

# Tehno-ekonomska analiza solarnog staklenika

---

Lančić, Paulina

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:449959>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-13**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

## **DIPLOMSKI RAD**

**Paulina Lančić**

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

**DIPLOMSKI RAD**

Mentor:

**Izv. prof. dr. sc. Tomislav Pukšec, dipl. ing.**

Studentica:

**Paulina Lančić**

Zagreb, 2023.

Zahvaljujem se mentoru izv. prof. dr. sc. Tomislavu Pukšecu na pruženoj prilici da radim na ovom projektu i odvojenom vremenu za izradu ovog rada. Također, veliko hvala asistentu Josipu Miškiću na nesebičnoj pomoći, savjetima i dostupnosti od početka pa do kraja izrade ovog rada.

Najveća zahvala mojim roditeljima, na podršci od malih nogu pa do danas, na njihovom strpljenju pažnji i vodstvu kroz sve godine školovanja.

Hvala mojim prijateljima na svojoj pomoći tijekom studiranja, na posuđenim bilježnicama, veselim pauzama, kavama i šetnjama.

Konačno, hvala dragom Grigoru što me (po)držao.

Paulina Lančić



Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum: 07. 2023	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 23 - 6 / 1	
Ur. broj: 15 - 23 - 342	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Paulina Lančić**

JMBAG: 0035204569

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Tehno-ekonomska analiza solarnog staklenika**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Techno-economic analysis of the solar greenhouse**

Opis zadatka:

Emisije stakleničkih plinova glavni su pokretači klimatskih promjena te su jedan od gorućih problema na globalnoj razini. U tu svrhu potrebno je dekarbonizirati gospodarske sektore zgradarstva, industrije, transporta i poljoprivrede. Poljoprivredni je sektor odgovoran za 12 % emisija stakleničkih plinova u svijetu, što predstavlja značajan prostor za djelovanje te implementaciju mjera energetske učinkovitosti i obnovljivih izvora energije. Kako bi se dekarbonizirao poljoprivredni sektor potrebno je pronaći nova rješenja koja će se temeljiti na principima održivog i zelenog razvoja. Jedno takvo rješenje nudi se u vidu solarnih staklenika koji omogućuju istovremeno korištenje poljoprivrednih zemljišta za proizvodnju hrane te energije, koju je onda moguće iskoristavati lokalno ili isporučivati u energetska mrežu.

U sklopu ovog diplomskog rada potrebno je izraditi tehno-ekonomsku analizu solarnog staklenika lociranog u Republici Hrvatskoj. U tu svrhu potrebno je:

1. Izraditi detaljan pregled literature o staklenicima te o mogućnosti integracije obnovljivih izvora energije u staklenike.
2. Opisati trenutno stanje korištenja staklenika u Republici Hrvatskoj.
3. Izraditi toplinski model staklenika, tj. proračun toplinskih dobitaka i gubitaka na satnoj razini.
4. Izraditi model potrošnje električne i toplinske energije u stakleniku.
5. Izraditi model proizvodnje energije iz obnovljivih izvora integriranih u solarni staklenik.
6. Izraditi tehno-ekonomsku analizu solarnog staklenika.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

Datum predaje rada:

Predvideni datumi obrane:

4. svibnja 2023.

6. srpnja 2023.

17. – 21. srpnja 2023.

Zadatak zadao:

Predsjednik Povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Tomislav Pukšec

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

# SADRŽAJ

<b>SADRŽAJ</b> .....	<b>I</b>
<b>POPIS SLIKA</b> .....	<b>IV</b>
<b>POPIS TABLICA</b> .....	<b>VI</b>
<b>POPIS KRATICA</b> .....	<b>VII</b>
<b>SAŽETAK</b> .....	<b>IX</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>X</b>
<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ZAŠTIĆENI PROSTORI</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1. Trendovi proizvodnje u zaštićenim prostorima</b> .....	<b>2</b>
<b>2.2. Osnovni uvjeti za izgradnju zaštićenog prostora</b> .....	<b>3</b>
<b>2.3. Podjela i konstrukcija zaštićenih prostora</b> .....	<b>6</b>
<b>2.3.1. Toplinski tokovi u zaštićenom prostoru</b> .....	<b>6</b>
<b>2.3.2. Plastenici</b> .....	<b>7</b>
<b>2.3.3. Staklenici</b> .....	<b>8</b>
<b>2.3.4. Uobičajene konstrukcije plastenika i staklenika</b> .....	<b>8</b>
<b>2.4. Ventilacija, grijanje i hlađenje zaštićenih prostora</b> .....	<b>10</b>
<b>2.4.1. Ventilacija</b> .....	<b>10</b>
<b>2.4.2. Hlađenje</b> .....	<b>11</b>
<b>2.4.3. Grijanje</b> .....	<b>12</b>
<b>2.5. Vlažnost i kvaliteta zraka u zaštićenom prostoru</b> .....	<b>13</b>
<b>2.6. Rasvjeta staklenika</b> .....	<b>14</b>
<b>2.7. Sustavi navodnjavanja zaštićenih prostora</b> .....	<b>14</b>
<b>2.8. Kulture povrća karakteristične za uzgoj u zaštićenim prostorima</b> .....	<b>14</b>
<b>3. KORIŠTENJE OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE U STAKLENICIMA</b> .....	<b>16</b>
<b>3.1. Energija sunca</b> .....	<b>16</b>
<b>3.1.1. Solarni kolektori</b> .....	<b>16</b>
<b>3.1.2. Solarni paneli</b> .....	<b>17</b>
<b>3.2. Geotermalna energija</b> .....	<b>18</b>
<b>3.3. Energija vjetra</b> .....	<b>18</b>

<b>4. METODA</b> .....	<b>19</b>
<b>4.1. Proračun toplinskih potreba</b> .....	<b>20</b>
<b>4.1.1. Proračun transmisijskih gubitaka prema okolišu</b> .....	<b>20</b>
<b>4.1.2. Proračun transmisijskih gubitaka prema tlu</b> .....	<b>20</b>
<b>4.1.3. Proračun ventilacijskih gubitaka</b> .....	<b>21</b>
<b>4.1.4. Proračun transpiracijskih gubitaka</b> .....	<b>21</b>
<b>4.1.5. Proračun toplinskih dobitaka</b> .....	<b>22</b>
<b>4.2. Proračun potreba za električnom energijom</b> .....	<b>22</b>
<b>4.2.1. Potrošnja sustava za grijanje</b> .....	<b>22</b>
<b>4.2.2. Potrošnja sustava za navodnjavanje</b> .....	<b>23</b>
<b>4.2.3. Potrošnja sustava rasvjete i invertera</b> .....	<b>23</b>
<b>4.3. Proračun solarne elektrane</b> .....	<b>24</b>
<b>4.4. Proračun cijene solarne elektrane i ostvarenih prihoda</b> .....	<b>24</b>
<b>4.5. Ekonomski proračun</b> .....	<b>25</b>
<b>5. ULAZNI PODATCI</b> .....	<b>27</b>
<b>5.1. Pozicija i dimenzije staklenika</b> .....	<b>27</b>
<b>5.2. Proračun toplinskih potreba</b> .....	<b>28</b>
<b>5.2.1. Proračun transmisijskih gubitaka prema okolišu</b> .....	<b>28</b>
<b>5.2.2. Proračun transmisijskih gubitaka prema tlu</b> .....	<b>29</b>
<b>5.2.3. Proračun ventilacijskih gubitaka</b> .....	<b>30</b>
<b>5.2.4. Proračun transpiracijskih gubitaka</b> .....	<b>30</b>
<b>5.2.5. Toplinski dobitci</b> .....	<b>31</b>
<b>5.3. Proračun električne energije</b> .....	<b>32</b>
<b>5.3.1. Potrošnja sustava za grijanje</b> .....	<b>32</b>
<b>5.3.2. Potrošnja sustava rasvjete i invertera</b> .....	<b>35</b>
<b>5.4. Proračun solarne elektrane</b> .....	<b>35</b>
<b>5.4.1. Proračun klasične solarne elektrane</b> .....	<b>35</b>
<b>5.4.2. Proračun transparentne solarne elektrane</b> .....	<b>36</b>
<b>5.5. Proračun cijene solarne elektrane i ostvarenih prihoda</b> .....	<b>37</b>

5.6. Ekonomska analiza.....	38
<b>6. REZULTATI .....</b>	<b>40</b>
6.1. Toplinske potrebe.....	40
6.1.1. Transmisijski gubitci prema okolišu .....	40
6.1.2. Transmisijski gubitci prema tlu .....	40
6.1.3. Ventilacijski gubitci .....	41
6.1.4. Toplinski dobitci .....	42
6.1.5. Ukupni toplinski gubitci.....	42
6.2. Proračun električne energije .....	43
6.2.1. Potrošnja sustava za grijanje .....	43
6.2.2. Potrošnja sustava za navodnjavanje .....	44
6.2.3. Potrošnja sustava rasvjete i invertera.....	45
6.2.4. Ukupna potrošnja električne energije.....	45
6.3. Proračun solarne elektrane.....	45
6.3.1. Proračun klasične solarne elektrane .....	45
6.3.2. Proračun transparentne solarne elektrane.....	47
6.4. Proračun cijene solarne elektrane i ostvarenih prihoda .....	47
6.5. Ekonomska analiza.....	48
6.5.1. Analiza osjetljivosti za izvedbu s klasičnom solarnom elektranom.....	50
6.5.2. Analiza osjetljivosti za izvedbu s transparentnom solarnom elektranom .....	54
<b>7. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>58</b>
<b>LITERATURA.....</b>	<b>60</b>



## POPIS SLIKA

**Slika 1.** Udio zaštićenih prostora u ukupnom prostoru namijenjenom za uzgoj povrća – Republika Hrvatska

**Slika 2.** Postotak zaštićenih prostora po regiji – Republika Hrvatska [4]

**Slika 3.** Zaštićene površine namijenjene za uzgoj povrća i cvijeća – Republika Hrvatska [4]

**Slika 4.** Efekt staklenika [1]

**Slika 5.** Transmisija u ovisnosti o orijentaciji staklenika i godišnjem dobu [1]

**Slika 6.** Prostori sa zakrivljenim krovom [1]

**Slika 7.** Prostori sa zabatnim krovom [1]

**Slika 8.** Prirodna ventilacija staklenika

**Slika 9.** Polu transparentni solarni paneli [12]

**Slika 10.** Prikaz metode korištene u radu

**Slika 11.** Sučelje programa SAM [23]

**Slika 12.** Prikaz zemljišta za izgradnju zaštićenog prostora

**Slika 13.** Prikaz rasporeda lađa staklenika

**Slika 14.** Temperaturna krivulja - Topusko

**Slika 15.** Vrijednosti koeficijenta  $f_{g2}$

**Slika 16.** Brzina transpiracije krastavaca i paprike [27]

**Slika 17.** Iradijacija na horizontalnu površinu – Topusko

**Slika 18.** Postotak bez naoblake – Topusko

**Slika 19.** Izdašnost izvora geotermalne energije – Topusko

**Slika 20.** Toplovodi zračni grijač - HELIOTHERME 4000 [28]

**Slika 21.** Trina TALLMAX model [31]

**Slika 22.** SONNENSTROMFABRIK Excellent glass Monocrystalline 275 panel [32]

**Slika 23.** Transmisijski gubitci prema okolišu

**Slika 24.** Transmisijski gubitci prema tlu

**Slika 25.** Ventilacijski gubitci

**Slika 26.** Toplinski dobitci

**Slika 27.** Energija potrebna za grijanje

**Slika 28.** Energija potrebna za hlađenje

**Slika 29.** Potrošnja električne energije sustava za grijanje

**Slika 30.** Potrošnja električne energije sustava za navodnjavanje

**Slika 31.** Ukupna potrošnja električne energije

**Slika 32.** Električna energija generirana klasičnim solarnim panelima

**Slika 33.** Električna energija preuzeta iz mreže i predana u mrežu – klasični paneli

**Slika 34.** Električna energija generirana transparentnim solarnom panelima

**Slika 35.** Električna energija preuzeta iz mreže i predana u mrežu – transparentni paneli

**Slika 36.** IRR i NPV u ovisnosti od promjene investicijske cijene – klasična izvedba

**Slika 37.** IRR i NPV u ovisnosti od promjene cijene solarne elektrane – klasična izvedba

**Slika 38.** IRR i NPV u ovisnosti od promjene cijene otkupa povrća – klasična izvedba

**Slika 39.** IRR i NPV u ovisnosti od promijene plaća – klasična izvedba

**Slika 40.** IRR i NPV u ovisnosti od promjene cijene električne energije – klasična izvedba

**Slika 41.** IRR i NPV u ovisnosti od pada investicijske cijene – transparentna izvedba

**Slika 42.** IRR i NPV u ovisnosti od rasta i pada cijene transparentne solarne elektrane – transparentna izvedba

**Slika 43.** IRR i NPV u ovisnosti od promjene cijene otkupa povrća – transparentna izvedba

**Slika 44.** IRR i NPV u ovisnosti od promijene plaća – transparentna izvedba

**Slika 45.** IRR i NPV u ovisnosti od promjene cijene električne energije – transparentna izvedba

## POPIS TABLICA

**Tablica 1.** Prosječne mjesečne temperature, Topusko [7]

**Tablica 2.** Povrtne kulture i idealni uvjeti za njihov rast [2,14]

**Tablica 3.** Vrijednosti korištene za izračun ukupnog koeficijenta prolaza topline polikarbonata

**Tablica 4.** Koeficijenti ukupnog prolaza topline

**Tablica 5.** Koeficijent ukupnog prolaza topline - gubitci prema tlu

**Tablica 6.** Specifikacije toplovodnog zračnog grijača - HELIOTHERME 4000 [28]

**Tablica 7.** Potrebe za navodnjavanjem [3]

**Tablica 8.** Razmatrani solarni moduli [31]

**Tablica 9.** Odabrani solarni paneli [32]

**Tablica 10.** Udio u troškovima solarne elektrane [33]

**Tablica 11.** Cjenik HEP usluga [34]

**Tablica 12.** Investicijski troškovi

**Tablica 13.** Parametri analize osjetljivosti

**Tablica 14.** Prinos i tržišna cijena uzgajanih kultura

**Tablica 15.** Transpiracijski gubitci

**Tablica 16.** Cijena komponenti sustava solarne elektrane

**Tablica 17.** Prihodi ostvareni prodajom električne energije

**Tablica 18.** Prihodi u prvoj godini

**Tablica 19.** Rashodi u prvoj godini

**Tablica 20.** Indeks profitabilnosti u ovisnosti promjene investicijske cijene – klasična izvedba

**Tablica 21.** Indeks profitabilnosti u ovisnosti promjene cijene solarne elektrane – klasična izvedba

**Tablica 22.** Indeks profitabilnosti u ovisnosti od promjene cijene otkupa povrća – klasična izvedba

**Tablica 23.** Indeks profitabilnosti u ovisnosti promjene plaća – klasična izvedba

**Tablica 24.** Indeks profitabilnosti u ovisnosti promjene cijene električne energije

**Tablica 25.** Indeks profitabilnosti u ovisnosti promjene investicijske cijene – transparentna izvedba

**Tablica 26.** Indeks profitabilnosti u ovisnosti rasta i pada cijene transparentne solarne elektrane – transparentna izvedba

**Tablica 27.** Indeks profitabilnosti u ovisnosti promjene cijene otkupa povrća – transparentna izvedba

**Tablica 28.** Indeks profitabilnosti u ovisnosti promjene plaća – transparentna izvedba

**Tablica 29.** Indeks profitabilnosti u ovisnosti promjene cijene struje – transparentna izvedba

## POPIS KRATICA

RH	Republika Hrvatska
CIA	Central Intelligence Agency
BDP	Bruto domaći proizvod
DZS	Državni zavod za statistiku
CO <sub>2</sub>	Ugljikov dioksid
DHMZ	Državni hidrometeorološki zavod
SAM	System Advisor Model
HEP	Hrvatska elektroprivreda
VT	Visoka tarifa
NT	Niska tarifa

## POPIS OZNAKA I JEDINICA

Oznaka	Jedinica	Opis
Q	[W]	toplinski tok
k	[W/m <sup>2</sup> K]	ukupni koeficijent prolaza topline
dT	[°C]	razlika projektne i vanjske temperature
f <sub>g1</sub>		korekcijski faktor za utjecaj oscilacija vanjske temperature
f <sub>g2</sub>		faktor smanjena temperaturne razlike koji uzima u obzir razliku između godišnje srednje vanjske i vanjske projektne temperature
A	[m <sup>2</sup> ]	površina poda staklenika
U	[W/m <sup>2</sup> K]	ekvivalentni koeficijent prolaza topline prema podu
G <sub>w</sub>		korekcijski faktor za utjecaje podzemne vode
T <sub>p</sub>	[°C]	projektirana temperatura u stakleniku
T <sub>pv</sub>	[°C]	vanjska projektna temperatura za Topusko
V <sub>i</sub>	[m <sup>3</sup> ]	ukupni volumen
T <sub>v</sub>	[°C]	vanjska temperatura
ET	[kg <sub>H2O</sub> /sec m <sup>2</sup> ]	brzina transpiracije
EL	[J/Kg <sub>H2O</sub> ]	latentna temperatura isparavanja vode
A <sub>p</sub>	[m <sup>2</sup> ]	površina poda pokrivena nekom kulturom
τ		transmisijski faktor pokrovnog materijala
S <sub>i</sub>	[%]	postotak bez naoblake
I <sub>sr</sub>	[W/m <sup>2</sup> ]	Globalna solarna iradijacija
C <sub>i</sub>	[€/kWh]	otkupna cijena
PKCI	[€/kWh]	Prosječna jedinična cijena električne energije koju kupac plaća opskrbljivaču bez naknade za korištenje distribucijske mreže te drugih naknada i poreza za gledano obračunsko razdoblje
EP <sub>i</sub>	[kWh]	energija predana u mrežu
E <sub>ii</sub>	[kWh]	energija preuzeta iz mreže
NPV	[€]	neto sadašnja vrijednost
IRR	[%]	unutarnja stopa povrata
IP	[-]	indeks profitabilnosti

## SAŽETAK

Kao članica Europske Unije, Republika Hrvatska ima obvezu ispunjena energetske ciljeve, smanjenja emisija stakleničkih plinova te smanjenja utjecaja na okoliš, korištenjem obnovljivih izvora energije. Poljoprivredni sektor nudi mnogo prostora za napredak u vidu dekarbonizacije i efikasnijeg iskorištavanja poljoprivrednih površina. Istovremeno, trend porasta svjetskog stanovništva ne jenjava te se povećava potreba za namirnicama i vodom. Pomoć rješavanju ovih problema predstavljaju solarni staklenici. Oni omogućuju istovremeno iskorištavanje zemljišta za proizvodnju hrane i električne energije, pri čemu valja naglasiti da urod pod staklenicima može biti i do deset puta veći od uroda na otvorenom polju.

U ovom diplomskom radu analizirana je isplativost izgradnje jednog takvog zaštićenog prostora na području Topuskog. Predviđena je izgradnja staklenika približne površine 0,5 ha koji će se koristiti za paralelni uzgoj paprike i krastavaca. U radu su prvo modelirani toplinski gubici i dobitci za staklenik u Excel-u na satnoj razini. Modeliran je sustav grijanja na geotermalnu vodu, a na krovu staklenika predviđena je ugradnja solarne elektrane. Proračun je proveden za dva slučaja; ugradnju klasične solarne elektrane i transparentne solarne elektrane. Proizvodnja električne energije modelirana je u System Advisor Model (SAM) sustavu. Nakon što su napravljeni modeli potrošnje električne energije svih sustava, provedena je ekonomska analiza isplativosti projekta izgradnje staklenika, pri čemu se isplativost za različite slučajeve financiranja iz Europskih fondova i vlastitog financiranja analizira kroz neto sadašnju vrijednost (*eng. Net Present Value, NPV*), unutarnju stopu povrata (*eng. Internal Recovery Rate, IRR*) te indeks profitabilnosti projekta (IP).

**Ključne riječi:** poljoprivreda, staklenik, električna energija, toplinska energija, tehnološka – ekonomska analiza

## **SUMMARY**

As a member of European Union, the Republic of Croatia has an obligation to fulfill energy targets, reduce greenhouse gas emissions and lower its environmental impact by utilizing renewable energy sources. There is a lot of room for progress in agricultural sector in the terms of decarbonization and more efficient use of agricultural land. At the same time, there is a significant growth of world population and with it the increased need for fresh water and resources. Solar greenhouses can partake in the solution of these problems. They enable simultaneous use of land for the production of food and electricity generation. It is also good to note that the yield of crops grown in the greenhouse can be up to ten times greater than yield of the same crops grown in the open field.

This thesis analyzes the cost – effectiveness of one such greenhouse in the city Topusko. It is planned to build the greenhouse with the area of 0,5 ha used for the parallel cultivation of peppers and cucumbers. In the thesis heat losses and gains are modeled in Excel on an hourly basis. A geothermal water heating system is modeled, and it is planned to install solar power plant on the roof of the greenhouse. Economic analysis is carried out for two scenarios; installation of conventional solar power plant and a transparent one. The production of electricity is modeled in the System Advisor Model (SAM). After modeling the electricity consumption of all systems, an economic analysis is carried out, for various forms of financing including financing from European funds as well as self-financing. The profitability of the project is calculated through Net Present Value (NPV) Internal Rate of Return (IRR) and a Profitability Index.

**Key words:** agriculture, greenhouse, electricity, thermal energy, techno - economic analysis

## **1. UVOD**

Proizvodnja u zaštićenim prostorima potekla je iz sjeverne Europe te je ubrzo doživjela razvoj i drugim područjima diljem svijeta. Veliki rast dogodio se 60-ih godina prošloga stoljeća, nakon što je polietilenski film postao široko dostupan. Zbog svoje jeftine cijene i jednostavne konstrukcije, platenici su postali atraktivni za male i velike uzgajivače. Sljedeći se veliki korak dogodio 70 – ih godina prošloga stoljeća, a to je bila implementacija UV – inhibitora koji su značajno poboljšali izdržljivost polietilenskih filmova. Unatrag dvadeset godina napravljen je veliki napredak u proizvodnji u zaštićenim prostorima uzgoju u vidu implementacije novih kvalitetnijih i pouzdanijih materijala za izgradnju staklenika i platenika, novih tehnologija za kontrolu optimalne mikroklimе zaštićenih prostora te razvoja tehnika kultivacije i zaštite biljaka i plodova. Ovakav je razvoj za posljedicu imao višestruko povećanje uroda iz zaštićenih prostora, što pak podrazumijeva bolju iskorištenost zemljišta. Proizvodnja u zaštićenim prostorima podrazumijeva, osim bolje iskorištenosti prostora, kontinuirani uzgoj tokom cijele godine, uzgoj kultura van njihove sezone, lakšu kontrolu bolesti i štetočina te u konačnici zdraviju hranu.

Unatoč ostvarenom napretku i uvođenju novih ideja, još uvijek postoji značajan prostor za djelovanje. Naime, najveći udio u proizvodnji u zaštićenim prostorima čine tunelski platenici, jednostavne i jeftine izrade, bez posebne mikroklimatske kontrole, kakvi su bili karakteristični za 1970-te godine, a urod u takvim platenicima je znatno manji nego što bi bio u visoko-tehnološkim staklenicima iste površine. To je razumljivo s obzirom da su zemlje jugoistočne Europe, a među njima i Hrvatska, prošle su 90-ih godina prošloga stoljeća tranzicijski period, a u tom nepovoljnom razdoblju, površine pod zaštićenim prostorima su gotovo prepolovljene [1,2]

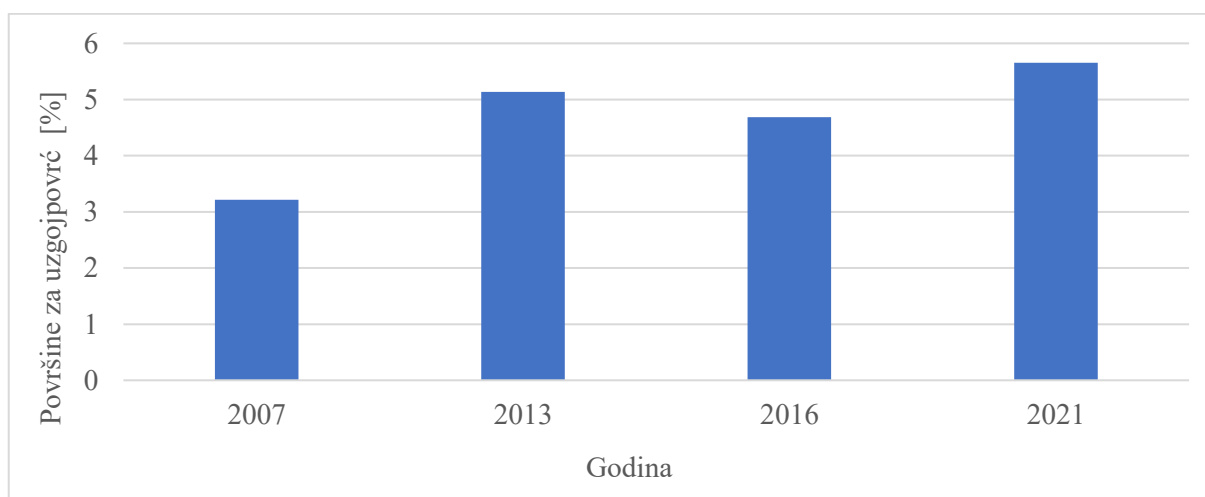


## 2. ZAŠTIĆENI PROSTORI

### 2.1. Trendovi proizvodnje u zaštićenim prostorima

Prilikom analize poljoprivrednog sektora jasno je da RH ima veliki potencijal u ostvarivanju poljoprivrednih djelatnosti. Isto to potvrđuju podaci iz izvještaja CIA -e, prema kojima je udio poljoprivrednog sektora u bruto domaćem proizvodu (BDP) 2017. godine iznosio je 3,7 %, što Hrvatsku smješta u sam vrh u odnosu na ostatak država članica Europske Unije, a najpogodnija područja za poljoprivredni uzgoj su dolina Neretve, Slavonija i Baranja [3].

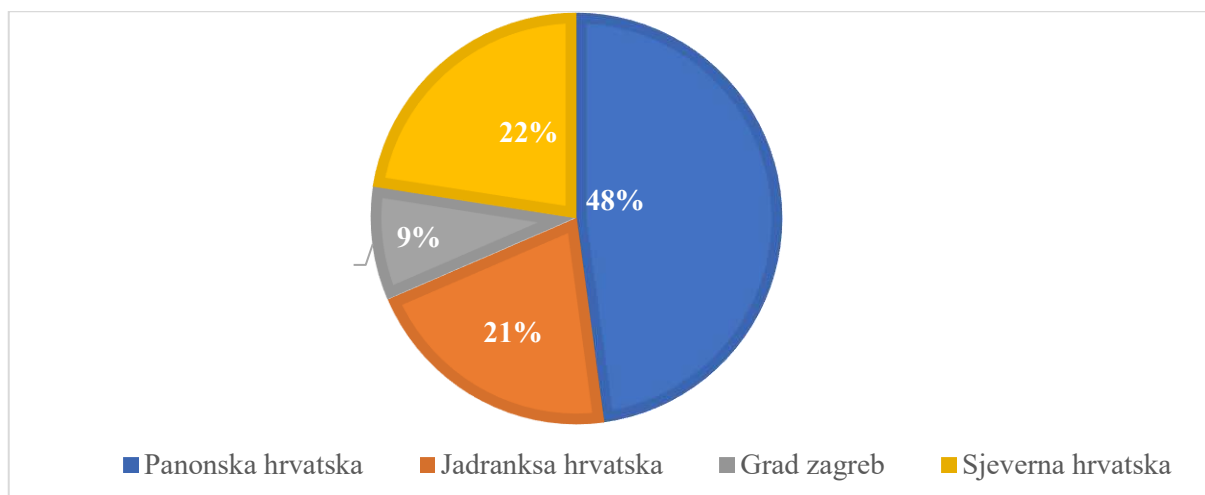
Prema podacima Državnog zavoda za statistiku Republike Hrvatske iz 2021. godine u Hrvatskoj je ukupna korištena poljoprivredna površina 1 505 429 ha, od čega se 9 492 ha koristi za uzgoj svježeg povrća i jagoda. Od tih 9 492 ha samo se 537 ha koristi za proizvodnju svježeg povrća i jagoda u zaštićenim prostorima, što znači da površine namijenjene za uzgoj povrća u staklenicima predstavljaju približno 5,6 % ukupnih površina korištenih za uzgoj povrća. Ovaj je postotak približno konstantan unatrag deset godina, kao što je prikazano na Slici 1 [3,4].



**Slika 1.** Udio zaštićenih prostora u ukupnom prostoru namijenjenom za uzgoj povrća – Republika Hrvatska

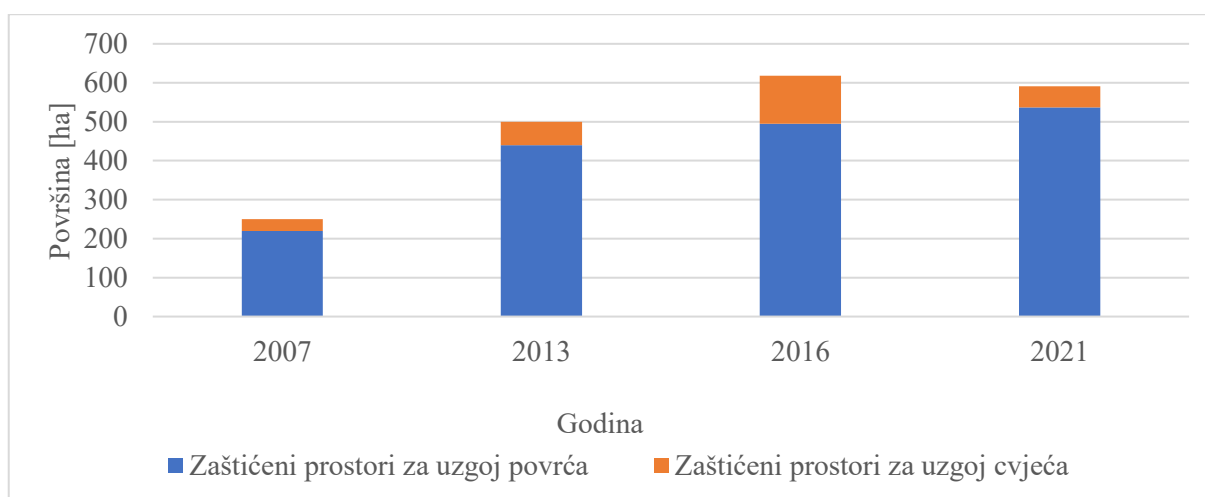
Kada se govori o uzgoju u zaštićenim prostorima ovakav je uzgoj u nekim dijelovima RH popularniji nego u drugim. Tako se ukupna najveća površina pod zaštićenim prostora za uzgoj povrća nalazi u Virovitičko – podravskoj županiji i iznosi 110 ha, a razdijeljena je između 249 poljoprivrednih gospodarstava. Druga po veličini je Osječko – baranjska županija u kojoj se nalazi 59 ha za uzgoj povrća pod zaštićenim prostorima razdijeljenih na 124 poljoprivredna gospodarstva. Najmanja površina pod zaštićenim prostorima nalazi se u Primorsko – goranskoj županiji te ona iznosi manje od 1 ha. Ako se površine pod zaštićenim prostorima Republike Hrvatske podijele na četiri karakteristične regije, podaci pokazuju kako se 48 % površina nalazi

u Panonskoj hrvatskoj, što je očekivano s obzirom na konfiguraciju terena i činjenicu da je to regija u kojoj je poljodjelstvo najzastupljenije. Na Slici 2 prikazan je postotak zaštićenih prostora ovisno o regiji prema podacima iz 2021. godine [4].



**Slika 2.** Postotak zaštićenih prostora po regiji – Republika Hrvatska [4]

Zaštićeni prostori su osim za uzgoj povrća karakteristični i za uzgoj cvijeća. Iako na mnogo manjim površinama nego uzgoj povrća uzgoj cvijeća u zaštićenim prostorima je uobičajena praksa u Hrvatskoj. Na Slici 3 prikazane su površine zaštićenih prostora u ha, namijenjenih za uzgoj povrća i cvijeća.



**Slika 3.** Zaštićene površine namijenjene za uzgoj povrća i cvijeća – Republika Hrvatska [4]

## 2.2. Osnovni uvjeti za izgradnju zaštićenog prostora

Izgradnja zaštićenog prostora započinje sa odabirom optimalne lokacije. Iako se u većini slučajeva radi o unaprijed definiranoj lokaciji postoje određeni preduvjeti koje bi trebalo zadovoljiti kako bismo osigurali optimalne uvijete u zaštićenom prostoru.

- **Blizina infrastrukture, dostatnost prostora i dostupnost radne snage**

Prilikom odabira lokacije pametno je osigurati da ima dobru cestovnu povezanost kao i blizinu priključka električne energije, plina, vode te telekomunikacija. Nedostatak ovih priključaka može znatno otežati i usporiti izgradnju zaštićenog prostora. Također, potrebno je osigurati prostor na kojem će se osim zaštićenog prostora izgraditi popratne građevine poput spremnika za vodu, popratne zgrade uredi i sl. Još jedan aspekt jest dostupnost radne snage. Naime, potrebno je istražiti postoji li potencijal zapošljavanja radne snage iz neposredne okolice ili je potreban uvoz radne snage, što predstavlja dodatan trošak [1,5].

- **Konfiguracija terena i blizina voda**

U idealnom slučaju zaštićeni prostori se grade na ravnim terenima. Poželjno je osigurati minimalan nagib od 0,4 % kako bi se osiguralo lakše otjecanje površinske vode. U pravilu se kod nagiba većih od 3 % teren zaravnjuje te se grade terase na kojima se podižu zasebni zaštićeni prostori. U pravilu se izbjegava izgradnja zaštićenih prostora uz riječne tokove jer su takve lokacije sklone nastanku magle što nepovoljno utječe na količinu dozračene solarne energije. Na lokaciji je potrebno analizirati i podzemne tokove vode koji se u idealnom slučaju nalaze na dubini većoj od 150 cm. Ako se zaštićeni prostor gradi na terenima na kojima su podzemne vode na manjoj dubini ili u područjima u kojima je prisutna velika količina padalina potrebno je osigurati pravilnu drenažu terena [1,2,5].

- **Zaklon od vjetra**

Zaštićene prostore potrebno je zakloniti od naleta vjetra. Oni se u idealnim slučajevima podižu na već topografski zaklonjenim terenima, ali ponekad je potrebna i dodatna zaštita. Zakloni od vjetra mogu biti drvoredi, šume, živice i objekti sve dok se osigura da su polupropusni kako bi vjetar kroz njih strujao te ne bi samo preko njih prelazio i s druge strane stvarao područja turbulencije. Najbitnije je osigurati da ne dolazi do zasjenjenja staklenika zbog postojanja zaklona. Pametno pozicioniranje zaštićenog prostora u odnosu na zaklon osigurava i dodatne pogodnosti u vidu ventilacije i snižavanja temperature staklenika. [2,5]

- **Onečišćenje**

Kada se zaštićeni prostori grade u blizini industrijskih postrojenja ili urbanih područja, potrebno je napraviti analizu onečišćenja zraka. Osim toksičnog djelovanja na same biljke onečišćene čestice zadržavaju se na površinama staklenika i plastenika te smanjuju intenzitet solarne energije. U pravilu se zaštićeni prostori grade na 1-5 km od industrijskih postrojenja i 100-500 m od velikih prometnica [2,5].

- **Pristupačnost vode za navodnjavanje**

Prilikom izgradnje zaštićenih prostora mora se osigurati dovoljna količina vode za navodnjavanje zadovoljavajuće kvalitete. Idealno, voda za navodnjavanje ima nizak sadržaj krutih čestica i otopljenih soli treba biti iz čistog izvora, bez patogena. Ponekad je potrebno provoditi kloriranje u svrhu smanjivanja količine bakterija. Također, potrebno je osigurati kiselost (pH) u granicama između 6,0 – 7,0 za optimalan rast sadnica. Upravo zbog toga potrebno je unaprijed analizirati sastav i kvalitetu vode za navodnjavanje [2,5].

- **Klimatska prikladnost**

Konačno, potrebno je analizirati klimatsku prikladnost nekog područja za izgradnju zaštićenog prostora. Ova se analiza primarno temelji na klimatskim parametrima kao što su temperatura odabrane i količina dozračene solarne energije na odabranoj lokaciji.

Kako se u staklenicima u pravilu uzgajaju vrste povrća poput rajčica, paprika, krastavaca, patlidžana i salate potrebno je osigurati pogodnu mikro - klimu za njihov optimalan urod. Naime, to su zahvalne sorte zbog toga što nemaju visoku osjetljivost na temperaturne razlike. Tako su ove vrste adaptirane na temperature između 17 °C i 28 °C, s limitima od 12 °C i 32 °C. Ovi limiti ne podrazumijevaju momentalno umiranje biljke ako do ovih temperatura dođe, nego smanjeni urod biljaka koje su provele nekoliko dana na tim temperaturama. U zaštićenim prostorima potrebno je također osigurati temperaturnu razliku između dana i noći koja se u idealnom slučaju kreće između 5 °C i 7 °C.

Ako promatramo srednje vrijednosti mjesečnih temperatura za proizvoljno odabranu lokaciju Topusko, možemo zaključiti da će tokom mjeseca kolovoza biti potrebno započeti grijati staklenik noću, s obzirom da se može pretpostaviti da će temperatura tokom noći biti znatno manja od 17 °C isto tako sezonu grijanja biti će moguće obustaviti između svibnja i lipnja. Također je za pretpostaviti da će cjelodnevno grijanje biti potrebno između studenog i ožujka s obzirom da su srednje mjesečne temperature manje od 10 °C [1].

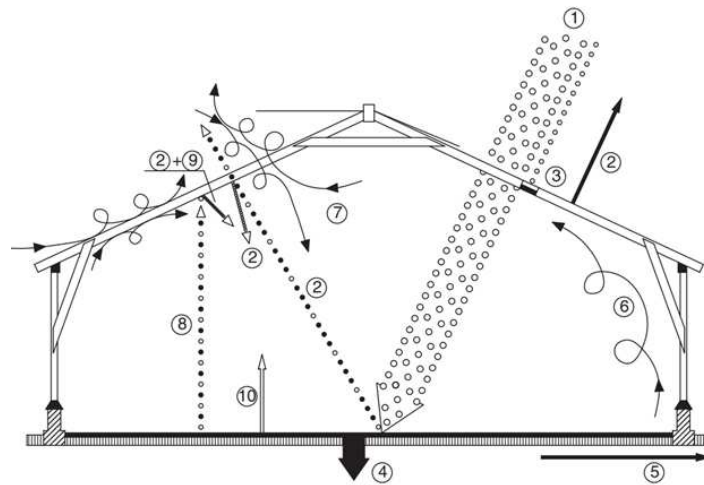
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Prosječna temperatura	-0,3	1,6	6,1	11	15,7	18,9	20,8	20	15,7	11,2	5,5	1,6

**Tablica 1.** Prosječne mjesečne temperature, Topusko [7]

Kada se analizira minimalna potrebna količina dozračene solarne energije na površinu, za navedene sorte povrća potrebno osigurati 8,5 MJ/(m<sup>2</sup>dan) (ekvivalent 2,34 kWh/(m<sup>2</sup>dan)) u studenom, prosincu i siječnju.

## 2. 3. Podjela i konstrukcija zaštićenih prostora

### 2.3.1. Toplinski tokovi u zaštićenom prostoru



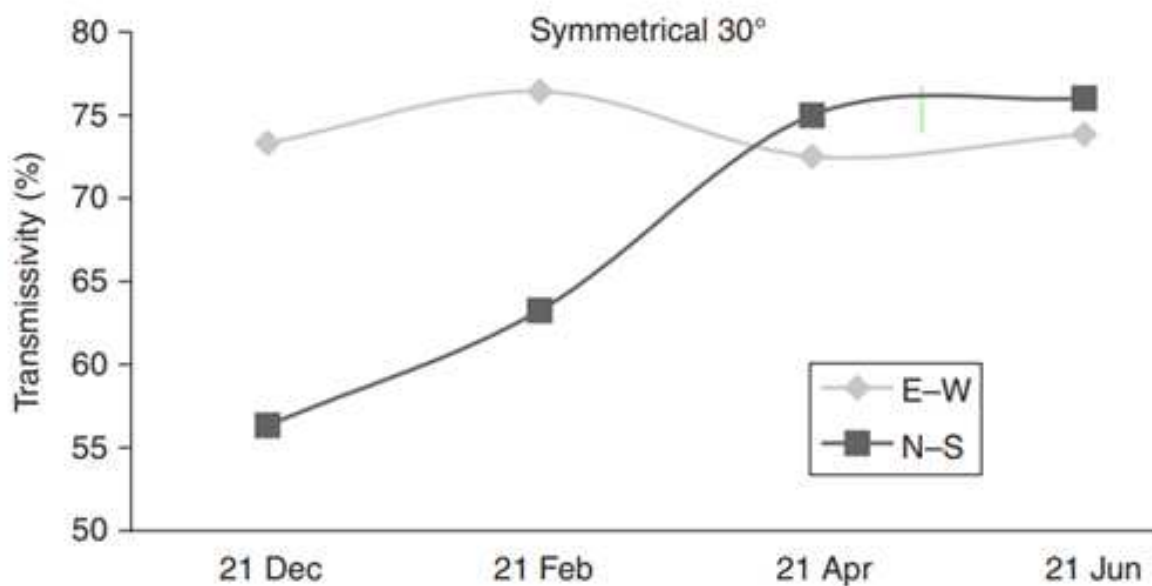
Slika 4. Efekt staklenika [1]

Prije same analize razlika zaštićenih prostora, logično je toplinske tokove zaštićenog prostora. Kada govorimo o uzgajanju u zaštićenim prostorima naš je cilj prostor pozicionirati tako da dobijemo maksimalan iznos dozračene solarne energije te maksimalan predani toplinski tok. Naime, čak i kod optimalno pozicioniranog zaštićenog prostora sva dozračena energija ne dolazi do tla i biljaka, već samo jedan njezin dio.

Kako je vidljivo na Slici 4, kada sunce obasja površinu jedan dio sunčevih zraka će se reflektirati (refleksija, broj 2), drugi dio će se apsorbirati (apsorpcija, broj 3), a treći će proći kroz materijal (transmisija). Transmitirane solarne zrake padaju na tlo te prenose toplinski tok tlu i konstrukciji staklenika (broj 4 i 5). Dio toplinskog toga se prenosi zraku (broj 6). Uslijed prijenosa toplinskog toga povećava se temperatura unutar staklenika. U svakom zaštićenom prostoru osigurana je ventilacija koja pospješuje izmjenu toplinskog toga između zaštićenog prostora i okoliša (broj 7). I tlo i krov zaštićenog prostora neke su temperature, što znači da zrače prema svome okolišu (broj 8 i 9). Konačno, prisutna je i evapotranspiracija. Evapotranspiracija podrazumijeva gubitak vode sa Zemljine površine isparavanjem vlažnih površina i transpiracijom kroz biljne pore (broj 10).

Vrijednost transmitirane solarne energije najvažnija je prilikom konstrukcije zaštićenih prostora, jer upravo ona predstavlja toplinski dobitak. Transmisijski faktor ovisan je o vrsti pokrovnog materijala, ali i poziciji sunca na nebu, geometriji pokrova zaštićenog prostora, orijentaciji istog te eventualnim zasjenjenima. U pravilu vrijedi da je transmisija veća što su je okomitiji kut upada zraka na pokrovni materijal te što je materijal transparentniji. Upravo o vrijednosti faktora transmisije ovisiti će orijentacija staklenika. Tako u načelu možemo

reći da je u Mediteranskom području orijentacija istok – zapad poželjnija u slučaju zaštićenog prostora s nagibom krova od  $30^\circ$ , a sjever – jug u slučaju nagiba krova oko  $10^\circ$ . No vrijednosti koeficijenta transmisije mogu se kretati između 0,55 i 0,7, a u slučaju dvoslojnih pokrova mogu pasti i na 0,5 – 0,6. Interesantno je promotriti vrijednost transmisije na Slici 5, za slučaj staklenika sa simetričnim krovom nagiba  $30^\circ$ , smještenog na  $37^\circ$  sjeverne geografske širine. Iz Slike 5 možemo vidjeti da je vrijednost transmisije konstantnija kroz godišnja doba pri položaju staklenika istok – zapad nego sjever – jug, što bi značilo da je za ovaj slučaj orijentacija istok – zapad, kao što je i ranije naznačeno, povoljnija [1].



**Slika 5.** Transmisija u ovisnosti o orijentaciji staklenika i godišnjem dobu [1]

Kada se ovaj faktor uzme u obzir s ostalim ranije navedenim faktorima poput konfiguracije terena i zaštite od naleta vjetra, tek je onda moguće konačno odrediti orijentaciju staklenika [1].

### 2.3.2. Plastenici

Osnovna razlika između zaštićenih prostora je pokrovni materijal, tako će se pod pojmom plastenik podrazumijevati prostori čiji je pokrovni materijal plastika. Plastenici, ponajviše iz ekonomskih razloga, predstavljaju 90 % zaštićenih prostora diljem svijeta. Ovisno o željenom učinku, plastične pokrove najjednostavnije dijelimo na polietilen i polikarbonat [2].

- **Polietilene folije**

Polietilene folije predstavljaju cjenovno najpristupačnije rješenje te su najjednostavnije za instalaciju. Vijek trajanja im je 2 do 3 godine. U osnovi su otporne na vanjske uvijete, ali su

osjetljive na eventualne ubode. Moguće ih je modificirati prilikom proizvodnje pri čemu im se mogu dodati aditivi pomoću kojih se može regulirati količina svjetla koja će ulaziti u plastenike, ali se može smanjiti i kondenzacija. Kada se želi smanjiti gubitak toplinskog toka prema okolišu ugrađuju se dvostruke folije sa zračnim slojem između njih u koji se upuhuje zrak [2,5].

- **Polikarbonatne ploče**

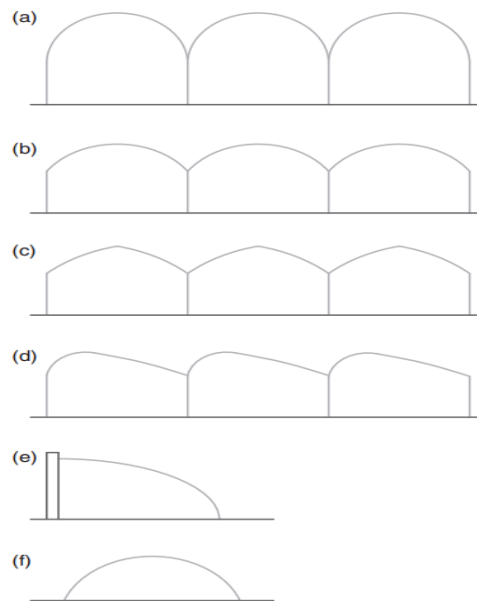
Polikarbonat predstavlja jeftinu zamjenu staklu, pogotovo kada se želi osigurati čvrsti i otporan pokrov staklenika. Polikarbonatne ploče potrebno je mijenjati svake 4 godine, a ovi su pokrovi 200 puta snažniji od polietilenskih folija. Transmisijski faktor u početku jest gotovo jednak onom od stakla, ali već nakon jedne godine gubi na svojoj vrijednosti s obzirom da ploče gube transparentnost i lako žute [2,5].

### **2.3.3. Staklenici**

Kao što im sam naziv kaže, staklenici podrazumijevaju zaštićene prostore čiji je pokrov staklo. Mnogo prije uporabe plastičnih materijala staklo je bilo u širokoj upotrebi. Iako ima sjajna optička svojstva, dobro podnosi starenje (ne zamućuje se) i lako se čisti, njegovo korištenje nije toliko rasprostranjeno. Naime, staklo ne podnosi dobro udarce (tuča), vrlo je skupo i teško. Što znači da su izvedbe staklenika daleko zahtjevnije u pogledu nosivosti konstrukcije, izrade temelja i konačne cijene projekta. Zbog toga se koriste danas većinom izbjegavaju. U slučaju njihove izgradnje često će se raditi o velikim projektima, staklenicima sa više lađa kako bi se smanjila konačna investicija po kvadratnom metru površine staklenika [1,6].

### **2.3.4. Uobičajene konstrukcije plastenika i staklenika**

Najjednostavnija podjela zaštićenih prostora je na samostojeće i one s više lađa. Modeli s više lađa uobičajeni su u komercijalnim svrhama i u takvim se konstrukcijama investicija po kvadratnom metru površine znatno smanjuje. Ovisno o vanjskom izgledu zaštićenog prostora, razlikujemo prostore sa zakrivljenim krovom (Slika 6) i prostore sa zabatnim krovom (Slika 7).

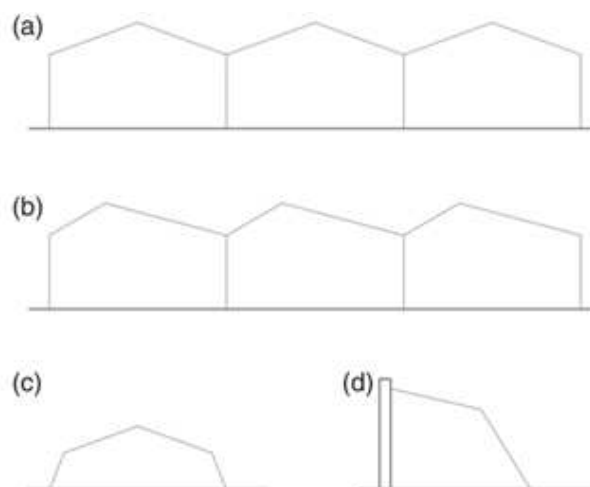


**Slika 6.** Prostori sa zakrivljenim krovom [1]

Na Slici 6 su prikazani prostori sa zakrivljenim krovom kako slijedi;

- a) Polukružni
- b) Polu-eliptični
- c) Gotički luk
- d) Asimetričan
- e) Naslanjajući
- f) Tunnel

Prostori sa zakrivljenim krovom uobičajeni su u konstrukciji plastenika s obzirom da se plastični pokrovi (npr. polietilenske folije) mogu prilagoditi zakrivljenom obliku [2,5].



**Slika 7.** Prostori sa zabatnim krovom [1]



Na Slici 7 su prikazani prostori sa zabatnim krovom kako slijedi;

- a) Simetričan više lađa
- b) Asimetričan više lađa
- c) Jednostavan
- d) Naslanjajući

Prostori sa zabatnim krovom pogodni su za sve vrste pokrovnih materijala uključujući i nefleksibilno staklo.

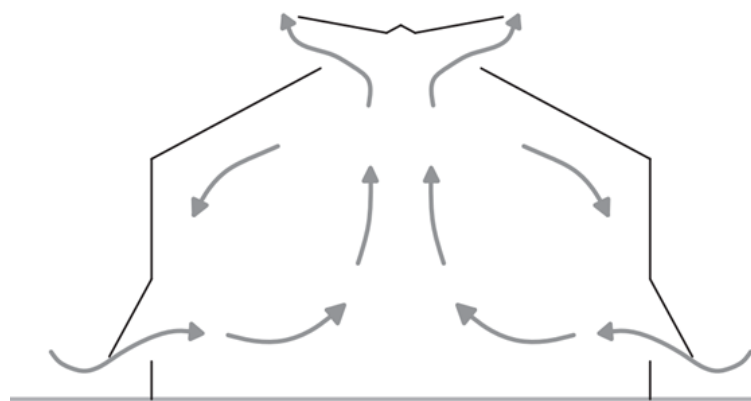
## 2.4. Ventilacija, grijanje i hlađenje zaštićenih prostora

### 2.4.1. Ventilacija

Svaki zaštićeni prostor mora imati sustav ventilacije. Ona je ključna kako bi se izbjeglo pretjerano zagrijavanje tokom dana, kako bi se izbjegla pretjerana vlažnost zraka i kako bi se održala razina CO<sub>2</sub> potrebna za razvoj biljaka. Uslijed ventilacije zaštićenog prostora višak toplinskog toga se predaje okolišu te se smanjuje temperatura zaštićenog prostora. Minimalna temperatura na koju se može spustiti unutrašnjost zaštićenog prostora koristeći samo ventilaciju jest okolišna temperatura. Za svako snižavanje temperature više od okolišne temperature potrebno je ugraditi sustav hlađenja [1,5,6].

- **Prirodna ventilacija**

Prirodna ventilacija jest najčešći oblik ventilacije, karakterizira ju izmjena zraka kroz otvore na stakleniku (najčešće kombinacija bočnih i krovnih otvora). Mehanizam prirodne ventilacije prikazan je na Slici 8. Vanjski zrak ulazi kroz bočne otvore u staklenik, a topli zrak se diže iz unutrašnjosti te izlazi na krovne otvore. Uzrok ovome jest razlika tlakova između zagrijanog zraka u stakleniku i okolišnog zraka.



**Slika 8.** Prirodna ventilacija staklenika

Potrebno je nadodati da je optimalan iznos površine otvora 25 – 33 % površine zaštićenog prostora. Ako se želi dodatno analizirati utjecaj vjetra na otvore zaštićenog prostora, potrebno je reći da će otvori okrenuti prema smjeru vjetra pospješiti ventilaciju bolje od nizvodnih otvora. No, u takvom slučaju, potrebno je paziti na intenzitet vjetra, kako ne bi došlo do oštećenja otvora. Tako će se pri višim brzinama vjetra otvarati samo oni prozori koji se nalaze nizvodno, u području podtlaka, a u slučaju velikih brzina svi će se otvori zatvarati. Upravo zbog toga, kao što je ranije navedeno, prilikom odabira lokacije zaštićenog prostora, bitno ga je tako pozicionirati da se ne nalazi na mjestima jakih udara vjetra [1,5,6].

Na otvore je uobičajeno postavljati mreže za zaštitu od insekata. U takvom slučaju smanjuje se protok zraka kroz te otvore te se sukladno odabiru mreže površina otvora za ventilaciju mora povećati [5].

- **Prisilna ventilacija**

Ponekad se izmjena zraka koju je moguće postići prirodnom ventilacijom ne smatra dovoljnom, pa se ugrađuju ventilatori. Ovakvi ventilatori rade na niskim brzinama vrtnje kako ne bi stvarali buku, a imaju velike protoke na niskim tlakovima. Velikih su promjera jer se izbjegavaju brzine zraka veće od 1 m/s kako se ne bi naštetilo biljkama. Mogu upuhivati okolišni zrak u staklenik ili staklenički zrak upuhivati u okoliš. Pozicioniraju se na 10-ak metara međusobne udaljenosti te 30 m udaljenosti od otvora [1].

## 2.4.2. Hlađenje

Hlađenje zaštićenih prostora potrebno je jedino kada su vanjske temperature u dugim periodima previsoke te čak ni snižavanje temperatura na okolišnu korištenjem ventilacije nije dovoljno.

- ***Pad and fan* hlađenje**

Princip rada ovog sustava hlađenja temelji se na poroznim tkaninama koje su natopljene vodom. Pomoću sustava ventilatora preko ovih se uložaka povlači okolišni zrak. Prilikom doticaja okolišnog zraka s ulošcima dio vode isparava pri čemu se zrak hladi. Ovako ohlađeni zrak ulazi u zaštićeni prostor. Na ovaj je način moguće sniziti temperature 3 do 6 °C, a u područjima niske vlažnosti zraka i do 10 °C [1].

- **Zamagljivanje**

Još jedna popularna metoda snižavanja temperature u zaštićenom prostoru jest zamagljivanje. Ono se kao i *pad and fan* sustav hlađenja temelji na postupku evaporacije. Voda se raspršuje unutar zaštićenog prostora te dolazi u kontakt s zrakom, dio vode isparava pri čemu se snižava

temperatura okolišnog zraka. Ovaj način hlađenja je posebno efektivan u područjima niske vlažnosti zraka. Kapi moraju biti malog promjera te se moraju raspršivati na toj visini da evaporiraju ili budu odnesene strujom zraka prije no što dođu u doticaj s biljkama kako bi se smanjila mogućnost nastanka bolesti. Na ovaj se način temperatura u stakleniku može smanjiti do 6 °C, a u suhim područjima i do 10 °C [6].

- **Zasjenjivanje i bojanje**

S obzirom da je solarno zračenje uzrok najvećih toplinskih dobitaka u zaštićenom prostoru, u vrijeme visokih temperatura logično je iste zasjeniti kako bi se smanjio transmisijski faktor. Ovaj postupak može se provesti integracijom vanjskih ili unutarnjih sjenila koja se mogu regulirati automatski ili polu-automatski te zaštititi biljke u vrijeme najvećih vrućina.

Još jedna uobičajena praksa jest bojanje staklenika najčešće bijelom bojom s vanjske strane, kako bi se dio sunčevih zraka reflektirao nazad u okoliš. Ovakve boje nisu štetne za okoliš, a ispiru se s prvim jesenskim kišama [2, 6].

Zasjenjivanje i bojanje koriste se kao posljednja opcija za hlađenje jer njihovo korištenje smanjuje urod no s druge strane povećava kvalitetu istog u odnosu na izlaganje biljaka velikim temperaturama.

### **2.4.3. Grijanje**

Grijanje zaštićenih prostora jest daleko relevantnije za područje Republike Hrvatske s obzirom da se u svim slučajevima mora primjenjivati zbog niskih temperatura. Uobičajeno je sustave grijanja podijeliti na lokalne sustave i centralne sustave.

#### **2.4.3.1. Lokalni sustavi**

Lokalni sustavi grijanja su jedinice namijenjene grijanju zaštićenih prostora koje se nalaze u samom prostoru. To su najjednostavniji sustavi, ali još uvijek su često korišteni, zbog jednostavnosti izvedbe te pristupačnije cijene.

U ovakvim jedinicama, gorivo (najčešće prirodni ili tekući naftni plin te ponekad lož ulje) izgara, a vrući dimno plinovi odvođeni se kroz cijevi duž staklenika te zagrijavaju zrak oko cijevi. Alternativno rješenje uključuje ventilatore koji povlače zrak preko vrućih cijevi te tako zagrijavaju zrak i prostor. S obzirom da su ovakvi sustavi često ovješeni na konstrukcije staklenika i s obzirom da se topli zrak diže prema krovu staklenika, pokazano je da razlika temperature između dna i vrha biljke može iznositi i do 3 °C. Pozitivna strana, osim cijene, jest brza mogućnost prilagodbe novim zahtjevima, točnije niska inercija sustava [8].

### 2.4.1.2. Centralni sustavi

Centralni sustavi grijanja koriste kao medij za grijanje prostora toplu vodu ili paru. U centralnom bojleru zagrijava se voda toplinskim dobivenim sagorijevanjem ugljena, drveta, lož ulja, propana, prirodnog plina ili sl. Ovako zagrijana voda distribuira se kroz sustav cijevi duž staklenika. Postoji više načina postavljanja sustava cijevi duž staklenika. Ako se koristi sustav centralnog grijanja vrućom vodom (50 – 80 °C), cijevi će se često postavljati na visinu od 0,3 – 1 m uz rubove zaštićenog prostora ili na tlo. Prilikom postavljanja na tlo to će se činiti u točno uniformiranom razmaku cijevi koje će se također koristiti da bi se po njima mogla pomicati kolica [8,2].

## 2.5. Vlažnost i kvaliteta zraka u zaštićenom prostoru

- **Vlažnost prostora**

Relativna vlažnost zraka ima veliku ulogu u rastu i razvoju biljaka. Ona utječe na transpiraciju biljaka, fotosintezu te eventualnu pojavu bolesti. Svaka biljka ima određeni stupanj vlažnosti zraka koji joj najviše odgovara. Tako će kod uzgoja rajčica i patlidžana idealna vlažnost zraka biti između 60 – 65 %, kod salate nešto viša a kod krastavca čak između 75 i 85 % . Vlažnost zraka potrebno je održavati u intervalu koji odgovara sorti koju uzgajamo. Najveća vlažnost zraka je ujutro, a najmanja oko 14 sati.

Najveći problem s vlažnosti nastaje u zimskim mjesecima kada topli vlažni zrak dolazi u doticaj sa hladnim površinama te vlaga iz zraka kondenzira. Kondenzacija je nepovoljna ne samo za konstrukciju i opremu zaštićenog prostora već i za biljke koje su u takvim slučajevima pogodne za razvoj gljivica.

Primarna metoda izbjegavanja kondenzacije je provjetravanje, gdje se važan zrak iz staklenika zamjenjuje sušim iz okoliša. Nakon ovog postupka potrebno je ponovno zagrijati staklenik [2,5].

- **Kvaliteta zraka**

Uobičajena količina CO<sub>2</sub> u atmosferi 380 ppm, što je ujedno i optimalna količina za pravilan razvoj biljaka u nekim slučajevima njegova količina može pasti ispod optimalne vrijednosti, što usporava fotosintezu. Tada je potrebno osigurati ventilaciju prostora. Alternativno, postoji praksa obogaćivanja zaštićenih prostora CO<sub>2</sub>. Ovakav postupak za posljedicu ima povećanje produkcije od čak 20 %. Obogaćivanje CO<sub>2</sub> provodi se posebnim uređajima te korištenjem organskih gnojiva, a količina CO<sub>2</sub> u zraku povećava se i do 1000 ppm [5].

## 2.6. Rasvjeta staklenika

Rasvjeta staklenika omogućava manipulaciju dužine dana i noći te na taj način bolji rast i razvoj biljaka. Osim toga, koristi se za kraća osvjetljavanja tokom noći (u svrhu regulacije fotoperioda). Rasvjeta se može kombinirati s prirodnim osvjetljenjem u svrhu poticanja fotosinteze i poticanja rasta biljaka. Umjetna rasvjeta u svrhu povećanja osvjetljenja u načelu se koristi kod geografskih širina viših od 50°.

Prilikom korištenja rasvjete za produženje perioda dana preporučljivo je ovu vrijednost održavati između 12 – 16 h, te ne prelaziti 18 h s obzirom da takav postupak može negativno djelovati na neke biljne vrste. Većina povrća uzgajanog u stakleniku nije osjetljiva na dužinu fotoperioda, što znači da će rasti neovisno o dužini dana, osim salate koja ima dugi fotoperiod (potrebno joj je više od 12 h svijetla) kako bi rasla.

Postoje tri tipa lampi koji se koriste u zaštićenim prostorima; one s žarnom niti, fluorescentne, lampe visokog intenziteta te led lampe. Najčešće su korištene natrij lampe visokog tlaka, koje se ubrajaju u lampe visokog intenziteta. Prilikom postavljanja rasvjete, bitno je paziti da postoji što veća uniformnost svijetla kako bi čitavi usjevi bili jednako osvjetljeni. Također, treba uzeti u obzir da lampe stvaraju područja zasjenjena [2,6].

## 2.7. Sustavi navodnjavanja zaštićenih prostora

U svakom zaštićenom prostoru, neizbježna je integracija sustava za navodnjavanje. Njihov odabir ponajviše ovisi o kulturi koju želimo uzgajati. Ako se radi o proizvodnji presadnica idealni su samohodni uređaji za zalijevanje. Također, često su korišteni rotacijski raspršivači koji mogu raditi na većim visinama te stvarati dojam "padalina", ili u zonama biljke u kojima se navodnjavanje odvija ispod lista. Najjednostavniji sustav navodnjavanja je jednostavan razvod, koji čine perforirane cijevi polietilena. Ovakav se sustav naziva kap po kap sustav, a karakterističan je po rupicama od 0,15 – 0,2 mm perforiranim na određenim udaljenostima u jednostavnoj izvedbi ne postoji kontrola protoka u cijevima te zbog toga navodnjavanje nije ujednačeno. Postoje i kompleksnije izvedbe koje imaju kontrolu protoka te kapaljke kako bi se osiguralo ujednačeno navodnjavanje čitavog prostora [2,6].

## 2.8. Kulture povrća karakteristične za uzgoj u zaštićenim prostorima

U zaštićenim prostorima najčešće se uzgajaju povrće i cvijeće. Posebice atraktivne povrtne kulture za uzgoj su rajčica, paprika, krastavac i salata. Iako su sve pogodne za uzgoj u zaštićenim prostorima, zbog idealnih uvjeta za uzgoj svake od ovih kultura, gotovo nikada se ne uzgajaju sve

kulture istovremeno. Tako će se u praksi poljoprivrednici odlučiti za jednu do maksimalno tri kulture koje će uzgajati u jednom zaštićenom prostoru. U Tablici 2. navedeni su idealni uvjeti za uzgoj svake od ovih kultura. Jasno je vidljivo da neke kulture nisu pogodne za uzgoj u istom zaštićenom prostoru (npr. salata i paprika) s obzirom da postavljaju različite zahtjeve na idealnu temperaturu prostora i vlažnost zraka.

Kultura	Temperature		Relativna vlažnost [%]	Prinos [t/ha]
	Dan	Noćna nakon		
Rajčica	20-24	14-16	60-65	40-80
Paprika	22-27	18-20	65-85	40-45
Krastavac	20-28	18-20	75-85	100-175
Salata	18-20	10-12	60-65	26-35

**Tablica 2.** Povrtne kulture i idealni uvjeti za njihov rast [2,14]

### 3. KORIŠTENJE OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE U STAKLENICIMA

U trendu sve češćeg korištenje energije iz obnovljivih izvora te pokušaja smanjenja ljudskog utjecaja na okoliš, logično je analizirati moguće implementacije zelene energije u uzgoj kultura u staklenicima, na što će se posebna pozornost skrenuti u praktičnom djelu rada.

#### 3.1. Energija sunca

Energija sunca je osnova za rast kultura u zaštićenim prostorima. Kako bi se dodatno iskoristila, često se implementiraju sustavi pohrane energije sunca u obliku termalne ili električne energije. Kada se pohranjuje u obliku termalne energije postavljaju se cigle, kamenje ili betonski blokovi koji apsorbiraju solarnu energiju tokom dana te ju otpuštaju tokom noći. Ovakva pohrana sama po sebi neće biti dovoljna za zagrijavanje prostora tokom noćnih sati, ali će doprinijeti smanjenju potrošnje energije. Najčešći načini iskorištavanja solarne energije jesu korištenjem solarnih kolektora te solarnih panela.

##### 3.1.1. Solarni kolektori

Solarni kolektori jednostavni su za implementaciju u zaštićene prostore. Princip rada im je jednak kao i u njihovom korištenju u za zagrijavanje stambenih ili poslovnih objekata. Sunce zagrijava vodu koja se u tom trenutku nalazi u kolektorima te se tako zagrijana voda, a po potrebi može dogrijavati u bojleru ili pohranjivati u izoliranim spremnicima tople vode, nakon čega struji cijevima u zaštićenom prostoru i zagrijava ga. Nedostatak ovakvog načina zagrijavanja jest spor odgovor na eventualne promjene zbog velike količine vode u sustavu, kompleksnost sanacije u slučaju puknuća cijevi te veliki investicijski trošak. Procijenjene uštede ovakvog načina grijanja su 30 % ovisno o dimenzioniranju sustava te se odlikuju visokom efikasnosti i imaju male troškove daljnjeg održavanja.

Ovakvi sustavi često su korišteni u zemljama sjeverne Europe. Dobar primjer je staklenik u Heerhugowaard-u, koje je ujedno najveći sustav solarnih kolektora Norveške. Kolektori prekrivaju 9400 m<sup>2</sup> površine te zagrijavaju vodu koja dalje zagrijava staklenik. Iz ovog se sustava dobiva i do 5000 MWh toplinske energije. Voda se pohranjuje u spremnicima kapaciteta 1300 m<sup>2</sup>. Također, implementiran je i sustav pohrane energije u glinenom spremniku toplinske energije koji se nalazi u tlu tako da se višak topline može jednostavno pohraniti [15].

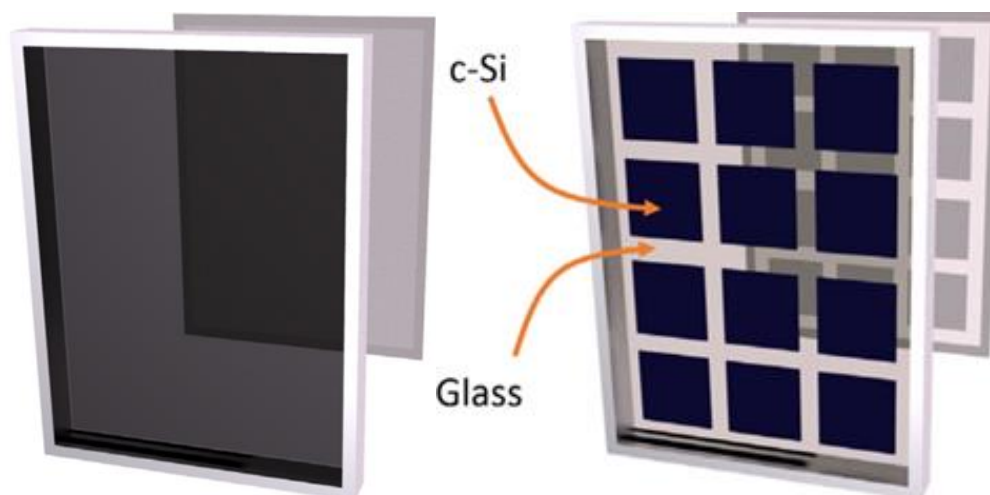
Još jedan sličan primjer jest u Nizozemskoj tvrtki Mol Fressia u Nibbixwoud-u, gdje kolektori prekrivaju 15 000 m<sup>2</sup> površine, zagrijavaju vodu koja se pohranjuje u spremnicima tople vode

veličine 1400 m<sup>3</sup> dok se kao i na prijašnjem primjeru dodatni višak topline pohranjuje u tlu. Ova se energija koristi također za zagrijavanje staklenika površine 4 ha [16].

### 3.1.2. Solarni paneli

Solarni članci koriste poluvodički materijal kako bi pretvorili fotone u napon, potaknuli kretanje elektrona i u konačnici generirali električnu energiju. Osnovni materijal za izradu solarnih članaka jest silicij. Korištenjem silicija mogu se izraditi monokristalni i polikristalni solarni paneli kao i tanki film (amorfni). Silicijski monokristalni solarni članci izrađeni su od jedinstvenog homogenog kristala koji se reže na tanke slojeve. Paneli izrađeni povezivanjem ovakvih članaka su najučinkovitiji što znači da zauzimaju najmanje prostora, ali su ujedno i najskuplji. Zbog trenda pada cijena solarnih panela posljednjih godina cijena monokristalnih panela postaje pristupačnija, tako da se danas prosječna cijena monokristalnih panela kreće oko 1,15 – 1,73 €/W [11, 13].

U poljoprivredi i stočarstvu kao i u zgradarstvu sve su popularnije polu transparentne izvedbe. Kao što im naziv kaže, oni filtriraju određene valne duljine i koriste ih za pretvorbu u korisnu energiju, a drugi dio propuštaju. Apsorpcijski materijal smješten je između dvije transparentne kolektorske elektrode (Slika 9, lijevo) ili se koriste klasični, silicijski, potpuno netransparentni članci, koji su smješteni između transparentnih slojeva pri čemu se osigurava prolazak dijela solarnog zračenja (Slika 9, desno). Ove izvedbe osiguravaju transparentnost i do 50 %.



**Slika 9.** Polu transparentni solarni paneli [12]

Povezivanje solarnih panela sa agrokulturom nije nepoznanica te su ovakvi projekti u Europi česti. Energija dobivena solarnom elektranom koristi se odmah u staklenicima ili na poljima, a višak se pohranjuje u baterije ili prodaje u mrežu.

Uspješan primjer ovakvog projekta jest firma GroenLeven sa projektom u Babbereich-u, Nizozemska, gdje je na površini od 3 ha, na kojoj se uzgajaju maline instalirana solarna elektrana



snage 2 MW. Pokazano je da je ova kombinacija uspješna s dva aspekta, solarni paneli su zaštitili maline od vanjskih nepovoljnih uvjeta, te su se pokazali korisnijima od klasičnih plastičnih tunela, a biljke su zbog utjecaja transpiracije održavale donju stranu panela hladnijom [17].

Još jedan primjer uspješne kombinacije solarnih panela i staklenika jest staklenik tvrtke Urbasolar izgrađen u Berre l'Etang-u, Francuska. Ovdje se radi o Venlo stakleniku površine 2,9 ha na kojemu instalirana solarna elektrana kapaciteta 2,8 MW, koja godišnje producira 3830 MWh električne energije [18].

### **3.2. Geotermalna energija**

Geotermalna energija je čista energija koja ima veliki potencijal za grijanje zaštićenih prostora te ju je poželjno implementirati u zemljama s velikim geotermalnim potencijalom. Ona se isključivo koristi za grijanje zaštićenih prostora, a prilikom implementacije moguće su različite izvedbe. Direktna izvedba u kojoj se topla geotermalna voda iskorištava direktno u sustavu grijanja ili posredna u kojoj se koristi dizalica topline. Korištenjem geotermalne energije moguće je drastično smanjiti energiju potrebnu za grijanje zaštićenih prostora ovisno o izdašnosti geotermalnog izvora te toplinskom opterećenju staklenika. Unutar staklenika moguće je izvesti različite izvedbe sustava grijanja, kako lokalne tako i centralne. Korištenje geotermalne energija za grijanje, a ponegdje i generaciju električne energije popularno je zemljama poput Islanda, Nizozemske, Turske i Italije [19].

Jedan primjer korištenja geotermalne energije jest u staklenicima tvrtke Lušt u Sloveniji. Radi se o izvedbi s toplinskom pumpom koja je ujedno i najveća toplinska pumpa u Sloveniji, ogrjevnog kapaciteta 2000 kW. Ovaj se sustav koristi za grijanje staklenika od 9 ha [20].

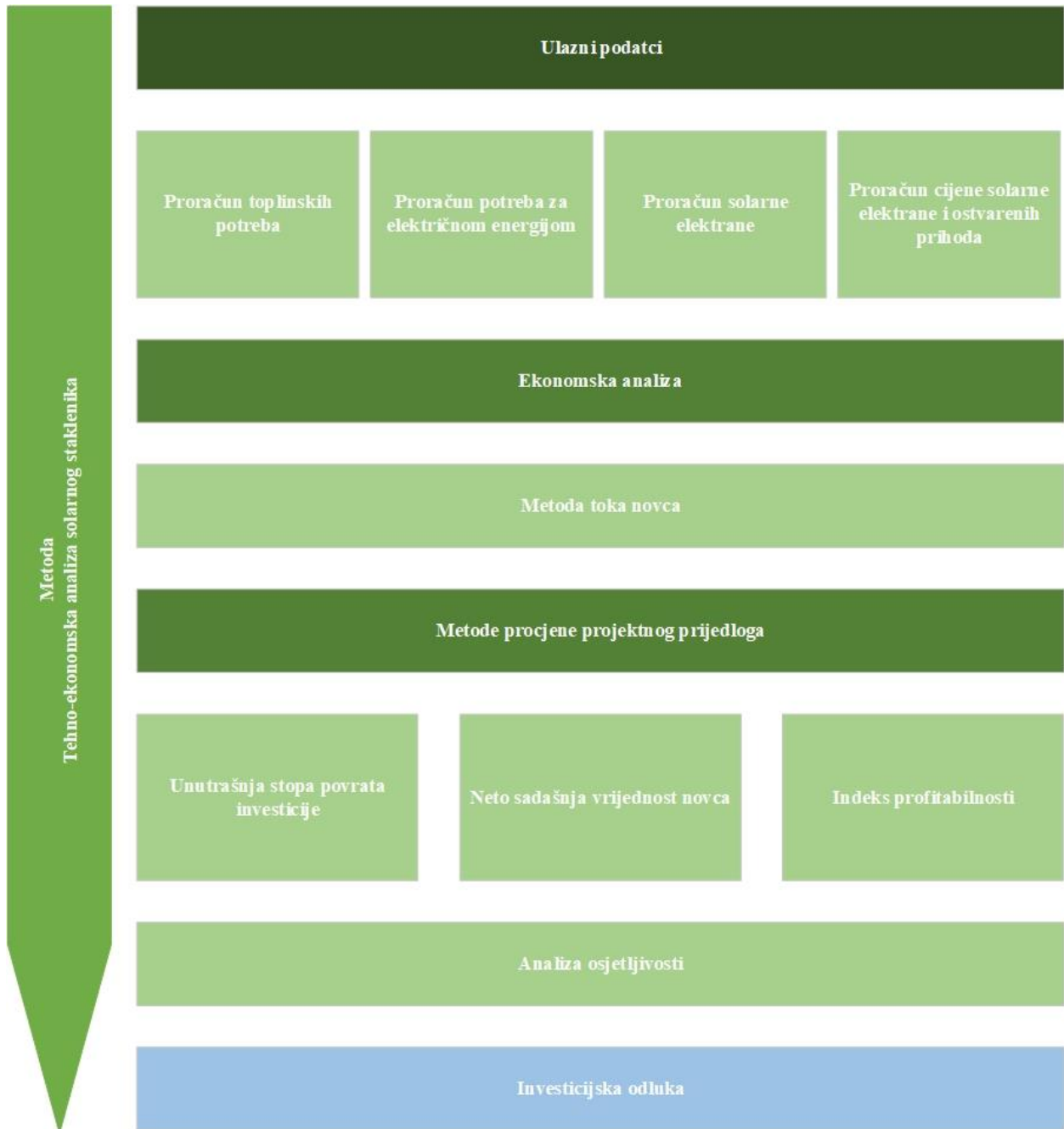
Još jedan primjer za uspješno iskorištavanje geotermalne energije jest Britanski Thanetearth u kojem se za zagrijavanje staklenika i generaciju električne energije koristi geotermalna energija. Njihov sustav ne samo da zadovoljava njihove potrebe već se i višak energije šalje u mrežu [21].

### **3.3. Energija vjetra**

Korištenje vjetra također je mogući vid implementacije obnovljive energije, no odabir lokacije u ovom slučaju mora biti pažljivo proveden. Svejedno, ove kombinacije staklenika i vjetroturbina nisu neizvedive i popularne su u primorskim regijama gdje postoje sezonski vjetrovi. Električna energija generirana vjetroturbanama koristi se odmah u stakleniku, za pokrivanje električnih i toplinskih opterećenja, djelomično ili potpuno. Također, moguća je implementacija sustava za skladištenje viška generirane energije ili prodaja u mrežu [19].

## 4. METODA

U ovom poglavlju predstavljene su metode, korištene za proračun tehničkih karakteristika projektiranog staklenika te ekonomski parametri kojima je procijenjena isplativost izgradnje staklenika i solarne elektrane.



**Slika 10.** Prikaz metode korištene u radu

Na Slici 10 shematski je prikazana metoda korištena u ovom radu. Ovom metodom ispitana je tehno-ekonomska isplativost solarnog staklenika. U tu svrhu, prvo su prikupljeni ulazni podaci iz dostupne stručne i znanstvene literature te iz dostupnih baza podataka, a neki su iskustveno

pretpostavljeni (poput veličine staklenika). Ulazni podaci korišteni su za proračun toplinskih potreba, potreba za električnom energijom, dimenzioniranje solarne elektrane te modeliranje solarne elektrane i prihoda. U sljedećem koraku izrađena je ekonomska analiza korištenjem metode toka novca čiji su rezultati poslužili kao ulazni podaci za metodu procjene projektnog prijedloga. Metoda procjene projektnog prijedloga sastojala se od tri dijela, a to su izračun unutarnje stope povrata investicije, neto sadašnje vrijednosti novca te indeksa profitabilnosti. Na koncu je izrađena analiza osjetljivosti u kojoj je promatrano kako promjena određenog parametra (npr. promjena cijene investicije, cijene električne energije, itd.) utječe na isplativost projektnog prijedloga. Na temelju rezultata ekonomske analize donosi se investicijska odluka da li je isplativo uložiti u projektni prijedlog, tj. u gradnju solarnog staklenika.

#### 4.1. Proračun toplinskih potreba

Proračun toplinskih potreba prvi je korak postupku projektiranja staklenika. Ovaj se proračun dijeli na nekoliko koraka. Prvo se računaju transmisijски gubitci, zatim gubitci prema tlu, ventilacijski gubitci te gubitci uslijed transpiracije biljaka.

##### 4.1.1. Proračun transmisijских gubitaka prema okolišu

Korištenjem sljedeće formule dobiveni su transmisijски gubitci za svaki sat u godini:

$$Q = k * A * dT \quad (1)$$

U kojoj:

$k$  – ukupni koeficijent prolaza topline [ $W/m^2K$ ],

$A$  – površina [ $m^2$ ],

$dT$  – razlika projektne i vanjske temperature [ $^{\circ}C$ ].

##### 4.1.2. Proračun transmisijских gubitaka prema tlu

U sljedećem su koraku proračunati toplinski gubitci prema tlu. Proračun je proveden prema normi EN12831, a projektna vanjska temperatura određuje se ovisno o lokaciji, prema podacima DHMZ. Korekcijski faktor računat je koristeći satne vrijednosti kao i u prethodnom koraku. Proračun je proveden po sljedećoj formuli:

$$Q = f_{g1} * f_{g2} * A * U * G_w * (T_p - T_{pv}) \quad (2)$$

U kojoj je:

$f_{g1}$  – korekcijski faktor za utjecaj oscilacija vanjske temperature,

$f_{g2}$  – faktor smanjena temperaturne razlike koji uzima u obzir razliku između godišnje srednje vanjske i vanjske projektne temperature,

$A$  – površina poda staklenika [ $m^2$ ],

$U$  - ekvivalentni koeficijent prolaza topline prema podu [ $W/m^2K$ ],

$G_w$  – korekcijski faktor za utjecaje podzemne vode,

$T_p$  – projektirana temperatura u stakleniku [ $^{\circ}C$ ],

$T_{pv}$  – vanjska projektna temperatura za Topusko [ $^{\circ}C$ ].

#### 4.1.3. Proračun ventilacijskih gubitaka

Nakon toga je proveden proračun ventilacijskih gubitaka, također prema normi EN12831 pri čemu se odredio broj izmjena zraka po satu od 3 što je standardna vrijednost za polikarbonat kao pokrovni materijal [22].

Gubitci infiltracijom izračunati su prema sljedećoj formuli:

$$Q = n * V_i * 0,34 * (T_p - T_v) \quad (3)$$

U kojoj je:

$V_i$  – ukupni volumen [ $m^3$ ],

$n$  - broj izmjena zraka po satu,

$T_p$  – projektirana temperatura u stakleniku [ $^{\circ}C$ ],

$T_v$  – vanjska temperatura [ $^{\circ}C$ ].

#### 4.1.4. Proračun transpiracijskih gubitaka

U sljedećem koraku su izračunati gubitci zbog transpiracije. Transpiracija je postupak „disanja“ biljki. Odvija se kroz otvor u lisnoj epidermi pri čemu se događa izmjena plinova između lista i okoliša. Transpiracijom se hranjive tvari od korijena biljke dovode do gornjeg dijela biljke. Količina vode koju biljka izgubi transpiracijom ovisiti će o uvjetima u kojima se biljka nalazi, ali i o samoj vrsti biljke.

Toplinski tok koji se gubi zbog transpiracije može se računati prema sljedećoj formuli:

$$Q = ET * EL * A_p \quad (4)$$

Pri čemu je:

$ET$  – brzina transpiracije [ $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{s m}^2$ ],

$EL$  – latentna temperatura isparavanja vode [ $\text{J}/\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}$ ],

$A_p$  – površina poda pokrivena nekom kulturom [ $\text{m}^2$ ].

#### 4.1.5. Proračun toplinskih dobitaka

Da bi se pravilno izračunalo toplinsko opterećenje staklenika, potrebno je osim gubitaka u obzir uzeti i toplinske dobitke staklenika. Oni su izračunati prema sljedećoj formuli;

$$Q = \tau * S_i * I * A_f \quad (5)$$

Pri čemu vrijedi:

$\tau$  – transmissijski faktor pokrovnog materijala,

$S_i$  – postotak bez naoblake,

$I$  – Globalna solarna iradijacija [ $\text{W}/\text{m}^2$ ],

$A_f$  – površina poda [ $\text{m}^2$ ].

## 4.2. Proračun potreba za električnom energijom

Proračun potrošnje električne energije nužan je kako bi se procijenili godišnji rashodi, prilikom ekonomske analize projekta, kako bi se bi se analizirala isplativost postavljanja solarne elektrane, kako bi se analizirao eventualni potencijal za uštedu te kako bi se dobila ideja o trendu potrošnje električne energije u projektiranom stakleniku.

### 4.2.1. Potrošnja sustava za grijanje

Potrošnja sustava za grijanje sljedeći je korak nakon proračuna toplinskog opterećenja. Kako bi se pravilno proračunala potrošnja sustava za grijanja nakon proračuna toplinskog opterećenja, određuje se vršno opterećenje. Vršno opterećenje odabire se kao 80 % maksimalnog opterećenja. U sljedećem koraku biraju se grijači koji će se koristiti za zagrijavanje staklenika. Kako je ranije objašnjeno u Poglavlju 2.4.3. postoji više izvedbi sustava grijanja staklenika. U ovom se projektu planira korištenje toplovodnih grijača, zbog toga što se na raspolaganju za grijanje nalazi topla geotermalna voda te ovakav sustav predstavlja jeftino i praktično rješenje. Nakon odabira grijača izračunava se koliki je njihov potreban broj da bi se zadovoljile toplinske potrebe staklenika, te se izračunava potrošnja energije prilikom vršnog opterećenja, tj. u slučaju kada svi grijači rade punim kapacitetom, prema sljedećoj formuli:

$$E_{uk} = E * n \quad (6)$$

U kojoj je:

$E_{uk}$  – ukupna potrošnja energije pri maksimalnom opterećenju [W],

$E$  – potrošnja energije pri maksimalnom opterećenju [W],

$n$  – broj grijača.

Nakon toga se proračunava relativno opterećenje za svaki sat u godini prema sljedećoj formuli:

$$\rho = \frac{Q}{Q_{max}} \quad (7)$$

U kojoj je:

$\rho$  – relativno opterećenje,

$Q$  – toplinsko opterećenje u n-tom satu [W],

$Q_{max}$  – vršno toplinsko opterećenje [W].

Te se izračunava električna energija potrebna za pogon grijača na satnoj razini prema sljedećoj formuli:

$$E_n = \rho * E_{uk} \quad (8)$$

U kojoj je:

$E_n$  – potrošena električna energija [W],

$\rho$  – relativno opterećenje,

$E_{uk}$  – ukupna potrošnja energije pri maksimalnom opterećenju [W].

#### 4.2.2. Potrošnja sustava za navodnjavanje

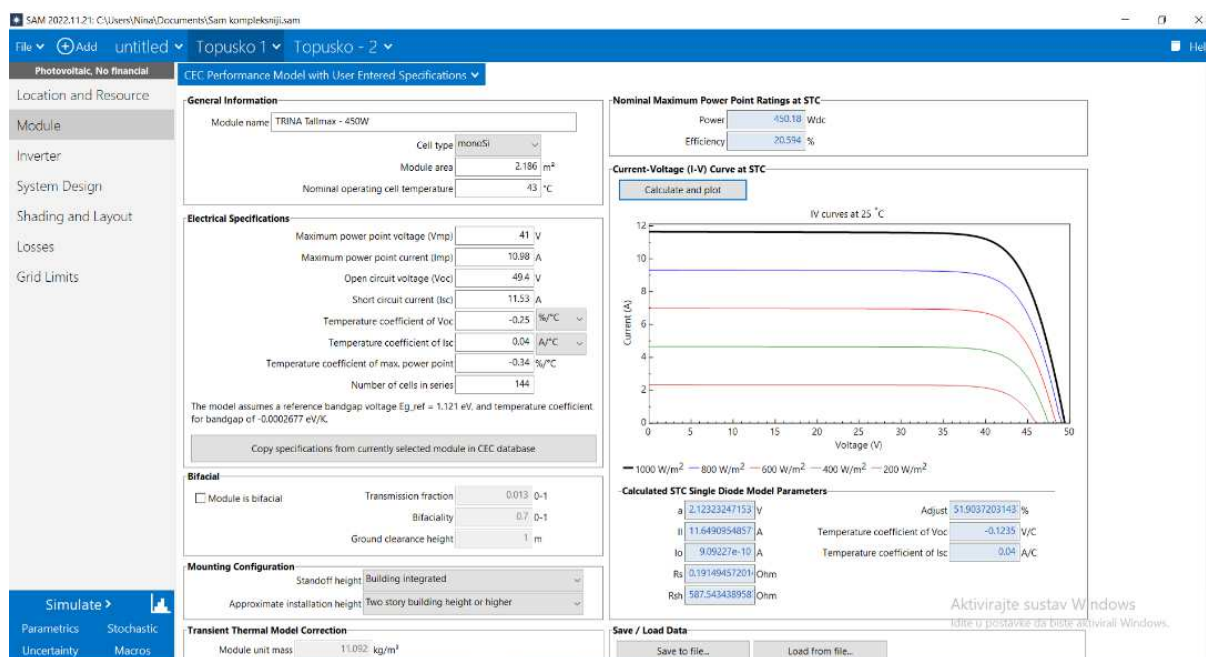
U ovom projektu koristi se sustav navodnjavanja kap po kap. On je karakterističan po svojoj maloj potrošnji vode, ali i električne energije. Proračun potrošnje sustava za navodnjavanje istovjetan je proračunu potrošnje sustava za grijanje. Temelji se na proračunu maksimalne potrebe za vodom nakon čega se odabiru pumpe koju tu vodu mogu dobiti. Nakon toga, sukladno potrebama za vodom računa se relativno opterećenje te istovjetno Formuli 8 računa se električna energija potrebna za pogon pumpi temeljeno na iznosu relativnog opterećenja.

#### 4.2.3. Potrošnja sustava rasvjete i invertera

Rasvjeta i inverter troše male iznose električne energije. S obzirom da se prilikom odabira sustava rasvjete odlučilo samo za osnovnu rasvjetu staklenika, ona se procjenjuje na 1 % ukupne potrošnje. Potrošnja invertera procijeniti će se sustavom SAM (System Advisor Model) paralelno s modeliranjem solarne elektrane te će biti konstantna kroz čitavu godinu [23].

### 4.3. Proračun solarne elektrane

Analiza proizvodnje solarne elektrane napravljena je u programu SAM. U ovome programu projektiranje započinje odabirom lokacije i baze podataka o osunčanosti. Za ovaj proračun odabrana je lokacija Topusko, a podatke o osunčanosti koristili su se podatci Europske Komisije, PVGIS – SARAH2 sustava, za prosječnu vrijednost u razdoblju od 2005. – 2020. Nakon toga se u program unose točne specifikacije solarnih panela koji će se koristiti te se pokreće simulacija. U konačnici se dobivaju podatci o generaciji električne energije za odabrane solarne panele i na godišnjoj mjesečnoj ili satnoj bazi [23,24].



Slika 11. Sučelje programa SAM [23]

### 4.4. Proračun cijene solarne elektrane i ostvarenih prihoda

Prilikom odabira solarnih panela poznata je i njihova cijena, ta se informacija koristi kako bi se uspješno izračunala cijena ostalih komponenti solarne elektrane. S obzirom da je udio svake komponente solarne elektrane poznati podatak. Nakon proračuna cijene solarne elektrane izračunavati će se prihodi koji se tom elektranom mogu ostvariti. Prvo će se izračunati jedinična otkupna cijena prema formuli (9) a nakon toga će se ta otkupna cijena pomnožiti s brojem kWh koji su predani u mrežu.

Prilikom proračuna otkupne cijene će se provoditi po sljedećoj formuli:

$$C_i = 0,9 * PKC_i * \frac{E_{pi}}{E_{ii}} \quad (9)$$

U kojoj je:

$C_i$  – otkupna cijena [€/kWh],

$PKC_i$  – Prosječna jedinična cijena električne energije koju kupac plaća opskrbljivaču bez naknade za korištenje distribucijske mreže te drugih naknada i poreza za gledano obračunsko razdoblje [€/kWh],

$E_{pi}$  – energija predana u mrežu [kWh],

$E_{ii}$  – energija preuzeta iz mreže [kWh].

#### 4.5. Ekonomski proračun

Ekonomski proračun omogućuje procjenu ekonomske efikasnosti nekog projekta. Ekonomska analiza u ovom radu provedena je koristeći metodu modela toka novca. Da bi se tokovi novca pravilno modelirali potrebno je što točnije odrediti prihode i rashode u godinama projekta. Ovo se često pokazuje kao izazov s obzirom je ponekad teško procijeniti promjene cijena nekih parametara u nadolazećim godinama, ili predvidjeti nagle promjene na tržištu uslijed neočekivanih događaja. Tokovi novca u ovom radu imaju zajedničku diskontnu stopu i karakterizira ih povezivanje svih budućih neto primitaka diskontiranih na sadašnju vrijednost sa investicijskim troškom. Na taj način moguće je uspoređivati neto dohotke u životnom vijeku projekta s investicijom u nultoj godini. Prilikom analize razlikuju se dva različita novčana toka; ekonomski i financijski. Ekonomski tok novca prepoznaje projekt kao da je u potpunosti investiran iz vlastitih sredstava, dok financijski tok novca uzima u obzir postotak financiranja iz kredita. Tako se neto primitci ekonomskog toka izračunavaju se kao bruto primitci umanjeni za iznos poreza, a s druge strane neto primitci u financijskom toku novca izračunavaju se kao bruto primitci umanjeni za iznos poreza te ratu kredita [25].

Nakon modeliranja toka novca moguće je analizirati isplativost projekta korištenjem različitih metoda procijene isplativosti projektnih prijedloga. U ovom se radu koriste tri metode za procjenu isplativosti projekta. Metoda Unutarnje stope povrata investicije (*eng. Internal recovery rate, IRR*), metoda Neto sadašnje vrijednosti (*eng. Net present value, NPV*) i Metoda indeksa profitabilnosti (*eng. Profitability indeks, PI*) [25].

- **IRR metoda**

Ova metoda uzima u obzir veličinu i timing toka novca u životnom vijeku projekta. IRR je zapravo diskontnu stopu koja izjednačava sadašnju vrijednost očekivanih troškova sa sadašnjom vrijednosti očekivanih prihoda. Kada je vrijednost IRR stope veća od vrijednosti diskontne stope projekt se smatra isplativim [25].



$$0 = NPV = \sum_{T=1}^T \frac{NPV(X_T)}{(1+IRR)^t} - X_0 \quad (10)$$

U kojoj je:

$NPV(X_T)$  – prihod u životnom vijeku projekta sveden na sadašnju vrijednost tokom perioda  $t$  [€],

$T$  – vremenski period [god],

$X_0$  – iznos inicijalne investicije [€],

$IRR$  – Unutarnja stopa povrata [%].

- **NPV metoda**

Ova metoda se temelji na diskontiranju čitavog toka novca na sadašnju vrijednost. Ako je zbroj tih tokova veći ili jednak nuli projekt se smatra isplativim [25].

$$NPV = \sum \frac{X_t}{(1+R)^t} - X_0 \quad (11)$$

U kojoj je:

$X_t$  – prihod u životnom vijeku projekta [€],

$R$  – diskontna stopa [%],

$T$  – vremenski period,

$X_0$  – iznos inicijalne investicije [€].

- **PI metoda**

Metoda indeksa profitabilnosti temelji se sumi svih budućih prihoda svedenih na sadašnju vrijednost koja se dijeli s iznosom početne investicije. Ako je taj broj veći od 1 projekt se smatra isplativim [25].

$$PI = \sum \frac{NPV(X_T)}{X_0} \quad (12)$$

U kojoj je:

$NPV(X_T)$  – prihodi u životnom vijeku projekta svedeni na sadašnju vrijednost [€],

$X_0$  – iznos inicijalne investicije [€].

Također u ovom će se radu analizirati osjetljivost promjene određenih parametara. Variranja različitih varijabli, mijenjati će se prihodi i rashodi projekta u godinama, novčani tokovi, a time i isplativost projekta. Ovakve su analize dobre zbog toga što daju sliku o tome na koje je promjene projekt najosjetljiviji, a koje promjene manje utječu na njegovu isplativost [25].

## 5. ULAZNI PODATCI

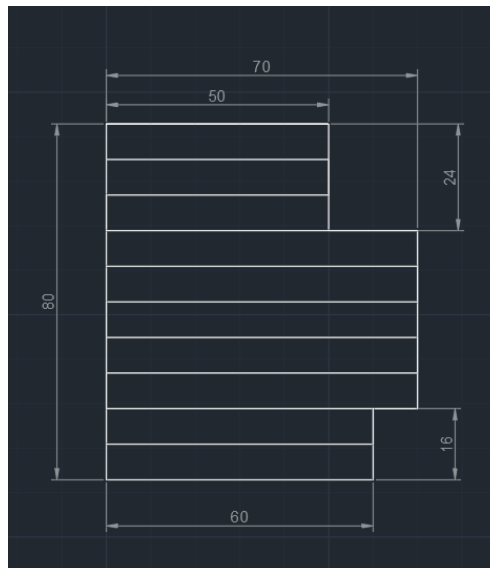
Planira se izgradnja staklenika približne površine 0,5 ha na čiji će se krov postaviti solarna elektrana. Analizira se postavljanje dviju solarnih elektrana: klasične i transparentne. Osim toga, predviđa se grijanje staklenika geotermalnom energijom koja se prije toga koristi u sustavu grijanja potrošne tople vode u Topuskom.

### 5.1. Pozicija i dimenzije staklenika

Za izgradnju staklenika predviđeno je zemljište u Topuskom prikazano na Slici 12.



**Slika 12.** Prikaz zemljišta za izgradnju zaštićenog prostora



**Slika 13.** Prikaz rasporeda lađa staklenika

Na gore prikazanu parcelu smješta se staklenik tipa "Venlo" površine 4960 m<sup>2</sup>. Zbog nepravilnog izgleda parcele predloženo je sljedeće rješenje oblika staklenika prikazano na Slici 13. Prikaz rasporeda lađa staklenika. Staklenik će se sastojati od 10 lađa orijentacije istok-zapad. Ovakav će

položaj omogućiti efikasniji rad solarne elektrane, jer će solarni paneli moći biti orijentirani prema jugu. Redom, od sjevera prema jugu, postavljaju se; tri lađe dužine 50 m, pet lađa dužine 70 m i dvije lađe dužine 60 m. Svaka lađa širine je 8 m, s obzirom da je to jedna od standardnih dimenzija izgradnje staklenika tipa "Venlo", a predviđena visina ispod žlijeba je 4 m kako bi se osiguralo da topli zrak koji se diže nije u doticaju s biljkama. Predviđen je nagib krova od 35° idealan za postavljanje solarne elektrane s fiksiranim kutom u ovim geografskim širinama.

## 5.2. Proračun toplinskih potreba

### 5.2.1. Proračun transmisivskih gubitaka prema okolišu

Za pokrovni materijal staklenika odabran je polikarbonat debljine 16 mm. Prilikom izračuna koeficijenta ukupnog prolaza topline za polikarbonat su uzete sljedeće vrijednosti;

Toplinska vodljivost polikarbonata, [W/(mK)]	0,43
Koeficijent prijelaza topline – vanjski, [W/m <sup>2</sup> K]	2
Koeficijent prijelaza topline – unutarnji, (W/m <sup>2</sup> K)	5

**Tablica 3.** Vrijednosti korištene za izračun ukupnog koeficijenta prolaza topline polikarbonata

Vanjski koeficijent prijelaza topline određen je u korelaciji sa maksimalnom brzinom vjetera za to područje koja iznosi 2-3 m/s, prema podacima DHMZ, a unutarnji koeficijent prijelaza topline određen je za maksimalnu moguću brzinu zraka u stakleniku od 0,5 m/s [5,24].

Za određivanje transmisivskih gubitaka korišteni su sljedeći koeficijenti prolaza topline i površine

Dio staklenika	Materijal	Površine, [m <sup>2</sup> ]	Koeficijent ukupnog prolaza topline, [W/(m <sup>2</sup> K)]
Bočne strane	Polikarbonat – 16 mm	1200	1,35
Krov	Polikarbonat – 16 mm	5816	1,35

**Tablica 4.** Koeficijenti ukupnog prolaza topline

Prilikom izračuna vrijednosti  $dT$  odabrani su sljedeći ulazni podatci:

- Projektna temperatura – danju

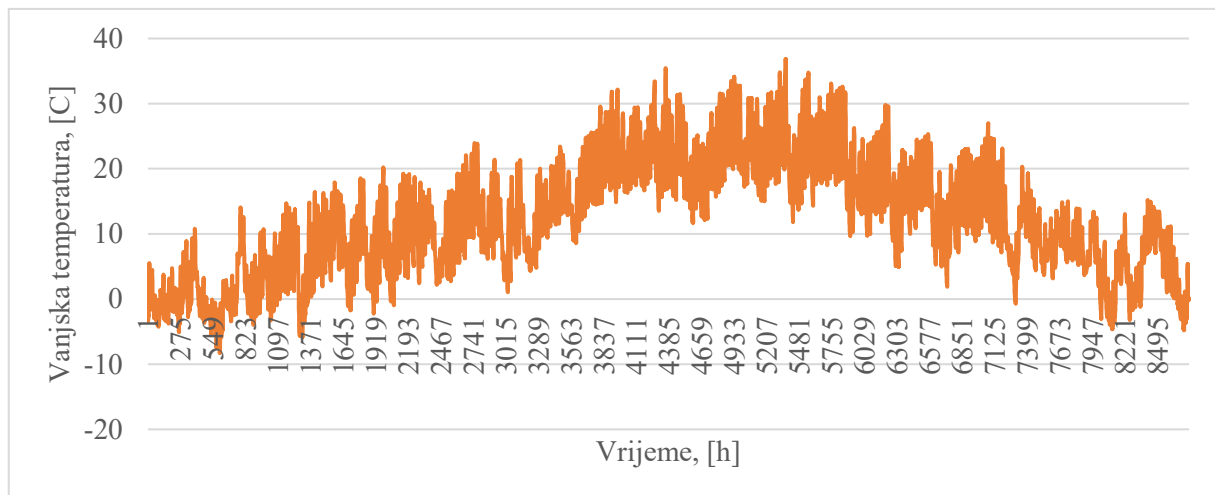
$$T_{pd} = 22 \text{ °C}$$

- Projektna temperatura – noću

$$T_{pn} = 18 \text{ °C}$$

Ove su temperature odabrane prema podacima Tablice 2, kao optimalne temperature uzgoja odabranih kultura krastavaca i paprike. Dužine dana i noći određene su sukladno podacima DHMZ. Na stranici *Renewables.ninja* preuzete su satne vrijednosti okolišne temperature za Topusko za 2019. godinu koje su u nastavku proračuna korištene kao vrijednosti vanjske temperature ove su vrijednosti prikazane na

Slici 14 [24,26].



Slika 14. Temperaturna krivulja - Topusko

### 5.2.2. Proračun transmisijskih gubitaka prema tlu

Proračun je proveden prema normi EN12831.

Ulazni podatci:

- Vanjska projektna temperatura – Topusko

$$T_{pv} = -16,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Koeficijent ukupnog prolaza topline

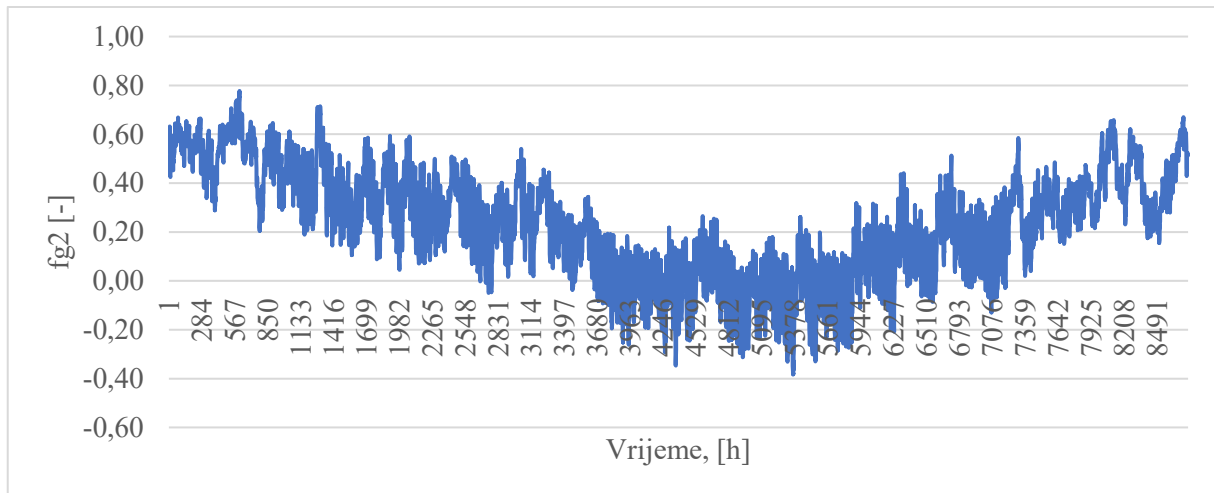
Dio staklenika	Materijal	Površine, [m <sup>2</sup> ]	Koeficijent ukupnog prolaza topline, [W/(m <sup>2</sup> K)]
Pod	Zemlja	4960	3,33

Tablica 5. Koeficijent ukupnog prolaza topline - gubitci prema tlu

- Korekcijski faktor za utjecaj oscilacije vanjske temperature

$$f_{g1} = 1,45$$

- Faktor smanjena temperaturne razlike koji uzima u obzir razliku između godišnje srednje vanjske i vanjske projektne temperature – ovaj faktor računat je na satnoj razini uzimajući razliku između stvarne vanjske temperature po satima i vanjske projektne temperature te uzimajući u obzir različitu projektiranu unutrašnju temperaturu za dan i za noć. Vrijednosti su prikazane na Slici 15.



**Slika 15.** Vrijednosti koeficijenta  $f_{g2}$

- Faktor utjecaja podzemnih voda

$$g_{w2} = 1$$

Zbog zahtjeva na odabir terena pogodnog za postavljanje zaštićenog prostora i prirode odabranog terena, podzemnih voda na dubini manjoj od 1,5 m nema te se stoga odabire navedena vrijednost faktora utjecaja podzemnih voda

### 5.2.3. Proračun ventilacijskih gubitaka

Prilikom proračuna ventilacijskih gubitaka projektirana temperatura staklenika i vanjska temperatura odabrane su kao i prethodnim poglavljima. Broj izmjena zraka po satu odabran je kao standardna vrijednost za polikarbonat kao pokrovni materijal.

Ulazni podatak:

- Broj izmjena zraka po satu

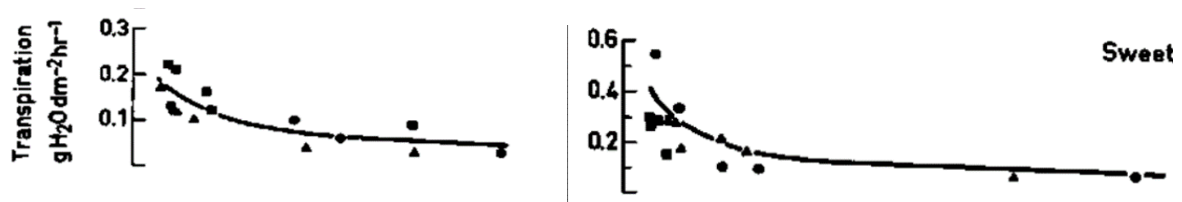
$$n = 3$$

- Ukupan volumen staklenika

$$V_i = 25916 \text{ m}^3$$

### 5.2.4. Proračun transpiracijskih gubitaka

Vrijednosti brzine transpiracije dobivene su eksperimentalnim putem. Na Slici 16 prikazane su njihove vrijednosti za paprike i krastavce [27].



Slika 16. Brzina transpiracije krastavaca i paprike [27]

Nakon preračunavanja mjernih jedinica iz  $\text{g}/(\text{dm}^2\text{h})$  u  $\text{kg}/(\text{m}^2\text{s})$  za proračun su uzeti sljedeći ulazni podatci:

- Brzina transpiracije krastavaca

$$ET_k = 0,00000277 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{s})$$

- Brzina transpiracije paprike

$$ET_p = 0,000004165 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{s})$$

- Latentna temperatura isparavanja vode

$$LV = 2260 \text{ kJ}/\text{kg}$$

- Površina poda za uzgajanje krastavaca = površina poda za uzgajanje paprike

$$A_p = 2500 \text{ m}^2$$

Valja napomenuti da su brzine transpiracije krastavaca i paprike orijentacijske vrijednosti i da je ovo pojednostavljen način izračuna toplinskog toka koji se gubi transpiracijom.

### 5.2.5. Toplinski dobitci

Treba napomenuti da su se u proračunu razlikovale dvije vrijednosti transmisijskog faktora pokrovnog materijala. Jedna je vrijednost dobivena od proizvođača polikarbonatskih ploča, a druga, manja, je vrijednost koja je korištena za proračun u zimskim mjesecima. Radi se o tome da je od proizvođača određen transmisijski faktor pokrovnog materijala ujedno i idealan faktor s obzirom da se mjeri u uvjetima kada je upad sunčevih zraka okomit na površinu. U realnosti, zimi ovaj koeficijent znatno pada [3].

Ulazni podatci:

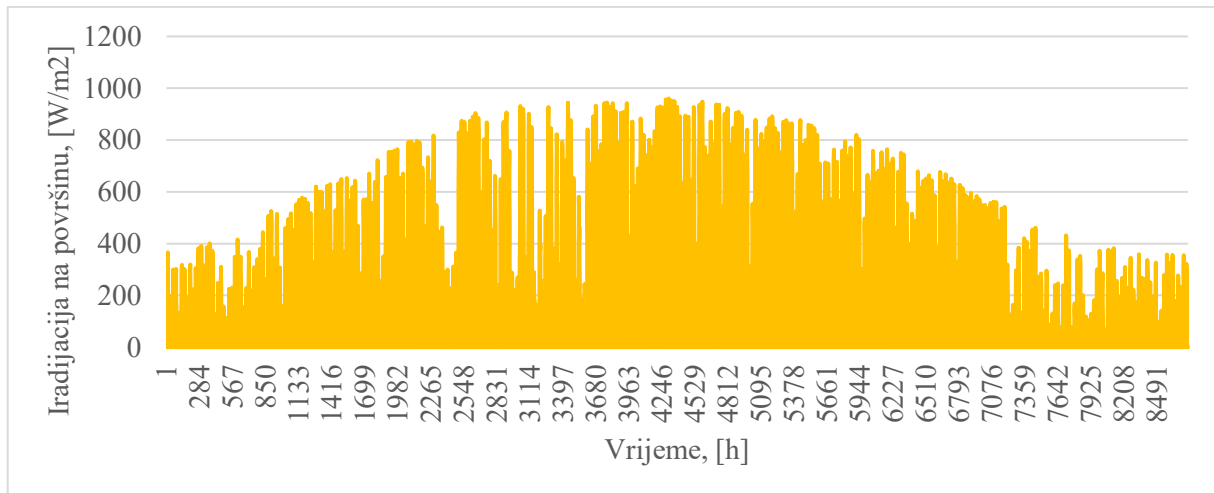
- Transmisijski faktor pokrovnog materijala (ožujak do rujan)

$$\tau = 0,76$$

- Transmisijski faktor pokrovnog materijala (ostatak godine)

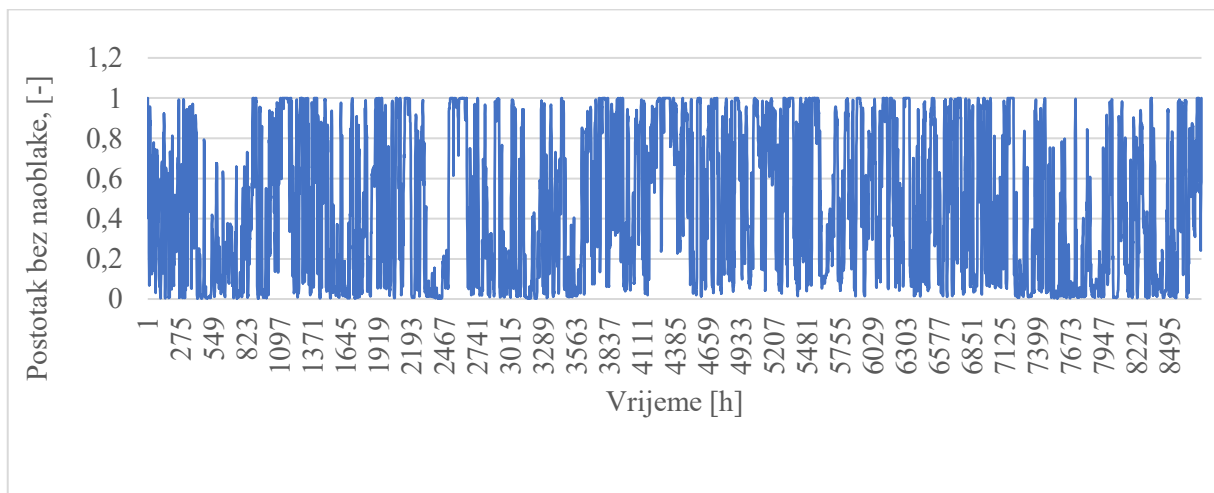
$$\tau = 0,55$$

Vrijednost globalne solarne iradijacije na površinu za lokaciju Topusko preuzeta je sa stranice *Renewables.ninja* na satnoj razini i prikazana je na Slici 17 [26].



**Slika 17.** Iradijacija na horizontalnu površinu – Topusko

Postotak bez naoblake je također dostupan podatak na stranici *Renewables ninja* te su njegove vrijednosti prikazane na Slici 18.

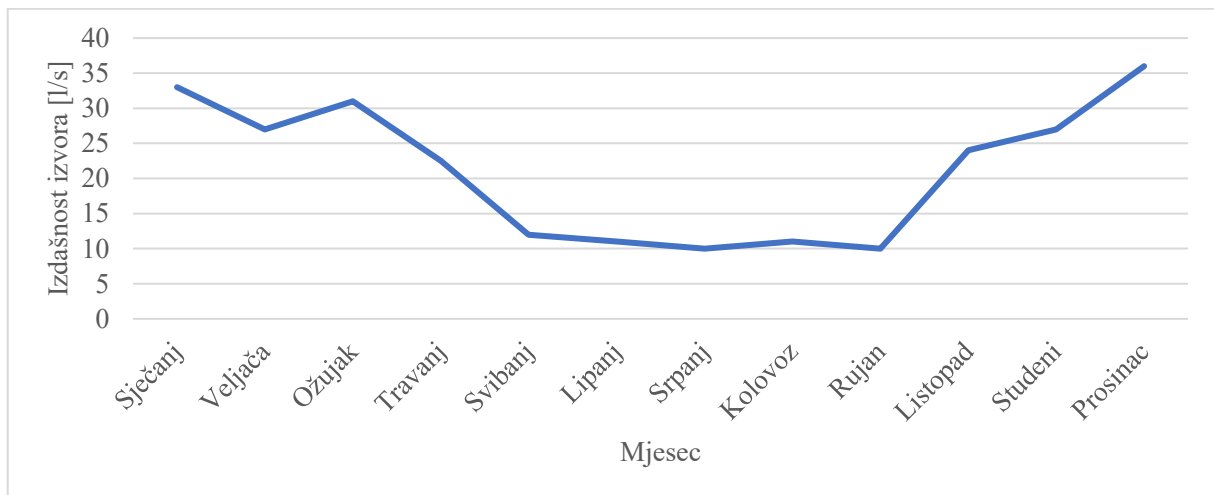


**Slika 18.** Postotak bez naoblake – Topusko

### 5.3. Proračun električne energije

#### 5.3.1. Potrošnja sustava za grijanje

U prvom koraku analizirano je zadovoljava li izdašnost geotermalnog izvora toplinsko opterećenje u svim satima godine, pri pretpostavljenoj razlici temperatura od 10 °C. Izdašnost izvora varira kao što je prikazano na Slici 19. Ispostavilo se da 832 sata godišnje izdašnost izvora neće biti dostatna za pokrivanje toplinskog opterećenja te se u tim satima predviđa aktivacija rashladnog tornja.



**Slika 19.** Izdašnost izvora geotermalne energije – Topusko

U sljedećem koraku odabrani su toplovodni grijači zraka koji će biti korišteni. Odabrani su aksijalni grijači HELIOTHERME 4000, Model 4500, ogrjevnog kapaciteta 65,9 kW. Grijač je prikazan na ,a specifikacije su prikazane u Tablici 6.



**Slika 20.** Toplovodni zračni grijač - HELIOTHERME 4000 [28]



<b>Naziv grijača</b>	<b>Broj prolaza fluida, [-]</b>	<b>Protok zraka, [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>Brzina zraka, [m/s]</b>	<b>Ogrjevni kapacitet, [kW]</b>	<b>Potrošnja el. energije pri maksimalnom opterećenju, [W]</b>
H4500	3	6500	3,86	65,9	700

**Tablica 6.** Specifikacije toplovodnog zračnog grijača - HELIOTHERME 4000 [28]

### 5.3.2. Potrošnja sustava za navodnjavanje

Za sustav navodnjavanja odabran je kap po kap sustav karakterističan po svojoj malo potrošnji vode. Ovo je jednostavan sustav koji se sastoji od izvora vode, pumpe, filtera, regulatora tlaka, ventila te niza razvodnih cijevi s kapaljkama. U ovakvim sustavima brzine strujanja u cijevi su niske, a s time i gubitci i utrošena električna energija.

U nastavku proračuna uzete su informacije o potrebi za navodnjavanjem u različitim stadijima razvoja krastavaca. Zbog jednostavnosti pretpostavljen je uzgoj krastavaca na čitavoj površini staklenika. Kako bi se osiguralo dovoljno vode za navodnjavanje, potrebno je uzeti u obzir i mjesec u godini u odnosu na stadij razvoja krastavaca kako je prikazano u Tablici 7. Tako će u od listopada do ožujka ukupne potrebe za navodnjavanjem biti jednake onim teoretskim, dok će u travnju, svibnju, kolovozu i rujnu ovaj broj biti uvećan za faktor 1,4, a u lipnju i srpnju za 1,7 zbog viših temperatura [5,29].

Mjesec	Stadij razvoja	Teoretska potreba za navodnjavanjem, [m <sup>3</sup> /dan]	Ukupna potreba za navodnjavanjem, [m <sup>3</sup> /dan]
Siječanj	Rast	22,5	22,5
Veljača	Žetva	30	30
Ožujak	Žetva	30	30
Travanj	Žetva	30	42
Svibanj	Žetva	30	42
Lipanj	Žetva	30	51
Srpanj	Sadnja	12,5	21,25
Kolovoz	Rast	22,5	31,5
Rujan	Žetva	30	42
Listopad	Žetva	30	30
Studeni	Žetva	30	30
Prosinac	Sadnja	12,5	12,5

**Tablica 7.** Potrebe za navodnjavanjem [3]

Prilikom projektiranja, zbog prirode kultura planirano je međusobno razmaknuti redove na 1,3 m, pri čemu se dolazi do konačnog broja od 61 reda u stakleniku. Tipično sustavi za navodnjavanje rade od 9 do 15 sati dnevno te je za ovaj projekt odabrana vrijednost od 10 h.

Nakon provedenog proračuna, potvrđeno je da je strujanje u cijevima laminarno te su sukladno gubiticima odabrane pumpe, koje maksimalno opterećenje podnose u lipnju pri čemu je njihova

potrošnja 1,2 kW. Prilikom projektiranja na satnoj razini predviđen je rad pumpi svaki dan između 7 i 16 h.

### 5.3.2. Potrošnja sustava rasvjete i invertera

Prilikom odabira sustava rasvjete, zaključeno je da ne treba postavljati dodatnu rasvjetu za uzgoj biljaka s obzirom da se na dnevnoj bazi ostvaruje zadovoljavajući broj solarnih sati za pravilan razvoj biljaka u stakleniku. Zbog toga se planira postavljanje samo osnovne rasvjete koje nije dodatno modelirano nego se njegova vrijednost prema iskustvenim podacima procijenila kao dodatnih 1 % potrošnje [30]. Prema SAM sustavu predviđena potrošnja invertera je uvijek jednaka te iznosi 0,001 kW za svaki sat u godini [23].

## 5.4. Proračun solarne elektrane

### 5.4.1. Proračun klasične solarne elektrane

U ovom su radu razmatrana dva rješenja postavljanja solarnih elektrana. Prvi predložak je postavljanje klasične solarne elektrane na prvih 10 m svake lađe staklenika. Ovo rješenje je interesantno zbog toga što je u prvih 10 m svake lađe predviđeno postavljanje opreme te ta površina nije namijenjena za sadnju kultura. Zbog toga ne dolazi do zasjenjena i smanjena uroda zbog postavljanja solarnih panela.

Prilikom proračuna klasične solarne elektrane razmatralo se nekoliko različitih modula.

Naziv modula	Vršna snaga panela, [W]	Ukupan broj panela, [-]	Ukupna instalirana snaga, [kW]	Cijena po kW instalirane snage, [€/kW]
Trina halfCell Mono	340	200	68	494,12
SUNERGY half cell	380	200	76	505,26
Trina TALLMAX	450	200	90	486,67
Amerisolar 60 cells, poly	285	200	57	491,23
SUNERGY, polikristalni	280	200	56	414,29

**Tablica 8.** Razmatrani solarni moduli [31]

U konačnici je odabran Trina TALLMAX model vršne snage 450 W i dimenzija 1040x2102 mm. Zbog svojih dimenzija ovi paneli pokrivaju gotovo čitavu dostupnu površinu krova te je ukupna instalirana snaga elektrane veća nego kod drugih analiziranih panela. Predloženo je postavljanje dva niza od 10 panela na južnu stranu krova svake lađe. Što u konačnici rezultira instalacijom solarne elektrane vršne snage 90 kW.



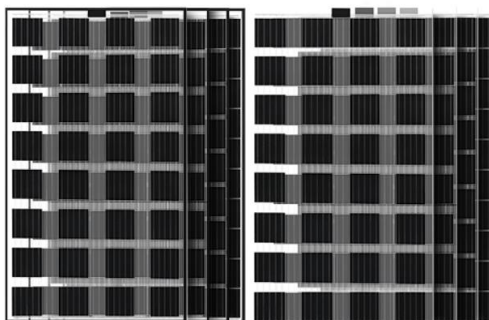
**Slika 21.** Trina TALLMAX model [31]

#### 5.4.2. Proračun transparentne solarne elektrane

Prilikom projektiranja transparentne solarne elektrane proveden je isti postupak. Predviđeno je iskorištavanje čitave južne strane krova za postavljanje solarne elektrane. Predloženo je postavljanje solarnih panela u dva reda na svakoj lađi. Na ovaj način je ukupno moguće postaviti 1240 panela. Informacije o odabranim panelima prikazane su u Tablici 9. Odabrani solarni paneli. Ova solarna elektrana ima izlaznu vršnu snagu od 217 kW.

Naziv modula	Vršna snaga panela, [W]	Ukupan broj panela, [-]	Dimenzije panela, [mmXmm]	Ukupna instalirana snaga, [kW]	Cijena po kW instalirane snage, [€/kW]
SONNENSTROMFABRIK Excellent glass Monocrystalline 175	175	1240	1000x1700	217	1365

**Tablica 9.** Odabrani solarni paneli [32]



**Slika 22.** SONNENSTROMFABRIK Excellent glass Monocrystalline 275 panel [32]

### 5.5. Proračun cijene solarne elektrane i ostvarenih prihoda

Da bi se proračunala cijena električne elektrane, polazi se od udjela troška panela u ukupnom trošku, s obzirom da je cijena panela poznata.

Komponenta	Udio u ukupnom trošku solarne elektrane, [%]
Paneli	45,7
Inverter	5,5
Transformator i priključak na mrežu	10,9
Ugradnja	22,7
Ostali troškovi	6,5
Paušalno pokriće	8,7

**Tablica 10.** Udio u troškovima solarne elektrane [33]

Pri izračunu cijene otkupa potrebno je znati da će se poduzeće spajati na niski napon, a obračun će se vršiti po crvenom modelu. U Tablici 11 prikazane su cijene obračuna po ovom modelu preuzete sa stranice HEP-a [34].

Tarifni model	Radna energije, [€/kWh]		Naknada za opskrbu, [€/mj.]	Naknada za korištenje distribucijske mreže		Obračunska vršna radna snaga, [€/kW]	Prekomjerna jalova energija, [€/kVarh]	Naknada za mjerno mjesto, [€/mj.]
	VT	NT		VT	NT			
Naknada za opskrbu	0,246	0,145	4,654	0,0291	0,0133	5,176	0,02124	5,481

**Tablica 11.** Cjenik HEP usluga [34]

## 5.6. Ekonomska analiza

Prilikom ekonomske analize nekog projekta prvotno je potrebno znati cijenu investicije projekta, prihode i rashode, amortizaciju te iznos kredita, ako se on koristi kao izvor djelomičnog ili potpunog financiranja. Nakon toga provodi se analiza osjetljivosti za odabrane parametre

Ulazni podatci:

- Cijena investicije – paralelno su prikazani investicijski troškovi za staklenik sa klasičnom i transparentnom solarnom elektranom.

Opis	Iznos – klasična elektrana	Iznos – transparentna elektrana	Referenca
Dokumentacija, projektiranje i dozvole, [€]	140 000	140 000	-
Zgrada staklenika, [€]	496 000	496 000	[35, 36, 37]
Sustav navodnjavanja, [€]	2 000	2 000	[40]
Sustav grijanja, [€]	70 000	70 000	[39]
Sustav rasvjete, [€]	20 000	20 000	[40]
Sustav automatizacije i kontrole, [€]	10 000	10 000	[41]
Ostali sustavi, [€]	15 000	15 000	[42, 43]
Cijena solarne elektrane, [€]	95 842	648 490	[33]
<b>Ukupna investicija, [€]</b>	<b>848 842</b>	<b>1 401 490</b>	-

**Tablica 12.** Investicijski troškovi

- Broj godina amortizacije za staklenik i solarnu elektranu

$$n = 20$$

- Broj godina amortizacije za dokumentaciju

$$n = 4$$

- Udio financiranja iz EU fondova

$$30 \%$$

- Udio financiranja iz vlastitih fondova

$$10 \%$$

- Udio financiranja iz kredita  
60 %
- Broj godina kredita  
n = 20
- Kamatna stopa  
5 %
- Diskontna stopa  
5,5 %
- Porez na dobit  
18 %
- Smanjenje efikasnosti solarnih panela  
0,65 %
- Parametri analize osjetljivosti

Parametar	Raspon promjene cijene, [%]
Promjena ukupne investicije	+/- 50
Promjena investicije u solarnu elektranu	+/- 50
Promjena cijene struje	+/- 10
Promjena cijene povrća	+/- 4
Promjena visine plaća	+/- 4

**Tablica 13.** Parametri analize osjetljivosti

- Uzgoj kultura

Prihodi se ostvaruju kroz prodaju električne energije i prodaju uzgojenih kultura. S obzirom da se predviđa istovremeno uzgajanje krastavaca i paprike, planira se pola površine staklenika namijeniti uzgoju paprike a pola uzgoju krastavaca. Određivanje prinosa paprike i krastavaca temelji se na prosječnoj vrijednosti prinosa paprike u staklenicima.

Kultura	Prinos, [t/2500m <sup>2</sup> /god]	Tržišna cijena, [€/kg]	Referenca
Krastavci	62,4	1,5	[2]
Paprika	16,64	3,5	[43]

**Tablica 14.** Prinos i tržišna cijena uzgajanih kultura

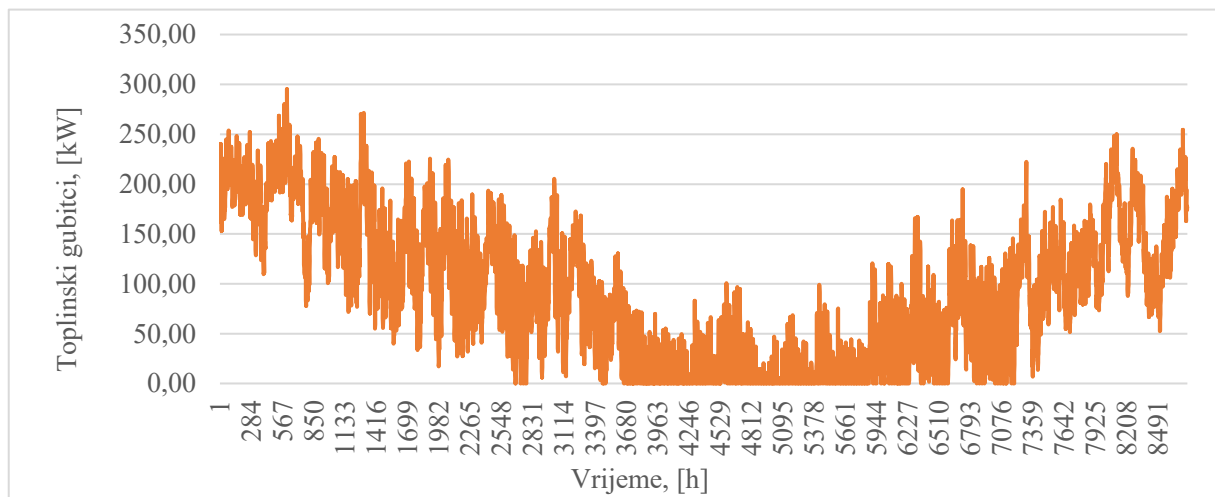
## 6. REZULTATI

### 6.1. Toplinske potrebe

Toplinske potrebe staklenika istovjetne su za slučaj transparentnih i klasičnih solarnih panela, a njihove satne vrijednosti prikazane su u nastavku.

#### 6.1.1. Transmisijski gubici prema okolišu

Rezultati izračuna transmisijskih gubitaka prema okolišu prikazani su na Slici 23, očekivano gubici su najveći u zimskim mjesecima a najmanji u ljetnim, zbog najviše razlike između okolišne temperature i projektne temperature staklenika. Ljeti njihova vrijednost je niža jer je temperatura okoliša u često bliska projektnoj unutrašnjoj temperaturi.

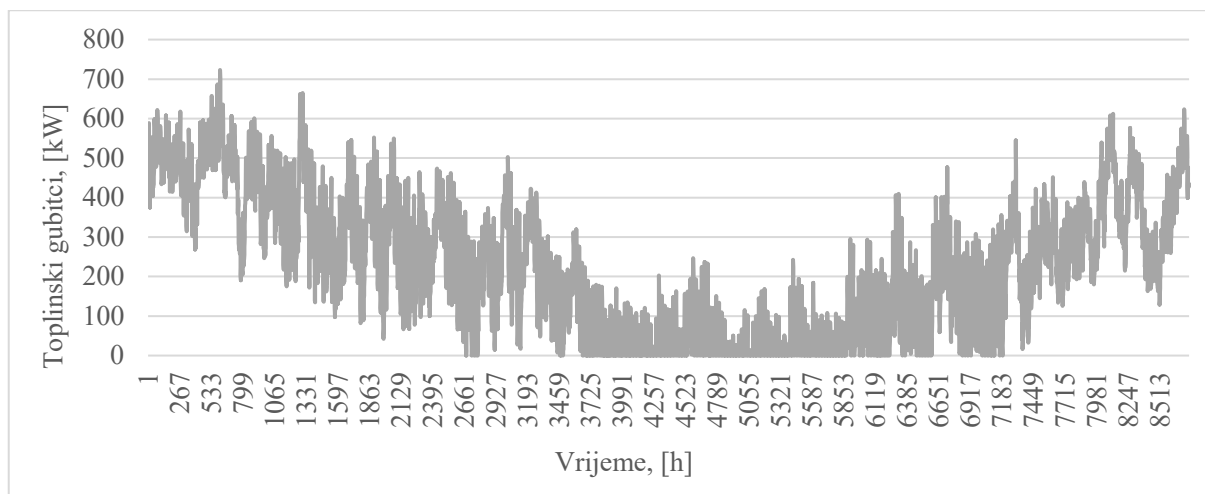


Slika 23. Transmisijski gubici prema okolišu

#### 6.1.2. Transmisijski gubici prema tlu

Rezultati izračuna transmisijskih gubitaka prema tlu prikazani su na. Također njihov se maksimum javlja u zimskim mjesecima. Izgled ove krivulje sličan je izgledu krivulje transmisijskih gubitaka prema okolišu, što je očekivano s obzirom da se za proračun i jednih i drugih gubitaka u obzir uzima razlika okolišnih temperatura i projektne unutrašnje temperature staklenika.

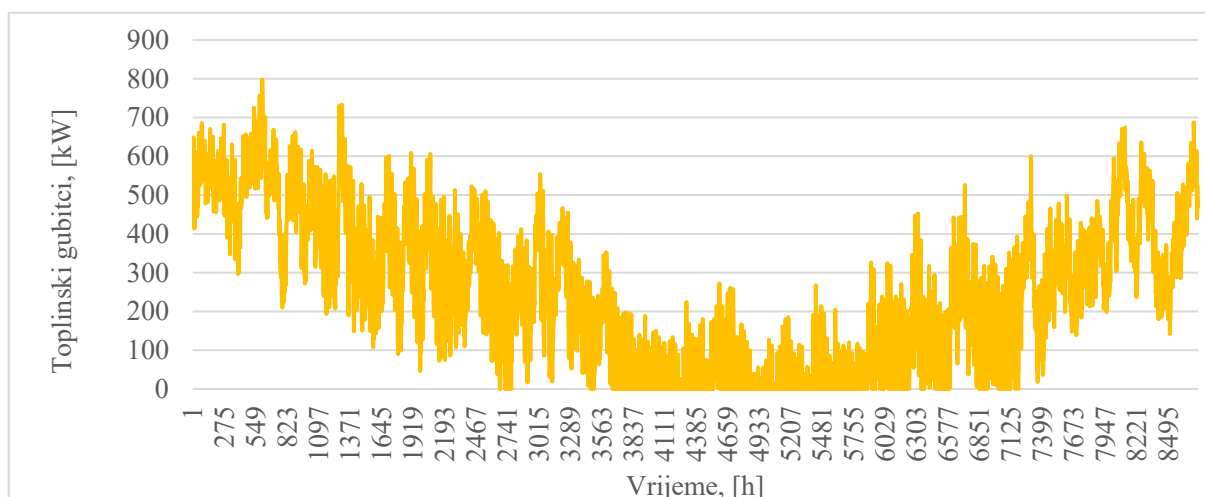




Slika 24. Transmisijski gubitci prema tlu

### 6.1.3. Ventilacijski gubitci

Ventilacijski gubitci poprimaju najveće vrijednosti u zimsko doba, kada je razlika između projektne unutrašnje temperature i vanjske temperature najveća. Svojem oblikom krivulja ventilacijskih gubitaka slična je krivulji transmisijskih gubitaka s obzirom da se u oba slučaja proračun gubitaka temelji na razlici između unutarnje projektne temperature i okolišne temperature.



Slika 25. Ventilacijski gubitci

### 6.1.4. Transpiracijski gubitci

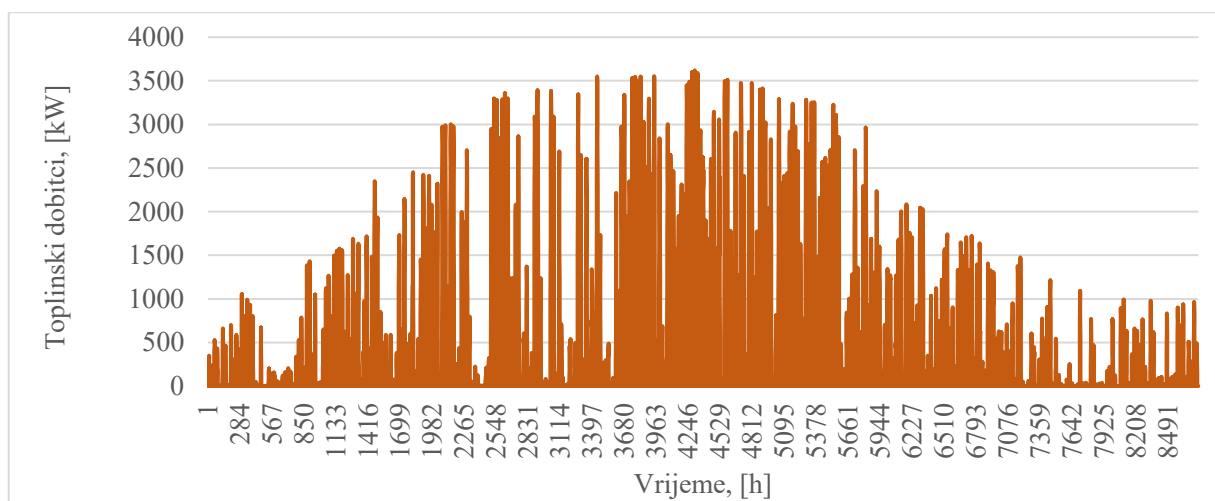
Transpiracijski gubitci predstavljeni su kao konstantna vrijednost kroz čitavu godinu. U realnosti oni se mijenjaju ovisno o stadiju razvoja kultura, pa će u doba sadnje i rasta njihove vrijednosti biti manje od vrijednosti u Tablici 15. Ove vrijednosti predstavljaju transpiracijske gubitke u doba žetve, kada je površina listova najveća. No ovako određeni smatraju se dobrom orijentacijskom vrijednosti za proračun maksimalnih toplinskih gubitaka.

Kultura	Transpiracijski gubitci, [kW]
Krastavci	15,56
Paprike	23,35

**Tablica 15.** Transpiracijski gubitci

#### 6.1.4. Toplinski dobitci

Toplinski dobitci očekivano su najveći u ljetnim mjesecima. Tada je iradijacija na horizontalnu površinu najveća, kao što je prikazano na Slici 17. Također, transmisijski faktor je veći u ljetnim mjesecima jer je upadni kut sunčevih zraka okomitiji. Faktor bez naoblake je isto veći, pa svi ti faktori objašnjavaju povećanje toplinskih dobitaka u ljetnim mjesecima.

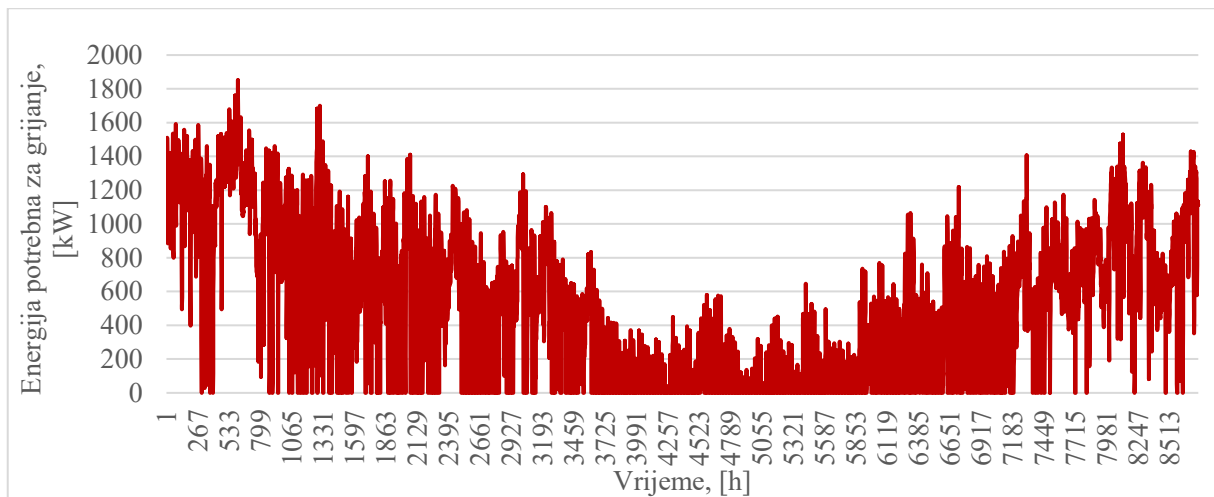


**Slika 26.** Toplinski dobitci

#### 6.1.5. Ukupni toplinski gubitci

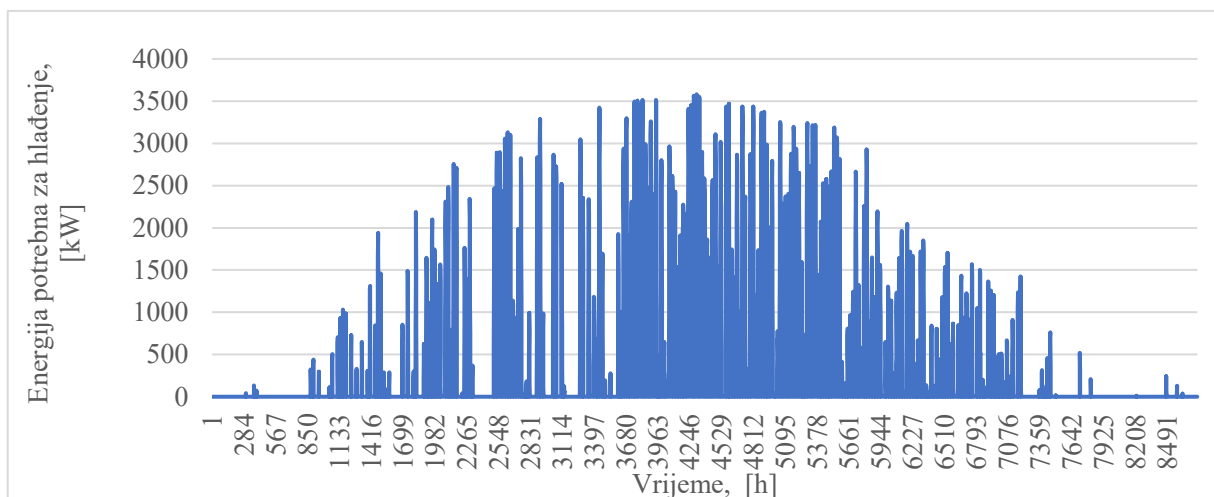
Ukupni toplinski gubitci predstavljaju energiju koja se mora dovesti kako bi se osigurala projektna temperatura u stakleniku. Iz toplinskih gubitaka proračunava se kapacitet uređaja za grijanje, kao 80 % maksimalne energije potrebne za grijanjem.

Ukupni toplinski gubitci prikazani su na Slici 27 te predstavljaju zbroj transmisijskih gubitaka prema okolišu, prema tlu, ventilacijskih gubitaka i transpiracijskih gubitaka od kojih su oduzeti toplinski dobitci.



Slika 27. Energija potrebna za grijanje

Osim energije potrebne za grijanje na isti način je prikazana energija potrebna za hlađenje



Slika 28. Energija potrebna za hlađenje

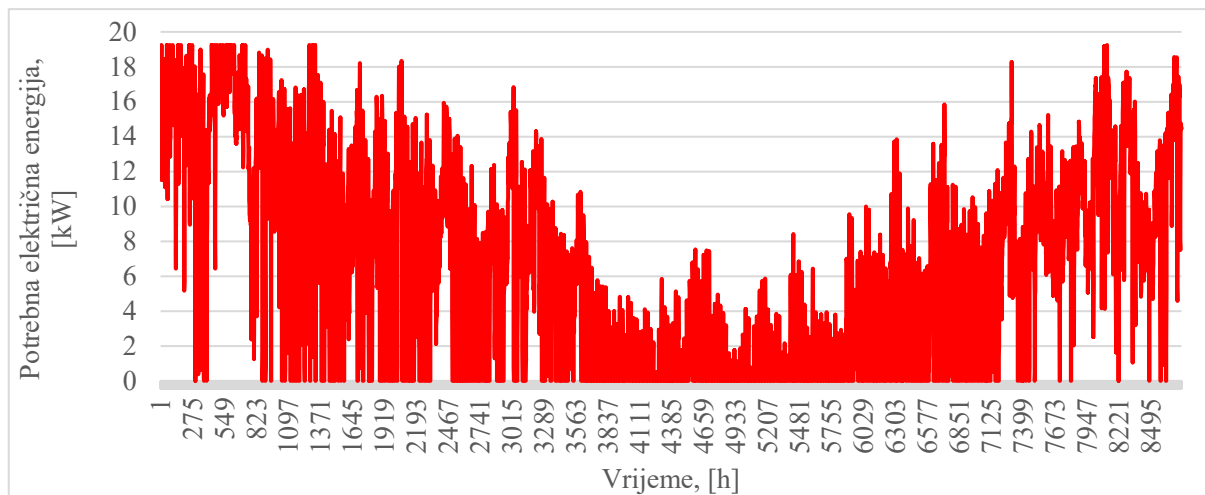
Maksimalni toplinski tok potreban za grijanje iznosi 1851,59 kW te se uređaj za grijanje projektira na 1481,27 kW. Maksimalna potreba za hlađenjem iznosi 3580,9 kW te se uređaj projektira na 2864,72 kW.

## 6.2. Proračun električne energije

### 6.2.1. Potrošnja sustava za grijanje

Kako bi se potrošnja sustava za grijanje uspješno modelirala prema Formuli 6 potrebno je odrediti broj grijača potreban za pokrivanje nastalih toplinskih gubitaka. Nakon što je izračunato toplinsko opterećenje, poznato je da maksimalni toplinski tok potreban za grijanje iznosi 1481,27 kW. Iz Poglavlja 5.3.1. poznato je da odabrani grijaći uređaj ima kapacitet od 65,9 kW. Jednostavnim dijeljenjem ova dva broja dolazi se do podatka da je za zadovoljavanje maksimalnog toplinskog

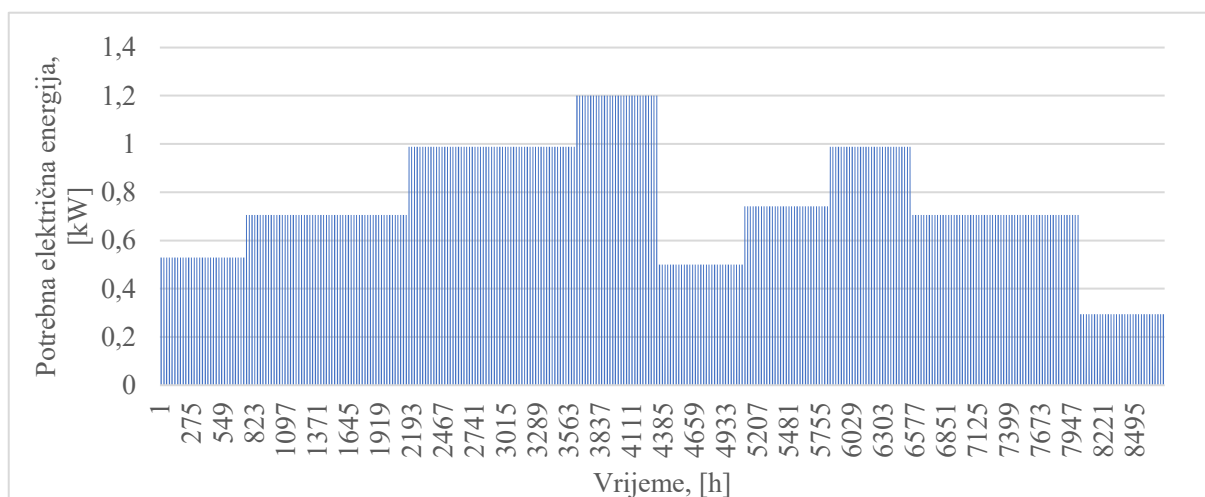
toka za grijanje treba instalirati 25 grijača. Nakon toga moguće je provesti proračun prema Formuli Potrošnja električne energije za grijanje istovjetna je u proračunu staklenika sa klasičnim i transparentnim solarnim panelima Prikazana je na Slici 29. Očekivano, najveća potreba za električnom energijom javlja se u zimskim mjesecima kada je potreba za grijanjem najveća.



Slika 29. Potrošnja električne energije sustava za grijanje

### 6.2.2. Potrošnja sustava za navodnjavanje

Zbog odabira sustava kap po kap na potrošnju električne energije potrebne za pokretanje pumpi za navodnjavanje se koristi malo energije. Potrošnja električne energije sustava za navodnjavanje na satnoj razini prikazana je na Slici 30.



Slika 30. Potrošnja električne energije sustava za navodnjavanje

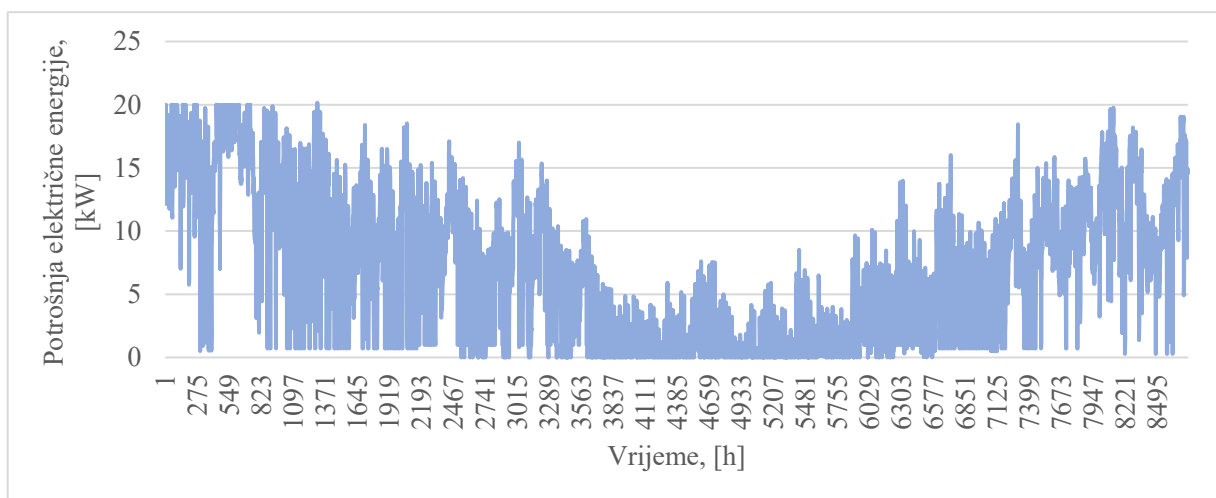
Grafikon poprima ovakav oblik s obzirom da su u proračunu uzete jednake vrijednosti za čitave mjesece, ovisno o stadiju razvoja biljaka i godišnjem dobu, kako je ranije objašnjeno, također, sustav za navodnjavanje radi 10 h dnevno što dodatno objašnjava izgled ovog grafikona.

### 6.2.3. Potrošnja sustava rasvjete i invertera

Kao što je ranije objašnjeno u Poglavlju 5.3.2. sustav rasvjete i invertera nisu dodatno modelirani te je za potrošnju sustava invertera uzeta konstantna vrijednost od 0,001 kW, a potrošnja sustava rasvjete izračunata je kao dodatnih 1 % ukupne potrošnje energije.

### 6.2.4. Ukupna potrošnja električne energije

Nakon zbrajanja potrošnje sustava za grijanje, navodnjavanje, sustava rasvjete i invertera, dobiveni su sljedeći rezultati.

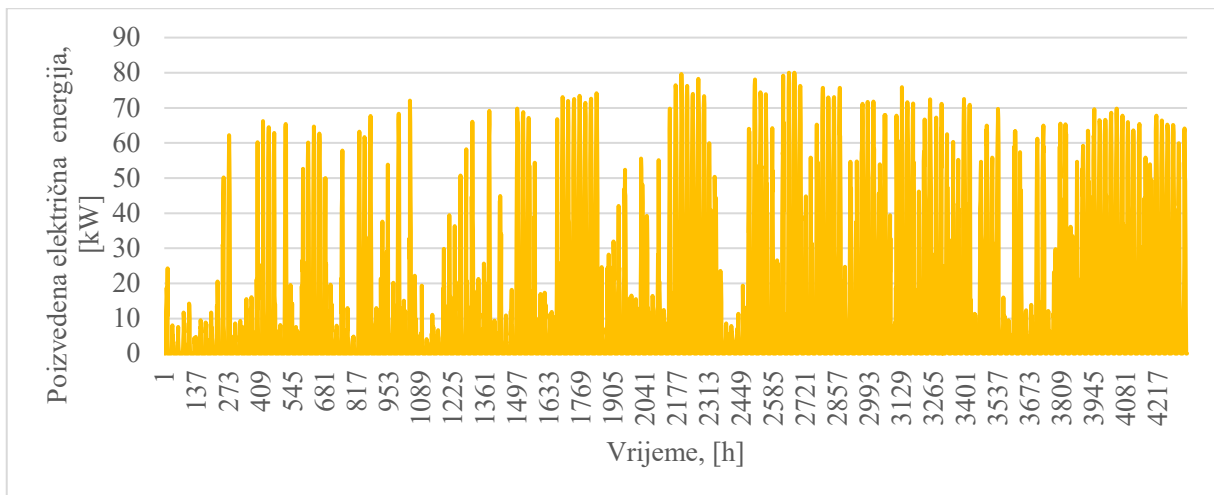


Slika 31. Ukupna potrošnja električne energije

## 6.3. Proračun solarne elektrane

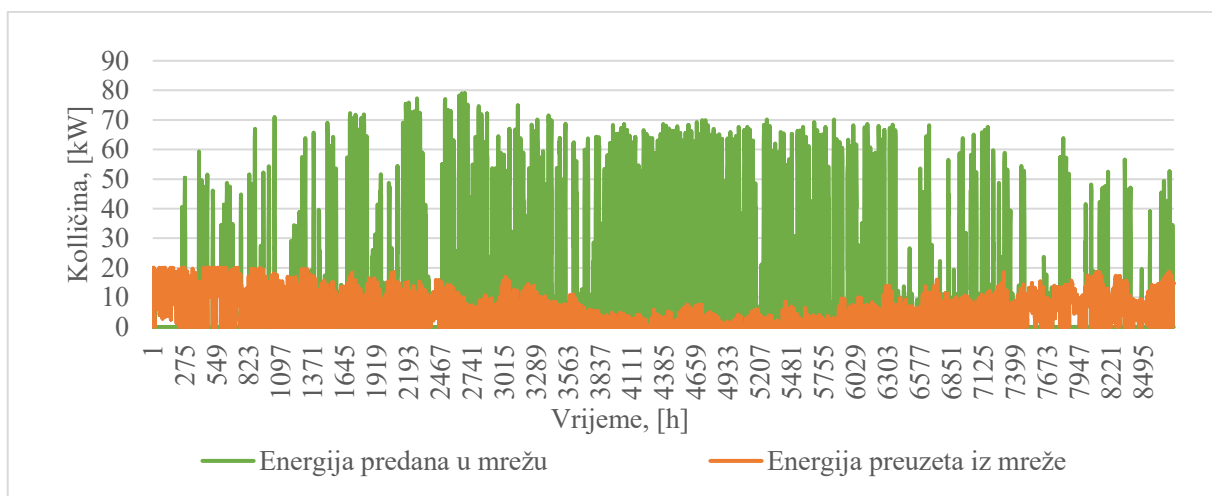
### 6.3.1. Proračun klasične solarne elektrane

Proizvodnja električne energije modelirana u programu SAM daje rezultate na satnoj razini. Nakon sumiranja ovih vrijednosti, dolazi se do podatka da je na godišnjoj razini, klasičnom elektranom generirano 103 065 kWh.



**Slika 32.** Električna energija generirana klasičnim solarnim panelima

U sljedećem koraku analizira se koliko se kWh električne energije u konačnici preuzelo iz mreže i koliko su u nju predalo s obzirom da su to podatci potrebni za izračun jedinične cijene otkupa električne energije. Princip rada je takav da se električna energija proizvedena u solarnim panelima prvo koristi na zadovoljavanje potreba staklenika, a nakon toga se višak predaje u mrežu. Tako će se u ljetnim mjesecima veći dio generirane električne energije predavati u mrežu dok će se u zimskim često na dokupljivati električna energija.

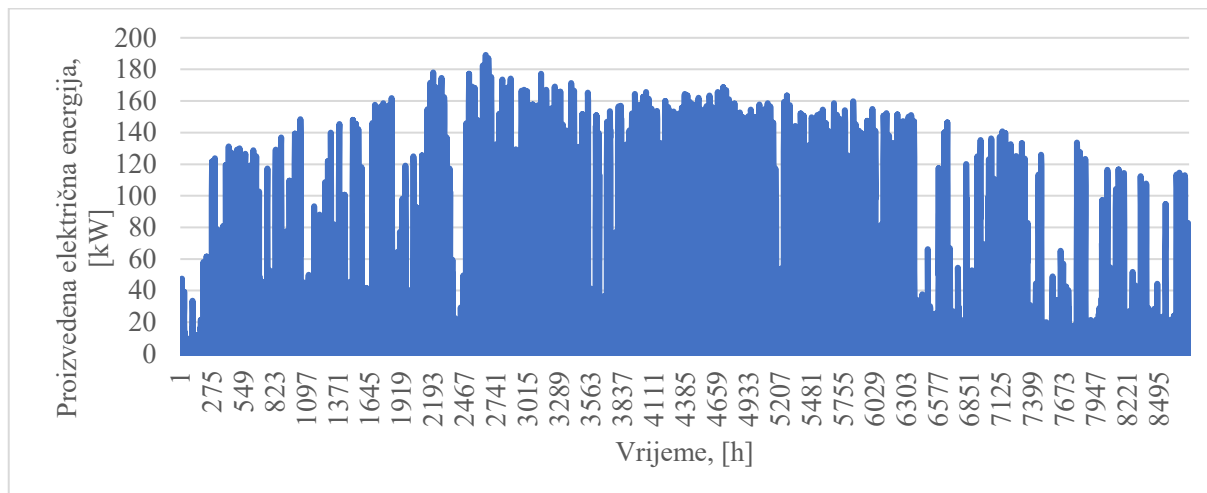


**Slika 33.** Električna energija preuzeta iz mreže i predana u mrežu – klasični paneli

Kada se sumiraju satne vrijednosti dolazi se do podatka da je na godišnjoj osnovi u mrežu predano 89 779 kWh, a iz mreže preuzeto 45 056 kWh. Za daljnji proračun, radi izračuna otkupne cijene kWh električne energije važno je naglasiti da je na godišnjoj razini 18 862 kWh preuzeto po višoj tarifi, a 26 193 kWh po nižoj tarifi.

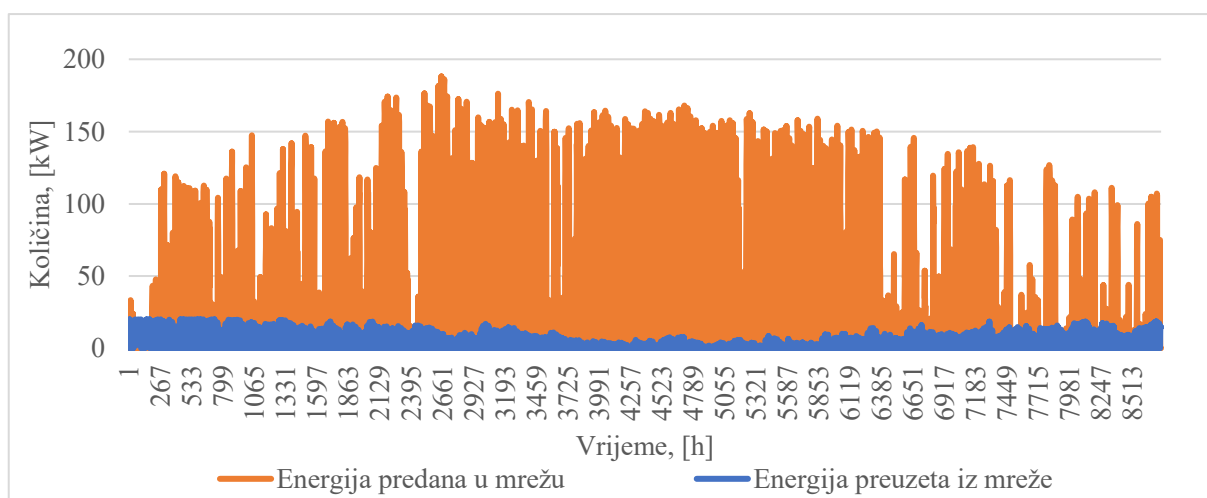
### 6.3.2. Proračun transparentne solarne elektrane

Proizvodnja električne energije modelirana u programu SAM daje rezultate na satnoj razini. Ti su rezultati prikazani na Slici 34. Nakon sumiranja ovih vrijednosti, dolazi se do podatka da je na godišnjoj razini, klasičnom elektranom generirano 244 281 kWh.



**Slika 34.** Električna energija generirana transparentnim solarnom panelima

U sljedećem koraku analizira se broj kW električne energije preuzetih iz mreže i predanih u mrežu.



**Slika 35.** Električna energija preuzeta iz mreže i predana u mrežu – transparentni paneli

U slučaju transparentnih panela na godišnjoj je razini u mrežu predano 228 066 kWh energije, a iz mreže preuzeto 42 153 kWh od toga: 16 396 kWh po višoj, a 25 756 kWh po nižoj tarifi.

### 6.4. Proračun cijene solarne elektrane i ostvarenih prihoda

S obzirom da je cijena solarnih panela od poznata pri njihovom odabiru, ona se koristi kao polazna točka za izračun ostalih komponenti solarne elektrane. Proračun je proveden paralelno za klasičnu i transparentnu solarnu elektranu, a cijene komponenti su prikazani u Tablici 16

Komponenta solarne elektrane	Cijena komponente – klasični paneli, [€]	Cijena komponente – transparentni paneli, [€]
Moduli	43 800	296 360
Inverter	5 271	35 666
Transformator	10 466	70 685
Instalacija	21 756	147 207
Ostali troškovi	14 568	98 570
Ukupna investicija	95 842	648 490

**Tablica 16.** Cijena komponenti sustava solarne elektrane

Prilikom proračuna jedinične cijene otkupa gledaju se podaci na godišnjoj razini. Kako je ustanovljeno u Poglavljima 6.3.1. i 6.3.2 poznavanjem broja kWh predanih u mrežu i preuzetih iz mreže na godišnjoj osnovi, moguće je izračunati vrijednost PKCi i konačnu otkupnu cijenu prodane električne energije te iz toga prihod od prodaje energije u slučaju klasične i transparentne elektrane. Ovi su podaci prikazani u Tablici 17.

Paneli	Energija predana u mrežu, [kWh]	Energija preuzeta iz mreže, [kWh]	PKCi [€/kWh]	Ci, [€/kWh]	Prihod u prvoj godini, [€]
Klasični	89 779	45 056	0,187153	0,16843	15 122
Transparentni	228 066	42 153	0,18415	0,03063	6 986

**Tablica 17.** Prihodi ostvareni prodajom električne energije

## 6.5. Ekonomska analiza

U nastavku su prikazani ukupni prihodi i rashodi u prvoj godini projekta. Investicijski troškovi prikazani su u Poglavlju 5.6. s obzirom da su njihove vrijednosti od prije poznate.

Kako je ranije naglašeno, prihodi se ostvaruju od prodaje kultura i prodaje električne energije. Prihodi ostvareni u prvoj godini prikazani su u Tablici 18 za klasičnu i transparentnu solarnu elektranu.



<b>Prihod</b>	<b>Izvedba s klasičnim panelima</b>	<b>Izvedba s transparentnim panelima</b>
Od prodaje kultura, [€]	151 840	151 840
Od prodaje električne energije, [€]	15 122	6 986
<b>Ukupni prihod u prvoj godini, [€]</b>	<b>166 962</b>	<b>158 826</b>

**Tablica 18.** Prihodi u prvoj godini

Konačno, potrebno je analizirati godišnje rashode staklenika. Prilikom računanja troškova održavanja staklenika pretpostavljena je osnovna cijena od 3,6 €/m<sup>2</sup>. Potrošnja struje u prvoj godini izračunata je kao umnožak potrošenih kWh zasebno za klasičnu i transparentnu solarnu elektranu, pomnožen s jediničnom cijenom otkupa s razlikom između cijene visoke i niske tarife. Potrošnja vode za zalijevanje izračunata je kao umnožak potrošenih m<sup>3</sup> i cijene otkupa m<sup>3</sup> uzimajući u obzir sve dodatne naknade. Konačno, predviđen je rad 5 radnika kojima se isplaćuje prosječna plaća Republike Hrvatske za sektor poljoprivrede šumarstva i ribarstva iz 2022. godine u iznosu od 883 € mjesečno.

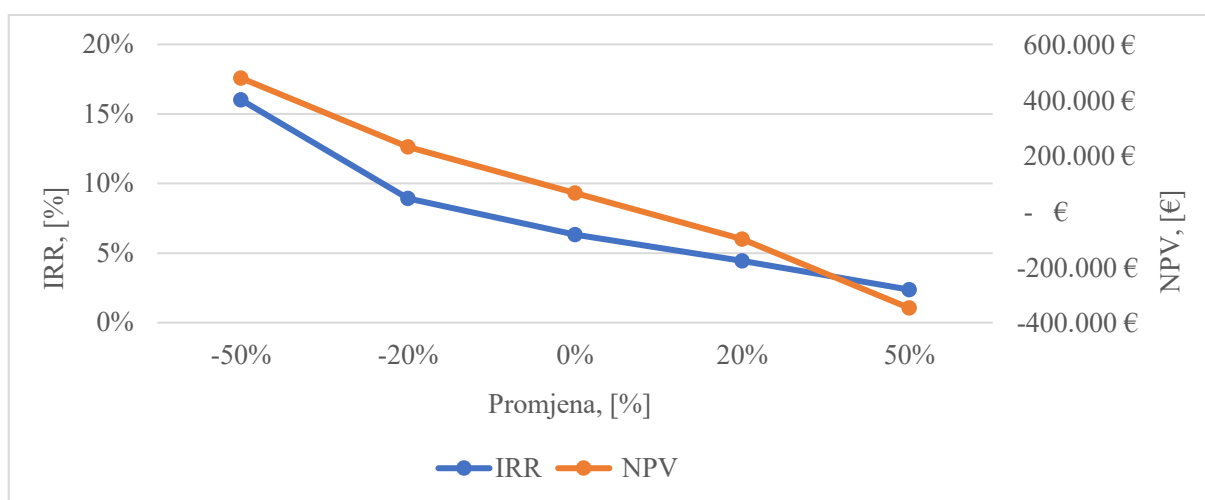
<b>Opis</b>	<b>Iznos – klasična solarna elektrana [€]</b>	<b>Iznos - transparentna solarna elektrana [€]</b>	<b>Referenca</b>
Održavanje staklenika - popravci	18 000	18 000	[37]
Održavanje solarne elektrane	900	2100	[45]
Potrošnja struje	9 739	8 991	[34]
Potrošnja vode za zalijevanje	32 053	32 053	[46]
Godišnji bruto iznos plaće radnika	52 980	52 980	[4]
Ukupan rashod u prvoj godini	133 673	114 125	-

**Tablica 19.** Rashodi u prvoj godini

### 6.5.1. Analiza osjetljivosti za izvedbu s klasičnom solarnom elektranom

U referentom scenariju predviđeni rast/pad cijene kultura, plaća, cijene struje iznosi 0 %, a cijene investicije drže se na svojim procijenjenim vrijednostima. U tom scenariju NPV iznosi 65 898 €, IRR 6,32, a IP 1,08. Na sljedećim slikama redom su prikazane promjene NPV, IRR vrijednosti te vrijednosti indeksa profitabilnosti uslijed: promjene cijene ukupne investicije, promjene cijene investicije u solarnu elektranu, promjene cijene otkupa povrća, promjene plaća i promjene cijene struje.

- Pad i rast investicijske cijene



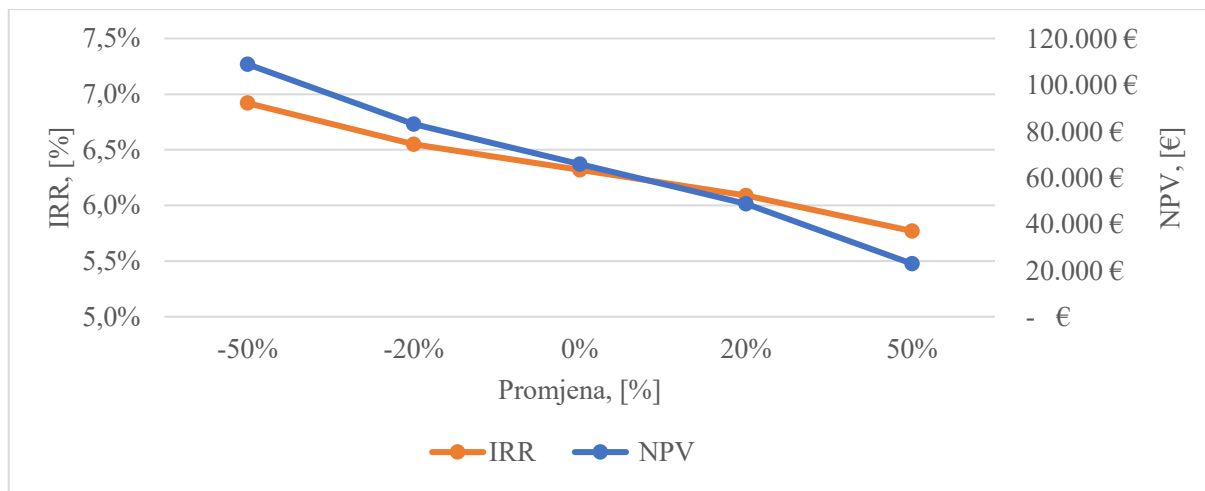
**Slika 36.** IRR i NPV u ovisnosti od promjene investicijske cijene – klasična izvedba

Najpovoljniji slučaj je, očekivano, onaj kada je pad cijene ukupne investicije najveći. U slučaju smanjenja cijena investicije za 50 % IRR iznosi 16 %, NPV 479 168 €, a IP 2,13. Projekt je vrlo osjetljiv na promjenu cijene investicije tako da već pri 20 % većoj cijeni IRR iznosi 4 %, a NPV 99 408 €, a IP 0,9 te projekt nije više isplativ.

Promjena, [%]	- 50	- 20	0	+ 20	+ 50
IP, [-]	2,13	1,34	1,08	0,9	0,73

**Tablica 20.** Indeks profitabilnosti u ovisnosti promjene investicijske cijene – klasična izvedba

- Pad i rast cijene solarne elektrane



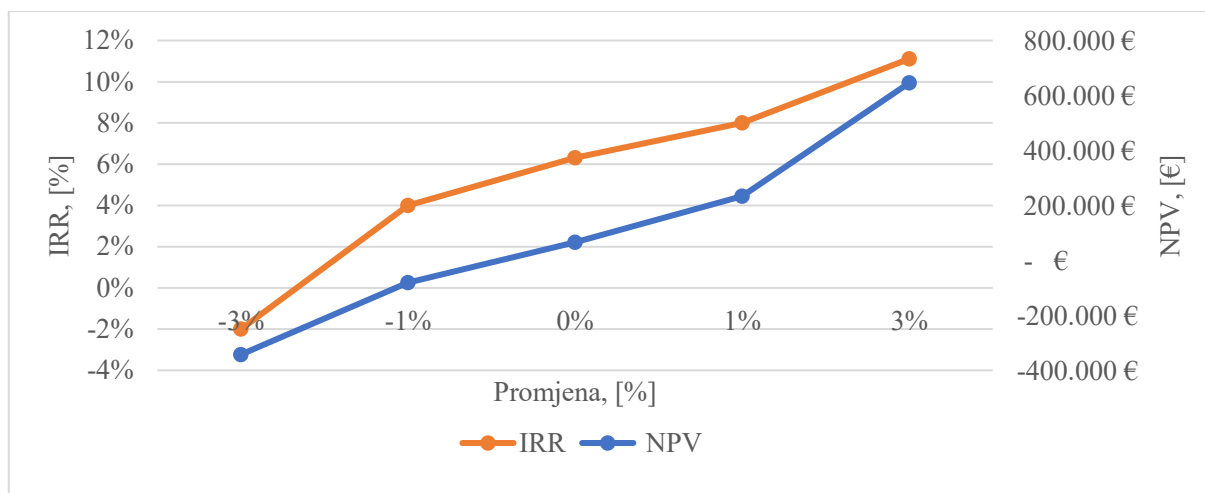
**Slika 37.** IRR i NPV u ovisnosti od promjene cijene solarne elektrane – klasična izvedba

Prilikom promjene cijene solarne elektrane primjećuje se manja osjetljivost projekta na promjenu cijene, što je očekivano s obzirom da se samo dio ukupne investicije varira. Naime, cijena elektrane je 11 % ukupne investicije te je utjecaj njene promjene na amortizaciju, dohotke i u konačnici IRR i NPV mali. Kao što se vidi iz gore prikazanih rezultata, čak i prilikom povećanja investicije u solarnu elektranu od 50 %, projekt ostaje isplativ te je vrijednost IRR-a 5,8 %, NPV 22 879 €, a IP-a 1,06.

Promjena, [%]	- 50	- 20	0	+ 20	+ 50
IP, [-]	1,14	1,1	1,08	1,06	1,03

**Tablica 21.** Indeks profitabilnosti u ovisnosti promjene cijene solarne elektrane – klasična izvedba

- Promjena cijene otkupa povrća



**Slika 38.** IRR i NPV u ovisnosti od promjene cijene otkupa povrća – klasična izvedba

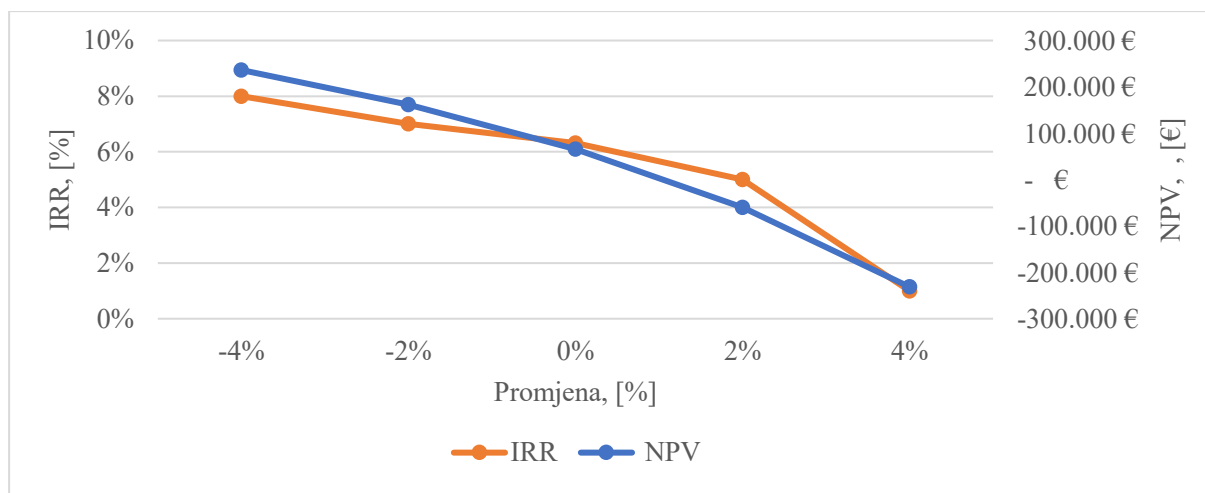
U nastavku je prikazana osjetljivost projekta na promjenu cijene otkupa povrća. Projekt je iznimno osjetljiv na promjenu ove varijable s obzirom da je povrće, uz električnu energiju, jedini prihod.

Tako je vidljivo da projekt postaje neisplativ već pri godišnjem padu cijene povrća od 1 % te u tom slučaju IRR iznosi 4 %, NPV -80 808 €, a IP 0,9. Srećom, unatrag veće broja godina, karakterističan je kontinuirani rast cijene povrća, a iz ove analize vidljivo je da pri rastu od 3 %, IRR iznosi 11 %, NPV 645 756 €, a IP 1,76.

Promjena, [%]	- 3	- 1	0	+ 1	+ 3
IP, [-]	0,6	0,9	1,08	1,28	1,76

**Tablica 22.** Indeks profitabilnosti u ovisnosti od promjene cijene otkupa povrća – klasična izvedba

- Promjene plaća



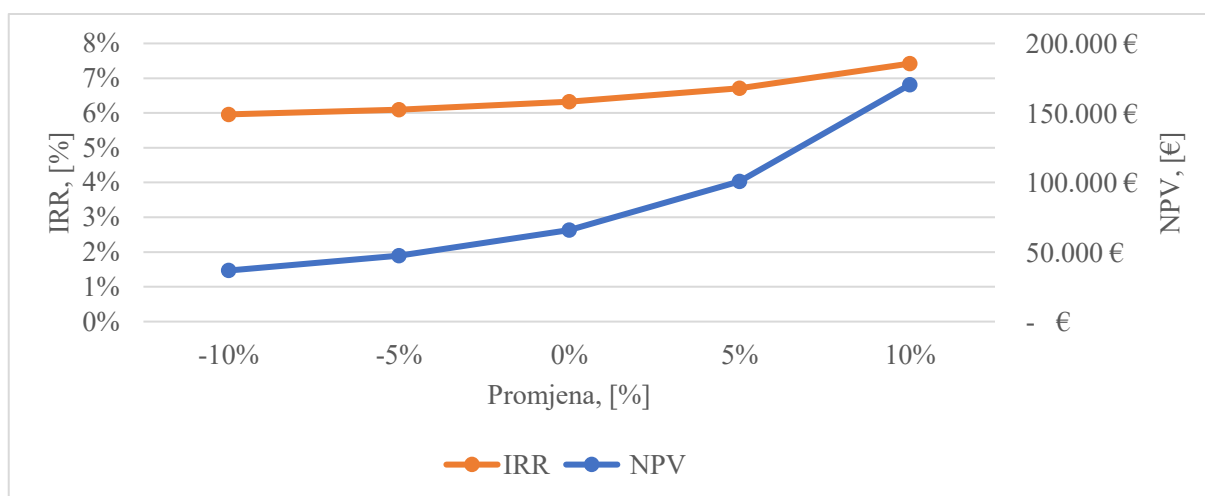
**Slika 39.** IRR i NPV u ovisnosti od promijene plaća – klasična izvedba

Osjetljivost projekta na promjenu plaća zaposlenih je također velika, s obzirom da plaće predstavljaju 40 % ukupnih rashoda projekta. Prilikom povećanja plaća od već 2 %, što je realan scenarij u budućnosti, izvedba s klasičnim panelima postaje neisplativa, IRR pada ispod 5 %, vrijednost NPV-a postaje negativna, a IP pada ispod 1. Tek u scenarijima smanjenja plaća, projekt postaje isplativ.

Promjena, [%]	- 4	- 2	0	+ 2	+ 4
IP, [-]	1,28	1,19	1,08	0,93	0,73

**Tablica 23.** Indeks profitabilnosti u ovisnosti promijene plaća – klasična izvedba

- Promjena cijene električne energije



**Slika 40.** IRR i NPV u ovisnosti od promijene cijene električne energije – klasična izvedba

Promjena cijene električne energije nema tako drastičan utjecaj na promjenu isplativosti investicije. Kao što je vidljivo iz grafikona, izvedba s klasičnom elektranom isplativa je u svakom slučaju. Čak prilikom pada cijene struje od 10 % IRR iznosi 5,96 %, NPV 36 727 €, IP 1,04. Projekt nije iznimno osjetljiv na cijenu promjene električne energije zbog toga što se cijena električne energije, kao varijable, nalazi istovremeno u prihodima i rashodima projekta. Stoga njezine promjene istovremeno utječu na prihod i rashod projekta i time se smanjuje njihov utjecaj na neto i bruto dohotke te u konačnici IRR i NPV. Zanimljivo je primijetiti da povećanje cijene struje u slučaju izvedbe s klasičnim panelima sa sobom donosi povećanje isplativosti projekta.

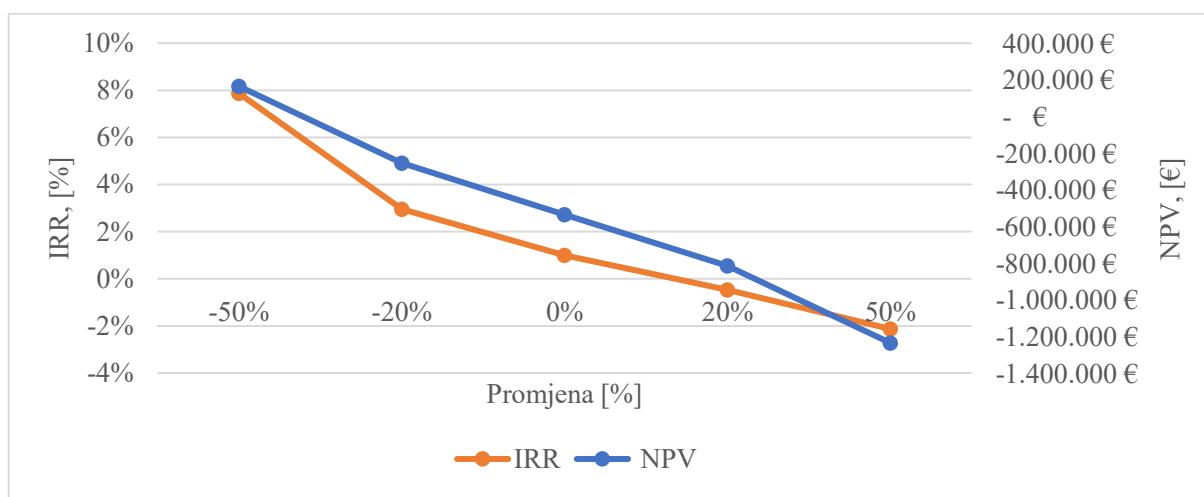
Promjena, [%]	- 10	- 5	0	+ 5	+ 10
IP, [-]	1,04	1,06	1,08	1,12	1,2

**Tablica 24.** Indeks profitabilnosti u ovisnosti promjene cijene električne energije

### 6.5.2. Analiza osjetljivosti za izvedbu s transparentnom solarnom elektranom

Rezultati analize isplativosti projekta u izvedbi s transparentnom solarnom elektranom su znatno lošiji. Tako u referentnom slučaju, u kojem predviđeni rast/pad cijene kultura, plaća, cijene struje iznosi 0 %, a cijene investicije se drže na svojim procijenjenim vrijednostima IRR iznosi 1 %, NPV – 535 098 €, a IP iznosi 0,62.

- Pad i rast investicijske cijene



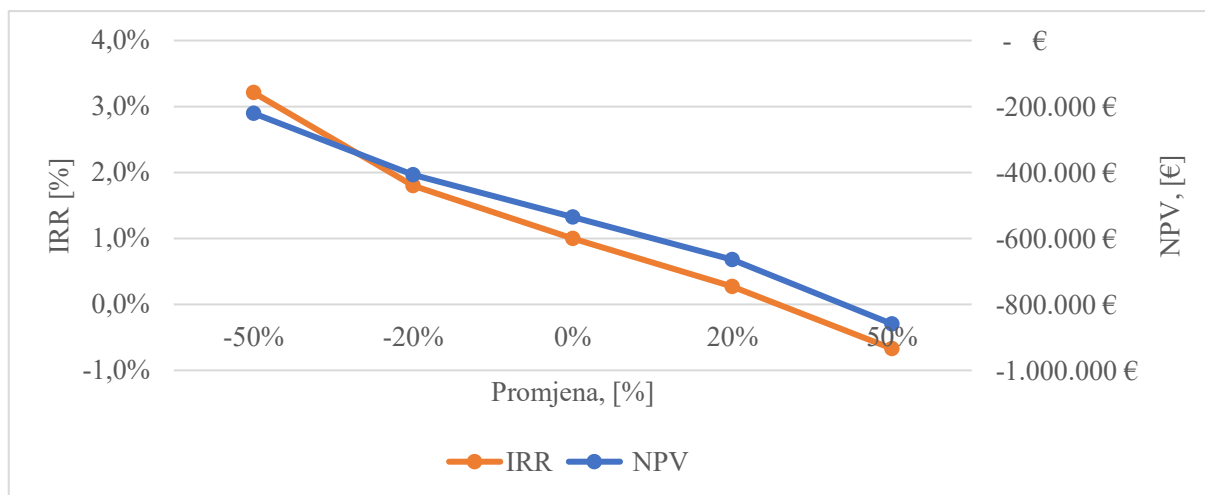
**Slika 41.** IRR i NPV u ovisnosti od pada investicijske cijene – transparentna izvedba

Kao i kod izvedbe s klasičnim panelima projekt je osjetljiv na promjenu cijene ukupne investicije. Također, jasno je da se projekt jedino isplati prilikom 50 % manje investicije, pri čemu je iznos IRR-a 8 %, NPV-a 164 717 €, a IP-a 1.24.

Promjena, [%]	- 50	- 20	0	+ 20	+ 50
IP, [-]	1,24	0,77	0,62	0,52	0,41

**Tablica 25.** Indeks profitabilnosti u ovisnosti promjene investicijske cijene – transparentna izvedba

- Pad i rast cijene solarne elektrane



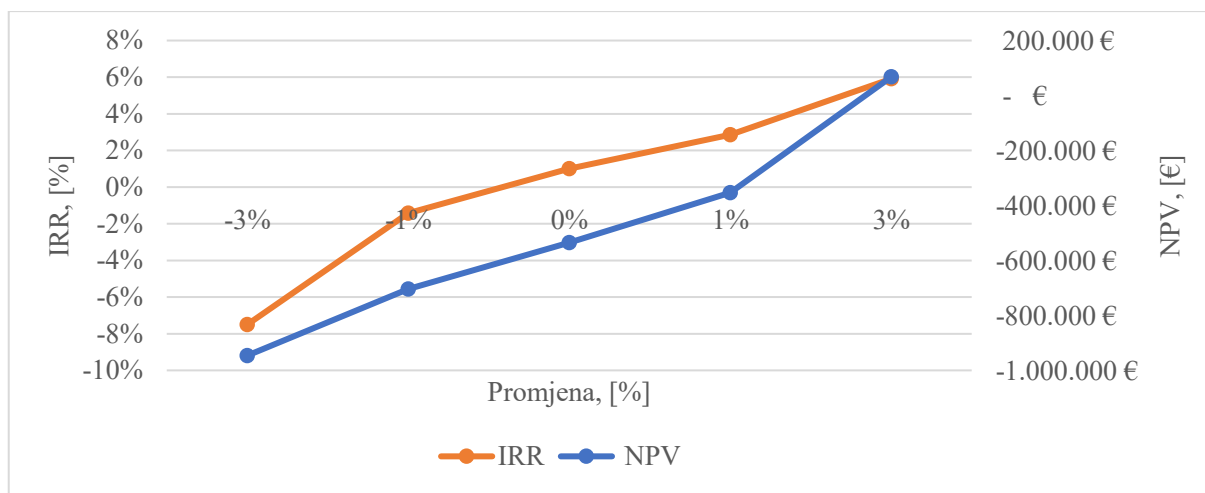
**Slika 42.** IRR i NPV u ovisnosti od rasta i pada cijene transparentne solarne elektrane – transparentna izvedba

Utjecaj promjene cijene solarne elektrane na isplativost projekta prilikom izvedbe s transparentnom solarnom elektranom je mnogo veći nego pri izvedbi s klasičnom solarnom elektranom. To je logičan rezultat s obzirom da u ovoj izvedbi solarna elektrana predstavlja 46 % ukupne investicije. Vidljivo je da projekt neće biti isplativ niti u kojem slučaju, a očekivano, IRR i NPV će imati najveću vrijednost kada je cijena investicije u solarnu elektranu prepolovljena.

Promjena, [%]	- 50	- 20	0	+ 20	+ 50
IP, [-]	0,8	0,68	0,62	0,57	0,5

**Tablica 26.** Indeks profitabilnosti u ovisnosti rasta i pada cijene transparentne solarne elektrane – transparentna izvedba

- Promjena cijena otkupa povrća



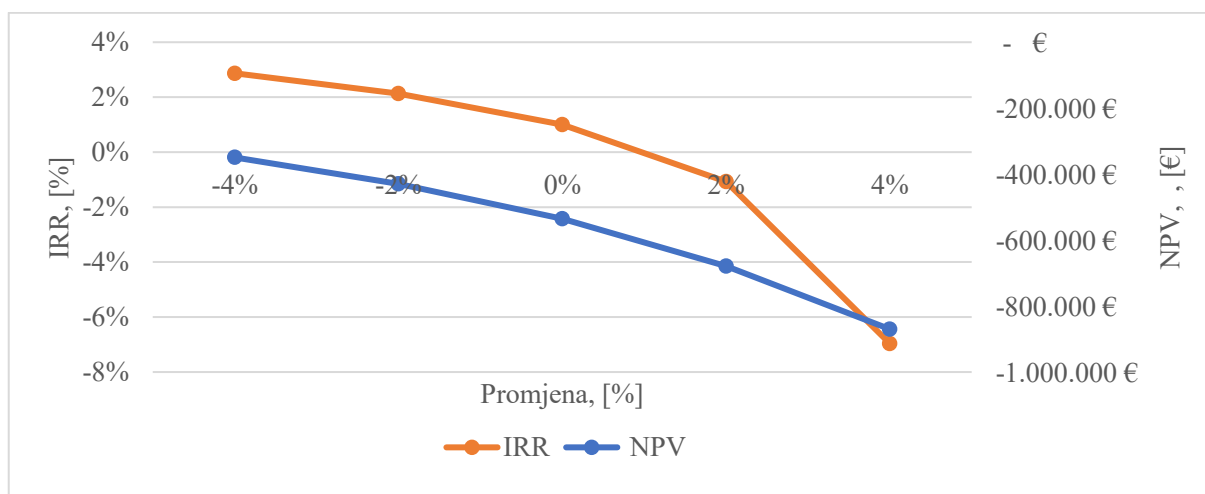
**Slika 43.** IRR i NPV u ovisnosti od promjene cijene otkupa povrća – transparentna izvedba

Kao i kod izvedbe s klasičnim panelima, cijena otkupa povrća ima veliki utjecaj na isplativost ovog projekta. Jedan od rijetkih scenarija u kojima je ovaj projekt isplativ je pri porastu cijene povrća od 3 % godišnje, pri čemu bi IRR iznosio 6 %, NPV 67 627 €, a IP 1,05.

Promjena, [%]	- 3	- 1	0	+ 1	+ 3
IP, [-]	0,3	0,5	0,62	0,75	1,05

**Tablica 27.** Indeks profitabilnosti u ovisnosti promjene cijene otkupa povrća – transparentna izvedba

- Promjena plaće



**Slika 44.** IRR i NPV u ovisnosti od promijene plaća – transparentna izvedba

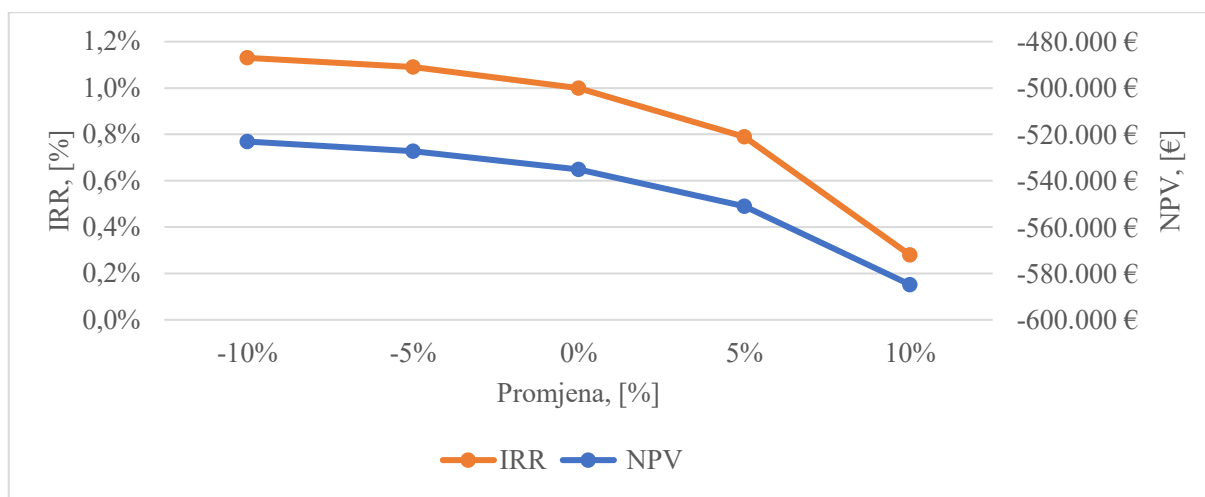
Neovisno o promijeni plaća, ovaj projekt niti u kojem scenariju ne postaje isplativ.



Promjena, [%]	- 4	- 2	0	+ 2	+ 4
IP, [-]	0,75	0,69	0,62	0,52	0,38

**Tablica 28.** Indeks profitabilnosti u ovisnosti promjene plaća – transparentna izvedba

- Promjena cijena električne energije



**Slika 45.** IRR i NPV u ovisnosti od promjene cijene električne energije – transparentna izvedba

Konačno, prikazana je isplativost projekta u slučaju promjene cijene struje. Ovaj projekt ne postaje niti u kojem trenutku isplativ. Važno je primijetiti da su NPV i IRR krivulje orijentirane prema dolje za razliku od projekta sa klasičnom solarnom elektranom. Uzrok tomu leži u činjenici da je u izvedbi s klasičnim panelima prihod od prodaje energije veći od cijene koja se plaća za otkup energije iz mreže te nam povećanje cijene električne energije ide na ruku. Tako da pri povećanju cijene struje u izvedbi s klasičnim panelima isplativost raste, što najjednostavnije vidimo u rastu IP -a i IRR -a. U slučaju izvedbe s transparentnim panelima, situacija je obrnuta.

Promjena, [%]	- 10	- 5	0	+ 5	+ 10
IP, [-]	0,63	0,62	0,62	0,61	0,58

**Tablica 29.** Indeks profitabilnosti u ovisnosti promjene cijene struje – transparentna izvedba

## 7. ZAKLJUČAK

Jedan od strateških ciljeva domaće proizvodnje je povećanje neovisnosti o uvozu te povišenje samodostatnosti u opskrbi namirnicama. Jedno od prepoznatih rješenja za ovaj izazov jest korištenje zaštićenih prostora koji pružaju priliku za povišenje uroda kultura, otpornosti na vremenske prilike, itd. Kako bi se uzgoj kultura u zaštićenim prostorima stavio u perspektivu zelenog i održivog razvoja, potrebne su inovacije. Kao jedna od inovacija s najvećim potencijalom jest povezivanje zaštićenih prostora sa solarnim panelima čime se omogućuje istovremeno obavljanje poljoprivredne djelatnosti te proizvodnje energije, a što posljedično pridonosi i podizanju učinkovitosti korištenja zemljišta. Primjena ovakvog rješenja otvara nove mogućnosti za Republiku Hrvatsku koja time može dodatno potaknuti razvoj vlastite ekonomije, poljoprivrede te naprednih tehnologija.

U ovom diplomskom radu analizirana je isplativost izgradnje jednog takvog zaštićenog prostora na području Topuskog. Predviđena je izgradnja staklenika približne površine 0,5 ha koji će se koristiti za paralelni uzgoj paprike i krastavaca. U radu su prvo modelirani toplinski gubici i dobitci za staklenik u Excel-u na satnoj razini. Modeliran je sustav grijanja na geotermalnu vodu, a na krovu staklenika predviđena je ugradnja solarne elektrane. Proračun je proveden za dva slučaja; ugradnju klasične solarne elektrane i transparentne solarne elektrane. Proizvodnja električne energije modelirana je u System Advisor Model (SAM) sustavu. Nakon što su napravljeni modeli potrošnje električne energije svih sustava, provedena je ekonomska analiza isplativosti projekta izgradnje staklenika, pri čemu se isplativost za različite slučajeve financiranja iz Europskih fondova i vlastitog financiranja analizira kroz neto sadašnju vrijednost unutarnju stopu povrata te indeks profitabilnosti projekta.

Rezultati diplomskog rada pokazali su da je projekt staklenika sa klasičnom solarnom elektranom isplativ prilikom smanjenja investicijske cijene, povećanja otkupne cijene povrća, smanjenja plaća te ostaje profitabilan neovisno o promijeni cijene električne energije i cijene investicije u solarnu elektranu. Iako je ovaj projekt isplativ, najviše zabrinjava njegova osjetljivost na povećanje cijene investicije, jer je projekt već u referentnom slučaju na granici isplativosti, a pri povećanju investicijske cijene od svega par posto postao bi neisplativ te bi takvo ulaganje u konačnici bilo rizično. S druge strane staklenik s transparentnim panelima pokazuje se isplativa samo u dva slučaja, kada je cijena ukupne investicije prepolovljena te kada godišnji rast cijena otkupa povrća iznosi 3 %. Ovakav projekt se stoga smatra neisplativim te se ne preporuča ulaganje u njega. Iz navedenog se može reći kako je projekt staklenika sa klasičnom solarnom elektranom (manji kapacitet solarne elektrane,  $\approx 90$  kW) prihvatljiviji jer se pokazao kao otporniji na promjene za

razliku od onog s transparentnom solarnom elektranom (veći kapacitet solarne elektrane,  $\approx 217$  kW) te se stoga preporuča ulaganje u staklenik sa klasičnom solarnom elektranom.

U sljedećoj verziji rada potrebno je u obzir uzeti analizu instalaciju baterije koja bi povećala energetska neovisnost staklenika i omogućila korištenje iste u trenucima kada nema proizvodnje iz solarnih elektrana.

## LITERATURA

- [1] Castila, N., Greenhouse technology and management, 2nd edition, 2013.
- [2] Parađiković, N., Kraljićak, Ž., Zaštićeni prostori – pastenici i staklenici, Osijek, 2008.
- [3] <https://www.cia.gov/the-world-factbook/countries/croatia/#economy> ,pristup 05.05.2023.
- [4] <https://dzs.gov.hr/>, pristup 05.05.2023.
- [5] Odder, A., Baudoin, W., Nerisiyan, A., Tuzelc, Y., Balliu, A., Gruda,N., Popsimonova, G., Kittas,C., Katsoulas, N., Bartzanas, T., Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable production in the South East Europeans countries: Principles for sustainable intensification of smallholder farms. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017.
- [6] Kittas, C., Katsoulas, N., Bartzanas, T., Bakker, S., Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops: Principles for Mediterranean climate areas. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013.
- [7] [https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/Meteo\\_parametri\\_p\\_o\\_postajama.pdf](https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/Meteo_parametri_p_o_postajama.pdf), pristup 07.05.2023.
- [8] Unit 05: Heating Systems (uark.edu), pristup 10.05.2023.
- [9] Goldammer, T., Greenhouse Management, A guide to Operations and Technology, Apex Publishers, 2019.
- [10] Ljubomir M., Fotonaponski sustavi, Priručnik, Tehnička škola Ruđera Boškovića u Zagrebu, 2015.
- [11] <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2014/08/what-is-the-installation-cost-for-solar-panels>, pristup 18.05.2023.
- [12] Sun J., Jasieniak J.J., Semi – transparent solar cells, IOP Publishing, 2017.
- [13] Gauffin H., Agrivoltaic Implementation in Greenhouses; A techno – Economic Analysis of Agrivoltaic Installations for Greenhouses in Sweden, Stockholm, Sweden 2022
- [14] Gonnella M., Renna M., Serio F., Yield and quality of greenhouse multi-leaf lettuce cultivars from soil and soilless culture under Mediterranean conditions, Italus hortus, 2020.
- [15] <http://solarheateurope.eu/2019/10/28/the-largest-solar-process-heat-system-in-europe/>, pristup 9.6.2023.

- [16] <http://solarheateurope.eu/2021/06/18/largest-solar-process-heat-installation-in-europe-in-2020/>, pristup 9.6.2023.
- [17] <https://groenleven.nl/>, pristup 9.6.2023.
- [18] <https://urbasolar.com/stories-en/a-photovoltaic-greenhouse-to-increase-production/>, pristup 9.6.2023.
- [19] Gorjian S., Ebadi, H., Najafi, G., Chandel S. S., Yildizhan, H., Recent advances in net – zero energy greenhouses and adapted thermal energy storage systems, Turkey
- [20] <https://kronoterm.com/en/kronoterm-lust-project-in-ehpa-publication/> , pristup 9.6.2023.
- [21] <https://www.thanetearth.com/how-we-grow/sustainability#:~:text=We%20work%20hard%20to%20leave,back%20to%20the%20local%20grid>, pristup 9.6.2023.
- [22] Hranić J., Energetska analiza kaskadnog korištenja geotermalne vode u stakleničkoj
- [25] Projektni zadatak: Konceptualni projekt održive proizvodnje voća i povrća u plasteniku/stakleniku za vlastite potrebe u društvu Top Terme d.o.o.
- [23] <https://sam.nrel.gov/>, 05.06.2023.
- [24] DHMZ <https://meteo.hr/>, pristup 9.6.2023.
- [25] [http://enerpedia.net/index.php/ENERGETSKA\\_EKONOMIKA#Model\\_toka\\_novca;](http://enerpedia.net/index.php/ENERGETSKA_EKONOMIKA#Model_toka_novca;), pristup 4.7.2023
- [26] <https://www.renewables.ninja/> , pristup 9.6.2023.
- [27] Landbouwhogeschool Wageningen M., Water relations of cucumber, tomato, and sweet pepper, H.Veenman & Zonene B. V., 1977
- [28] <https://www.ciat.com/en/eu/products-systems/air-treatment-solutions/air-heaters/heliotherme-4000/>, pristup 29.06.2023
- [29] <https://www.aces.edu/blog/topics/crop-production/greenhouse-cucumber-production/>, pristup 23.05.2023.
- [30] Paris B., Vandorou F., Balafoutis A. T., Energy Use in Greenhouses in the EU: A Review Recommending Energy Efficiency Measures and Renewable Energy Sources Adoption, 2022
- [31] <https://www.solarno.hr/>, pristup 10.06.2023.

- [32] <https://www.ensolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/41761> , PRISTUP 15.06.2023.
- [33] <https://ens.dk/en/our-services/projections-and-models/technology-data/technology-data-generation-electricity-and>, pristup 12.06.2023
- [34] <https://www.hep.hr/hr>, pristup 08.06.2023.
- [35] Das geplante Gewächshaus - KoLa Leipzig - Solidarische Landwirtschaft, pristup 12.06.2023
- [36] eKapija | Prinos u staklenicima i do 10 puta veći - Za ekonomski isplativu proizvodnju potrebno izgraditi bar 5 ha, nedostatak izvora finansiranja koči veća ulaganja, pristup 12.06.2023
- [37] <https://www.szg.ch/proficost/proficost-gemuese/>, pristup 12.06.2023
- [38] <https://www.netafim.com/en/greenhouse/water-systems/>, pristup 12.06.2023
- [39] <https://www.puravent.co.uk/frico-sws33-65kw-water-heated-fan-heater.html>, pristup 14.06.2023
- [40] <https://www.hydrotekhydroponics.com/products/grow-lights/greenhouse-lights-and-lighting-solutions>, pristup 12.06.2023
- [41] <https://hydrobuilder.com/grow-room-environment/atmosphere-controllers/multi-function-controllers/trolmaster-hydro-x-pro-controller.>, pristup 14.06.2023
- [42] 20 KW Standby Generator | John Deere Diesel Generator (genpowerusa.com), pristup 14.06.2023
- [43] Home Water Filtration System Cost Comparison Guide — WaterSmart (watersmartsystems.com), pristup 14.06.2023
- [44] Protected Cultivation of Capsicum — Vikaspedia, pristup 14.06.2023
- [45] <http://www.plan-net-solar.rs/solarne-elektrane/10-najcescih-pitanja/>, pristup 14.06.2023
- [46] <http://www.vio-topusko.hr/ostalo-52917> , pristup 16.06.2023