

# Tehno-ekonomska analiza instalacije OIE na javnom objektu

---

**Belik, Stefani**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:260107>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-26**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

**Sveučilišni studij**

**Tehno-ekonomska analiza instalacije OIE na javnom  
objektu**

**Završni rad**

**Stefani Belik**

**Osijek, 2022.**

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1. Zadatak završnog rada .....	1
<b>2. PREGLED PODRUČJA RADA</b> .....	<b>2</b>
<b>3. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE</b> .....	<b>4</b>
3.1. Klasifikacija obnovljivih izvora energije .....	4
3.2. Energija Sunčevog zračenja .....	4
3.3. Potencijal solarne energije u Hrvatskoj .....	5
3.4. Obnovljivi izvori energije na području Republike Hrvatske.....	6
<b>4. FOTONAPONSKI SUSTAVI</b> .....	<b>7</b>
4.1. Podjela fotonaponskih sustava .....	7
4.2. Princip rada fotonaponskih sustava .....	8
4.3. Utjecaj zasjenjivanja .....	9
4.4. Baterije u fotonaponskom sustavu-općenito.....	10
<b>5. PROJEKT INSTALACIJE INTEGRIRANE FOTONAPONSKE ELEKTRANE NA KROVU JAVNOG OBJEKTA</b> .....	<b>11</b>
5.1. Uvod.....	11
5.2. Programski paket za modeliranje.....	11
5.3. Modeliranje elektrane „Sportska dvorana“ .....	12
5.4. Konfiguracija fotonaponskih modula.....	15
5.5. Spajanje modula.....	15
5.6. Baterijske naprave u fotonaponskom sustavu.....	16
<b>6. EKONOMSKA ANALIZA</b> .....	<b>17</b>
6.1. Rezultati simulacije .....	20
<b>7. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>23</b>

<b>LITERATURA .....</b>	<b>24</b>
<b>SAŽETAK.....</b>	<b>26</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>26</b>
<b>ŽIVOTOPIS.....</b>	<b>27</b>

# **1. UVOD**

Obnovljivi izvori energije jedan su od najznačajnijih izvora energije suvremenog doba. U posljednjih nekoliko desetljeća potrebe za upotrebom energije sve su veće sa daljnjom tendencijom porasta stoga je i nastao poveći interes za dobivanjem i korištenjem energije iz obnovljivih izvora. U ovome radu proučavati će se prvenstveno energija dobivena Sunčevim zračenjem u svrhu smanjenja troškova koji nastaju korištenjem električne energije dobivene iz neobnovljivih izvora. Integracijom fotonaponskog sustava na krov javnog objekta koji je modeliran u programskom paketu PV-Sol Premium prikazati će se tehničke mogućnosti i ekonomska isplativost realizacije ovakvog projekta na stvarnom primjeru.

## **1.1. Zadatak završnog rada**

Zadatak završnoga rada je na osnovu dostupnih statističkih meteoroloških podataka na lokaciji javnog objekta odrediti tip i prikladnu poziciju instalacije male vjetroelektrane i/ili različitih tehnologija fotonaponskih sustava. Prikazati višegodišnju projekciju isplativosti usporedbom beneficija proizvodnje iz OIE i troškova njihove instalacije i održavanja instalacije prikladnih tehnologija fotonaponskih sustava.

## 2. PREGLED PODRUČJA RADA

Razvojem industrije i povećanjem broja stanovništva naše planete potreba za električnom energijom je porasla i dalje raste velikom brzinom. Izvori energije korišteni kroz povijest pa sve do novijeg doba nazivaju se neobnovljivi izvori jer njihova količina i dostupnost su ograničene prirodnim resursima. Obzirom na ograničenost neobnovljivih izvora energije ljudi su započeli koristiti obnovljive izvore kao naprimjer Sunce te nastavili usavršavati tehnologiju potrebnu za korištenje takvih izvora. Razvijene su različite tehnologije za iskorištavanje solarne energije a neka od najpoznatijih je svakako uporaba fotonaponskih panela.

Chandel, Agrawal, Sanjay Mathur i Anuj Mathur imali su za cilj analizirati potencijal i isplativost solarne fotonaponske elektrane koja bi bila integrirana za energetske potrebe konfekcijske zone. Procijenjena energetska potreba za 2011. godinu bila je 2.21 MW te je predložen dizajn solarne elektrane instalirane snage 2.5 MW za što su procijenili da bi bilo potrebno oko 13 hektara površine što nije bilo moguće realizirati zbog velike cijene zemljišta na toj lokaciji u to vrijeme. Stoga se razmišljalo i o gradnji van planirane lokacije što prema analizi vremena povrata uložениh sredstava podupire ideju mogućnosti gradnje. Vrijeme povrata za gradnju na planiranoj lokaciji je 7.73 godine a za gradnju izvan planirane lokacije 6.29 godina. [1]

Ali Naci Celik u [2], sa projektom fotonaponske kuće koja bi imala fotonapon kao glavni izvor energije, hipotetski je dizajnirao takav objekt za procjenu tehno-ekonomske izvedivosti fotonaponskih sustava spojenih na mrežu u Turskoj. Električna energija iz mreže koristi se kada fotonaponski sustav ne zadovolji potrebnu električnu energiju. Učinkovitost fotonaponskog sustava simulira se na satnoj osnovi kako bi se odredila razina autonomije, koristeći podatke o solarnom zračenju Ankare duge jednogodišnje vremenske serije dobivene od Turske državne meteorološke službe. Zatim se analiziraju neke kombinacije fotonaponske energije i električne mreže s različitim omjerima otkupa.

Hussein A., KazemTamer i Khatib u svom istraživanju [3] predstavili su tehno-ekonomsku metodologiju za procjenu produktivnosti fotonaponskog (FN) sustava spojenog na mrežu na mjestu u Omanu zvanom Sohar. Metodologija se temelji na tri čimbenika, a to su faktor kapaciteta,

faktor prinosa i cijena energije. Analiza se provodi softverom MATLAB koristeći meteorološke podatke po satu i model za fotonaponski sustav spojen na mrežu. Analizom dobivenih meteoroloških podataka utvrđeno je da prosječna dnevna sunčeva energija u zoni Sohar iznosi 6,182 kWh/m<sup>2</sup> dan. Rezultati procjene pokazuju da je ulaganje u FN tehnologiju vrlo obećavajuće na ovoj lokaciji, dok je godišnji faktor prinosa sustava 1696,6 kWh/kWp.

Ciprian i Maria Cristea; Iulian Birou; Radu-Adrian Tirnovan su u svome radu [4] imali za cilj procijeniti s tehničkog i ekonomskog gledišta održivost krovnog solarnog fotonaponskog sustava spojenog na mrežu u kombinaciji s nekoliko baterijskih sustava za pohranu energije za prebivalište u Rumunjskoj. Dobiveni rezultati pokazali su da uglavnom zbog trenutnih troškova skladištenja energije i fotonaponskih sustava, ugradnja sustava baterijskog skladištenja energije zajedno s fotonaponskim sustavom može biti isplativa samo ako se unaprijed dodijele subvencije.

M. Kucelj predstavio je u [5] projekt integracije fotonaponske elektrane na zgradu FERITA u Osijeku, u okviru projekta pod nazivom Rescue. Pripadne simulacije su odrađene u programskom paketu PV-Sol Premium te je objekt modeliran u 3-D obliku. U radu je prikazana analiza za integraciju elektrane sa i bez baterijskog sustava te je dokazana isplativost ovisno o troškovima i dodatnim subvencijama. Vrijeme povratka uloženog kapitala varira od 9 do 19 godina.

### **3. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE**

#### **3.1. Klasifikacija obnovljivih izvora energije**

Energija se u prirodi, svuda oko nas pojavljuje u raznolikim oblicima, općenito se prema [6] dijeli na „primarne, transformirane i korisne oblike energije. Primarni oblici energije se nalaze u prirodi, a mogu se svrstati u konvencionalne i nekonvencionalne oblike energije. U konvencionalne oblike energije se ubrajaju ugljen, sirova nafta, prirodni plin i nuklearna goriva.“ Nekonvencionalni oblici energije se prema [7] definiraju kao „obnovljivi nefosilni izvori energije (aerothermalna, energija iz biomase, energija mora, energija vjetra, hidropotencijala, geothermalna i hidrothermalna energija, plina iz deponija otpada, plina iz postrojenja za obradu otpadnih voda i bioplina, sunčeva energija).“ Bitne i specifične razlike između konvencionalnih i nekonvencionalnih izvora energije najviše se odnose kako se navodi u [8] na razlike „u konstantnosti, mogućnosti uskladištenja i transporta, a i u pogledu investicija za izgradnju postrojenja i potrebnih troškova za njihov pogon i održavanje.“ Svojstva obnovljivih izvora energije uspoređuju se sa svojstvima neobnovljivih izvora energije te u odnosu na njih imaju poželjna, ali i nepoželjna svojstva. Svojstva koja su poželjna kod obnovljivih izvora energije su kako je navedeno u [6] „obnovljivost, potencijal, vlastita potrošnja, energija za pridobivanje, utjecaj na okoliš, moguća diverzifikacija i CO2 neutralnost, a pretežno neispunjena poželjna svojstva obnovljivih izvora energije su površinska distribucija, površinska gustoća, izvorno uskladištenje, prirodna oscilacija, nužnost rezerve, zauzimanje prostora, stupanj djelovanja i mogućnost kogeneracije.“

#### **3.2. Energija Sunčevog zračenja**

Pojam Sunčeve energije predstavlja svu energiju koja elektromagnetskim zračenjima iz svemira stigne na Zemlju. Sunce je neograničen i obnovljiv izvor energije te ono utječe svojim djelovanjem utječe i na druge izvore energije na Zemlji bili oni obnovljivi ili neobnovljivi. Energija koja već spomenutim elektromagnetskim zračenjem stigne iz svemira nastaje nuklearnom reakcijom fuzije kojem se element vodik pretvara u helij uz oslobađanje velikih količina energije. [7] Prema izvoru [8] „snaga Sunčevog zračenja iznosi oko  $3,8 \cdot 10^{23}$  kW od čega do površine Zemlje dolazi  $1,75 \cdot 10^{14}$  kW ili  $1,53 \cdot 10^{18}$  kWh/god.“

Dvije karakteristike vezane uz Sunčevo zračenje su :

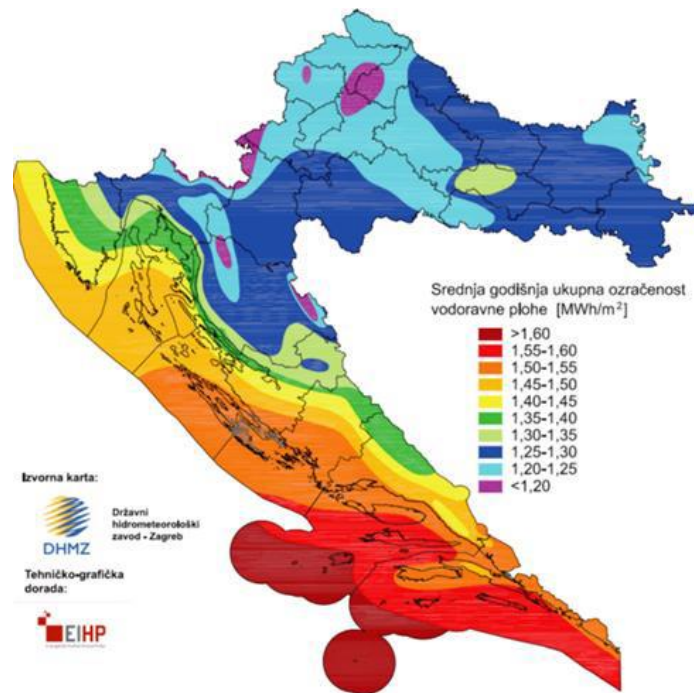


- „Ozračenje (iradijancija) je gustoća energetskog toka Sunčevog zračenja i jednaka je omjeru energetskog toka Sunčevog zračenja i površine plohe okomite na smjer tog zračenja. Jedinica za ozračenja je vat po četvornom metru ( $W/m^2$ ).“[9]
- „Ozračenost (iradijacija) je gustoća dozračene energije koja u promatranom vremenu upadne na jediničnu površinu plohe. Jedinica za ozračenost je vat sat po četvornom metru ( $Wh/m^2$ ).“[9]

Prema izvoru [10] „Prilikom prolaza kroz Zemljinu atmosferu Sunčevo zračenje slabi zbog atmosferskih utjecaja i međudjelovanja s molekulama plinova, česticama vodene pare i prašine i do površine tla dolazi kao izravno (direktno) Sunčevo zračenje, raspršeno (difuzno) i odbijeno (reflektirano). Sunčevo zračenje na gornjoj granici Zemljine atmosfere naziva se ekstraterestričko zračenje i mijenja se tijekom godine zbog promjene udaljenosti Zemlje od Sunca.“ Kako se navodi u [11] „najmanja vrijednost ekstraterestričkog zračenja iznosi  $1321 W/m^2$ , a najveća  $1412 W/m^2$ .“ Srednja vrijednost Sunčevog zračenja iznosi oko  $1367 W/m^2$ , a ukupna snaga upadnog Sunčevog zračenja ovisi o duljini puta Sunčevih zraka kroz atmosferu.

### **3.3. Potencijal solarne energije u Hrvatskoj**

Solarna energija dobivena Sunčevim zračenjem u Hrvatskoj se najvećim dijelom iskorištava u vidu fotonaponskih elektrana. Republika Hrvatska prema geografskom položaju posjeduje izuzetni potencijal razvoja proizvodnje električne energije iz Sunčevog zračenja gledano u omjeru prosječne godišnje naoblake i osunčanosti. Najveći solarni potencijal dakako postoji na područjima uz Jadransku obalu no unatoč toj činjenici ta područja su trenutno još uvijek najslabije razvijena. Višegodišnji pokazatelji svjedoče o tome da je najsunčaniji dio Hrvatske najslabije iskorišten u vidu izgradnje fotonaponskih elektrana, a Republika Hrvatska je kao država među članicama Europske unije najslabija u proizvodnji električne energije iz obnovljivih izvora. Jedan od ograničavajućih faktora kod upotrebe obnovljivih izvora energije koji se često spominje jest zastarjelost infrastrukture distributerske mreže te mnogobrojni zakonski propisi i kvote koje iziskuju dodatno vrijeme i novac kod realizacije projekta. [12]



Slika 3.1. Srednja godišnja ozračenost [11]

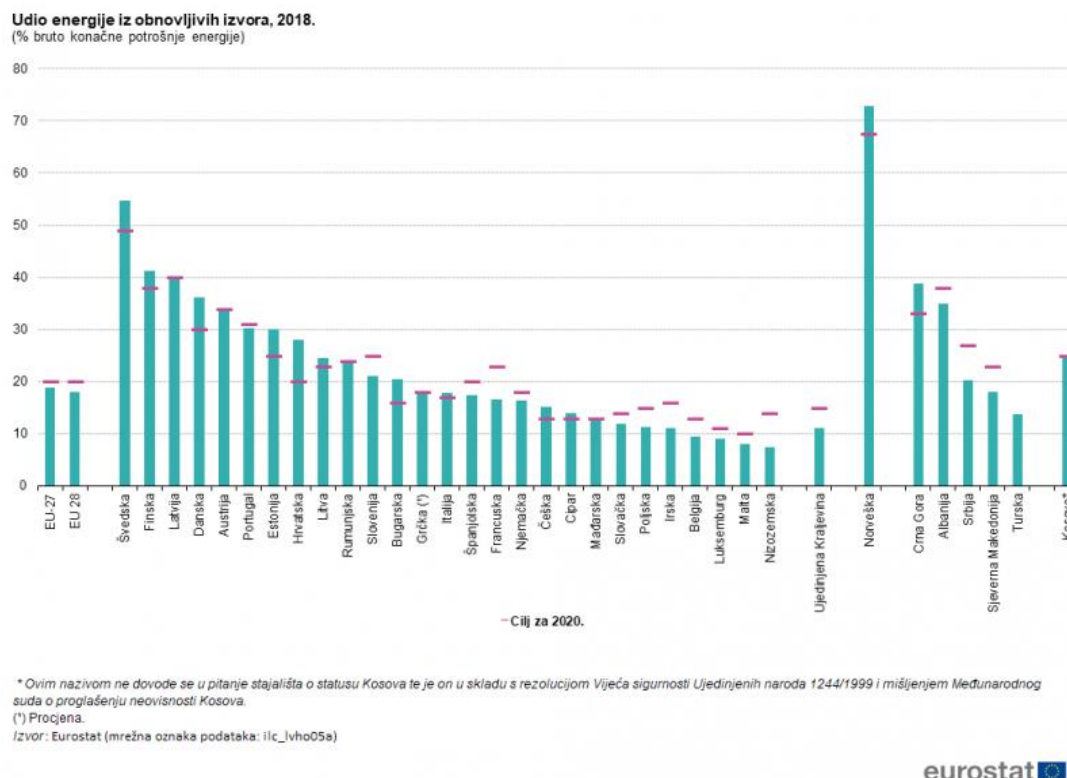
Prema karti na slici 3.1. vidljiva je srednja godišnja ozračenost koja je najizraženija na samom jugu hrvatskog primorja. Prema tome, razvoj fotonaponskih elektrana na tom području jest nužan i prijeko potreban upravo zbog dijelova koja imaju dobre uvjete poput otoka i poluotoka a pomoću izgradnje elektrane za proizvodnju struje i toplinske energije upravo ti dijelovi bi bili samodostatni i neovisni što bi svakako smanjilo troškove i probleme koje distribucija na takve lokacije čini.

### 3.4. Obnovljivi izvori energije na području Republike Hrvatske

Prema [13] „Republika Hrvatska se, kao članica Europske unije, obvezala na prihvaćanje europskog klimatsko-energetskog paketa koji podrazumijeva i Direktivu 2009/28/EZ o poticanju uporabe energije iz obnovljivih izvora. Prihvaćanjem direktive, Hrvatska je preuzela obvezu povećanja uporabe energije iz obnovljivih izvora, pri čemu je u 2020. godini udio energije iz obnovljivih izvora u bruto neposrednoj potrošnji trebao iznositi najmanje 20%, promatrano na razini EU. Strategija energetskog razvoja Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu predviđa znatno veći udjel proizvodnje energije iz obnovljivih izvora, veću energetske učinkovitost i smanjenje emisije stakleničkih plinova. U razdoblju do 2030. planirano je povećanje udjela obnovljivih izvora u odnosu na potrošnju na barem 32% s potencijalnim povećanjem do 36,4%, dok bi do 2050. taj udjel trebao iznositi 65%.“ Prema podacima iz 2021. godine prema udjelu

postrojenja najviše ima fotonaponskih elektrana 1228, zatim elektrana na biomasu 47, slijede elektrane na bioplin 42, vjetroelektrane 26, 15 hidroelektrana, 5 kogeneracijskih elektrana te po jedna geotermalna i elektrana na bioplin iz postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda. Ako bismo usporedili 2021. i 2019., godine za koje su dostupni podatci može se zaključiti da je zabilježen rast u slučaju elektrana na bioplin i biomasu te vjetroelektrana dok su kod ostalih zabilježeni padovi ili iste brojke. [14]

Na slici 3.4. vidljiv je udio ostvarene energije iz obnovljivih izvora te je crticom označen cilj za 2020. godinu za ostvarivanje udjela.



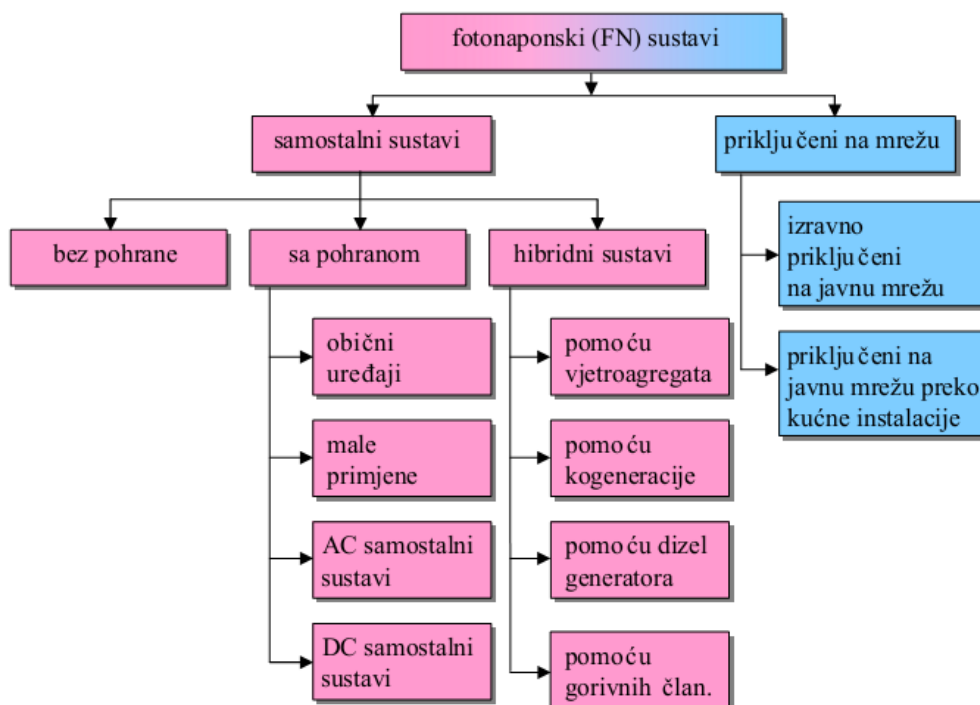
Slika 3.4. Udio energije iz obnovljivih izvora po zemljama Europe za 2018. godinu [10]

## 4. FOTONAPONSKI SUSTAVI

### 4.1. Podjela fotonaponskih sustava

Fotonaponski sustavi su sustavi sastavljeni od komponenti kao što su, fotonaponski moduli, pretvarači, baterije, instalacije i sva popratna oprema potrebna da bi sustav izvršavao svoju zadaću koja je pretvaranje Sunčeve energije izravno u električnu energiju. Prema [16] „fotonaponski sustavi (slika 4.1.) mogu se podijeliti na dvije osnovne skupine:

- Fotonaponski sustavi koji nisu priključeni na mrežu (samostalni sustavi)
- Fotonaponski sustavi priključeni na elektroenergetsku mrežu (izravno i preko kućne instalacije).“

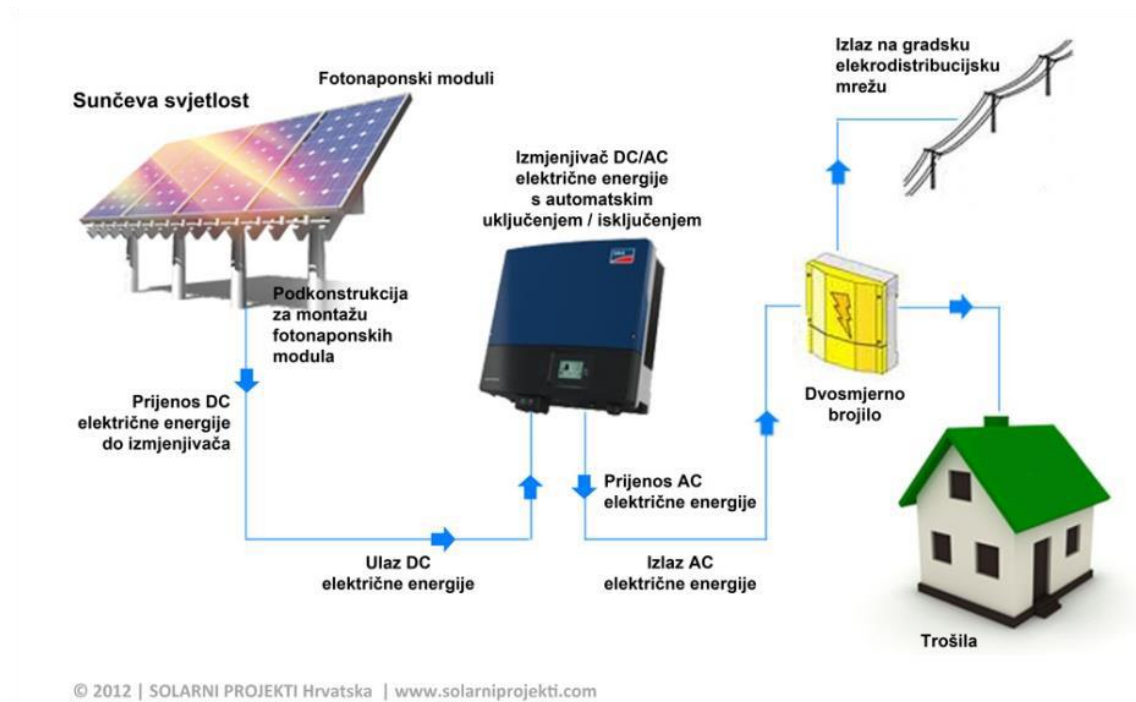


Slika 4.1. Podjela fotonaponskih sustava [16]

## 4.2. Princip rada fotonaponskih sustava

Princip rada fotonaponskih sustava zasniva se na pretvorbi Sunčeve svjetlosne energije koju Sunce pruža tijekom dana u električnu energiju. Sunčeve zrake odnosno fotoni u njima padaju na fotonaponski modul gdje počinje pretvorba. Fotonaponski modul sastoji se od više integriranih solarnih ćelija koje se međusobno mogu spojiti serijski, paralelno ili najčešće u paralelno – serijskoj kombinaciji kako bi se dobila određena snaga modula. „U solarnoj ćeliji sunčeva energija pretvara se u električnu energiju na principu fotonaponskog efekta. Prilikom pada na površinu solarne ćelije fotoni predaju svoju energiju panelu i na taj način izbijaju negativno nabijene elektrone iz atoma. Izbijeni elektroni kreću se prema drugoj (negativnoj) strani panela i na taj način dolazi do razlike potencijala, tj. generira se električna energija. Da bi se dobila određena snaga fotonaponskog sustava treba spojiti više fotonaponskih modula.“[17] Serijskim spajanjem modula, napon između pozitivnog i negativnog pola jednak je zbroju napona pojedinih modula. Kod paralelnog načina spajanja fotonaponskih modula ukupni napon jednak je naponu pojedinog modula, a ukupna struja jednaka je zbroju pojedinih modula.[17]

Na slici 4.2. prikazan je princip rada fotonaponskog sustava koji se sastoji od kućanstva kao trošila spojenog na mrežu, integriranih fotonaponskih modula koji putem izmjenjivača pretvaraju istosmjernu struju u izmjeničnu i dvotarifnog brojila.



Slika 4.2. Princip rada fotonaponskog sustava priključenog na javnu mrežu [17]

### 4.3. Utjecaj zasjenjivanja

Lokaciju za izgradnju fotonaponske elektrane potrebno je izabrati vrlo pažljivo jer mnoštvo sporednih građevina ili okolišne prirode mogu izvršiti toliki utjecaj da gradnja nema niti smisla niti isplativosti. Glavna karakteristika kod gradnje fotonaponske elektrane svakako je mogućnost orijentacije sjever-jug zbog što veće izloženosti Suncu tijekom cijelog dana, s tim kriterijem povećavamo broj sunčanih odnosno proizvodnih sati. Druga karakteristika, vrlo bitna za izdvojiti također bi bila okolina te elektrane, konkretno prirodno okruženje koje se odnosi na potencijalna visoka stabla ili zgrade koje bi mogle stvarati veliku sjenu konstantno. [18] Privremeno zasjenjivanje modula je česta pojava i nastaje zbog snijega, raznih nečistoća kao na primjer prašine nakon pustinjske kiše, oblaka i slično. Zasjenjivanje koje je kontinuirano povećava prihvatljive postotke zasjenjivanja panela i može uzrokovati velike gubitke u proizvodnji, skratiti vijek trajanja ili uništenje zasjenjene ćelije. Zasjenjivanja kao pojava su najprisutnija u vrijeme jeseni i zime kada povećana količina oborina u vidu kiše i snijega zbog godišnjeg doba mogu u potpunosti zakloniti Sunce odnosno smanjiti upadni kut zraka što za rezultat daje veću izduženost sjene te tada i prepreke koje inače nisu stvarale sjenu mogu prouzročiti dodatan problem. Na području Hrvatske uvjeti postavljanja fotonaponskih modula

koji se smatraju optimalnima su već spomenuta orijentacija sjever-jug i nagib u odnosu na plohu na kojoj se nalaze u odnosima:

- 50-60° za sustave koji su u pogonu cijele godine
- 10-15° za sustave koji rade samo po ljeti

Uvjeti u kojima su moduli zasjenjeni tijekom dana, najviše oko podneva nikako nisu prihvatljivi te taj sustav neće postići cilj proizvodnje stoga posebno treba paziti na odabir lokacije, kuta postavljanja i okoliša u krugu lokacije. [19]

#### **4.4. Baterije u fotonaponskom sustavu-općenito**

„Primjena fotonaponskih sustava u suvremeno doba je jako široka, od velikih solarnih elektrana, manjih elektrana na krovovima zgrada, brodova i letjelica sa solarnima panelima, do malih raznih sustava poput svjetlećih prometnih znakova. Baterije se obavezno koriste u autonomnom (off-grid) sustavu, ali se mogu koristiti i u on-grid sustavu kako bi još više smanjile trošak električne energije. Stoga je pravilan odabir baterija vrlo važan, jer razne baterije imaju razne energetske učinkovitosti, mogućnosti skladištenja i isplativosti.“ [20] Fotonaponski sustavi mogu funkcionirati bez baterije kao dodatne komponente no svakako treba staviti naglasak na činjenice da su baterije komponente koje ne samo pohranjuju električnu energiju nego ju i isporučuju. Baterije se dijele u grupe prema uporabljenom elektrokemijskom sustavu na temelju koje funkcioniraju.

Svakako bi bilo bitno istaknuti dvije vrste baterija u fotonaponskim sustavima koje se koriste. Jedna od vrsta jest olovna baterija s potopljenim ćelijama, ta vrsta baterija je najčešće korištena u fotonaponskim sustavima. Prednosti ove vrste su niska cijena, sigurnost i pouzdanost no uz navedeno posjeduje i nedostatke u vidu dimenzija, sklonosti koroziji te zahtijevaju dosta brige i pažnje kod održavanja. Druga vrsta baterije naziva se litij-ionska baterija. Ova vrsta je prema svim kriterijima najbolja, izvrsne performanse posjeduje, veliki kapacitet, dugo trajanje, sigurne, stabilne i lagane no nedostatak koji sprječava širu upotrebu ove vrste je svakako cijena koja može biti višestruku veća od naprimjer olovnih baterija ili nekih drugih. [21]

## **5. PROJEKT INSTALACIJE INTEGRIRANE FOTONAPONSKE ELEKTRANE NA KROVU JAVNOG OBJEKTA**

### **5.1. Uvod**

Za potrebe ovoga rada analizirati će se podaci o proizvodnji i potrošnji električne energije pri izgradnji fotonaponske elektrane modelirane na objektu javne namjene u programskom paketu PV-SOL Premium. Objekt je prikaz sportske dvorane koja u stvarnom svijetu ne postoji odnosno modeliranje nije izvršeno prema postojećem objektu. Prema analizi podataka o potrošnji u radu će se jasno iskazati brojčano postoji li financijska isplativost projekta instalacije fotonaponske elektrane ukupne instalirane snage 138 kW na ravni krov objekta koji je u ovom slučaju sportski objekt sa namjenom rekreativnog tipa, odnosno sportska dvorana. Objekt koji će se analizirati jest svakako specifičan po tome što postoji velika potencijalna površina krova koja je iskoristiva, potrošači električne energije nisu previše složeni no gotovo niti jedna od komponenti nužnih za rad ne može koristiti pogon nekog drugog oblika osim električne energije. S obzirom da se radi o objektu koji je sportska dvorana, velika prednost je površina koja nije mala i ograničena. Krov objekta je predviđen kao ravna površina na građevini površine 10.000 četvornih metara od kojih će fotonaponskim modulima pokriveno sedamstotinjak metara četvornih.

### **5.2. Programski paket za modeliranje**

Programski paket u kojemu je, objekt koji se analizira, modeliran i simuliran naziva se PV- Sol Premium. „PV Sol Premium je programski paket tvrtke Valentin-software, koji služi za projektiranje i simulaciju svih fotonaponskih sustava. Od sustava s malim krovom i samo nekoliko modula do veliki samostojećih solarnih elektrana snage do 3 MW. Program omogućuje 3-D vizualizaciju svih uobičajenih vrsta sustava sa do 10.000 modula. Izrada 3-D modela je dosta pojednostavljena te se sastoji od 6 dijelova: pogled na teren, pogled na objekt, pokrivenost modula, montažu modula, konfiguraciju modula i izmjenjivača i plan kabela. Na samom početku potrebno je odabrati klimatske podatke koji su nužni za nastavak projekta, tj. lokaciju objekta iz baze, putem interaktivne karte ili se mogu ručno odabrati za željeno područje. Također je potrebno definirati odmah na početku vrstu sustava, a izabrati se može između: mrežnog fotonaponskog sustava (eng. On-Grid), mrežnog fotonaponskog sustava s električnim uređajima i pohranom energije, mrežnog fotonaponskog sustava s električnim uređajima i električnim vozilima, mrežnog fotonaponskog sustava s električnim uređajima, električnim vozilima i baterijama, samostojećeg fotonaponskog sustava i samostojećeg fotonaponskog sustava s generatorom Nakon odabira vrste sustava,

potrebno je unijeti potrošnju električne energije objekta na koji se ugrađuje fotonaponski sustav. Potrošnja se može unijeti ručno kao ukupna godišnja ili po mjesecima, ali se može i učitati dokument sa mjerenjima potrošnje električne energije u raznim vremenskim intervalima od jedne minute do jednog dana. Nakon unosa potrošnje potrebno je pomoću 2-D ili 3-D vizualizacije odrediti pokrivenost neke površine ili objekta modulima, odabrati module, izmjenjivače, te ih spojiti i napraviti plan kabela.

U programu je moguće nakon unosa financijskih podataka o investiciji, tarifama, troškovima održavanja, i drugim podacima, pomoću simulacije dobiti detaljnu analizu isplativosti sa rokovima povrata investicije, te detaljnim podacima o proizvodnji i potrošnji električne energije za neki objekt. Također je moguće kreirati konačno izvješće/projekt sa svim detaljnim podacima o elektrani na osnovu čega se može pristupiti gradnji same elektrane.“ [22] [23] Program se vrlo lako koristi i brzo nauči, na mrežnim stranicama Valentin-softwarea postoji mogućnost preuzimanja besplatne verzije na 30 dana što je u konačnici i omogućilo modeliranje za ovaj završni rad.

### **5.3. Modeliranje elektrane „Sportska dvorana“**

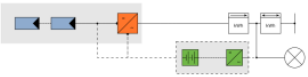
Za analizu proizvodnje i potrošnje električne energije na javnom objektu za simulacijski model u programskom paketu izgrađena je sportska dvorana u 3-D obliku površine 10.000 m<sup>2</sup> u Splitu, Republika Hrvatska. Prvi korak pri modeliranju je svakako odabir lokacije i tipa fotonaponskog sustava.

Slika 5.1. prikazuje početnu stranicu izrade projekta gdje je za potrebe ove simulacije odabrana je lokacija Split zbog izuzetno visoke količine iradijacije koja iznosi preko 2000 kWh/m<sup>2</sup>. Program dopušta odabir lokacije po izborniku ili se mogu naći približni podatci na karti za neku lokaciju ako za željenu lokaciju podatci nisu dostupni. Sustav koji je odabran jest 3-D sustav priključen na elektroenergetsku mrežu sa baterijskim sustavom. Kao izuzetno korisni sastavni programskog paketa svakako je potrebno izdvojiti činjenicu da se može modelirati elektrana na bilo kojem objektu bio on 3-D ne izgrađen u stvarnosti ili bilo koja građevina na svijetu do koje se može doći odabirom na satelitskoj karti.



## System Type, Climate and Grid

Type of System  
3D, Grid-connected PV System with Electrical Appliances and Battery Systems



Type of Design  
 Use 3D Design

Time step of simulation  
 1 Hour (faster simulation)  
 1 Minute (more precise simulation)

Climate Data

Country: Croatia Location: Split (1996-2015, Meteonorm 8.1)

Latitude	43° 31' 1" (43,52°)	Annual sum of global irradiation	2065 kWh/m <sup>2</sup>
Longitude	16° 25' 58" (16,43°)	Annual Average Temperature	25,2 °C
Time zone	UTC+1		
Time Period	1996 - 2015		
Source	Meteonorm 8.1		

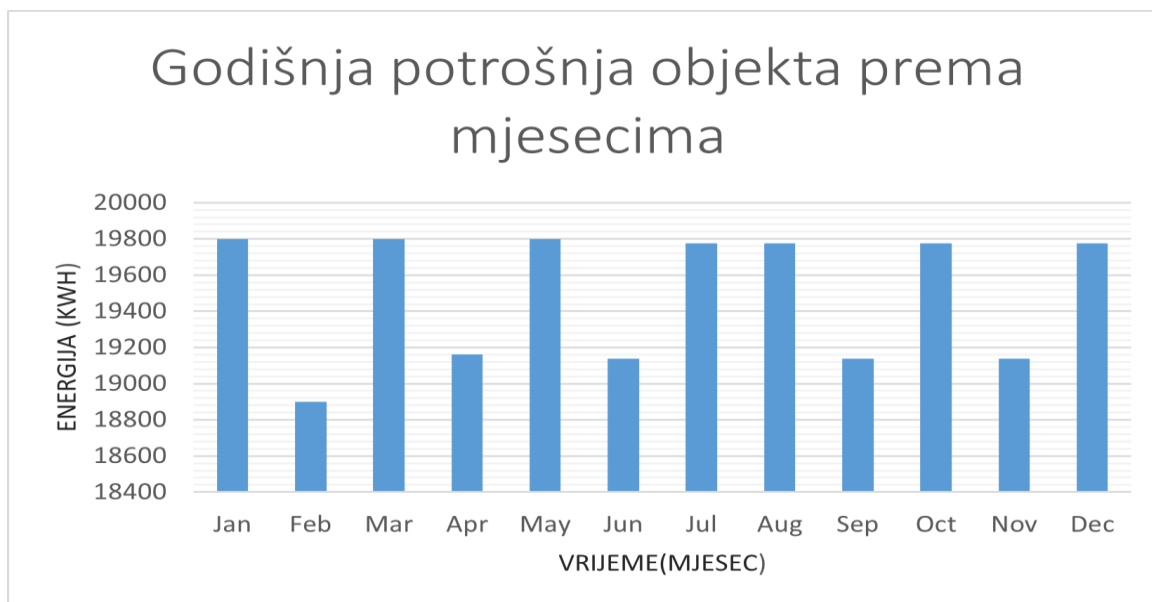
[Simulation Parameters](#)

AC Mains

Voltage (N-L1)	230 V
Number of Phases	3-phase
cos φ	1
Maximum Feed-in Power Clipping	No

Slika 5.1. Prikaz odabira lokacije i tipa sustava u programskom paketu

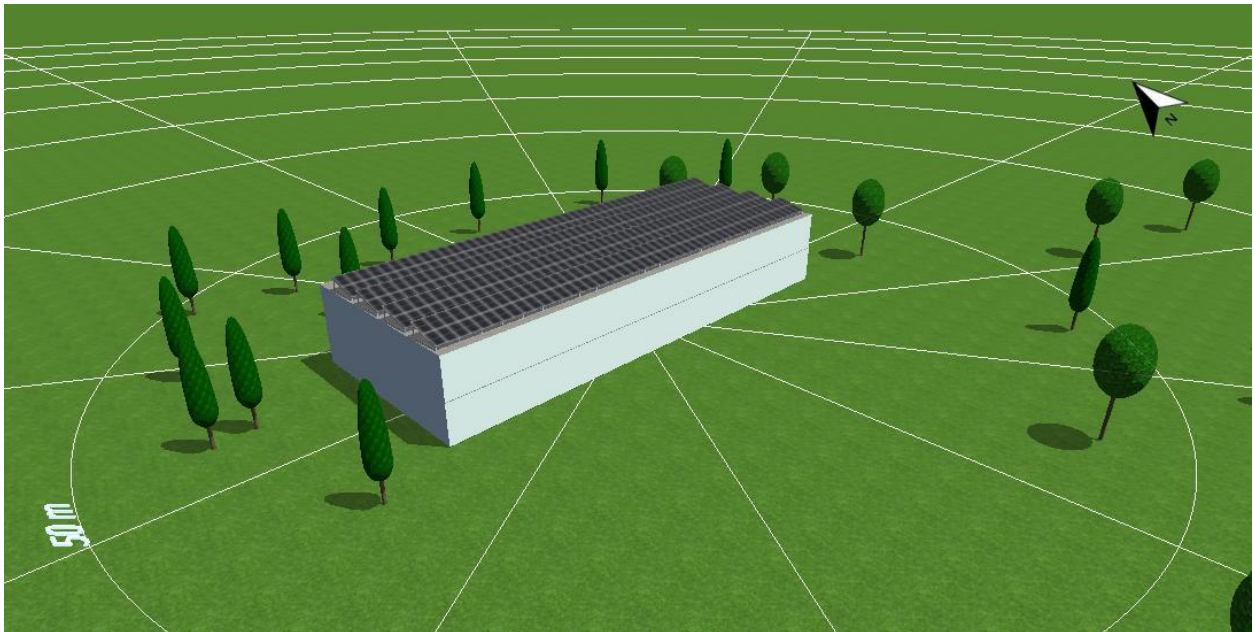
Drugi korak pri simulaciji jest unošenje potrošnje objekta za kojeg modeliramo elektranu. Program nudi mogućnost vlastitog unosa mjesečno ili godišnje te nudi već gotove predloške prosječnih potrošnji za veliki broj objekata razne namjene. Za potrebe simulacije određena je godišnja potrošnja od 232.971 kWh koja je mjesečno podijeljena prema već predodređenim podacima za takve objekte u programu. Najveća vršna pretpostavljena vrijednost za taj objekt jest 84kW. (slika 5.1.1)



Slika 5.1.1. Godišnja potrošnja objekta prema mjesecima

Unosom navedenih podataka modeliranje objekta može početi. S obzirom da je objekt sportska dvorana krov građevine je ravnog tipa. Na krovu nije predviđena niti jedna prepreka kao na primjer dimnjak s ciljem potpunog iskorištenja površine. Okoliš u vidu drveća oko objekta postoji ali ima zanemariv utjecaj na zasjenjivanje

Programski paket je izuzetno fleksibilan jer je moguće građevinu sagledati iz svih kuteva i sa svih strana, dimenzije objekta mogu biti od malih kućanstava do velikih elektrana sa tisućama modula. Osim modeliranja ove građevine moguća je bila i izvedba cijelog niza objekata pa čak i okolnog naselja sa kućama različitih vrsta krovova i dodataka koji doprinose što realističnijem i preciznijem proračunu no u ovome slučaju sportska dvorana je projektirana izvan naselja kako to u stvarnom životu najčešće i bude. Nakon projektiranja okoliša i objekta, prelazi se na dodavanje modula na krov objekta kao što je prikazano na slici. (slika 5.1.2)

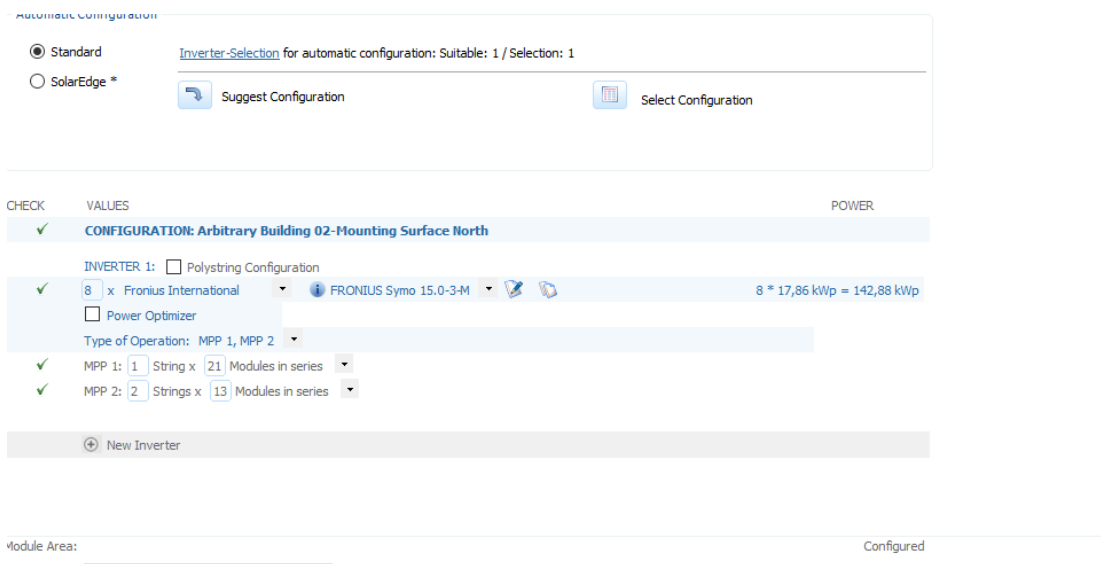


Slika 5.1.2. Prikaz modelirane građevine sa okolišem

Nakon postavljanja objekta i definiranja dimenzija i popratnih podataka, sljedeći korak je odabir vrste fotonaponskih modula. Program pruža zaista velik izbor proizvođača i modela cijele potrebne opreme za izgradnju elektrane. Fotonaponska elektrana izborom elemenata modelirana modulima proizvođača LG Electronics Inc., modelom LG380N1C-E6 izabranog selekcijom programa zbog optimalnih karakteristika. Moduli su postavljeni površinom cijelog krova u orijentaciji sjever-jug pod kutem od  $23^\circ$ , s obzirom da je objekt klimatološki gledano dobro lociran zbog blage sredozemne klime koja vlada u tom području ne očekuju se veća zasjenjenja zbog padalina .

## 5.4. Konfiguracija fotonaponskih modula

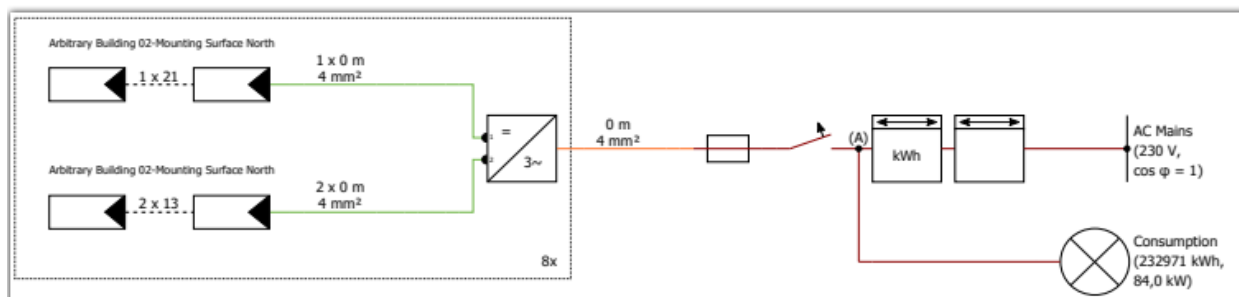
Nakon postavljanja maksimalnog broja modula na krov građevine iste te module je potrebno konfigurirati sa prikladnim izmjenjivačima. Program sam prepoznaje karakteristike modula i izmjenjivača tako da se pri odabiru nezadovoljavajućeg izmjenjivača konfiguracija neće biti izvršena. Model za ovu konfiguraciju koji je odabran jest FRONIUS SYMO 15.0-3-M snage 17,5 kW te zbog velike instalirane snage panela koja iznosi 138 kW, postaviti će ih se 8 komada. Sustav dopušta uvid u opterećenje svakog izmjenjivača te način spajanja i broj spojenih modula na jedan izmjenjivač. Izmjenjivač kao komponenta je neizostavna u ovom slučaju, bez tog elementa pretvorba i tok energije potpuno bi bio nemoguć. Obzirom da fotonaponski moduli proizvode istosmjernu struju glavna pretvaračka komponenta pri transformaciji iz istosmjernog u izmjenični oblik jest izmjenjivač koji omogućuje upotrebu i prijenos proizvedene energije iz elektrane. Konfiguracija izmjenjivača i način spajanja zabilježeni su na slici ispod teksta. (slika 5.4.)



Slika 5.4. Prikaz odabira izmjenjivača i konfiguracija istog

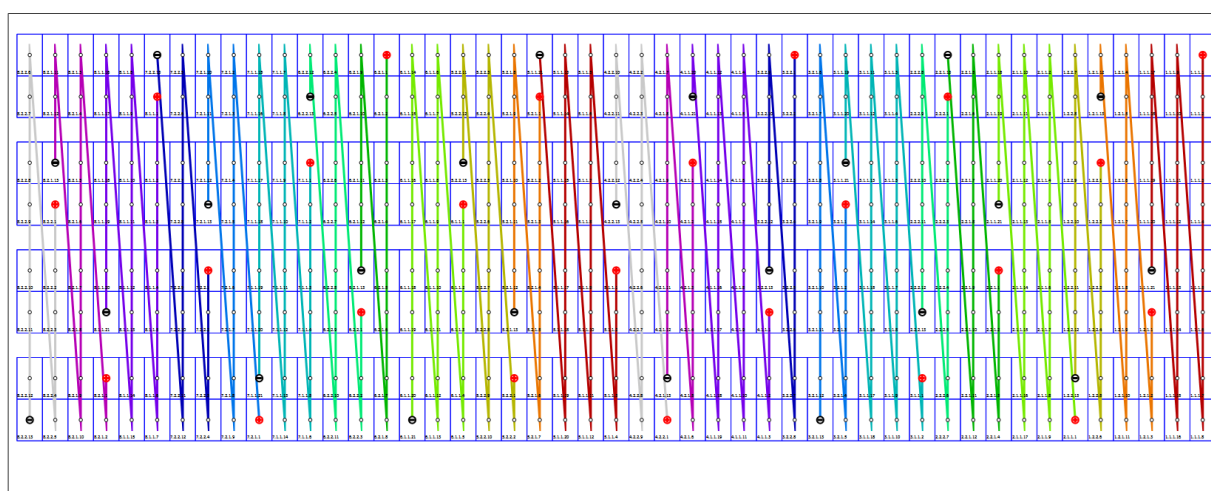
## 5.5. Spajanje modula

Module i pripadne konfigurirane izmjenjivače potrebno je spojiti kablovima, taj proces se naziva i „kabliranje“ te u pripadajućem izborniku programskog paketa stoji shema spajanja opreme koju smo definirali. Osim definiranja presjeka i duljine kablova i ostale opreme svakako treba imati u vidu i dodavanje osigurača i sklopke kao dodatne sigurnosne opreme. U slučaju kvara na nekom dijelu strujnog kruga, isklopom sklopke osiguravamo siguran način za utvrđivanje kvara. Dimenzija kablova i shema spajanja prikazani su na slici 5.5.



Slika 5.5. Shema spojene opreme

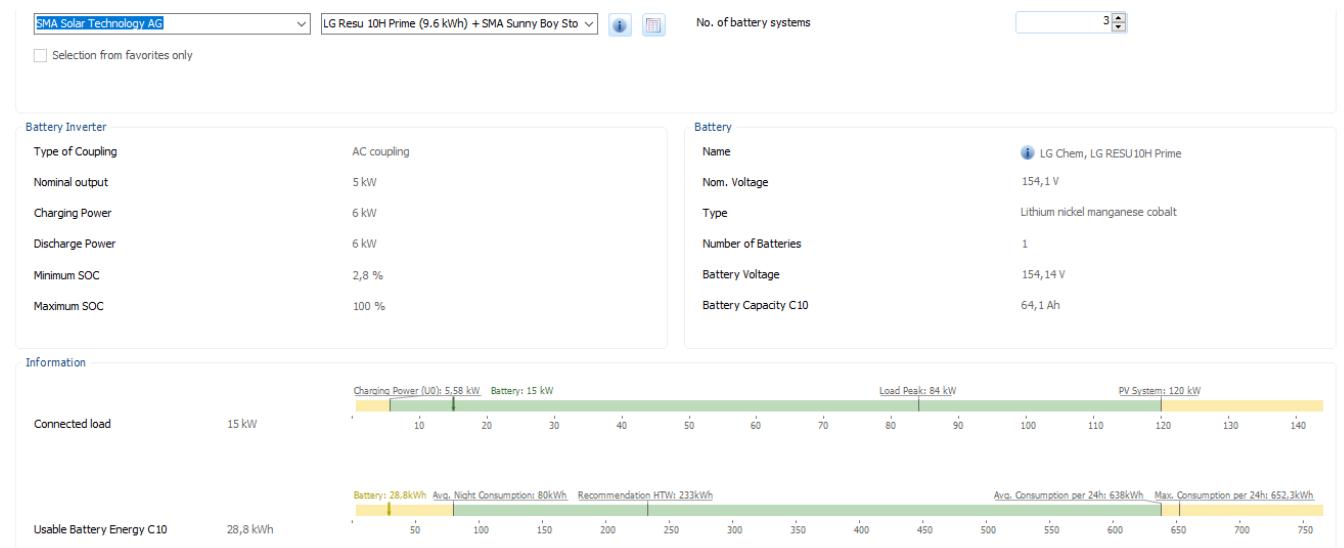
Nakon potvrđivanja dimenzija i načina spajanja u programu je moguće simulirati spajanje modula i dobiti cjeloviti plan kabliranja. (Slika 5.5.1)



Slika 5.5.1. Prikaz spajanja na objektu

## 5.6. Baterijske naprave u fotonaponskom sustavu

Zadavanjem pripadnih dimenzija prostora i postavljanjem modula na cijelu dostupnu površinu krova očekuje se velika proizvodnja s obzirom i na pogodnu lokaciju prema kriterijima osunčanosti. Baterije kao naprave služe za skladištenje viškova odnosno za napajanje u periodima manjkova proizvedene električne energije. U ovome projektu korištene su tri baterijske naprave proizvođača SMA Solar Technology AG modela i karakteristika prikazanima na slici 5.6.



Slika 5.6. Model instalirane baterijske naprave

## 6. EKONOMSKA ANALIZA

Nakon odrađenih svih potrebnih koraka koje program nudi za uspješno modeliranje na posebnoj kartici „*Financial Analysis*“ u programskom paketu postoji mogućnost izračuna financijske isplativosti investicije u integraciju fotonaponskih modula na javni objekt. Unosom planiranog iznosa investicija postoji mogućnost i definiranja troškova održavanja za vremenski period u godinama za koje projekt analiziramo. Program pruža mogućnost i unosa načina financiranja putem kredita, definiranje kamatnih stopa i anuiteta otplate te isto tako za sve proračune moguće je postaviti vrijednost poreza na dodanu vrijednost kojem taj projekt podliježe. S obzirom da je ovaj rad napisan 2022. godine, stopa poreza u obračunu iznositi će dijelom biti modelirana na 0% zbog odluke vlade Republike Hrvatske o ukidanju poreza na solarne izvore energije i fotonaponske module dok za ostalu opremu se za realizaciju istoga dodane su pripadajuće vrijednosti poreza. Period promatranja postavljen je na 25 godina a investicija koja nije financirana kreditom za cijeli projekt je procijenjena na 1.052.189,00 HRK uz uzimanje u obzir stalni porast cijena i inflacije u vrijeme izrade ovoga rada, trošak održavanja i minimalne inflacije koja slijedi u narednom periodu postavljeni su na vrijednost 1,5% od iznosa investicije. Postavljena vrijednost uloženog kapitala je pretpostavljena i okvirno izračunata sa mogućnosti odstupanja zbog stalnih promjena cijena uzrokovanih inflacijom. Elektrana „Sportska dvorana“ sastoji se od 374 fotonaponskih modula, 8 invertera i 3 baterijska spremnika kao glavni nosioci troškova no uz tu opremu tu su još na primjer i kablovi za povezivanje, samostojeći razdjelnici, DC ormari, mrežni kablovi, konektori za spajanje modula,

meteorološka postaja i svi troškovi za montažu i održavanje opreme. Proračuni su vršeni za isplatu projekta u gotovini bez ikakvih subvencija koje postoje i moguće su no ako odredimo isplativost projekta bez ikakve potpore, isplativost dodavanjem subvencije će samo smanjiti period povratka investicije što je lako za zaključiti. Cijena investicije elektrane sa baterijskim sustavom procijenjena je na 1.052.189,00 HRK sa PDV-om. Stopa PDV-a iznosi 25% i obračunata je za svu opremu osim za solarne panele, invertere i baterijske spremnike za koje se obračunava porezna stopa od 0% s obzirom da ugradnju i realizaciju po planu izvršava ovlaštena tvrtka. Troškovi investicije prikazani su u tablici 6.1.:

Stavka	Količina	Cijena
FN modul	374	447.064,00 kn
Aluminijska podkonstrukcija	2	20.000,00 kn
Inverter	8	144.000,00 kn
Baterijski spremnici	3	108.000,00 kn
Samostojeći razdjelnici	3	30.000,00 kn
DC ormari	5	9.000,00 kn
DC kabeli	1300 m	11.700,00 kn
AC kabeli	1000 m	73.000,00 kn
Kabel za izjednačavanje potencijala	800 m	14.400,00 kn
Mrežni kabel	1000 m	17.000,00 kn
Konektori za spajanje modula	140	3.800,00 kn
Instalacijski pribor	2	11.000,00 kn
Smart logger	2	11.000,00 kn
Meteorološka postaja	1	4.000,00 kn
Zaštitna oprema i uzemljenje	1 komplet	10.000,00 kn
Montaža i puštanje u rad	1 komplet	10.000,00 kn
Uređaj za mjerenje isporučene EE	8	36.000,00 kn
UKUPNO (bez PDV-a)		959.964,00 kn
UKUPNO		1.052.189,00 kn

Tablica 6.1. Detaljni prikaz troškova opreme FN elektrane

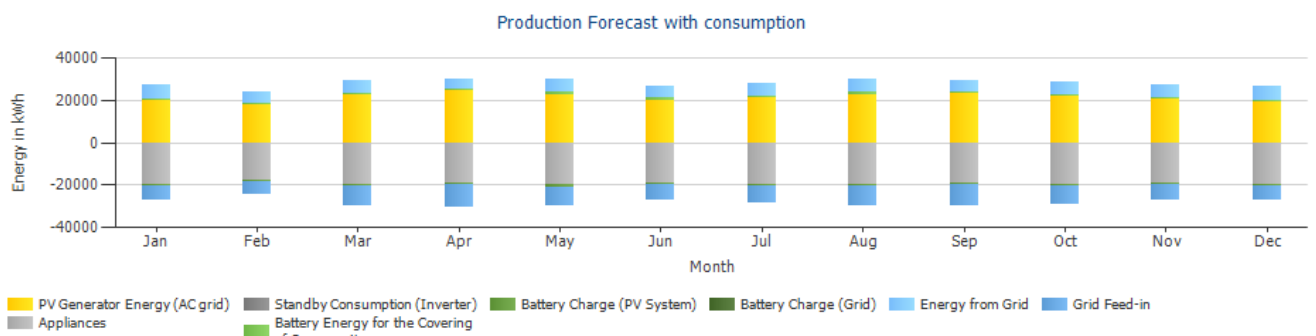
Osim definiranja svih navedenih podataka u prethodnom odlomku, bitna stavka za realističiji proračun jest definiranje tarifnih modela cijena prodaje i kupnje električne energije. Te vrijednosti korisnik može postaviti u kartici financijske analize gdje je moguće odabrati način poslovanja elektrane, cijenu kupovine električne energije iz mreže koja je postavljena na 0,86 kn/kWh za višu odnosno 0,51 kn/kWh za nižu tarifu. Dodatna opcija unosa je cijena prodaje viška električne energije u mrežu, ta cijena je postavljena na 0,36 kn/kWh. Prema svim zadanim parametrima programski paket daje informacije o tijeku novca za FN elektranu „Sportska dvorana“, rezultati simulacije su prikazani u tablici 6.2.:

Godina	Investicija	Troškovi rada	Feed-in/Export Tarifa	Uštede kupnje energija	Godišnji tijek novca
1	-1.052.189,00 kn	-15.626,57 kn	53.770,81 kn	130.763,64 kn	-883.281,12 kn
2	0,00 kn	-15.471,85 kn	53.773,25 kn	132.058,33 kn	170.359,74 kn
3	0,00 kn	-15.318,66 kn	53.775,70 kn	133.365,84 kn	171.822,88 kn
4	0,00 kn	-15.166,99 kn	53.778,15 kn	134.686,30 kn	173.297,45 kn
5	0,00 kn	-15.016,83 kn	53.780,59 kn	136.019,80 kn	174.783,57 kn
6	0,00 kn	-14.868,14 kn	53.783,04 kn	137.366,58 kn	176.281,48 kn
7	0,00 kn	-14.720,94 kn	53.785,49 kn	138.726,57 kn	177.791,12 kn
8	0,00 kn	-14.575,15 kn	53.787,94 kn	140.100,19 kn	179.312,94 kn
9	0,00 kn	-14.430,87 kn	53.790,38 kn	141.487,24 kn	180.846,74 kn
10	0,00 kn	-14.287,99 kn	53.792,83 kn	142.888,20 kn	182.393,03 kn
11	0,00 kn	-14.146,53 kn	53.795,28 kn	144.302,83 kn	183.951,58 kn
12	0,00 kn	-14.006,46 kn	53.797,73 kn	145.731,58 kn	185.522,85 kn
13	0,00 kn	-13.867,79 kn	53.800,18 kn	147.174,53 kn	187.106,92 kn
14	0,00 kn	-13.730,48 kn	53.802,62 kn	148.631,72 kn	188.703,87 kn
15	0,00 kn	-13.594,54 kn	53.805,07 kn	150.103,31 kn	190.313,84 kn
16	0,00 kn	-13.459,94 kn	53.807,52 kn	151.589,42 kn	191.937,00 kn
17	0,00 kn	-13.326,67 kn	53.809,97 kn	153.090,37 kn	193.573,67 kn
18	0,00 kn	-13.194,72 kn	53.812,42 kn	154.606,04 kn	195.223,73 kn
19	0,00 kn	-13.064,08 kn	53.814,87 kn	156.136,81 kn	196.887,60 kn
20	0,00 kn	-12.934,74 kn	53.817,32 kn	157.682,73 kn	198.565,31 kn
21	0,00 kn	-12.806,67 kn	27.771,97 kn	159.243,92 kn	174.209,23 kn
22	0,00 kn	-12.679,87 kn	27.497,00 kn	160.820,60 kn	175.637,73 kn
23	0,00 kn	-12.554,33 kn	27.224,76 kn	162.412,95 kn	177.083,38 kn
24	0,00 kn	-12.430,03 kn	26.955,20 kn	164.020,94 kn	178.546,12 kn
25	0,00 kn	-12.306,96 kn	26.688,32 kn	165.644,91 kn	180.026,28 kn

Tablica 6.2. Tijek novca za fotonaponsku elektranu „Sportska dvorana“

## 6.1. Rezultati simulacije

Nakon unosa svih ključnih parametara za što precizniji proračun, klikom na karticu „Results“ započinje proces proračunavanja koji traje vrlo kratko, uz dobru internetsku vezu, samo nekoliko sekundi te nakon toga program iskaže dijagrame i brojke iz kojih se može iščitati mnoštvo rezultata kao na primjer odnos godišnje potrošnje i proizvodnje i slično. Prema rezultatima simulacije prema zadanim parametrima iščitavajući graf vidljiva je raspodjela godišnje proizvodnje i potrošnje te gubitaka. Solarna elektrana je u ovom slučaju proizvela u jednoj godini prosječno 258.517 kWh, preko 10.000 kWh će se potrošiti na punjenje baterija. Ukupna potrošnja objekta određena je kao iznos od 232.971 kWh.

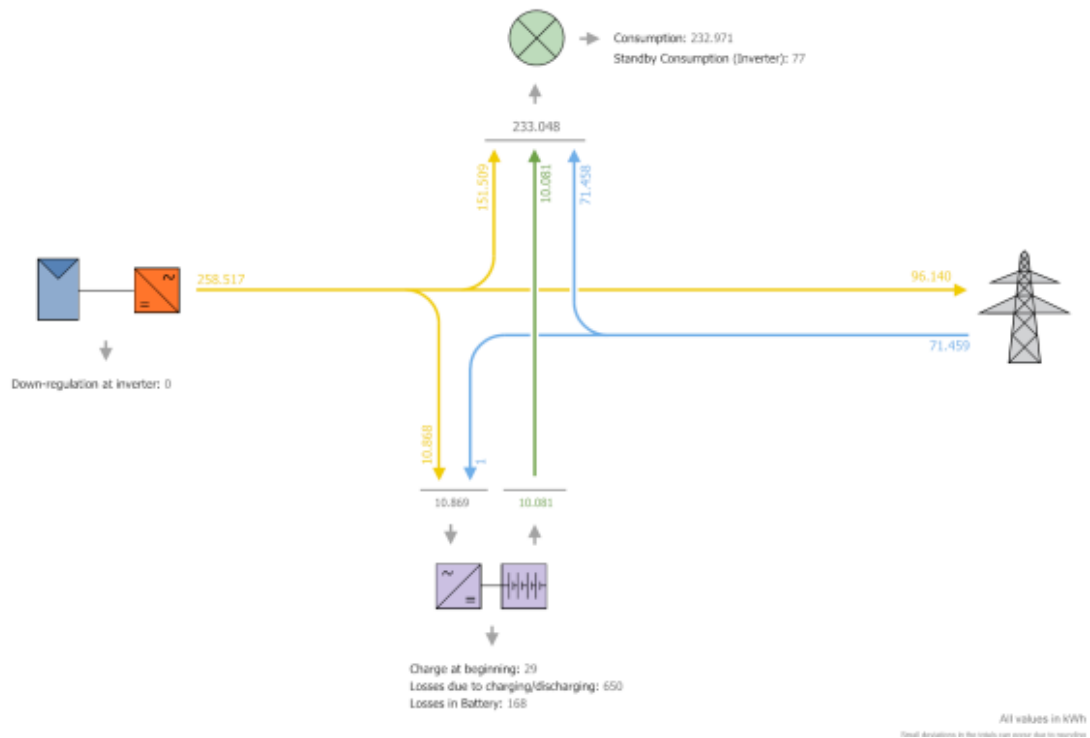


Slika 6.1. Rezultati simulacije

Odnos potrošnje, predaje i proizvodnje vidljiv je na slici 6.1.2.

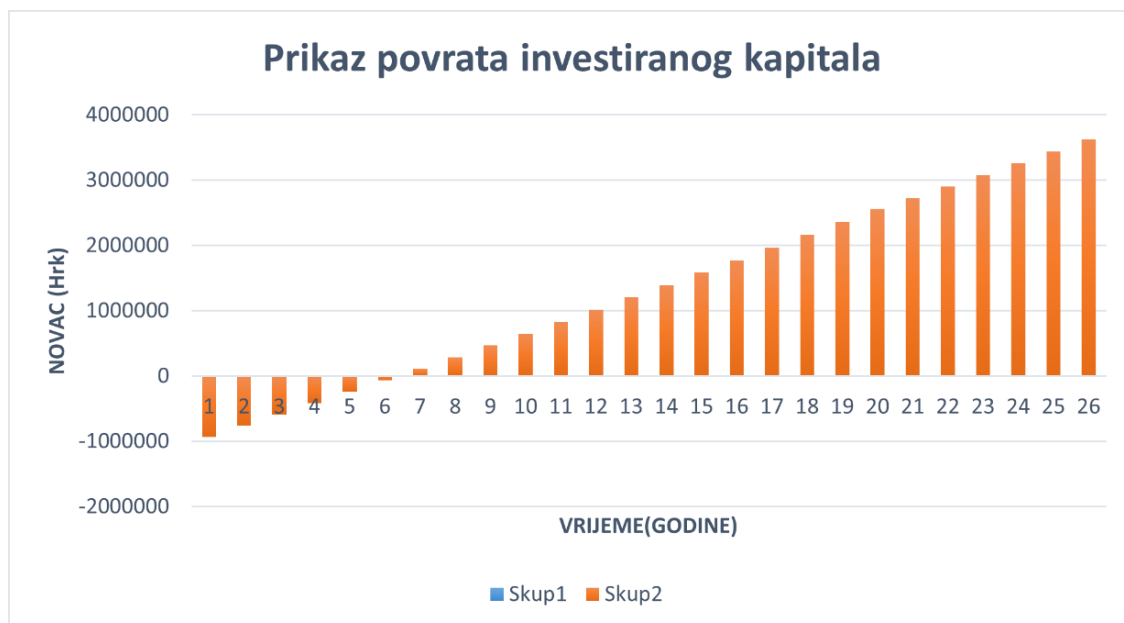
Prema simulaciji u programu, elektrana će proizvoditi 258.517 kWh godišnje te od toga će se 151.509 kWh izravno potrošiti u zgradi, 10.868 kWh će se potrošiti na punjenje baterija te 96.140 kWh će se predati u mrežu. Ukupna potrošnja objekta iznosi 232.971 kWh, sa 151.509 kWh zadovoljiti će se potrošnja iz fotonaponske elektrane, 10.868 kWh iz baterija te 71.458 kWh će biti preuzeto iz mreže prema ovoj simulaciji. U proračune su uvršteni troškovi održavanja elektrane u iznosu od 1,5% investicije godišnje, te stopa inflacije također od 2% godišnje.





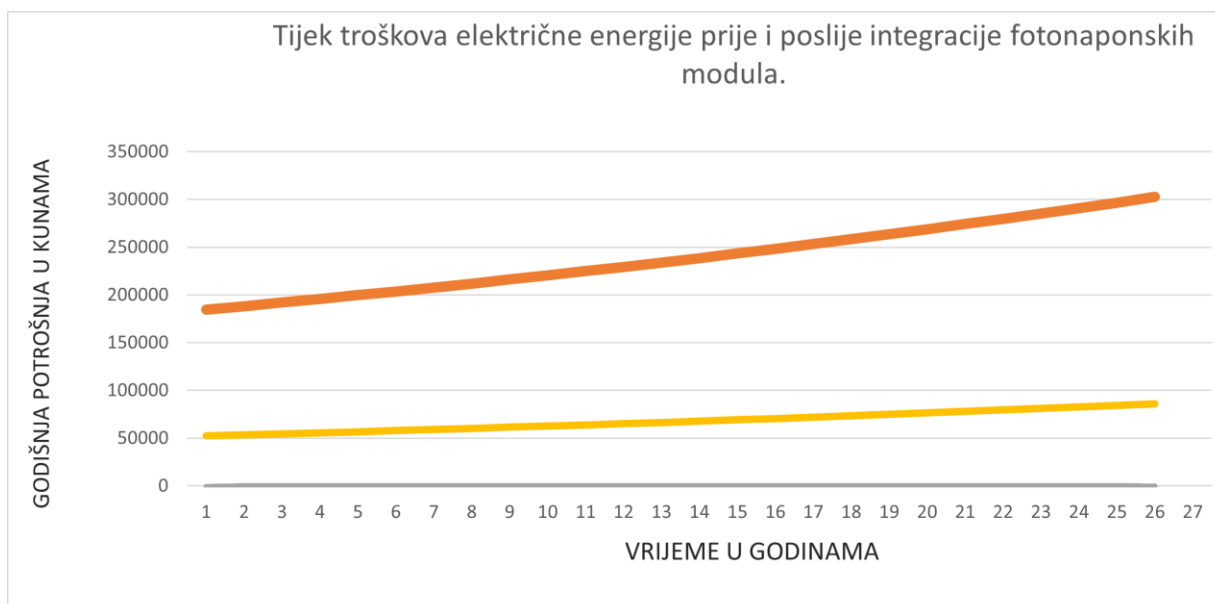
Slika 6.1.2 Odnos proizvodnje, potrošnje i predaje energije u mrežu

Programski paket također nudi i analizu povrata troškova u zadanom vremenskom periodu te su simulacijom dobiveni sljedeći rezultati (Slika 6.1.3.). Na slici je vidljiv dijagram koji prikazuje odnos godina promatranja na jednoj osi dok na drugoj daje uvid u novčani tijek investicije. U prvoj godini je vidljivo da se kreće iz minusa dijagrama zbog uloga kapitala koji nije subvencioniran. Svaka sljedeća godina prikazuje pomak i otplatu u sedmoj godini projekta što je svakako brz i efikasan način otplate. Nakon sedme godine elektrana počinje zarađivati.



Slika 6.1.3 Prikaz povrata investiranog kapitala

U konačnici programski paket pruža i mogućnost prikaza potrošnje prije i poslije integracije fotonaponske elektrane odnosno novčanog prikaza uštede vidljivo na slici 6.1.4. Žutom bojom je označen financijski trošak izražen u kunama (HRK) za električnu energiju nakon integracije fotonaponske elektrane na krov građevine a narančastom bojom prije.



Slika 6.1.4. Tijek troškova električne energije prije i poslije integracije fotonaponskih modula.

## 7. ZAKLJUČAK

S ciljem smanjenja štetnosti fosilnih goriva obnovljivi izvori energije iskorištavaju se kao alternativa već dugo vremena. Svjesnost o onečišćenju i ograničenosti konvencionalnih izvora energije nije došla do izražaja dok se klimatološke prilike nisu toliko pogoršale zbog uporabe istih da bi globalno mogle nastati dugotrajne elementarne nepogode i katastrofe u vidu suša, poplava i slično. Osim tih činjenica koje čovječanstvu nisu dovoljne da bi prelazak na obnovljive izvore energije prihvatili ozbiljnije, dolazi i do problema sve većih energetske kriza u svijetu. U trenutku pisanja rada, ograničenost isporuke energije i goriva su znatno smanjena nego u odnosu na godinu ili deset godina prije. Nestajanje i poskupljenje zbog nedostataka energenata reflektira se na opću ekonomsku situaciju koja je sve nepovoljnija. Integracija elektrana koje djeluju iz obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj nije toliko bila u središtu pozornosti do pojave navedenih poteškoća vezano za konvencionalne izvore kao na primjer uz ukapljeni plin. Prelazak na druge izvore energije globalna je tema i doista postaje sve potrebna i popularnija. Simulacijom u programskom paketu PV-Sol Premium prikazani su troškovi integracije i isplativost za jedan veliki objekt koji ima modeliranu prosječnu potrošnju iako naravno to ne mora biti tako, rezultati mogu odstupati zbog nepreciznosti unosa jer vrijednosti nisu izmjerene tijekom godine dana već modelirane, mogu ovisiti o godišnjem dobu i o činjenici koliko se objekt koristi. Podatci su dovoljno točni da bi se moglo doći do zaključka da se svakako treba nastojati pri masovnijoj izgradnji i implementaciji elektrana pogonjenih obnovljivim izvorima energije. U godini pisanja ovoga rada, cijena komponenti se smanjila u odnosu na prijašnja razdoblja dok razne potpore i subvencije od države mogu pomoći smanjiti iznos investicije na minimum a iznos uštede i dobitka na maksimum. Dodatna stavka vrijedna spomena bila bi ukidanje poreza u Republici Hrvatskoj na obnovljive izvore energije i fotonaponske module što je jedna velika pogodnost i veliki korak prema naprijed. Modelirana „Sportska dvorana“ bi mogla postati naša svakodnevica na čemu svi trebamo težiti kao zajednica i individualci.

## LITERATURA

- [1] Mevin Chandel, G.D.Agrawal, SanjayMathur, AnujMathur : „ Techno-economic analysis of solar photovoltaic power plant for garment zone of Jaipur city“, Case Studies in Thermal Engineering, [Mrežno]. Dostupno na : <https://www.sciencedirect.com/journal/case-studies-in-thermal-engineering> [Pristup 19.9.2022.]
- [2] Ali Naci Celik :“ Present status of photovoltaic energy in Turkey and life cycle techno-economic analysis of a grid-connected photovoltaic-house“, Renewable and Sustainable Energy Reviews [Mrežno]. Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/journal/renewable-and-sustainable-energy-reviews/vol/10/issue/4> [Pristup 19.9.2022.]
- [3] Hussein A., KazemTamer i Khatib, „Techno-economical assessment of grid connected photovoltaic power systems productivity in Sohar, Oman“, Sustainable Energy Technologies and Assessments [Mrežno] Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/journal/sustainable-energy-technologies-and-assessments/vol/3/suppl/C> [Pristup 19.9.2022.]
- [4] Ciprian i Maria Cristea; Iulian Birou; Radu-Adrian Tirnovan : „Techno-economic evaluation of a grid-connected residential rooftop photovoltaic system with battery energy storage system: a Romanian case study“, [Mrežno]. Dostupno na: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9108954/authors#authors> [Pristup 19.9.2022.]
- [5] M.Kucelj, Diplomski rad „Projektiranje i ugradnja fotonaponske elektrane FERIT 1 u okviru Rescue projekta“, Osijek: Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, 2021.
- [6] Damir Šljivac, Zdenko Šimić: „Obnovljivi izvori energije, 2009.g.“
- [7] Eko Sustav, „Sunčeva solarna energija“, Eko Sustav, 2020. [Mrežno]. Dostupno na: [eko-sustav.hr/strucni-clanci/sunceva-solarna-energija/](http://eko-sustav.hr/strucni-clanci/sunceva-solarna-energija/). [Pristup 5.9.2022.].
- [8] „Zakon o energiji“ (Narodne novine 120/2012, 014/2014, 102/2015 ), Zagreb, 24. srpnja 2001.
- [9] Zdeslav Matić: „Sunčevo zračenje na području Republike Hrvatske-Priručnik za energetska korištenje Sunčevog zračenja“, EIHP, Zagreb, ožujak 2007.
- [10] Davor Jurić, Diplomski rad „Projektiranje obnovljivih izvora energije“, Osijek: Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, 2019.

- [11] Zdeslav Matić: „Sunčevo zračenje na području Republike Hrvatske-Priručnik za energetska korištenje Sunčevog zračenja“, EIHP, Zagreb, ožujak 2007.
- [12] M. Primorac: „Ekonomska analiza primjene fotonaponskog sustava“, [Mrežno]. Dostupno na: URL: <https://hrcak.srce.hr/170944> [Pristup 1.9.2022.]
- [13] URL: <https://www.fzoeu.hr/hr/obnovljivi-izvori-energije/7573> [Mrežno], [Pristup 24.8.2022.]
- [14] HROTE d.o.o. „Sustav poticanja OIEIK u RH- godišnji izvještaj“ za 2021. godinu, [Mrežno]. Dostupno na : URL: <https://www.hrote.hr/arhiva-357> [Pristup 11.9.2022.]
- [15] URL:  
[https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title=File:Renewable\\_energy\\_highlight\\_FP2020-HR.png](https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title=File:Renewable_energy_highlight_FP2020-HR.png) [Mrežno]. [Pristup 1.9.2022.]
- [16] Ljubomir Majdandžić: „Fotonaponski sustavi“, Priručnik, Tehnička škola Ruđera Boškovića u Zagrebu, 2010. godina
- [17] URL: <https://eko-sustav.hr/strucni-clanci/fotonaponski-sustavi/> [Mrežno]. [Pristup 1.9.2022.]
- [18] Fotonaponske elektrane: „Upute za projektiranje“, stručni seminar HKIE, Branko Vidaković, travanj.2013.g.
- [19] Labudović, B.: „Osnove primjene fotonaponskih sustava“, Energetika marketing, Zagreb, 2011.
- [20] SolarMonsters, „Best batteries for solar“, Solar Monsters, [Mrežno]. [Pristup 1.9.2022.] URL: <https://www.solarmonsters.com/best-batteries-for-solar/>
- [21] Solar Monsters, „How to size battery bank for solar“.  
[Mrežno]. URL: <https://www.solarmonsters.com/how-to-size-battery-bank-for-solar/> .  
[Pristup 19.9.2022].
- [22] "PV Sol Premium", Valentin Software, [Mrežno]. URL: <https://valentin-software.com/en/products/pvsol-premium/> [Pristup 15.9.2022.].
- [23] Ž. Jeršek, Diplomski rad, "Projektiranje fotonaponskog sustava za potrebe kućanstva", Osijek: Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, 2019

## SAŽETAK

Simulacijom izgradnje objekta javne namijene i integracije fotonaponskih modula na krov građevine u programskom paketu PV-Sol Premium prikazana je proizvodnja i potrošnja objekta te isplativost uloženog kapitala bez subvencija i kreditiranja u periodu od 25 godina. Rezultati simulacije prikazani su slikama iz programa i brojčano potkrijepljeni obrazloženjima. U aktualnim razmatranjima integracije nekih od obnovljivih izvora energija ovaj rad može pomoći pri dobivanju informacija o dimenzijama projekta i potencijalno zainteresirati o odabiru baš Sunčeve energije za pogon svoje elektrane bila ona većih dimenzija kao prikazana ili manja na kućanskom krovu.

**Ključne riječi:** električna energija, fotonaponski moduli, tehno-ekonomska analiza, obnovljivi izvori, PV-Sol

## ABSTRACT

The simulation of the construction of a public building and the integration of photovoltaic modules on the roof of the building in the program package PV-Sol Premium shows the production and consumption of the building and the profitability of the invested capital without subsidies and credit over a period of 25 years. The simulation results are shown with images from the program and numerically supported by explanations. In the current consideration of the integration of some of the renewable energy sources, this final paper can help in obtaining information about the dimensions of the project and potentially interest them in choosing solar energy for powering their power plant, whether it is of larger dimensions as shown or smaller on the roof of the house.

**Key words:** electrical energy, photovoltaic modules, techno-economic analysis, renewable energy sources, PV-Sol

## **ŽIVOTOPIS**

Stefani Belik rođena je u Osijeku 06.08.1999. godine. Pohađala je osnovnu školu Dalj u Dalju. Srednju školu upisuje 2014. godine i odabire upis u I. Gimnaziju Osijek. Po završetku srednje škole 2018. godine upisuje Fakultet elektrotehnike računarstva i informacijskih tehnologija u Osijek smjer Elektrotehnika i informacijska tehnologija na drugoj godini odabire izborni blok Elektroenergetika.