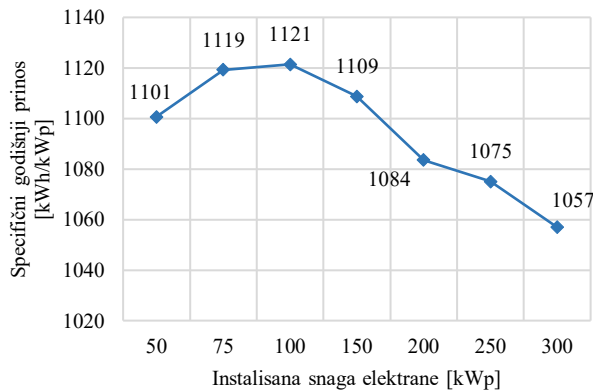
TABELA II. MJESEČNA PROIZVODNJA MSE DOBLJENA POMOĆU SIMULACIJE IZVRŠENE U SOFTVERU *PVSol*

	Proizvodnja [kWh]			
	50 kWp	75 kWp	100 kWp	150 kWp
Januar	2051	3127	4175	6193
Februar	2455	3740	4997	7412
Mart	4228	6446	8610	12770
April	5529	8429	11263	16705
Maj	6666	10170	13587	20148
Jun	6893	10517	14053	20838
Jul	7970	12165	16252	24098
Avgust	6628	10115	13514	20037
Septembar	5167	7881	10530	15616
Oktobar	3585	5466	7303	10831
Novembar	2144	3269	4365	6475
Decembar	1715	2616	3493	5180
Ukupno:	55032	83941	112143	166303

Proizvodnja [kWh]			
	200 kWp	250 kWp	300 kWp
Januar	7591	9052	10439
Februar	9447	11555	13537
Mart	16538	20432	24062
April	21928	27313	32311
Maj	26691	33436	39679
Jun	27724	34809	41358
Jul	31943	40038	47501
Avgust	26341	32845	38855
Septembar	20251	25037	29466
Oktobar	13820	16913	19792
Novembar	8109	9810	11413
Decembar	6322	7519	8673
Ukupno:	216706	268758	317085

Specifični godišnji prinos K_{spe} predstavlja količinu energije koju fotonaponska elektrana proizvodi za svaki instalisani kWp u toku jedne godine, uzimajući u obzir lokaciju, orijentaciju i nagib fotonaponskih modula elektrane. Na slici 2 prikazan je specifični godišnji prinos za analizirane MSE. Kada se poveća broj modula postavljenih na stranu krova koja je orijentisana prema sjeveroistoku K_{spec} se smanjuje. To smanjenje nije veliko zbog relativno malog nagiba krovne površine. Za ovako konfigurisane elektrane K_{spec} se kreće od 1057 kWh/kWp do 1121 kWh/kWp. Ukupna godišnja proizvodnja MSE može se predstaviti izrazom:

$$E_{Pr,g} = P_{in,DC} \cdot K_{spec} \quad (2)$$



Sl. 2. Specifični godišnji prinos analiziranih MSE

C. Modelovanje troškova izgradnje MSE

Troškovi izgradnje MSE su potrebni za ekonomski proračun. Način priključenja MSE i način korišćenja proizvedene energije značajno utiču na vrijednost troškova izgradnje. Na pomenute troškove utiče i snaga elektrane. Troškovi izgradnje MSE T_i mogu se predstaviti sljedećim izrazom:

$$T_i = T_{izg} + T_{Pd,D} + T_{TS} \quad (3)$$

gdje je T_{izg} trošak opreme, montaže i povezivanja MSE, koji se računa kao proizvod jedinične cijene izgradnje c_{izg} i instalisane snage $P_{in,DC}$; $T_{Pd,D}$ trošak izrade projektne dokumentacije i ishodovanja saglasnosti i dozvola; T_{TS} su troškovi ulaganja vezani za trafostanicu na koju se planira priključiti MSE. Jedinična cijena izgradnje c_{izg} zavisi od $P_{in,DC}$, što je $P_{in,DC}$ veće manja je c_{izg} . Takođe, kada se proizvedena energija koristi na *I način* jedinična cijena izgradnje je manja nego kada se energija koristi na *II* i *III način*. Kada se energija koristi na koristi na *II* i *III način* $T_{Pd,D}$ je veće nego za *I način* korišćenja energije zato što nije potrebno ishodovati dozvole i saglasnosti, a radovi izgradnje se definišu kao nadogradnja postojeće elektroinstalacije objekta. Za *I način* korišćenja energije T_{TS} je jednako nuli, zato što se MSE priključuje na postojeće elektroinstalacije objekta. Analizirani proizvodni kompleks u svom vlasništvu posjeduje trafostanicu nominalne snage 630 kVA, da bi se ostvario *II način* korišćenja energije potrebna je izgradnja nove trafostanice. Za *III način* korišćenja energije potrebno je uraditi rekonstrukciju dijela trafostanice da bi se mogao vršiti obračun preuzete i predate energije na osnovu standardne šeme snabdijevanja [6]. Vrijednost troška T_{TS} je veća kada se energija koristi na *II način* nego kada se energija koristi na *III način*, zato što je potrebno izgraditi novu trafostanicu što predstavlja veći trošak nego kada se rekonstruiše postojeća trafostanica. Bitno je napomenuti da prilikom izgradnje MSE instalisane snage 300 kWp zbog kraćeg vremena potrebnog za ishodovanje dozvola i saglasnosti u većini slučajeva rade se dvije elektrane instalisane snage 150 kWp i rade se dva seta projektno-

tehničke dokumentacije [9]. Za elektrane instalisane snage preko 150 kWp dozvolu za građenje izdaje nadležno ministarstvo što zahtijeva veće novčane troškove i duže vrijeme ishodovanje dozvole. Kada se grade dvije elektrane po 150 kWp polovina panela jedne elektrane postavlja se na jugozapadnu stranu krova, a druga polovina panela na sjeveroistočnu stranu krova. U ovom radu nije razmatrana opcija realizacije modularnih MSE osnovnih snaga 50, 75, 100, 150 kWp ili njihovih kombinacija iz razloga što jedinični trošak izgradnje MSE opada sa porastom instalisane snage MSE.

D. Proračun

Jedan od najjednostavnijih indikatora isplativosti investicije je prosti period otplate *SPP* (eng. *Simple Payback Period*) U izrazu za računanje prostog perioda otplate investicije figurišu samo dvije promjenljive [10]:

$$SPP = \frac{\text{Vrijednost ukupne investicije}}{\text{Godišnja dobit}} \quad (4)$$

Na prosti period otplate izgradnje MSE utiče više faktora kao što su: način finansiranja izgradnje, troškovi izgradnje, način korišćenja proizvedene električne energije, cijena po kojoj se prodaje električna energija itd. Ako se izgradnja finansira iz vlastitih sredstava rok otplate je manji zato što se ne plaćaju troškovi obrade kredita i kamate. Što je veći trošak izgradnje to je duži period otplate investicije, a ako je cijena po kojoj se proizvedena energija prodaje veća to je kraći period otplate investicije. Ukupna godišnja proizvedena električna energija predstavlja zbir energije koja se proizvodi u svakom satu godine i može se odrediti pomoću izraza:

$$E_{Pr,g} = \sum_{h=1}^{8760} E_{Pr}(h) \quad (5)$$

gdje je h čas u godini. Takođe, ukupna godišnja potrošnja objekta $E_{Po,g}$ može se predstaviti sličnim izrazom:

$$E_{Po,g} = \sum_{h=1}^{8760} E_{Po}(h) \quad (6)$$

U slučaju kada je potrošnja objekta veća od proizvodnje elektrane dolazi do potrebe preuzimanja energije iz mreže. Ukupna energija koja se preuzme iz mreže $E_{Po,M,g}$, na nivou godine, data je izrazom:

$$E_{Po,M,g} = \sum_t (E_{Po}(t) - E_{Pr}(t)) \quad (7)$$

gdje je t čas u godini kada je potrošnja objekta veća od proizvodnje elektrane. U tom slučaju za svako t vrijedi:

$$E_{Po}(t) - E_{Pr}(t) > 0 \quad (8)$$

U slučaju kada je potrošnja objekta manja od proizvodnje elektrane dolazi do potrebe za isporukom energije u mrežu ili do ograničenja snage invertora. Ukupna energija koju

proizvodi MSE, a koja se isporučuje u mrežu $E_{Pr,M,g}$, ili koja se gubi prilikom ograničavanja rada invertora, na nivou godine, data je izrazom:

$$E_{Pr,M,g} = \sum_{k=1}^{8760} E_{Pr}(k) - E_{Po}(k) \quad (9)$$

dok je ukupna energija koju proizvodi MSE, a koja se koristi za napajanje potrošača objekta $E_{Pr,K,g}$, data izrazom:

$$E_{Pr,K,g} = \sum_{k=1}^{8760} E_{Po}(k) \quad (10)$$

gdje je k čas u godini kada je potrošnja objekta manja ili jednaka proizvodnji elektrane. U tom slučaju za svako k vrijedi:

$$E_{Pr}(k) - E_{Po}(k) \geq 0 \quad (11)$$

Kada MSE proizvodi manje energije nego što objekat troši sva proizvedena energija se koristi za potrošnju, a dodatna energija se preuzima iz mreže. Sa druge strane, kada MSE može da proizvodi više energije nego što objekat troši izlazna snaga invertora se ograničava na snagu objekta i dolazi do ograničavanja snage invertora pa se ne koristi sva raspoloživa energija. Energija koja se ne koristi može se skladištiti u akumulatorske baterije, to nije analizirano u ovom radu zbog relativno visokih cijena baterija. Ovaj slučaj je karakterističan za *I način* korišćenja energije. Kada se energija proizvedena iz MSE koristi na *I način* ukupna korisna energija $E_{Pr,K,g}$ data je izrazom (10). U zavisnosti od dana u sedmici i perioda u danu kada se energija $E_{Pr,K,g}$ troši za napajanje potrošača, ista se može predstaviti izrazom:

$$E_{Pr,K,g} = E_{Pr,K,VT,g} + E_{Pr,K,MT,g} \quad (12)$$

gdje je $E_{Pr,K,VT,g}$ energija koja se koristi u periodu viših dnevnih tarifnih stavova, a $E_{Pr,K,MT,g}$ energija koja se koristi u periodu manjih dnevnih tarifnih stavova tokom čitave godine.

Za *I način* korišćenja proizvedene energije prosti period otplate SPP_I investicije dat je izrazom:

$$SPP_I = \frac{T_{i,I}}{(E_{Pr,K,VT,g} \cdot C_{P,VT} + E_{Pr,K,MT,g} \cdot C_{P,MT}) - T_{od}} \quad (13)$$

gdje je $T_{i,I}$ ukupan trošak investicije, a T_{od} trošak održavanja na godišnjem nivou i iznosi oko 1% od ukupne investicije.

Kada se proizvedena energija koristi na *II način* sva proizvedena energija se predaje u elektrodistributivnu mrežu. Tu energiju je moguće prodavati u sistemu podsticaja po garantovanoj otkupnoj cijeni $C_{P,Pods}$ ili na slobodnom tržištu. U ovom radu pretpostavljeno je da se energije prodaje u sistemu podsticaja po garantovanoj otkupnoj cijeni koja trenutno iznosi 0,2019 KM/kWh [11]. Za *II način* korišćenja

proizvedene energije prosti period otplate investicije SPP_{II} dat je izrazom:

$$SPP_{II} = \frac{T_{i,II}}{E_{Pr,g} \cdot C_{P,Pods} - T_{od} - T_{bal}} \quad (14)$$

gdje je $T_{i,II}$ ukupan trošak investicije, T_{od} trošak održavanja na godišnjem nivou, a T_{bal} trošak balansiranja na godišnjem nivou i iznosi 0,016 KM/kWh isporučene električne energije u mrežu. Troškove balansiranja snosi investitor za elektrane instalisane snage veće od 150 kWp [7].

Kada se proizvedena energija koristi na *III način* energija $E_{Pr,M,g}$ se isporučuje u elektrodistributivnu mrežu i prodaje se po ugovorenoj cijeni $C_{P,U}$, a energija $E_{Pr,K,g}$ se koristi za potrebe proizvodnog kompleksa. U ovom radu pretpostavljeno je da je ugovorena cijena jednaka cijeni energije za vrijeme MT i trenutno iznosi 0,1137 KM/kWh. Za *III način* korišćenja proizvedene energije period otplate investicije dat je izrazom :

$$SPP_{III} = \frac{T_{i,III}}{(E_{Pr,K,VT,g} \cdot C_{P,VT} + E_{Pr,K,MT,g} \cdot C_{P,MT} + E_{Pr,M,g} \cdot C_{P,U}) - T_{od} - T_{bal}} \quad (15)$$

gdje je $T_{i,III}$ ukupan trošak investicije, T_{od} trošak održavanja na godišnjem nivou, a T_{bal} trošak balansiranja na godišnjem nivou.

III. REZULTATI

U tabeli III je data jedinična cijena izgradnje (T_j) jednog kWp za različite nivoe instalisane snage MSE, u zavisnosti od načina korišćenja proizvedene električne energije. Prikazani iznosi odnose se na slučaj finansiranja iz vlastitih sredstava. Procjena investicionih troškova zasnovana je na aktuelnim tržišnim cijenama izgradnje MSE u banjalučkoj regiji. Troškovi izgradnje, kao i načini investiranja, predstavljaju ključne faktore u donošenju odluke o izgradnji MSE. Iz prikazane tabele može se vidjeti da se jedinični troškovi investicije smanjuju sa rastom instalisane snage MSE. Ukupan trošak izgradnje MSE dobija se kao proizvod jediničnog troška i nominalne snage, za određenu instalisanu snagu MSE. Prikazane vrijednosti u tabeli III date su bez poreza na dodatnu vrijednost (PDV).

TABELA III. VRIJEDNOST INVESTICIJE IZGRADNJE MSE

$P_{in,DC}$	$T_{j,I}$ [KM/kWp]	$T_{j,II}$ [KM/kWp]	$T_{j,III}$ [KM/kWp]
50 kWp	1063	1243	1243
75 kWp	1035	1509	1167
100 kWp	1021	1429	1130
150 kWp	1006	1292	1092
200 kWp	960	1197	1056
250 kWp	956	1153	1040
300 kWp	953	1176	1053

Za različite vrijednosti instalisanih snaga MSE i načine korišćenja proizvedene električne energije, a prema izrazima (13), (14) i (15), izračunat je prosti period otplate investicije i dat je u tabeli IV. Na osnovu dobijenih rezultata može se vidjeti da je za analizirani slučaj, najkraći prosti period otplate za MSE instalisane snage 75 kWp čija se proizvedena energija koristi na *I način*. Taj period je 5,8 godina. Kada se energija koristi na *II način* najkraći prosti period otplate ja za MSE instalisane snage 50 kWp (6,1 godinu), a kada se energija koristi na *III način* najkraći prosti period otplate ja za MSE instalisane snage 150 kWp, odnosno 200 kWp (6,1 godinu). Karakterističan slučaj je za MSE instalisane snage od 150 kWp pa naviše gdje je prosti period otplate približno jednak za sva tri načina korišćenja proizvedene energije.

TABELA IV. PROSTI PERIOD OTPLATE INVESTITCIJE

$P_{m,DC}$	SPP_I [godina]	SPP_{II} [godina]	SPP_{III} [godina]
50 kWp	6,0	6,1	7,1
75 kWp	5,8	7,4	6,5
100 kWp	5,9	6,7	6,2
150 kWp	6,1	6,3	6,1
200 kWp	6,1	6,5	6,1
250 kWp	6,4	6,2	6,2
300 kWp	6,7	6,5	6,5

Dodatna analiza različitih opcija je izvršena računanjem jediničnog profita u periodu od 25 godina korišćenja MSE. U tabeli V prikazan je jedinični profit MSE u zavisnosti od instalisane snage i načina korišćenja energije. Prilikom ovog proračuna korišćene su trenutne cijene električne energije prikazane u tabeli I, trenutna garantovana otkupna cijena, a nije uzeta u obzir mogućnost rasta cijena električne energije za privredu. Ukupan profit u periodu od 25 godina jednak je proizvodu jediničnog profita i instalisane snage MSE. Kada se energija koristi na *I način* ukupan profit se odnosi na uštedu koja se ostvari smanjenjem troškova za električnu energiju u periodu od 25 godina. Kada se energija koristi na *II način* ukupan profit se dobija prodajom energije po garantovanoj otkupnoj cijeni u periodu od 15 godina i pod pretpostavkom da će se i dodatnih 10 godina prodavati po toj cijeni. Kada se energija koristi na *III način* ukupan profit se dobija kao zbir uštede smanjenja troškova električne energije i zarade od prodaje viška proizvedene električne energije po ugovorenoj cijeni.

TABELA V. JEDINIČNI PROFIT KORIŠĆENJA MSE U PERIODU OD 25 GODINA

$P_{m,DC}$	UP_I [KM/kWp]	UP_{II} [KM/kWp]	UP_{III} [KM/kWp]
50 kWp	3419	3979	3244
75 kWp	3435	3775	3416
100 kWp	3353	3937	3464
150 kWp	3150	3990	3438
200 kWp	2974	3547	3284
250 kWp	2811	3561	3219
300 kWp	2615	3437	3060

IV. ZAKLJUČAK

U radu je analizirana isplativost izgradnje MSE na krovu industrijskog objekta kompanije koja se bavi preradom

drveta i proizvodnjom gotovih proizvoda od drveta. U prvom dijelu rada opisani su mogući načini korišćenja proizvedene električne energije i opisani su mogući načini priključenja MSE u Republici Srpskoj. Pomoću softverskog paketa *PVSol* estimirana je satna, mjesečna i godišnja proizvodnja MSE i generisani su satni, sedmični i mjesečni profili potrošnje. Na osnovu poznatih tržišnih cijena izgradnje MSE, u banjalučkoj regiji, izračunati su jedinični troškovi izgradnje MSE u zavisnosti od instalisane snage MSE i načina korišćenja proizvedene električne energije. Takođe, izračunat je prosti period otplate investicije u zavisnosti od instalisane snage i načina korišćenja proizvedene električne energije. Dobijeni rezultati pokazuju da prosti period otplate zavisi od instalisane snage MSE i od načina korišćenja energije. Najkraći prosti period otplate se dobija za MSE instalisane snage 75 kWp kada se energija koristi na *I način*. U periodu od 25 godina, MSE instalisane snage 150 kWp donosi najveći jedinični profit kada se energija koristi na *II način*. Nakon izvršene analize može se zaključiti da i ako nema kapaciteta za priključenje elektrane na elektrodistributivnu mrežu, ekonomski isplativa investicija je izgradnja elektrane za vlastite potrebe. Kao dodatna analiza može se razmotriti opcija ugradnje akumulatorskih baterija za skladištenje neiskorištene električne energije, kada se izgradi elektrana za vlastite potrebe.

LITERATURA

- [1] SolarPower Europe [SPE], "Global Market Outlook For Solar Power 2024-2028," SPE Technical Report, Brussels, 2024.
- [2] IEA [International Energy Agency], Snapshot of Global Photovoltaic Markets 2024, Report IEA-PVPS T1-42:2024.
- [3] M. Grebski, A. Maryniak, "Benefits of installing a Photovoltaic Power-Generation System for a Warehouse Facility", 2020.
- [4] Pravilnik o uslovima za priključenje elektrana na elektro distributivnu mrežu Republike Srpske, MH „Elektroprivreda Republike Srpske“, novembar 2023.
- [5] Pravilnik o podsticanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije, „Regulatorna komisija za energetiku Republike Srpske“, Trebinje, septembar 2023.
- [6] Pravilnik o kupcima-proizvođačima električne energije „Regulatorna komisija za energetiku Republike Srpske“, Trebinje, avgust 2023.
- [7] Zakon o električnoj energiji Republike Srpske („Sl. Glasnik RS“, br. 68/2020)
- [8] Odluka o utvrđivanju tarifnih satova za korisnike distributivnih sistema u Republici Srpskoj, „Regulatorna komisija za energetiku Republike Srpske“, Trebinje, decembar 2022.
- [9] Zakon o uređenju prostora i građenju Republike Srpske („Sl. Glasnik RS“, br. 40/2013, 2/2015 - odluka US, 106/2015 i 3/2016 - ispr., 104/2018 - odluka US i 84/2019)
- [10] Č. Zeljković, „Obnovljivi izvori energije-Solarna energetika“, Univerzitet u Banjoj Luci, Akademska misao Banja Luka - Beograd, 2018.
- [11] Odluka o visini garantovanih otkupnih cijena i premija za električnu energiju proizvedenu iz obnovljivih izvora, „Regulatorna komisija za energetiku Republike Srpske“, Trebinje, jul 2022.

ABSTRACT

This paper explores the feasibility of installing a small solar power plant (SSPP) on the roof of an industrial facility. The economic viability of the investment is analyzed under three different usage scenarios for the generated electricity: (1) the electricity is used exclusively for the facility's own consumption, with no energy injected into the grid at any

time; (2) all generated electricity is injected into the grid; and (3) the electricity is primarily used for self-consumption, with any surplus delivered to the grid. Additionally, the paper provides a detailed description of the possible grid connection configurations for the SSPP, depending on the selected electricity usage scenario. In the initial part of the paper, consumption diagrams for the analyzed facility were generated using the PVSol software package, along with electricity production estimates for several installed capacity variants of the SSPP. Based on the obtained results, the optimal system size was selected to maximize profit over the estimated system lifetime, in accordance with the different electricity usage scenarios.

COST-EFFECTIVENESS OF INSTALLING A SOLAR POWER PLANT ON THE ROOF OF AN INDUSTRIAL FACILITY

Bojan Lazić, Predrag Mršić, Čedomir Zeljković