

Financijska isplativost i izvedivost agrosolarnih elektrana u Nizozemskoj i Hrvatskoj

Vlajčić, Tomislav

Graduate thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Economics and Business / Sveučilište u Zagrebu, Ekonomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:148:306889>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported/Imenovanje-Nekomercijalno-Dijeli pod istim uvjetima 3.0](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-01**



Repository / Repozitorij:

[REPEFZG - Digital Repository - Faculty of Economics & Business Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu
Ekonomski fakultet
Stručni diplomski studij „Ekonomika energije i okoliša”

**FINANCIJSKA ISPLATIVOST I IZVEDIVOST
AGROSOLARNIH ELEKTRANA U NIZOZEMSKOJ I
HRVATSKOJ**

Diplomski rad

Tomislav Vlajčić

Zagreb, rujan 2024.

Sveučilište u Zagrebu
Ekonomski fakultet
Stručni diplomski studij „Ekonomika energije i okoliša”

**FINANCIAL PROFITABILITY AND FEASIBILITY OF
AGRSOLAR POWER PLANTS IN NETHERLANDS AND
CROATIA**

Diplomski rad

Student: Tomislav Vljčić
JMBAG studenta: 0067591552
Mentor: Izv. prof. dr. sc. Marija Beg

Zagreb, rujan 2024.

SAŽETAK

Ovaj diplomski rad pruža sveobuhvatan pregled financijske isplativosti i izvedivosti agrosolarnih elektrana u Nizozemskoj i Hrvatskoj. Istraživanje se fokusira na analizu zakonodavnih i administrativnih okvira, poslovnih modela te agronomskih aspekata povezanim s agrosolarom. Posebna pažnja posvećena je usporedbi regulativa i mogućnosti primjene agrosolarnih sustava u obje zemlje, uz detaljno razmatranje kako zakonodavne mjere i tržišni uvjeti utječu na izvedivost projekata. Hrvatska i Nizozemska nude različite pristupe i poticaje za razvoj agrosolarnih projekata, a rad istražuje kako ove varijacije oblikuju uspjeh i održivost projekata u svakoj zemlji. Financijska analiza uključuje usporedbu kapitalnih i operativnih troškova, tržišta električne energije te ekonomske koristi od implementacije agrosolarnih sustava. Kako bi se razumjeli ključni čimbenici koji utječu na isplativost, istražuju se i različiti scenariji prodajnih cijena električne energije. Kroz analizu konkretnih primjera i istraživanje potencijala u obje zemlje, rad nudi uvid u složene aspekte agrosolarnih sustava i pruža preporuke za buduće projekte. Ovi uvidi mogu poslužiti kao osnova za donošenje odluka i strategija u sektoru obnovljivih izvora energije. U nastavku rada, čitatelj će otkriti kako se konkretni uvjeti i izazovi u Hrvatskoj i Nizozemskoj odražavaju na isplativost i uspješnost agrosolarnih projekata.

Ključne riječi: agrosolarstvo, financije, solarna energije, obnovljivi izvori energije, financijska isplativost, energetika, poljoprivreda

ABSTRACT

This thesis provides a comprehensive analysis of the financial viability and feasibility of agrivoltaic systems in the Netherlands and Croatia, exploring the distinct approaches and challenges associated with these innovative systems in both regions. The study focuses on examining the legislative and administrative frameworks, business models, and agronomic aspects related to agrivoltaics. Particular attention is given to comparing the regulatory environments and implementation opportunities for agrivoltaic systems in both countries, investigating how legislative measures and market conditions impact the success and sustainability of projects. Croatia and the Netherlands offer different approaches and incentives for the development of agrivoltaic projects, and this work explores how these variations shape project outcomes in each country. The financial analysis includes a comparison of capital and operational costs, the electricity market, and the economic benefits of implementing agrivoltaic systems. Various scenarios regarding electricity sales prices are examined to understand the key factors affecting profitability. Through concrete examples and an exploration of potential in both countries, the thesis provides insights into the complex aspects of agrivoltaic systems and offers recommendations for future projects. These insights serve as a foundation for making informed decisions and strategies in the renewable energy sector. In the following sections, readers will discover how specific conditions and challenges in Croatia and the Netherlands impact the profitability and success of agrivoltaic projects.

Keywords: agrivoltaics, finance, solar energy, renewable energy sources, financial feasibility, energy, agriculture



Sveučilište u Zagrebu
Ekonomski fakultet



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni/diplomski/poslijediplomski specijalistički rad, odnosno doktorski rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada, te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

16.09.2024.

(mjesto i datum)

(vlastoručni potpis studenta)



SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. <i>Predmet i cilj istraživanja</i>	1
1.2. <i>Metode istraživanja i izvor podataka</i>	1
1.3. <i>Sadržaj i struktura rada</i>	2
2. RAZVOJ, PRIMJENA I ZAKONODAVNA STRANA AGROSOLARA	4
2.1. <i>Razvoj i implementacija agrosolara</i>	4
2.2. <i>Regulacije i zakonski okvir</i>	5
2.3. <i>Mogućnosti primjene agrosolara</i>	7
2.4. <i>Poslovni model</i>	9
2.5. <i>Prednosti i nedostaci agrosolara</i>	9
2.5.1. <i>Prednosti primjene agrosolara</i>	9
2.6.2. <i>Nedostaci primjene agrosolara</i>	11
3. AGROSOLARNI POTENCIJALI I PROJEKTI NIZOZEMSKJE I HRVATSKE	13
3.1. <i>Agrosolarni projekti u Nizozemskoj</i>	13
3.1.1. <i>Projekt Babberich</i>	15
3.2.2. <i>Projekt Wadenoijen</i>	16
3.2.3. <i>Projekt Den Heuvel - Culemborg</i>	17
3.2. <i>Agrosolarni potencijal u Nizozemskoj</i>	18
3.3. <i>Agrosolarni projekti u Hrvatskoj</i>	19
3.5.1. <i>Projekt Brač (u tijeku)</i>	19
3.5.2. <i>Projekt Dragalić (u tijeku)</i>	20
3.5.3. <i>Projekt Kraljeva Sakala (u tijeku)</i>	21
3.4. <i>Agrosolarni potencijal u Hrvatskoj</i>	22
4. FINACIJSKA ANALIZA ISPLATIVOSTI I IZVEDIVOSTI AGROSOLARA U HRVATSKOJ I NIZOZEMSKOJ	28
4.1. <i>Kapitalni i operativni troškovi</i>	29
4.1.1. <i>Kapitalni troškovi</i>	29
4.1.2. <i>Operativni troškovi</i>	32
4.2. <i>Tržište električnom energijom</i>	33
4.3. <i>Ekonomska analiza agrosolarne elektrane</i>	36
5. ZAKLJUČAK	50
POPIS LITERATURE	52
POPIS SLIKA, TABLICA I GRAFIKONA	57
ŽIVOTOPIS	59

1. UVOD

1.1. Predmet i cilj istraživanja

Predmet ovog diplomskog rada je analiza financijske isplativosti i izvedivosti agrosolarnih elektrana u Nizozemskoj i Hrvatskoj. Agrosolarne elektrane predstavljaju inovativan pristup u kombiniranju poljoprivredne proizvodnje i proizvodnje solarne energije, što omogućava optimalno korištenje zemljišta i generiranje električne energije. U ovom radu, analizirat će se različiti aspekti agrosolarnih sustava, uključujući ekonomske, tehničke i regulatorne faktore.

Republika Hrvatska raspolaže velikim brojem obiteljskih poljoprivrednih gospodarstava (OPG) koja predstavljaju značajan potencijal za razvoj agrosolarnih projekata. Važno je napomenuti da nisu sve poljoprivredne kulture prikladne za ovu vrstu integracije, niti su svi dijelovi Hrvatske jednako pogodni za implementaciju agrosolarnih sustava. Prirodno je pretpostaviti da bi obalni dijelovi Hrvatske, zbog veće količine sunčanih sati, mogli biti povoljniji za realizaciju ovakvih projekata. Međutim, pritom se pojavljuje izazov dostupnosti priključaka na energetska mrežu.

Ovaj rad će detaljno istražiti agrosolarne sustave, uključujući regulatorne okvire, mogućnosti primjene i poslovne modele agrosolarnih elektrana. Poseban naglasak bit će stavljen na financijsku analizu agrosolarnih sustava. Uz teorijski pregled, analizirat će se potencijali za primjenu agrosolarnih sustava u Nizozemskoj i Hrvatskoj, kao i postojeći projekti u ovim zemljama.

U Hrvatskoj trenutno ne postoji niti jedan aktivni agrosolarni projekt, premda je nekoliko njih u fazi razvoja. Važno je napomenuti da postoji projekt koji kombinira stočarstvo i solarnu farmu, no taj projekt se tehnički ne smatra pravim agrosolarnim projektom. Ovaj rad nosi posebnu važnost i izazovnost jer je prvi diplomski rad u Hrvatskoj koji se bavi temom agrosolarstva. Cilj rada je jasno definirati koncept agrosolarstva te prikazati potencijal Hrvatske za realizaciju agrosolarnih elektrana. Poseban naglasak bit će stavljen na analizu financijske isplativosti agrosolarnih sustava i njihovih mogućnosti za integraciju u hrvatski poljoprivredni i energetska sektor.

1.2. Metode istraživanja i izvor podataka

Za izradu ovog diplomskog rada ključno je bilo iskustvo stečeno tijekom stručne prakse u

energetskoj kompaniji Green Trust u Nizozemskoj. Znanje i uvidi dobiveni tokom te prakse bili su od važnosti za formuliranje sadržaja ovog rada. Istraživanja uključuje detaljnu analizu stručne i znanstvene literature. S obzirom da je fokus rada na financijsku isplativost agrosolarnih elektrana, značajan dio vremena posvećen je proučavanju financijskih tablica i izvještaja relevantnih za tu temu. Dodatno, važno je istaknuti prisustvovanje konferenciji o vertikalnim solarnim elektranama u gradu Culemborgu, što je pružilo dodatne uvide i perspektive.

Istraživanje se temelji na deskriptivnoj metodi, koja omogućuje detaljan opis ključnih pojmova i fenomena obrađenih u radu. Također su korišteni analitički i sintetički pristupi. Analitički za dekonstrukciju složenih pojava radi boljeg razumijevanja, te sintetički pristup pri integraciji spoznaja i zaključaka u završnom dijelu rada. Agrosolarstvo je relativno nov pojam s ograničenom količinom dostupne literature. Međutim, svakim mjesecom raste broj sadržaja vezanih uz agrosolarne projekte. Jedna od najvažnijih publikacija za ovaj diplomski rad je „Studija o potencijalu uporabe solarne energije u poljoprivrednom sektoru”, objavljena u kolovozu 2023. godine. Pored toga, korištena su i strana istraživanja, internetski članci te studije o obnovljivim izvorima energije.

Situacija u Nizozemskoj je drugačija jer tamo postoji više od deset agrosolarnih projekata, iako su mnogi od njih još uvijek u pilot fazi. Zbog toga je u radu napravljena usporedba između Hrvatske i Nizozemske kako bi se procijenila isplativost agrosolarnih projekata unutar Europske unije, uzimajući u obzir različite klimatske uvjete, zakone i regulacije.

1.3. Sadržaj i struktura rada

Diplomski rad strukturiran je u pet poglavlja. Uvodni dio rada prikazuje predmet i cilj istraživanja, metode istraživanja i izvor podataka te završava prikazom strukture rada.

Drugi dio diplomskog rada počinje od osnova, uključujući definiciju agrosolarstva, kao i regulatorni i zakonodavni okvir. Također se razmatraju mogućnosti primjene agrosolarnih projekata, poslovni modeli te prednosti i nedostaci takvih projekata. Posebna pažnja posvećena je agronomskom aspektu, koji obuhvaća analizu tla, utjecaj sunca i druge čimbenike bitne za uspješan poljoprivredni rezultat. U trećem poglavlju započinje konkretizacija agrosolarnih projekata u Nizozemskoj i Hrvatskoj. Prije prikaza samih primjera, analiziraju se potencijali svake države, uključujući poljoprivredu i količine određenih kultura koje se uzgajaju. Posebna pažnja posvećuje se korelaciji između trenutačno uzgajanih kultura i onih koje su pogodne za

agrosolarne projekte.

Okosnica diplomskog rada nalazi se u četvrtom poglavlju, gdje se provodi detaljna financijska analiza isplativosti agrosolarnih elektrana u Hrvatskoj. Isplativost investicije procjenjuje se kroz nekoliko financijskih izračuna.

Provedena je sveobuhvatna ekonomska analiza koja uključuje povrat na investiciju (Return on Investment - ROI), neto sadašnju vrijednost (Net Present Value - NPV), internu stopu povrata (Internal Rate of Return - IRR), prosječni ponderirani trošak kapitala (Weighted Average Cost of Capital - WACC), niveliranu cijenu električne energije (Levelized Cost of Electricity - LCOE) te novčani (kumulativni) tok. Ove analize primijenjene su na agrosolarnom sustavu razvijenom za potrebe ovog rada, a detalji tih analiza bit će obrađeni u nastavku rada.

Peto poglavlje sadrži zaključak, popis literature, slika, tablica i grafikona. Na kraju se također nalazi životopis autora diplomskog rada.

2. RAZVOJ, PRIMJENA I ZAKONODAVNA STRANA AGROSOLARA

Nove tehnologije i otkrića neizbježni su u današnjem svijetu. Vrijednost tih novih tehnologija često dolazi uz cijenu sve većeg iskorištavanja prirodnih, neobnovljivih resursa. Razvoj tehnologije omogućio je eksploataciju neobnovljivi izvora energije. Solarna energija je jedan od tih primjera. Načini iskorištavanja solarne energije neprestano se razvijaju i integriraju u svakodnevni život, čime se povećava njezina primjena u različitim industrijama. Jedna od najvažnijih industrija za opstanak ljudske vrste je poljoprivreda.

Predviđanje kvalitetne poljoprivredne sezone uvijek je bilo izazovno zbog mnogih vanjskih utjecaja koje je teško ili nemoguće predvidjeti i kontrolirati. Kroz posljednja desetljeća i stoljeća, zabilježeni su mnogi izumi i otkrića koja su omogućila veću predvidljivost i sigurnost u poljoprivredi. Razvojem tehnologije iskorištavanja solarne energije i postojeće poljoprivredne prakse nastao je novi koncept zvan agrosolarstvo. Kao što sama riječ kaže, „agrivoltaic” neologizam je koji se sastoji od „agro” za poljoprivredu i „voltaics” za fotonaponski dio.

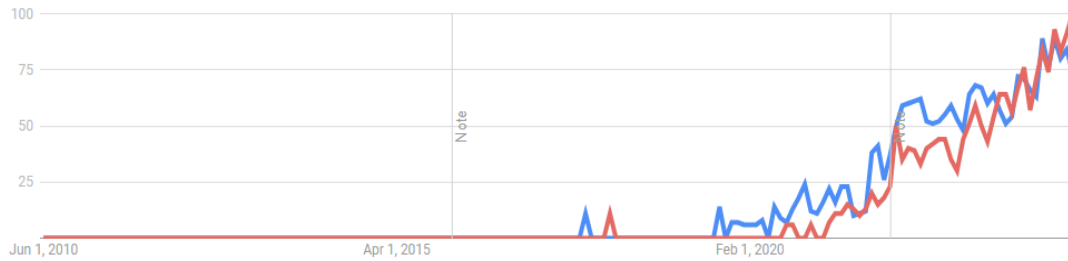
Prema Toledou i Scognamigliu (2021), pojam agrosolarstva ima više imena, koji se često razlikuje na nacionalnoj razini, s različitim nazivima u različitim istraživačkim kontekstima: „Agrophotovoltaics” (APV) — njemački istraživački kontekst, „Agrivoltaic systems/array” (AVS/AVA) — francuski i američki istraživački kontekst, „Photovoltaic agriculture” — kineski kontekst, „Solar sharing” — japanski kontekst, „Photovoltaic or solar greenhouse” (PVG), te „Agro-PV” ili „agri-PV”.

2.1. Razvoj i implementacija agrosolara

Grafikon 1 prikazuje značajan porast interesa za pojmove „agrivoltaics” (plavo) i „agri pv” (crveno) na Google tražilici. Analizirani su podaci od 2010. godine, pri čemu se jasno uočava povećani trend interesa od početka 2020. godine.

Prema SolarPower Europe (2023), agrosunčane elektrane kombiniraju fotonaponske jedinice za proizvodnju energije i poljoprivredne aktivnosti na istoj površini. Ovaj pristup prilagodljiv je različitim proizvodnjama, lokacijama i uvjetima te omogućuje očuvanje ili unapređenje poljoprivredne aktivnosti.

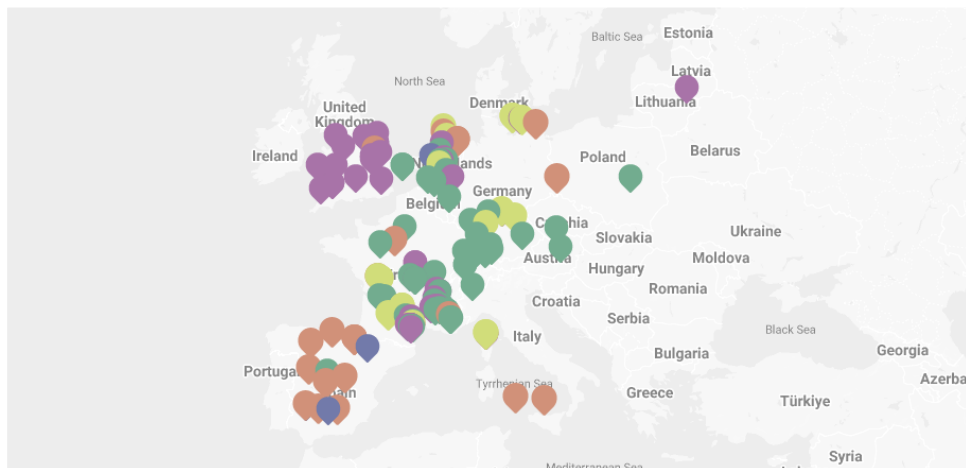
Grafikon 1: Porast pretraživanja agrosolarnih sustava



Izvor: Google Trends, 2024

Kao što je moguće vidjeti na slici 1, SolarPower Europe (2024) je predstavio i agrosolarnu digitalnu kartu, koja prikazuje aktivna agrosolarna postrojenja širom svijeta. Karta omogućuje filtriranje prema kapacitetu, tehnologiji, primjeni, vrsti projekta i lokaciji. Najveća koncentracija agrosolara nalazi se u sjeverozapadnoj i jugozapadnoj Europi.

Slika 1: Agrosolarna digitalna mapa



Izvor: SolarPower Europe, 2024

2.2. Regulacije i zakonski okvir

Prema Ministarstvu graditeljstva i prostornog uređenja (2017), agrosolarstvo spada u kategoriju u kojoj nije potrebna građevinska dozvola. Naime, građevine i oprema s priključkom na električnu mrežu, namijenjene proizvodnji električne energije instalirane snage do 10 MW, poput sunčanih elektrana, ne zahtijevaju dozvolu pod uvjetom da je investitor riješio imovinsko-pravne odnose na zemljištu u skladu sa zakonima koji uređuju prostorno uređenje. Uredba o kriterijima za provođenje javnog natječaja za izdavanje energetske odobrenja

definira agrosolarna postrojenja kao fotonaponska postrojenja sagrađena na zemljištu koje je prostornim planom bilo koje razine definirano kao poljoprivredno zemljište. Na tom zemljištu mora biti zasađen poljoprivredno trajni nasad koji je upisan u evidenciju uporabe poljoprivrednih zemljišta, ARKOD (Zakon o tržištu električne energije, 2023).

Prema zakonu, poljoprivredno zemljište uključuje obradivo zemljište, vrt, livadu, pašnjak, voćnjak, maslinik, vinograd, ribnjak, tršćak i močvarno tlo, kao i zemljište pogodno za poljoprivrednu proizvodnju prema prostornom planu. Sva obradiva poljoprivredna zemljišta upisuju se u sustav ARKOD-a (Zakon o poljoprivrednom zemljištu, 2022). Definicija agrosolarnih projekata preuzeta je iz Uredbe o poticanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije (Narodne novine br. 70/2023), koja pokriva način financiranja. Agrosolarni projekti mogu se financirati putem tržišne premije ili zajamčene otkupne cijene. Model tržišne premije omogućuje prodaju energije po tržišnoj cijeni uz dodatnu premiju, dok zajamčena otkupna cijena osigurava fiksnu cijenu kroz određeni period, smanjujući financijski rizik za proizvođače.

Za sunčane i agrosunčane elektrane instalirane snage do 10 MW tako više nije obvezno ishoditi lokacijsku ni građevinsku dozvolu ali ni energetske odobrenje, nego samo potvrdu na glavni projekt. Prvi korak je podnošenje zahtjeva nadležnom upravnom tijelu za utvrđivanje posebnih uvjeta i uvjeta priključenja, zajedno s idejnim rješenjem i podacima o zemljištu. U slučajevima gdje je to obavezno, potrebno je priložiti i rješenje iz postupaka Procjene utjecaja zahvata na okoliš (PUO) ili Ocjene o potrebi procjene (OPUO), posebno za solarne elektrane kapaciteta do 100 MW ili više (Goreta, 2024).

Energetsko odobrenje traži se direktno od Ministarstva, bez javnog natječaja, sukladno članku 16. Zakona o tržištu električne energije. Uredba o kriterijima za provođenje javnog natječaja i uvjetima izdavanja energetske odobrenja propisuje da se zahtjev podnosi Ministarstvu uz dokaz o uspostavi poljoprivrednih trajnih nasada upisanih u ARKOD, što znači da ne mora biti upisan u prostorni plan (Zakon o tržištu električne energije, 2023). Dodatna prednost agrosolarne elektrane do 10 MW je spajanje na HEP ODS umjesto na HOPS. Dakle, za izdavanje energetske odobrenja ne provodi se natječaj, nego se zahtjev podnosi direktno Ministarstvu, čime se znatno pojednostavljuje i ubrzava proces realizacije.

Zbog zakonskih razlika i nejasnoća u razlikovanju od tradicionalnih solarnih sustava, Fraunhofer ISE (2024) i Sveučilište Hohenheim, u suradnji s DIN-om, razvili su standard DIN

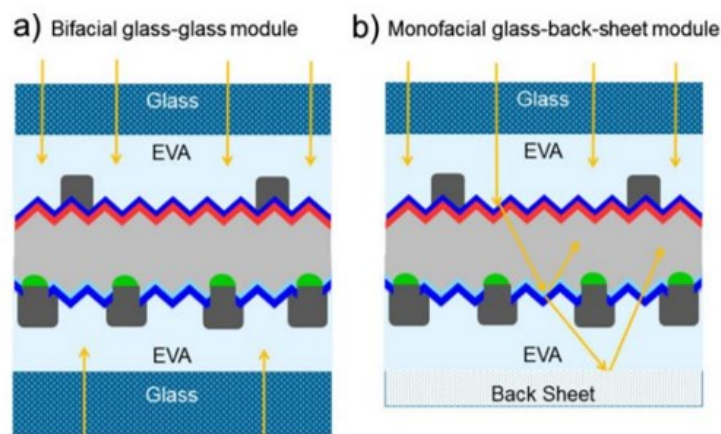
SPEC 91434. Standard jasno razlikuje agrosolarne sustave, naglašavajući da zemljište mora ostati u poljoprivrednoj upotrebi, s gubitkom zemljišta nakon instalacije PV sustava koji ne smije prelaziti 10%-15%. Također, poljoprivredni prinos nakon implementacije agrosolarnih sustava mora biti najmanje 66% referentnog prinosa (Fraunhofer ISE, 2024).

2.3. Mogućnosti primjene agrosolara

Postoje različite primjene agrosolarnih sustava te su podijeljene na otvorene i zatvorene sustave. U otvorenim sustavima, usjevi se mogu nalaziti između redova solarnih modula, u međuprostoru ili ispod modula s većim razmakom. Osim poljoprivrede, agrosolarstvo se koristi i u akvakulturi te hortikulturi. U ovom radu fokus je na agrosolarne elektrane na poljoprivrednom zemljištu.

Najčešće korišteni solarni paneli su klasični, semitransparentni i bifacijalni paneli. Bifacijalni paneli apsorbiraju sunčevu energiju s obje strane, koristeći i reflektirano svjetlo s tla, čime povećavaju učinkovitost. Iako su nešto skuplji, mogu povećati proizvodnju električne energije za 5% do 25% (Leto et al., 2023). U bifacijalnim modulima, svjetlost dolazi s obje goristrane kroz prozirnu ili staklenu stražnju ploču. Etilen-vinil-acetat (EVA) koristi se kao zaštitni sloj, čime se povećava učinkovitost i dugotrajnost solarnih ćelija, kao što je prikazano na slici 2 (Nygren & Sundstrom, 2021).

Slika 2: Šematski prikaz bifacijalnih i monofacijalnih panela



Izvor: Nygren & Sundstrom, 2021

Nakon odabira panela, postoje tri najčešća načina realizacije agrosolarnih sustava: solarne elektrane s fiksiranim fotonaponskim panelima, solarne elektrane s jednoosnim okretanjem

prema Suncu te solarne elektrane s dvoosnim okretanjem panela prema Suncu. Razlike među ovim sustavima jasno su prikazane na slici 3. Važno je napomenuti da su paneli s osnim okretanjem skuplji od tradicionalnih solarnih panela, no omogućuju dodatne mogućnosti za poljoprivredne aktivnosti između redova panela (Neoen i Ires ekologija, 2022).

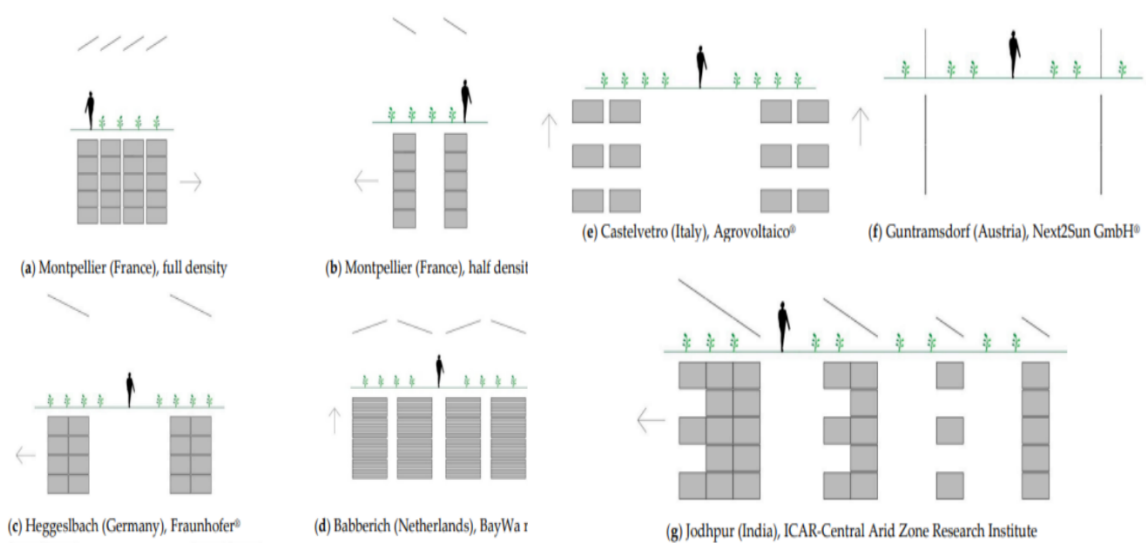
Slika 3: Različite izvedbe agrosunčanih elektrana



Izvor: Neoen i Ires ekologija, 2022.

Osim izbora panela i njihove rotacije, važno je uzeti u obzir i što se uzgaja na poljoprivrednom zemljištu. Fraunhofer Institut za Solarnu Energiju (2024) dijeli agrosolarne sustave u dvije glavne kategorije, ovisno o vrstama usjeva i namjeni zemljišta. Slika 4 prikazuje dizajne za poboljšanje učinkovitosti agrosolarnih sustava. To se postiže promjenom geometrije, gustoće i visine PV modula, te prilagodbom korištenih tehnologija i modula (Toledo i Scognamiglio, 2021).

Slika 4: Različiti agrosolarni sustavi s obzirom na gustoću i raspored solarnih panela



Izvor: Toledo i Scognamiglio, 2021

2.4. Poslovni model

Prema Schindele et al. (2020), realizacija agrosolarne elektrane zahtijeva uključivanje različitih sudionika, među kojima su ključni poljoprivrednik, vlasnik zemljišta i investitor. Ovaj rad se fokusira na model suradnje „A”, gdje investitor, vlasnik agrosolarne elektrane, surađuje s poljoprivrednikom, koji upravlja poljoprivrednim aktivnostima i posjeduje zemljište. Postoji pet modela suradnje (A–E), s različitim troškovnim strukturama, što je prikazano u tablici 1.

Tablica 1: Suradnja sudionika u kontekstu agrosolarstva

APV cooperation scenario	Land User		
	APV operator	Farmer	Land owner
A	APV investor	Farmer	
B	APV investor	Farmer	Land owner
C	Farmer		
D	Farmer		Land owner
E	Land owner	Farmer	Land owner

Izvor: Schindele et al., 2020

Preporučuje se da agrosolarne elektrane budu manje od velikih konvencionalnih fotonaponskih postrojenja, ali veće od krovnih sustava. U Njemačkoj, nazivna snaga agrosolarnih sustava je između 1 i 10 MWp, što je relevantno i za hrvatske zakone. U Hrvatskoj, projekti do 10 MW ne zahtijevaju građevinsku dozvolu, pojednostavljujući postupak (Schindele et al., 2020).

Schindele et al. (2020) napominje da modeli C, D i E postaju manje isplativi za veće projekte zbog visokih troškova i rizika. Banke i osiguravajuće kuće češće odobravaju financiranje modelima A i B. Također, investitori često plaćaju godišnji zakup zemljišta vlasnicima kako bi kompenzirali smanjenje prihoda od poljoprivrede zbog zasjenjenja, s ciljem prodaje električne energije po cijeni višoj od nivelirane cijene.

2.5. Prednosti i nedostaci agrosolara

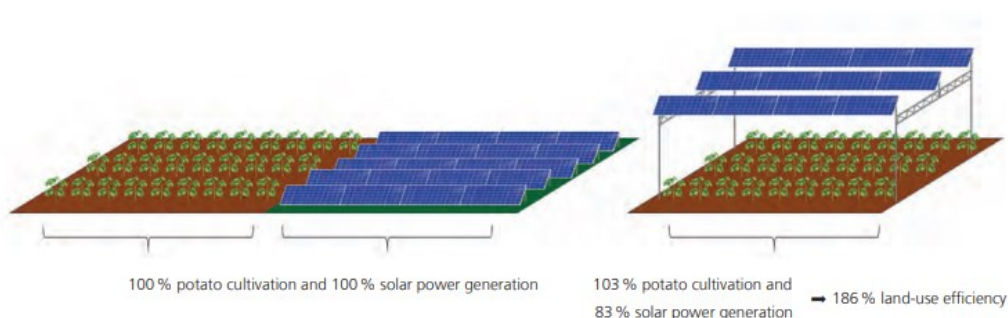
2.5.1. Prednosti primjene agrosolara

Prema Dawnbreakeru (2022), uspjeh agrosolarnog projekta ovisi o uključivanju više sudionika, što poboljšava lokalnu prihvaćenost. Agrosolarni sustavi koriste zemljište za proizvodnju hrane i energije, povećavajući učinkovitost korištenja zemljišta do 186% i pružajući dodatnu zaštitu

usjevima od toplinskog stresa.

Weselek et al. (2019) navode da mikroklimatske promjene ispod APV sustava, poput smanjenja sunčeve radijacije, utječu na uzgoj usjeva, ali i na temperaturu zraka i tla te distribuciju vode. Ova metoda je pogodna za područja s ograničenim korištenjem zemljišta od strane vlasti. Istraživanje sa Sveučilišta Michigan Technological (2021) pokazalo je da 81,8% ispitanika podržava solarne projekte koji kombiniraju proizvodnju energije i poljoprivredu (Dawnbreaker, 2022). Prikaz dvostruke upotrebe zemljišta nalazi se na slici 5.

Slika 5: Prikaz dvostrukog korištenja zemljišta

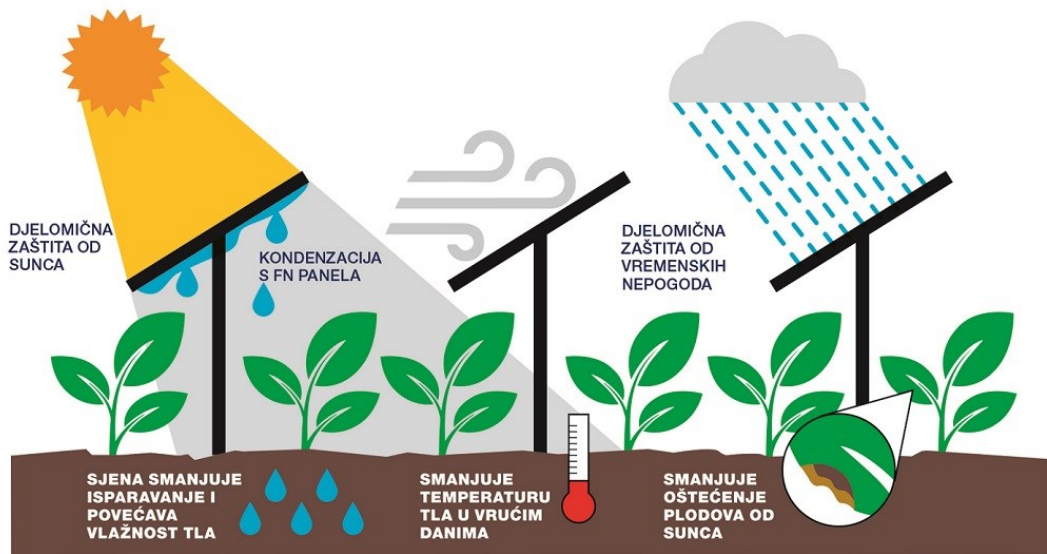


Izvor: Fraunhofer ISE, 2023

Agrosolarni sustavi omogućuju poljoprivrednicima korištenje zemljišta ispod panela za ispašu stoke ili uzgoj kultura, dok istovremeno proizvode električnu energiju, stvarajući dvostruke izvore prihoda. Već su implementirani za uzgoj bobičastog voća, grožđa i voćaka poput jabuka, te za sjene tolerantne kulture kao što su cvjetača i kupus. Istraživanja sa Sveučilišta u Arizoni pokazala su da uzgoj u sjeni solarnih panela može rezultirati dva do tri puta većim prinosima nego u konvencionalnim uvjetima (Weselek et al., 2019).

Prednosti agrosolarnih sustava uključuju stvaranje sjene, smanjenje toplinskog oštećenja usjeva i povećanje dostupnosti vode hvatanjem vlage iz magle. Na primjer, proizvodnja cherry rajčica u APV sustavu udvostručena je, a učinkovitost korištenja vode povećana za 65%. Paneli štite usjeve od ekstremnih vremenskih uvjeta i radnike od visokih temperatura (Dawnbreaker, 2022). Također, zaštita od kišnih udara smanjuje rizik od gljivičnih bolesti, što je korisno u vlažnim područjima gdje su bolesti poput antraknoze česte (Weselek et al., 2019). Kao što se može vidjeti na slici 6, evapotranspiracija, koja se smanjuje ispod APV sustava zbog smanjene sunčeve svjetlosti, poboljšava učinkovitost korištenja vode u sušnim uvjetima, iako reakcija usjeva može varirati.

Slika 6: Utjecaj agrosolara na poljoprivredni uzgoj



Izvor: Neoen, 2023

Jedna od prednosti APV sustava je stabilizacija prinosa u sušnim razdobljima smanjenjem gubitaka vode kroz manju evapotranspiraciju, što može povećati učinkovitost uzgoja i ublažiti utjecaj klimatskih promjena (Weselek et al., 2019). Također, APV sustavi mogu smanjiti troškove održavanja solarnih elektrana koristeći zemljište za ispašu stoke. Na primjer, ovce mogu smanjiti potrebu za košenjem vegetacije oko solarnih panela, što smanjuje operativne troškove (Dawnbreaker, 2022).

Studije pokazuju da umjereno zasjenjenje može pozitivno utjecati na prinos nekih kultura, poput salate, dok za druge, poput pšenice i kukuruza, može smanjiti prinose, posebno u fazi cvjetanja i zrenja. Umjereno zasjenjenje (15-40% smanjenje svjetla) često nije štetno i može poboljšati prinos, dok može utjecati na kvalitetu usjeva, kao što je povećanje proteinskog sadržaja u žitaricama ili promjena sastava masnih kiselina u uljaricama (Weselek et al., 2019).

2.6.2. Nedostaci primjene agrosolara

Primjena agrosolarnih sustava zahtijeva tehničke prilagodbe poljoprivredne mehanizacije i usjeva. Solarni paneli trebaju biti postavljeni na visini od 4-5 metara kako bi omogućili prolaz poljoprivrednim strojevima. Organizacija radova ispod panela mora biti pažljivo upravljana kako bi se izbjegla oštećenja, a gubitak obradivog zemljišta zbog stupova procjenjuje se na oko 2%. Iako stupovi zauzimaju dio površine, pravilnim planiranjem može se smanjiti njihov utjecaj na proizvodnju.

Distribucija vode ispod panela može se pogoršati zbog neravnomjerne raspodjele kiše, što može uzrokovati eroziju tla ili smanjenu dostupnost vode. Da bi se riješio ovaj problem, preporučuje se prilagodba nagiba panela i sadnja trajnica između stupova, što može rezultirati povećanim troškovima ulaganja (Weselek et al., 2019). Prema Fraunhoferu (2024) glavni razlog veće cijene agrosolarnih sustava je visoka cijena instalacije i infrastrukture. Poljoprivrednici moraju pokriti troškove mehaničkih struktura, a gubitak zemljišta predstavlja prepreku jer se energija i prehrambena industrija natječu za isto zemljište. Iako tehnologija može poboljšati učinkovitost solarnih panela, uvijek će biti neki gubitak zemljišta, ovisno o usjevima i opremi panela.

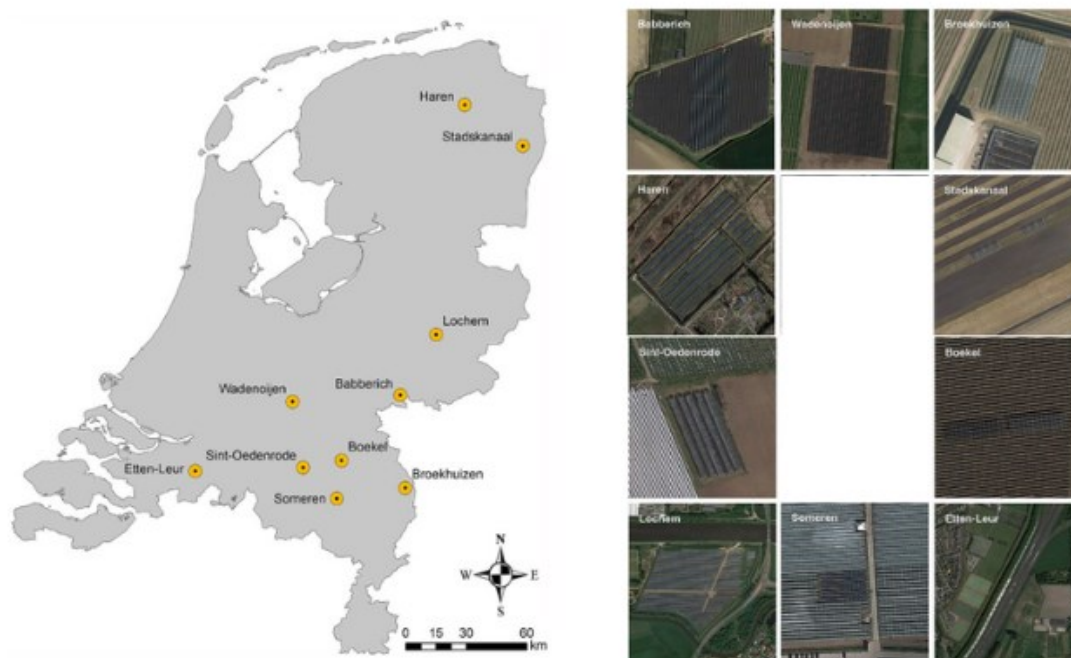
Nedostatak svijesti među poljoprivrednicima o prednostima tehnologije, kao i zabrinutost prema tvrtkama, može otežati suradnju. Također, smanjeno sunčevo zračenje može uzrokovati bolesti usjeva, dok solarni paneli mogu pružiti zaštitu od određenih bolesti. Paneli također utječu na mikroklimu vinograda, smanjujući temperaturu i vodni potencijal tla, što može rezultirati smanjenjem prinosa, ali i zanimljivim rezultatima u vrućim uvjetima.

3. AGROSOLARNI POTENCIJALI I PROJEKTI NIZOZEMSKE I HRVATSKE

3.1. Agrosolarni projekti u Nizozemskoj

Ovaj dio rada fokusirat će se na projekte u Nizozemskoj, zemlji koja, unatoč tome što je agrosolarstvo relativno nov oblik iskorištavanja obnovljivih izvora energije, već ima realizirane agrosolarne projekte. Slika 7 jasno prikazuje kako u Nizozemskoj postoji 10 aktivnih agrosolarnih projekata.

Slika 7: Prikaz svih agrosolarnih projekata u Nizozemskoj



Izvor: Sirmik et al., 2023

U tablici broj 2 se može vidjeti kako se nizozemsko zemljište ispod agrosolarnih sustava uglavnom koristi za proizvodnju bobičastog voća, što predstavlja dominantnu upotrebu tla u ovim projektima. Dodatno, 30% zemljišta koristi se za druge vrste poljoprivredne proizvodnje, uključujući stočarstvo, ratarsku proizvodnju, uzgoj lukovica i stakleničku hortikulturu. S druge strane, aktivnosti poput uzgoja drveća, vanjske proizvodnje povrća, te uzgoja mliječnih krava, peradi i svinja nisu zabilježene u nizozemskim agrosolarnim projektima.

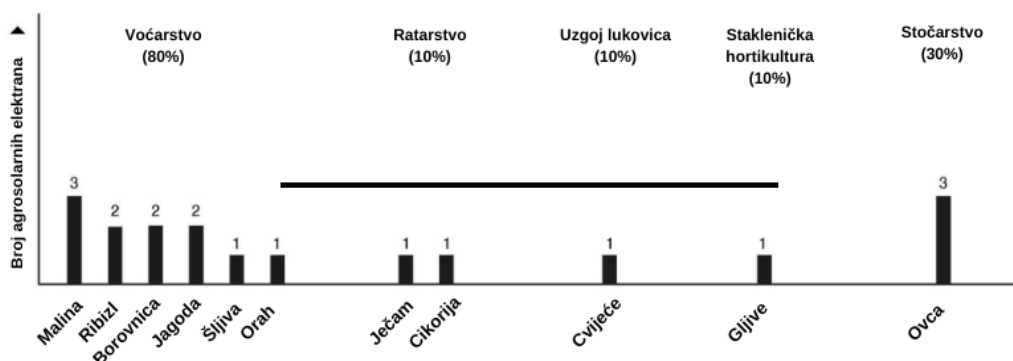
Tablica 2: Prikaz glavnih segmenata agrosolarnih projekata u Nizozemskoj

Agrosolarni projekt	Godina izgradnje	Površina	Visina konstrukcije	Orijentacija	Uzgoj
Babberich	2020	3,2ha	3m	Istok-Zapad	Malina
Wadenoijen	2021	1,2ha	3m	Istok-Zapad	Ribizl
Broekhuizen	2020	0,11ha	2,5m	Jug	Borovnica
Sint-Oedenrode	2020	0,13ha	2,1m	Istok-Zapad	Kupina i malina
Boekel	2020	0,04ha	2,1m	Jug	Jagoda
Haren	2021	2ha	1,8m	Jug	Lješnjak
Someren	2021	0,03ha	2,5m	Istok-Zapad	Jagoda i malina
Stadskanaal	2021	0,14ha	1m	Istok-Zapad	Drveća i cvijeće
Lochem	2021	9,5ha	2,5m	Jug	Gljive
Etten-Leur	2020	3ha	3m	Jug	Ovčarstvo

Izvor: Sirmik et al., 2023

Na grafikonu 2 se može vidjeti, najčešće korištenje zemljišta bilo je za uzgoj ovaca i malina, ribizla, borovnica, jagoda i cvijeća. U nekim agrosolarnim projektima zabilježen je i uzgoj gljiva, šljiva, orašastih stabala, ječma i cikorije, poput slučajeva u Lochemu, Wadenoijenu i Stadskanaalu (Sirmik et al., 2023).

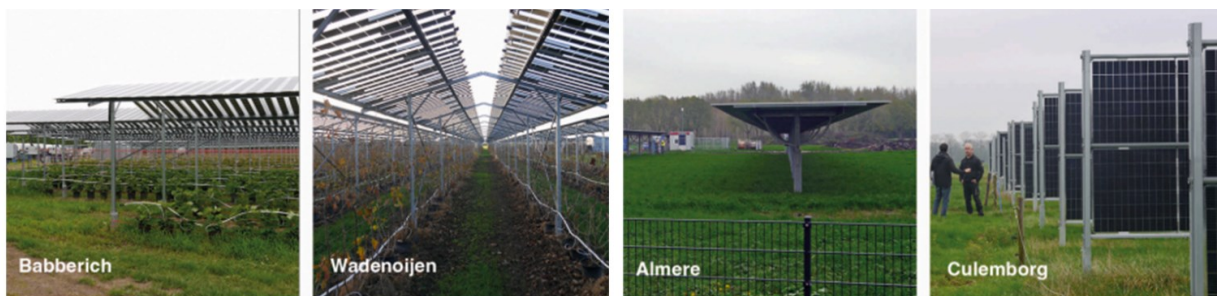
Grafikon 2: Prikaz strukture uzgoja i kultura u Nizozemskim agrosolarnim projektima



Izvor: Sirmik et al., 2023

Slika 8 prikazuje projekte Babberich, Wadenoijen, Almere i Culemborg koji su odabrani kao reprezentativni primjeri za detaljnu analizu zbog njihove značajnosti i dostupnosti podataka. Ovi projekti omogućuju dublje razumijevanje kako agrosolarni sustavi funkcioniraju u praksi, te pružaju uvid u izazove i prednosti integracije poljoprivredne proizvodnje i solarne energije u specifičnom kontekstu Nizozemske.

Slika 8: Prikaz izabраних агросоларних електрана у Низоземској



Izvor: Sirnik et al., 2024

3.1.1. Projekt Babberich

Projekt Sunbiose smješten je u gradu Babberich i prostire se na površini od 26.631 m² (2,6 hektara). Na temelju tablice 3 mogu se izdvojiti ključni detalji vezani uz uzgojenu kulturu, broj i tip solarnih panela, maksimalnu snagu sustava i visinu konstrukcije. Ovi podaci omogućuju razumijevanje specifičnosti projekta i njegovih tehničkih karakteristika, koje su ključne za integraciju poljoprivredne proizvodnje i solarne energije na istoj površini.

Tablica 3: Prikaz najbitnijih elemenata projekta Babberich

Država	Grad	Površina	Kultura	Solarni paneli	Broj panela	Watt-peak	Razmak u redu	Visina konstrukcije	Kompanija
Nizozemska	Babberich	3,4ha	Maline	Transparentni	10.250	2,4MW	0.64m	2.6-3m	BayWa - GroenLeven

Izvor: Sirnik et al., 2023

Prema Helsenu et al. (2023), prvi agrosolarni rezultati istraživanja uzgoja malina u Babberichu pokazuju da smanjena svjetlost rezultira većim, ali tanjim listovima malina. Nakon negativnih iskustava s prvotnim solarnim panelima koji su propuštali manje od 25% svjetlosti, sada se koriste paneli s 40% prozirnosti. Kao rezultat, usjev prima otprilike 50% manje svjetlosti zbog djelomičnog prekrivanja površine.

Usporedba ove metode uzgoja malina pod solarnim panelima s prošlogodišnjim uzgojem pod folijom i sjenilom pokazala je da usjev u standardnim uvjetima prima 40% manje svjetlosti (Tridge, 2022). Temperaturna mjerenja su pokazala da je ispod solarnih modula temperatura niža za pet stupnjeva tijekom vrućih dana u usporedbi s područjima pokrivenima plastičnom folijom, i za dva stupnja niža nego u okolnom području. Noću je temperatura ispod modula toplija nego u okolici, što doprinosi manjim temperaturnim varijacijama i potiče rast biljaka jer

se manje energije troši na regulaciju temperature.

Projekt Sunbiose, uključujući Babberich, koristi prostor između solarnih panela orijentiranih istok-zapad ispunjen prozirnim polimernim materijalom s posebnim premazom za raspršivanje sunčeve svjetlosti. Budući da maline najbolje uspijevaju u polusjeni, ovo zasjenjenje može poboljšati njihov rast. Postavljanje fotonaponskih panela iznad nasada malina nudi zaštitu od tuče, kontrolu temperature i zasjenjivanje biljaka. Niže dnevne temperature smanjuju stres i potrebu za navodnjavanjem, što može smanjiti potrošnju vode do 25%. Međutim, zasjenjenje može smanjiti prinos malina za oko 5% (Leto et al., 2023). Projekt, iniciran i financiran od Nizozemskog inovacijskog programa MOOI, namijenjen je privatnoj i istraživačkoj upotrebi. Pilot projekt iz 2020. godine postavio je temelje za širu ekspanziju, a nakon uspješnih rezultata, van Hoof je odlučio da BayWa r.e. opremi cijele nasade malina solarnim panelima. Ovaj sustav ne samo da će štiti maline od lošeg vremena, već će proizvoditi dovoljno energije za više od 2.800 kućanstava (BayWa r.e., 2021).

S energetske strane, solarni paneli pokrivaju 60% poljoprivrednog zemljišta, a u Babberichu se proizvodi oko 800 kW po hektaru, s ukupnim kapacitetom od 2,65 MW. U usporedbi s klasičnim solarnim farmama, koje generiraju oko 1000 kW po hektaru, agrosolarne elektrane proizvode nešto manje električne energije.

3.2.2. Projekt Wadenoijen

Projekt Wadenoijen je također dio projekta Sunbiose smješten u istoimenom gradu. Prostire se na površini od 11.894m² (1,2 hektra). Na temelju tablice 4 mogu se izdvojiti ključni detalji vezani uz uzgojenu kulturu, broj i tip solarnih panela, maksimalnu snagu sustava i visinu konstrukcije. Realizacija projekt se odvija na već postojećem poljoprivrednom zemljištu.

Tablica 4: Prikaz najbitnijih elemenata projekta Wadenoijen

Država	Grad	Površina	Kultura	Solarni paneli	Broj panela	Watt-peak	Visina konstrukcije	Država
Nizozemska	Wadenoijen	1,2-2ha	Ribizl	Transparentni	4.500	1,2MW	3m	BayWa - GroenLeven

Izvor: Sirnik et al., 2023

Najveće promjene u otvorenosti prostora zabilježene su na lokaciji Wadenoijen, s postotkom promjene u otvorenosti od 89,1%. Ova značajna promjena rezultat je izgradnje relativno visokog fotonaponskog sustava (3 m) u pretežno otvorenom krajoliku. Visoki solarni paneli na

ovoj lokaciji značajno su utjecali na dojam otvorenosti prostora, čime su značajno smanjili vidljivost otvorenih područja. S nekih kutova gledanja, korisnici krajolika mogli bi primijetiti prosječno smanjenje otvorenosti prostora od otprilike 50% (Sirnik et al., 2024).

Osim uzgoja malina, koje su primarno uzgajanje, prijavljene su ostale kulture kao što su gljive, ječam i cikorija. Razlog odabira određenih kultura rezultat je ekonomskih razloga, kao što je manja potreba za uobičajenom poljoprivrednom mehanizacijom i relativno niska konstrukcija agrosolarnih sustava u odnosu na ratarske kulture. Takvi sustavi također nude zaštitu od ekstremnih vremenskih uvjeta, što je zabilježeno u slučajevima Babberich i Wadenoijen (Sirnik et al., 2023). U oba voćnjaka zabilježen je problem s odvodnjom, gdje je tijekom kišnih razdoblja voda s panela stvarala velike nakupine između redova. Kao rješenje, predlaže se ugradnja žljebova na krajevima panela kako bi se omogućio odvod viška vode. Jedna od mogućnosti je i skupljanje kišnice na jednom mjestu, koja bi se koristila za navodnjavanje tijekom vrućih dana. Na taj način, električna energija iz panela mogla bi se koristiti za pokretanje sustava za navodnjavanje, stvarajući zatvoreni krug upotrebe (Leto et al., 2023).

3.2.3. Projekt Den Heuvel - Culemborg

Projekt Den Heuvel se razlikuje od prethodna dva projekta, prvenstveno zbog vertikalne postave solarnih panela. Dodatna razlika leži u namjeni projekta, jer se koristi za ispašu stoke, zbog čega se uzgaja trava. Projekt obuhvaća površinu od 700 m² (0,7 hektara). Sve informacije prikupljene su tijekom autorovog sudjelovanja na konferenciji u gradu Culemborg, gdje je organizirano predavanje i obilazak vertikalnog agrosolarnog projekta, prikazano u tablici 5.

Tablica 5: Prikaz najbitnijih elemenata projekta Culemborg

Država	Grad	Površina	Kultura	Solarni paneli	Broj panela	Watt-peak	Razmak između redova	Kompanija
Nizozemska	Culemborg	0,70ha	Trava	Vertikalni, transparentni	958	420Wp	5.7m	Next2Sun, Vrijstad En

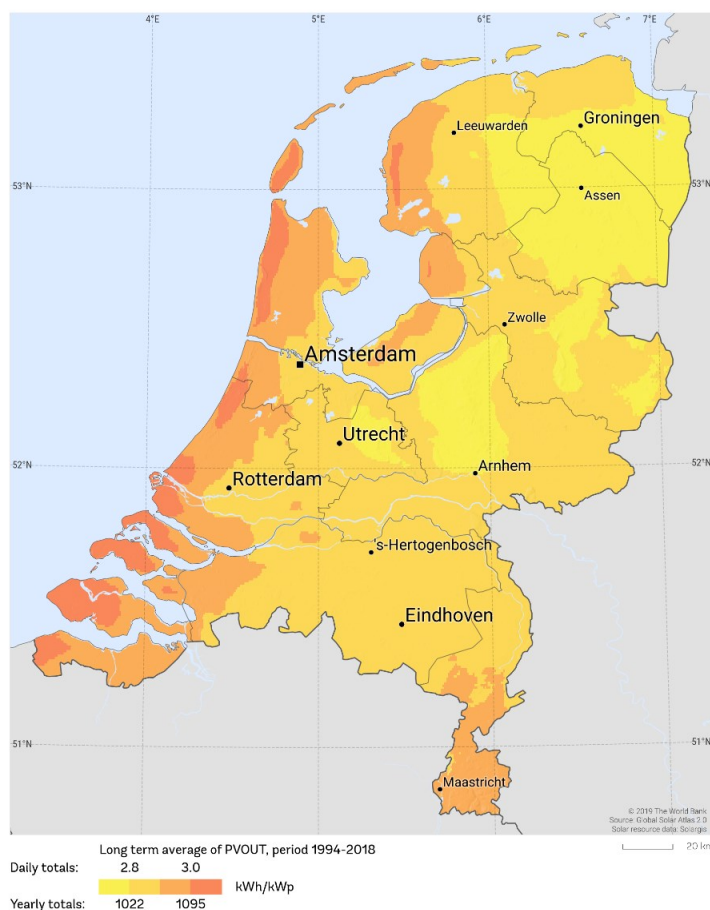
Izvor: Vrijstad Energie, 2024

Što se tiče financijskog aspekta, korišteni su dvostrani paneli, s proizvodnjom od 800-850 kWh/kWp na krovu i 900-1.000 kWh/kWp na terenu. Investicija za krovnu instalaciju iznosi €0,54/Wp, dok za instalaciju na terenu iznosi €0,80/Wp (Schamhart, 2023).

3.2. Agrosolarni potencijal u Nizozemskoj

Ovaj odlomak istražuje mogućnosti, potencijale i izazove implementacije agrosolarnih sustava u Nizozemskoj, naglašavajući kako visoka gustoća naseljenosti i napredna poljoprivredna infrastruktura omogućuju integraciju solarnih panela s poljoprivredom. Također se razmatra kako klimatske i zemljišne karakteristike Nizozemske utječu na uspjeh takvih projekata te kako upravljanje zemljištem i odabir usjeva mogu poboljšati učinkovitost i održivost agrosolarnih rješenja. Slika 9 prikazuje solarni potencijal Nizozemske s vrijednostima između 1022 kWh/kWp i 1095 kWh/kWp. Iako Nizozemska nema toliku količinu sunčanih sati kao Hrvatska, najveći kapaciteti za proizvodnju energije nalaze se u Belgiji, Nizozemskoj, Njemačkoj, Poljskoj i Rumunjskoj (Willockx et al., 2022).

Slika 9: Fotonaponski električni potencijal Nizozemske



Izvor: Solargis, 2021

Na temelju proučenih slučajeva u Nizozemskoj, mogu se izvući određeni zaključci o potencijalu te zemlje u sklopu agrosolarnih sustava. Analiza više od deset projekata otkrila je ključne informacije o vrsti korištenih solarnih panela. Svi projekti su koristili transparentne

panele, s različitim postocima prozirnosti koji se kreću od 20% do 60%.

Prikupljeni podaci naglašavaju da su uspješni agrosolarni projekti rezultat partnerstava između poljoprivrednika i drugih poduzeća. Svi projekti su uključivali više od jednog sudionika, s poljoprivrednicima koji su igrali ključnu ulogu u svakom slučaju. Dodatno, pet agrosolarnih projekata osiguralo je financiranje putem nizozemskog programa za inovacije, dok je jedan projekt dobio zajam za obnovljive izvore energije, što ukazuje na podršku i poticaje za razvoj. Analizom veličine projekata utvrđeno je da se većina nalazi u rasponu između 0,5 ha i 3,5 ha. Visina konstrukcije, zabilježena u rasponu od 1 m do 3 m, s prosječnom visinom od 2,34 m.

Unatoč mogućim višim troškovima povezanim s APV sustavima u usporedbi s tradicionalnim solarnim farmama, prednosti u pogledu zaštite od vremenskih uvjeta i učinkovite upotrebe zemljišta su očite. Izazovi, poput mogućeg smanjenja prinosa zbog zasjenjenja, naglašavaju potrebu za prilagodljivim dizajnom solarnih panela i metodama uzgoja.

3.3. Agrosolarni projekti u Hrvatskoj

U usporedbi s Nizozemskom, Hrvatska trenutno nema razvijene agrosolarne projekte. Međutim, objavljene literature kao što su priručnici za razvoj agrosolarnih projekata i studije o potencijalu solarne energije u poljoprivredi (u kojima su sudjelovali brojni istraživači i tvrtke), ukazuje da se Hrvatska kreće prema razvoju agrosolarstva. Također, važno je napomenuti da su se dogodile promjene u zakonodavstvu koje olakšavaju realizaciju agrosolarnih projekata u usporedbi sa solarnim projektima (o čemu više piše u poglavlju 2.1. Regulaciji i zakonski okvir).

U Hrvatskoj trenutno postoje projekti u fazi razvoja. Neki od njih prijavljeni su kao solarni projekti s mogućnošću pretvaranja u agrosolarne elektrane, zbog nedovoljno razvijenih zakonskih okvira. Dokumentacija o tim projektima, koja je dostupna u obliku Elaborata zaštite okoliša – ocjena o potrebi procjene utjecaja agrosolarnih zahtjeva, predstavlja ključni izvor informacija. Uz novinske članke, ove informacije bit će temelj za razumijevanje načina, lokacija i strategija realizacije agrosolarnih projekata u Hrvatskoj. O ovom će se detaljnije raspraviti u nastavku.

3.5.1. Projekt Brač (u tijeku)

Kao što se može vidjeti u tablici 6, projekt FNE BRAČ s instaliranom snagom od 4,4 MW bit će formiran kao "agrosolarna" elektrana izgrađena na zasebnim čeličnim konstrukcijama, s

mogućnošću promjene kuta nagiba solarnih panela od 10 do 36 stupnjeva. Redovi grupiranih solarnih panela bit će odvojeni na udaljenosti od 1,5 do 4,4 metra, što omogućava korištenje zemljišta za ispašu stoke, kao i za uzgoj određenih poljoprivrednih kultura poput lavande.

Tablica 6: Prikaz najbitnijih elemenata projekta FN Brač

Država	Grad	Površina	Kultura	Solarni paneli	Broj panela	Snaga	Razmak u redu	Visina konstrukcije	Kompanija
Hrvatska	Otok Brač	3,86ha	Lavanda, stočarstvo	Bifacijalni – 696W	6.386	4,4MW	1.5-4.4m	0.6-2.8m	Air Dalmacija

Izvor: Hidroplan d.o.o., 2022

Projekt se sastoji od 6.386 poluvodičkih bifacijalnih fotonaponskih panela s određenim postotkom propusnosti (koji nije definiran) i razinom od 15% učinkovitosti, maksimalne snage modula 696W (Hidroplan d.o.o., 2022). Montažna konstrukcija se temelji na stupovima koji su raspoređeni svakih 3 metra u smjeru istok-zapad. Ova struktura omogućuje prilagodbu kuta postavljanja modula u rasponu od 10° do 36°, čime se optimizira njihova učinkovitost. Moduli su postavljeni tako da donji rub bude najmanje 0,6 metara iznad tla, dok visina najvišeg dijela konstrukcije u odnosu na okolni teren ne smije premašiti otprilike 3,0 metra. Poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i visokoučinkovite kogeneracije (Narodne novine, br. 116/2018) razvrstava sunčanu elektranu poput FNE BRAČ u skupinu a.(3.) – sunčane elektrane instalirane snage do uključivo 10 MW. Ovim kategoriziranjem projekt se svrstava u skupinu za koju nije potrebno izraditi prostorni plan, što značajno pojednostavljuje administrativni postupak (Hidroplan d.o.o., 2022)..

Kao što je navedeno u poglavlju 2.1., umjesto građevinske dozvole, za ovakve projekte dovoljno je izraditi samo glavni projekt. Ova pojednostavljena procedura značajno ubrzava proces realizacije i smanjuje troškove pripreme. Takva fleksibilnost u zakonodavnom okviru omogućuje bržu implementaciju agrosolarnih elektrana u odnosu na tradicionalne solarne elektrane.

3.5.2. Projekt Dragalić (u tijeku)

Tablica 7 prikazuje najbitnije stavke projekta, iako određeni podatci nisu dostupni. U Dragaliću kod Nove Gradiške planirana je izgradnja prve agrosolarne elektrane u Hrvatskoj, snage 10 MW, što je najavila tvrtka Neoen. Planirani projekt agrosolarne elektrane snage 10 MW spada u kategoriju elektrana koje se mogu priključiti na mrežu HEP ODS-a, što značajno pojednostavljuje postupak dobivanja energetskeg odobrenja. Za projekte ove veličine, zahtjev

za odobrenje podnosi se izravno Ministarstvu, bez potrebe za natječajem, što ubrzava proces realizacije i omogućava bržu implementaciju obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj. Detaljnije o regulacijama i zakonskom okviru ovog procesa opisano je u poglavlju 2.1. Regulacije i zakonski okvir.

Tablica 7: Prikaz najbitnijih elemenata projekta FN Dragalić

Država	Grad	Površina	Kultura	Solarni paneli	Snaga	Orijentacija panela	Visina konstrukcije	Kompanija
Hrvatska	Dragalić	26,45ha	Stočarstvo i/ili poljoprivreda	Bifacijalni	Max 10MW	Istok-zapad	Jednoosni ili fiksni	Neoen, IRES,

Izvor: IRES Ekologija, 2023

Prema Elaboratu zaštite okoliša: Ocjena o potrebi procjene utjecaja zahvata „Sunčana elektrana Dragalić” na okoliš, projekt obuhvaća ukupnu površinu od oko 26,46 hektara. Fotonaponski moduli su postavljeni vertikalno, s maksimalnim rasponom rotacije od $\pm 60^\circ$ istok-zapad i azimutom od 0° sjever-jug. Svaki red sastoji se od 2Vx28 fotonaponskih modula (dva reda po sekciji), s razmakom od 11 metara između redova.

Fotonaponski moduli montirani su u redovima koji služe kao vlastite potporne strukture, a ovi redovi se temelje na nosačima koji su obično pričvršćeni za tlo. Za rotaciju modula koristi se horizontalni jednoosni traker koji rotira oko horizontalne osi, orijentirane sjever-jug, uz mogućnost povratnog praćenja. Ovaj sustav praćenja omogućuje hvatanje više sunčevog zračenja, čime se značajno povećava energetska učinkovitost fotonaponskih modula. Planira se upotreba bifacijalnih monokristalnih modula s tipičnom učinkovitošću iznad 20%, dok će svi izmjenjivači (inverteri) biti proizvedeni od strane tvrtke Sungrow, model SG350HX (1500 Vdc), s nazivnom izmjeničnom snagom od 352 kW pri temperaturi od 30°C (IRES Ekologija, 2023).

3.5.3. Projekt Kraljeva Sakala (u tijeku)

U Splitsko-dalmatinskoj županiji, konkretno na području općine Šestanovac, planira se izgradnja agrosunčane elektrane Kraljeva Sakala s priključnom snagom do 7,5 MW. Dio priključne podzemne trase prolazit će i kroz susjednu općinu Lovreć. Kao što se može vidjeti u tablici 8, ova agrosunčana elektrana bit će smještena unutar voćnjaka trešnji Kraljeva Sakala, obuhvaćajući površinu od približno 9,7 hektara.

Tablica 8: Prikaz najbitnijih elemenata projekta ASE Kraljeva Sakala

Država	Grad	Površina	Kultura	Solarni paneli	Broj panela	Snaga	Razmak u redu	Visina konstrukcije	Kompanija
Hrvatska	Šestanovac	9,7ha	Trešnja	Mono i polikristalni	/	7,5MW	5m	Minimalno 3m	Prius Fructus

Izvor: IRES Ekologija, 2024

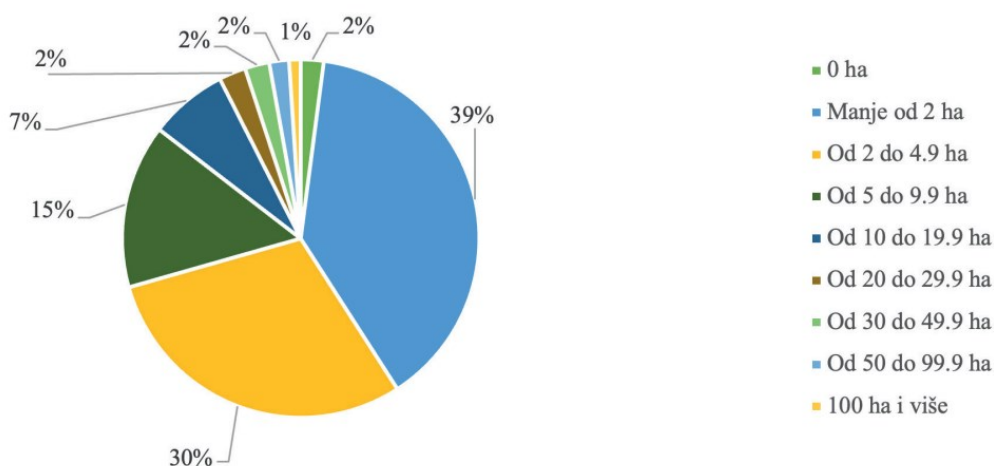
Projekt Kraljeva Sakala uključuje dvije moguće tehnologije za postavljanje fotonaponskih (FN) modula, koje su detaljno razmatrane u idejnom rješenju. Prva opcija je upotreba "tracker" tehnologije, gdje se FN moduli postavljaju na pomične konstrukcije koje prate kretanje sunca tijekom dana. Ova tehnologija omogućava modulima da mijenjaju svoj nagib ovisno o dobu dana i godišnjem dobu, čime se poboljšava apsorpcija sunčeve energije i povećava učinkovitost cijelog sustava u usporedbi s fiksnim konstrukcijama (IRES Ekologija, 2024). Druga opcija predviđa korištenje fiksnih montažnih konstrukcija, gdje su FN moduli nepomično postavljeni pod određenim kutom. Ove konstrukcije su učvršćene u tlo, a moduli ostaju statični, bez mogućnosti praćenja sunca. Kod ovih fiksnih sustava, razmak između redova modula je pažljivo izračunat kako bi se osiguralo da su svi moduli potpuno izloženi sunčevom zračenju, čak i pri niskim kutovima sunca, kao što je slučaj tijekom zimskog solsticija kada sunce doseže kut od 22°.

3.4. Agrosolarni potencijal u Hrvatskoj

Pri analizi agrosolarnog potencijala u Hrvatskoj, ključno je razmotriti poljoprivredu. Prema istraživanju Leto et al. (2023), oko 70% poljoprivrednih površina nalazi se u Kontinentalnoj Hrvatskoj, dok je 30% u Jadranskoj Hrvatskoj. Za agrosolarne projekte preporučuje se minimalna veličina zemljišta od 1 hektara, što je u skladu s međunarodnim standardima za ekonomski isplative projekte. Od ukupno 143.927 obiteljskih poljoprivrednih gospodarstava u Hrvatskoj, 39% ima manje od 2 hektara zemljišta. Struktura veličina poljoprivrednog zemljišta u Hrvatskoj prikazana je na slici 10.

Jedna od potencijalnih primjena agrosolarara je u vinogradarstvu. Iako 92,44% proizvođača posjeduje vinogradarske parcele manje od 1 ha, te parcele čine 32,12% ukupne vinogradarske površine u Hrvatskoj. Parcela veća od 1 ha, pogodna za agrosolarne sustave, obuhvaća 67,88% ukupne vinogradarske površine, što znači da je teoretski 12.026,17 ha vinograda prikladno za primjenu. Prosječni nagib vinograda od 6,38% ne predstavlja prepreku za izgradnju agrosolarara (Leto et al., 2023).

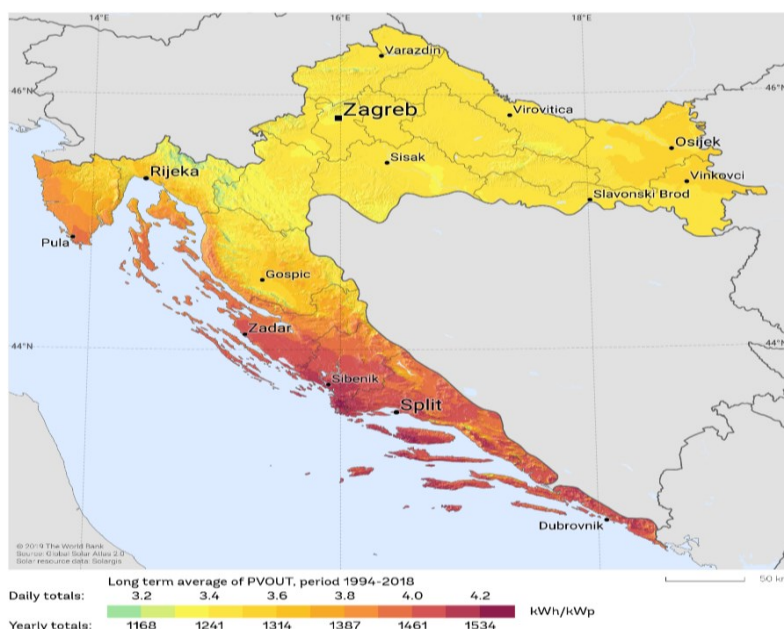
Slika 10: Poljoprivredno zemljište OPG-a u Hrvatskoj 2020. godine



Izvor: Leto et al., 2023

Hrvatska ima prednost zbog visokog broja sunčanih sati, s godišnjom generiranom sunčevom energijom između 1168 kWh/kWp u područjima s najmanjom insolacijom i do 1534 kWh/kWp u najpovoljnijim regijama (slika 11). Ove vrijednosti pokazuju da Hrvatska, u usporedbi s Nizozemskom, ima povoljnije klimatske uvjete za razvoj agrosolarnih sustava zbog većeg intenziteta sunčevog zračenja.

Slika 11: Fotonaponski električni potencijal Hrvatske



Izvor: Solargis, 2021

Prema Tablici 9, na području Hrvatske nalazi se ukupno 292 plantaže mediteranskog voća veće od 1 hektara, koje zauzimaju površinu od 1.400 hektara. Među njima, 31 plantaža je veća od

10 hektara. Gotovo dvije trećine ovih plantaža, točnije 180, namijenjene su za uzgoj maslina, od kojih je 15 veće od 10 hektara. Plantaže koje se nalaze u područjima s odgovarajućim terenskim uvjetima, razvijenom infrastrukturom i barem polu-intenzivnim stupnjem proizvodnje mogu se smatrati pogodnima za implementaciju agrosolarnih sustava. Prema procjenama, između 120 i 150 plantaža maslina, što čini oko 500 hektara, imaju potencijal za uspostavu agrosolarnih sustava (Leto et al., 2023).

Tablica 9: Uzgoj mediteranskih vrsta voća u Jadranskoj podregiji, 2021. godine

	Ukupna površina (ha)	Poljoprivredna djelatnost	Prosječna površina (ha)	Poljoprivredna djelatnost > 1 ha	Poljoprivredna djelatnost > 10 ha
Maslina	14.225,35	14.187	1,00	180	15
Mandarina	1.589,87	1.335	1,19	13	1
Limun	31,92	201	0,16	1	0
Naranča	14,96	92	0,16	0	0
Kumkvat	0,60	10	0,06	0	0
Grejp	0,10	3	0,03	0	0
Badem	738,34	1.041	0,71	33	5
Višnja maraska	347,09	236	1,47	8	4
Smokva	303,96	813	0,37	31	1
Šipak	55,18	172	0,32	5	0
Rogač	50,61	14	3,62	1	1
Kivi	15,95	14	1,14	1	1
Žižula	3,01	12	0,25	0	0
Uzgoj mješovitog voća	1.273,31	3.994	0,32	16	3
Rasadnici voća	17,28	18	0,96	3	0
UKUPNO	18.667,53	22.142	0,84	292	31

Izvor: Agencija za plaćanja u poljoprivredi, ribarstvu i ruralnom razvoju, 2022

U Hrvatskoj, agrosolarni sustavi imaju značajan potencijal u malim i srednjim voćnjacima (5-15 ha), posebno na obiteljskim gospodarstvima. Analize iz Nizozemske pokazuju da su bobičaste kulture najčešće odabrane za agrosolarne projekte. Iako ove kulture zahtijevaju manje sunčeve svjetlosti, njihova visoka cijena čini ih atraktivnim izborom za agrosolarne sustave.

Kao što se može vidjeti u tablici 10, u svrhu ovog diplomskog rada provedena je analiza cijena 109 kultura dostupnih u trgovinama Hrvatske. Nakon prikupljanja kvantitativnih i kvalitativnih podataka, kulture su rangirane prema cijeni, od najviše do najniže. Na temelju usporedbe cijene po kilogramu, zaključeno je da bobičasto voće čini pet kultura koje se nalaze među top 15 najskupljih kultura.

Tablica 10: Cijena voća i povrća u Hrvatskoj

Naziv	Cijena	Valuta	Mjera	Količina
1. Pinjol	62,90	€	kg	1
2. Badem listići	62,90	€	kg	1
3. Karambola (Farma Shop)	34,00	€	kg	1
4. Smokve	19,90	€	kg	1
5. Peruanska jagoda	19,90	€	kg	1
6. Tamarillo	19,39	€	kg	1
7. Pistacije	19,00	€	kg	1
8. Malina	15,92	€	kg	1
9. Baby špinat	15,90	€	kg	1
10. Lješnjak (Konzum)	13,83	€	kg	1
11. Ribizl	13,52	€	kg	1
12. Suhe marelice	13,28	€	kg	1
13. Borovnica	11,96	€	kg	1
14. Šumsko voće smrznuto	10,60	€	kg	1
15. Suha brusnica	10,58	€	kg	1
16. Matovilac	10,32	€	kg	1
17. Rikula	10,32	€	kg	1
18. Badem jezgra	9,98	€	kg	1
19. Rajčica Cherry	9,98	€	kg	1
20. Artičoke (u konzervi)	9,82	€	kg	1
21. Rotkvica (Bio&Bio)	8,95	€	kg	1
22. Suhe šljive	7,45	€	kg	1
23. Avokado	6,49	€	kg	1
24. Kelj pupčar	6,38	€	kg	1
25. Đumbir	5,99	€	kg	1
26. Komorač	5,49	€	kg	1
27. Radić (Farmeraj)	5,38	€	kg	1
28. Špinat	5,23	€	kg	1
29. Paprika rog crvena	4,98	€	kg	1
30. Bundeve	4,87	€	kg	1
31. Glijva bukovača	4,87	€	kg	1
32. Peršin korijen	4,76	€	kg	1
33. Celer (Bio&Bio)	4,69	€	kg	1
34. Salata puter	4,45	€	kg	1
35. Kuhani kukuruz šećerac	4,23	€	kg	1
36. Kivi	3,99	€	kg	1
37. Limeta	3,99	€	kg	1
38. Trešnje	3,99	€	kg	1
39. Češnjak	3,98	€	kg	1
40. Kikiriki (Konzum)	3,98	€	kg	1
41. Mahuna zelena	3,98	€	kg	1
42. Paprika mix	3,98	€	kg	1
43. Mango	3,98	€	kg	1
44. Salata kristal	3,95	€	kg	1
45. Šipak	3,88	€	kg	1
46. Sampirjoni	3,78	€	kg	1
47. Luk mladi (Stridon)	3,77	€	kg	1
48. Datulja (Nutrgold)	3,69	€	kg	1
49. Špinat smrznuti	3,65	€	kg	1
50. Peršin (Voćarna)	3,4	€	kg	1
51. Dajkon (Daikon)(Bio&Bio)	3,39	€	kg	1
52. Limun eko	3,38	€	kg	1
53. Ekozona Jabuka	3,32	€	kg	1
54. Krastavac salatni	3,3	€	kg	1
55. Salata endivija	3,18	€	kg	1
56. Brokula	2,99	€	kg	1
57. Grožđe bijelo	2,98	€	kg	1
58. Grožđe omo	2,99	€	kg	1
59. Kruška Abata	2,99	€	kg	1
60. Paprika crvena	2,99	€	kg	1
61. Salata iceberg	2,82	€	kg	1
62. Grah (Tommy)	2,65	€	kg	1
63. Breskva	2,49	€	kg	1
64. Marelica	2,49	€	kg	1
65. Mandarine (Tommy)	2,39	€	kg	1
66. Vešana blitva	2,38	€	kg	1
67. Korabica	2,19	€	kg	1
68. Tikva butternut, but	2,12	€	kg	1
69. Karfiol (Cvjetača)	2,06	€	kg	1
70. Batat krumpir slatk.	1,99	€	kg	1
71. Grejp crveni	1,99	€	kg	1
72. Kelj	1,99	€	kg	1
73. Kruška ljetna	1,99	€	kg	1
74. Limun	1,99	€	kg	1
75. Luk srebrenac	1,99	€	kg	1
76. Paprika babaura	1,99	€	kg	1
77. Patlidžan	1,99	€	kg	1
78. Poriluk	1,99	€	kg	1
79. Rajčica Grapolo	1,99	€	kg	1
80. Dinja	1,79	€	kg	1
81. Kiseli kupus rezani	1,78	€	kg	1
82. Naranča	1,69	€	kg	1
83. Nektarina	1,69	€	kg	1
84. Ananas	1,66	€	kg	1
85. Jabuka Granny Sm	1,49	€	kg	1
86. Jabuka Zlatni delić	1,49	€	kg	1
87. Paprika zelena	1,49	€	kg	1
88. Puter tikva	1,49	€	kg	1
89. Rajčica Beef	1,49	€	kg	1
90. Banana	1,46	€	kg	1
91. Luk crveni	1,39	€	kg	1
92. Luk ljubičasti	1,39	€	kg	1
93. Mrkva	1,39	€	kg	1
94. Celer glava	1,29	€	kg	1
95. Jabuka Idared	1,29	€	kg	1
96. Jabuka Jonagold	1,29	€	kg	1
97. Krumpir mladi	1,29	€	kg	1
98. Krumpir mladi (Konz	1,29	€	kg	1
99. Kupus crveni	1,28	€	kg	1
100. Šljiva	1,29	€	kg	1
101. Šljive	1,29	€	kg	1
102. Lubenica mini	1,19	€	kg	1
103. Jabuka crvena	1,00	€	kg	1
104. Krumpir	1,00	€	kg	1
105. Cikla	0,99	€	kg	1
106. Kupus mladi	0,99	€	kg	1
107. Tikvice	0,99	€	kg	1
108. Krastavci	0,79	€	kg	1
109. Lubenica	0,59	€	kg	1

Izvor: Konzum online cjenik, 2023

Voćne vrste i sorte imaju specifične boje koje utječu na tržište. Na primjer, crvene jabuke poput „Red Delicious” moraju biti potpuno crvene, što može biti otežano smanjenjem sunčeve svjetlosti zbog PV panela. S druge strane, sorte poput „Golden Delicious” i „Granny Smith” mogu imati koristi od PV panela jer će se spriječiti njihovo prekomjerno crvenjenje, čime će postati privlačnije potrošačima.

U Hrvatskoj postoji 292 plantaže mediteranskog voća veće od 1 ha, koje zauzimaju ukupno 1.400 ha. Gotovo dvije trećine njih su plantaže maslina (180 plantaža, od kojih je 15 veće od 10 ha). Plantaže s razvijenom infrastrukturom i barem polu-intenzivnim stupnjem proizvodnje, posebno u povoljnim terenskim područjima, su potencijalno pogodne za agrosolarne sustave. Oko 120-150 plantaža maslina (oko 500 ha) moglo bi biti zanimljivo za ovu primjenu.

Što se tiče ljekovitog bilja, u Hrvatskoj postoji 673 plantaže ljekovitog i aromatičnog bilja veće

od 1 ha, s ukupnom površinom od 7.166 ha, od čega je 185 plantaža veće od 10 ha. Kamilica, najznačajnija ljekovita biljka u Hrvatskoj, uzgaja se na 6.348 ha, uključujući 475 plantaža većih od 1 ha i 178 veće od 10 ha. Veće plantaže kamilice su potencijalno pogodne za agrosolarne sustave, posebno u županijama s dostupnom mrežnom infrastrukturom.

Prema Tablici 11, u Hrvatskoj postoji 108 plantaža smilja većih od 1 hektara, koje pokrivaju ukupno 480 hektara. Od toga, četiri plantaže su veće od 10 hektara. Procjenjuje se da je oko 70% ovih plantaža, što odgovara približno 336 hektara, pogodno za implementaciju agrosolarnih sustava. Lavanda, koja je jedina ljekovita i aromatična biljka s većim brojem plantaža, ima 55 plantaža na ukupno 170 hektara, no nijedna plantaža nije veća od 10 hektara. Važno je napomenuti da se neke od ovih plantaža nalaze u područjima s nedovoljno razvijenom infrastrukturom, što treba uzeti u obzir pri procjeni izvedivosti agrosolarnih sustava.

Tablica 11: Uzgoj aromatičnoga i ljekovitog bilja u Hrvatskoj, 2021. godine

	Ukupna površina (ha)	Poljop. djelatnost	Prosječna površina (ha)	Poljop. djelatnost > 1 ha	Poljop. djelatnost > 10 ha
Kamilica (<i>Matricaria chamomilla</i> , L.)	6.359,92	503	12,64	475	178
Smilje (<i>Helichrysum italicum</i> , Roth; G. Don)	589,18	655	0,90	108	4
Lavanda (<i>Lavandula angustifolia</i> , Mill.)	225,32	379	0,59	55	0
Komorač (<i>Foeniculum vulgare</i> , Mill.)	93,29	9	10,37	6	2
Sikavica (<i>Silybum marianum</i> , L.; Gaertn.)	22,83	14	1,63	8	0
Paprena metvica (<i>Mentha x piperita</i> , L.)	16,49	25	1,63	3	0
Kadulja (<i>Salvia officinalis</i> , L.)	15,62	23	0,68	1	1
Matičnjak (<i>Melissa officinalis</i> , L.)	15,54	24	0,65	6	0
Pelin (<i>Artemisia absinthium</i> , L.)	8,54	13	0,66	4	0
Ružmarin (<i>Salvia rosmarinus</i> , Spenn)	8,50	18	0,46	2	0
UKUPNO	7.355,23	1.663	4,42	668	185

Izvor: Agencija za plaćanja u poljoprivredi, ribarstvu i ruralnom razvoju, 2022. godina

Primjena agrosolarnih panela u povrtlarstvu može biti izazovna zbog plodoreda i sezonskih promjena usjeva. Povrće se obično uzgaja u rotaciji tijekom cijele godine, što može otežati učinkovitu integraciju agrosolarnih sustava.

Projekt Dragalić, kojeg zajednički provode Neoen Renewables Croatia i IRES, uvodi upotrebu

bifacijalnih solarnih panela na velikoj površini od 26,45 hektara. Ovaj pionirski projekt s maksimalnim kapacitetom od 10 MWp uključuje sustav praćenja kretanja sunca po jednoj osi, čime se postiže povećana energetska učinkovitost.

Nadalje, planira se izgradnja agrosolarne elektrane Kraljeva Sakala u Splitsko-dalmatinskoj županiji, koja će imati priključnu snagu do 7,5 MW i obuhvaćati površinu od približno 9,7 hektara. Projekt uključuje dvije tehnologije za postavljanje fotonaponskih modula: "tracker" tehnologiju koja omogućuje praćenje kretanja sunca i fiksne montažne konstrukcije.

Ono što možemo vidjeti da je zajedničko u svakom projektu je da su do 10 MW snage, čime spadaju u kategoriju gdje nije potrebna lokacijska, građevinska dozvola niti energetska odobrenje. Iako je to nešto što pruža veliku prednost u odnosu na solarnu elektranu, potencijalni nedostatak može biti upotreba u krive svrhe. Jedan od načina da se to dogodi je nastojanje investitora da što prije realizira agrosolarni projekt, te se uspije priključiti na mrežu. Što se tiče geografske lokacije, vidimo da se projekti razvijaju u Slavoniji i Dalmaciji, što potvrđuje da obje regije imaju sve preduvjete za realizaciju agrosolarnih projekata.

4. FINANCIJSKA ANALIZA ISPLATIVOSTI I IZVEDIVOSTI AGROSOLARA U HRVATSKOJ I NIZOZEMSKOJ

U ovom poglavlju bit će provedena financijska analiza isplativosti agrosolarnih elektrana u Nizozemskoj i Hrvatskoj. Troškovi instalacije agrosolarnih sustava mogu značajno varirati zbog različitih čimbenika, uključujući veličinu i složenost sustava, vrstu i učinkovitost solarnih panela, te troškove rada i materijala u određenoj regiji. Prema istraživanju Ruijter, F. et al. (2023) sa Sveučilišta Wageningen, agrosolarni sustavi zahtijevaju veća ulaganja u usporedbi s standardnim monofunkcionalnim solarnim elektranama zbog povišene konstrukcije i niže gustoće generiranja električne energije. Kao rezultat, cijena proizvodnje električne energije u agrosolarnoj elektrani je viša nego u konvencionalnoj solarnim elektranama koje su postavljene bliže tlu.

Tablica 12 prikazuje podatke za monofunkcionalne, poluprozirne (transparentne) i vertikalne solarne elektrane. Raspon troškova ulaganja odražava ekonomiju razmjera: manji projekti su proporcionalno skuplji od većih. Za izračune je korištena prosječna cijena iz raspona, a proizvodnja energije procijenjena je na temelju bifacijalnih (dvostrano aktivnih) panela.

Tablica 12: Sažetak karakteristika triju sustava s ekonomskim izračunima

	Monofunctional solar park	Semi-transparent roof cover	Vertical system
Power density, MW/ha	1.5	0.9	0.35
Investment per ha, euro/Watt peak	€0.45 - 0.6	€0.75 - 0.9	€0.6 - 0.75
Average investment construction, euros/ha	€750,000	€738,000	€238,050
Annual O&M, per ha	€19,500	€12,150	€4,485
Financing costs/year, per ha	€16,875	€16,605	€5,356
Relative electricity production, kWh/kWp (in the Netherlands)	950	1,000	1,100
Annual electricity production, kWh per ha	1,425,000	900,000	362,250
Allowance for land use to the farmer ¹² (euros/ha per year)	€5,000	€1,000	€2,500
Gross annual turnover/ha at 7 cents/kWh	€99,750	€63,000	€25,358
Gross annual turnover/ha at 9 cents/kWh	€128,250	€81,000	€32,603
Payback period (years) at 7 cents/kWh	12.8	22.2	18.3
Payback period (years) at 9 cents/kWh	8.6	14.4	11.7

Izvor: Ruijter, F. et al. (2023)

Uzimajući u obzir sve ove aspekte, u primjerima izračuna prikazanim u tablici 12 vidljivo je da je za agrosolarna elektrana s poluprozirnim (transparentnim) panelima potrebna cijena električne energije od najmanje 9 centi po kWh (81,17€ po MWh) kako bi se investicija isplatila unutar 14,4 godine. Kod monofunkcionalnog solarnog parka potrebno je također 9 centi po kWh, ali se investicija isplaćuje za 8,6 godina. Za vertikalni sustav, uz cijenu od 9 centi po kWh, period povrata investicije iznosi 11,7 godina. Na temelju ovih informacija, može se

zaključiti da se monofunkcionalni solarni park najbrže isplaćuje, dok je za isplatu poluprozirnog solarnog pokrova potrebno najviše vremena. Naknada farmeru za korištenje zemljišta ključan je faktor kada investitor ulaže u solarni park. Za monofunkcionalne solarne parkove, trošak naknade iznosi oko 5.000 eura po hektaru godišnje. Za agrosolarne farme, iznos naknade trebao bi ovisiti o utjecaju na uzgoj usjeva, a istraživanje sugerira da bi mogla biti 1.000 eura po hektaru godišnje.

Financijska isplativost agrosolarnih sustava za poljoprivrednika nastaje kada uštede zbog smanjenih troškova zaštite usjeva nadmaše gubitke uzrokovane smanjenim prinosima. Iako agrosolarni paneli mogu smanjiti proizvodnju usjeva zbog sjene ili drugih faktora, uštede na troškovima zaštite (npr. od vremenskih nepogoda) mogu biti dovoljno velike da nadoknade te gubitke i donesu korist poljoprivredniku. Dakle, sustav je isplativ kada ukupne uštede nadmaše smanjene prihode od usjeva. Važno je napomenuti da procjena financijske isplativosti uključuje i druge prednosti i nedostatke, koji su detaljnije opisani u poglavlju 2.5.

4.1. Kapitalni i operativni troškovi

4.1.1. Kapitalni troškovi

Kapitalni troškovi u agrosolarstvu uključuju različite aspekte, kao što su izgradnja solarnih farmi na poljoprivrednim površinama, nabava invertera, kablova, instalaciju sustava za navodnjavanje te povezivanje sustava s energetsom mrežom. Prema Fraunhofer institutu (2024), kapacitet agrosolarnih sustava ovisi o visini sustava i vrsti kulture. Na primjer, agrosolarni sustavi visine četiri metra ili više mogu postići kapacitet od 600 kWp po hektaru. Niži sustavi visine od tri metra, često korišteni u kombinaciji s trajnim kulturama poput bobičastog voća, mogu postići kapacitet od 700 kWp po hektaru. Najmanji kapacitet, od 300 kWp po hektaru, predviđen je za trajne travnjake, gdje je potrebno osigurati dovoljan razmak između redova modula za obradu travnjaka.

Za usporedbu, obične solarne farme zahtijevaju jedan hektar za postizanje kapaciteta od 1000 kWp. Razlike između različitih oblika solarnih i agrosolarnih sustava ilustrirane su na Grafikonu 3. Na temelju grafikona u obzir uzimamo četiri oblika solarnih ili agrosolarnih elektrana:

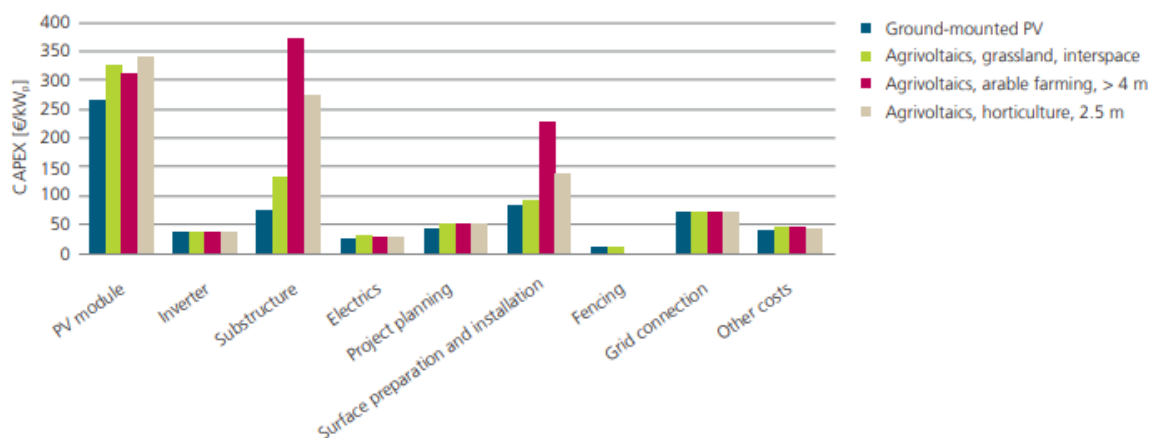
- Fotonaponski sustavi na tlu (Ground-mounted PV) koji nastoje maksimalno iskoristiti zemljište za proizvodnju električne energije. Ovaj oblik nije predviđen za uzgajanje

poljoprivrednih kultura, već isključivo za proizvodnju energije

- Agrosolarni sustavi s trajnim travnjacima (Agrivoltaics, grassland, interspace) koji omogućavaju kombinaciju solarnih panela s trajnim travnjacima, pri čemu se paneli postavljaju na način da između njih ostane dovoljno prostora za rast i održavanje travnjaka
- Agrosolarni sustavi s ratarskim kulturama (Agrivoltaics, arable farming, > 4 m) su postavljeni na visini većoj od četiri metra, što omogućava istodobnu proizvodnju hrane i energije, bez ometanja rasta kultura poput žitarica
- Agrosolarni sustavi s hortikulturnim kulturama (Agrivoltaics, horticulture, 2.5 m) su postavljeni na visini od 2.5 metra, što omogućava uzgoj voća i povrća ispod panela. Takav pristup optimizira korištenje prostora i resursa, te je idealan za intenzivan uzgoj voća, povrća, cvijeća i bilja.

Prilikom analize troškova različitih solarnih sustava, dodatno se uočavaju značajne varijacije u cijeni modula i potkonstrukcije, posebno kod agrosolarnih sustava.

Grafikon 3: Procijenjeni kapitalni izdaci (CAPEX) za solarne i agrosolarne elektrane



Izvor: Fraunhofer, 2024

Kod ratarskih kultura, troškovi potkonstrukcije procjenjuju se na prosječno 372 €/kWp, što je daleko više od troškova za konvencionalne fotonaponske sustave na tlu, koji iznose samo 76 €/kWp. Ovi troškovi mogu varirati između 243 i 500 €/kWp, ovisno o dizajnu i mogućim efektima ekonomije obujma. S druge strane, sustavi za trajne travnjake imaju znatno niže troškove potkonstrukcije, između 97 i 167 €/kWp, što ih čini ekonomičnijima za primjenu na velikim površinama. U hortikulturi, troškovi potkonstrukcije kreću se između 243 i 306 €/kWp.

Na temelju podataka dobivenih od dobavljača Trellexa iz prosinca 2023. godine, cijene čelične

konstrukcije za agrosolarne sustave kreću se između 120.000 i 160.000 € po hektaru. Glavna varijacija u cijeni ovisi o razmaku između redova; uži razmak omogućuje više redova po hektaru, dok je razlika u cijeni zbog visine manja. Veće dimenzije cijevi ili debljina zbog visine mogu značajno povećati cijenu zbog dodatne težine. Fraunhoferove cijene su pretvorene u €/ha s obzirom na kapacitet od 700 kWp po hektaru, što omogućuje množenje cijena s količinom kWp po hektaru. Prema konačnim proračunima, cijene po hektaru variraju od 170.100 €/ha do 214.200 €/ha. Iako se cijene Fraunhoferovih i Trellexovih podataka razlikuju, cijena od 160-170 €/ha kod Trellexa je blizu donjeg raspona. Važno je napomenuti da različiti parametri, kao što su visina konstrukcije, razmak između redova i dimenzije materijala, mogu značajno utjecati na konačnu cijenu.

Što se tiče solarnih panela, njihova cijena može rasti ako je potrebna prilagodba veličine ili propusnost svjetla (što je bio slučaj s projektom Babberich) kako bi se optimiziralo za potrebe rasta usjeva. U slučaju korištenja bifacijalnih staklenih solarnih panela, može se očekivati prosječni porast cijene od 326 €/kWp. Kod specijaliziranih solarnih panela za hortikulturu, cijene variraju između 240 i 440 €/kWp.

U okviru razgovora s međunarodnim dobavljačem, solarnom kompanijom koja surađuje s nizozemskom tvrtkom i koja je željela ostati anonimna, dostavljene su sljedeće cijene za solarne panele. Za projekte do 10 hektara, cijena za panele s 50% transparentnosti iznosi 0,42 €/Wp, dok za one s 30% transparentnosti iznosi 0,30 €/Wp. Za veće projekte od najmanje 10 hektara, cijena za 50% transparentne panele pada na 0,30 €/Wp, dok za 30% transparentne panele iznosi 0,25 €/Wp. Ove cijene pokazuju značajnu uštedu pri većim površinama, čineći agrosolarstvo privlačnijom opcijom za veće investicije. Vrijedi uzeti u obzir da je odnos snage i transparentnosti panela obrnuto proporcionalnog odnosa, što je prikazano u tablici 13.

Tablica 13: Odnos transparentnosti i snage solarnih panela

Snaga panela (Wp)	450	410	375	335	300	275	250	225	200	150	135	125	115	100
Transparentnost (%)	8	16	23	31	39	44	49	54	59	69	72	74	77	79

Izvor: Informacije preuzete od solarne kompanije (anonimni dobavljač)

Na temelju informacija dobivenih od anonimnog dobavljača, procijenjeni trošak solarnih panela kreće se između 250,00 i 300,00 €/kW. Ove cijene su u skladu s rasponom koji nudi Fraunhoferov grafik, gdje se cijene panela kreću od 240,00 €/kW do 340,00 €/kW. Troškovi pripreme terena i instalacije za agrosolarne sustave su značajno viši u usporedbi s konvencionalnim solarnim sustavima na tlu. Konkretno, za agrosolarne sustave u ratarskim

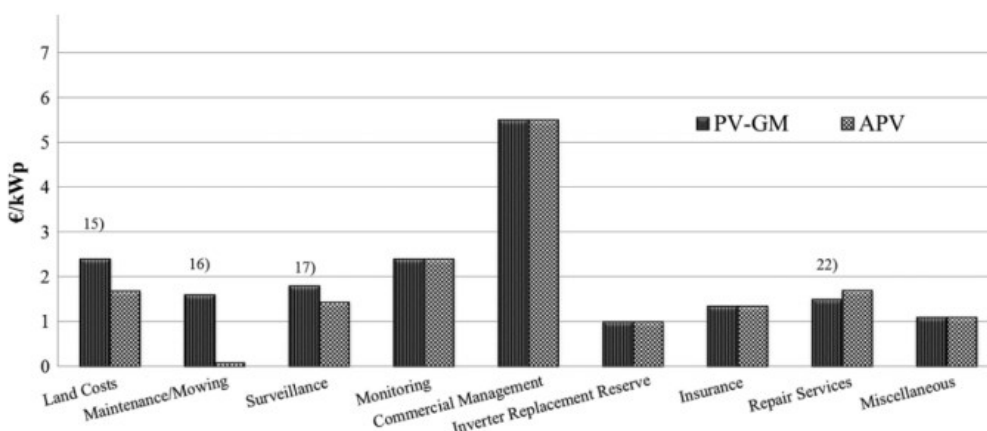
kulturama, troškovi pripreme i instalacije procjenjuju se na 190 €/kWp do 266 €/kWp, dok su kod konvencionalnih sustava na tlu ti troškovi u rasponu od 67 €/kWp do 100 €/kWp. Viši troškovi za agrosolarne sustave rezultat su dodatnih mjera zaštite tla, kao što su privremene ceste i usklađivanje vremena instalacije s poljoprivrednim ciklusima.

Za agrosolarne sustave na trajnim travnjacima i u hortikulturi, troškovi pripreme i instalacije su niži. Prosječno, trošak pripreme i instalacije iznosi 93 €/kWp za travnjake i 137 €/kWp za hortikulturu. Troškovi invertera, električnih komponenti, priključka na mrežu i projektiranja u većini slučajeva su usporedivi s onima za konvencionalne sustave na tlu. Također, moguće su dodatne uštede zbog izostavljanja potrebe za ograđivanjem sustava, što može smanjiti ukupne troškove. Zaključno, iako su početni troškovi agrosolarnih sustava značajno viši u odnosu na konvencionalne solarne farme, ove investicije nude potencijal za višestruke prihode kroz kombinaciju proizvodnje energije i poljoprivrednih aktivnosti, uz smanjenje rizika povezanih s ekstremnim vremenskim uvjetima.

4.1.2. Operativni troškovi

S druge strane, operativni troškovi u agrosolarstvu uključuju redovito održavanje solarnih panela i sustava za navodnjavanje, osiguranje te troškove radne snage koja upravlja tim sustavima. Za agrosolarni sustav, operativni troškovi (OPEX) se uglavnom sastoje od: troškova zemljišta, održavanja/košnje, nadzora, praćenja, komercijalnog ili upravljanja imovinom, zamjene invertora, osiguranja, usluga popravka i raznih drugih troškova (Grafikon 4). Općenito, raspon OPEX-a je između 1-3% početne investicije.

Grafikon 4: Usporedba OPEX-a (€/kWp) između solarne i agrosolarne elektrane



Izvor: Schindele, S. et al., (2020)

Troškovi agrosolarnih sustava često pokazuju značajne varijacije, ali istovremeno mogu omogućiti uštede na operativnim troškovima u odnosu na konvencionalne solarne sustave. Ključne uštede u agrosolarstvu proizlaze iz smanjenja troškova zemljišta, koji se smanjuju na oko 1,3 eura po kWp u ratarstvu i trajnim travnjacima, te na 1,6 eura po kWp u hortikulturi, u usporedbi s približno 2 eura po kWp za konvencionalne sustave.

Ove uštede rezultat su činjenice da su aktivnosti održavanja, kao što su košnja trave, već uključene u poljoprivredne rutine. Poljoprivrednik može također pomoći u nadzoru sustava, što dodatno smanjuje operativne troškove. Uz to, poljoprivrednik može nastaviti ostvarivati prihod od zemljišta, čime vlasnik sustava ne mora pružiti potpuni zamjenski prihod kao što je to slučaj kod konvencionalnih solarnih sustava. Umjesto toga, vlasnik sustava isplaćuje samo dodatni prihod putem najma, što dodatno smanjuje troškove zemljišta (Fraunhofer, 2024).

S druge strane, troškovi održavanja agrosolarnih sustava mogu biti viši, osobito za veće visine koje zahtijevaju korištenje podizača za čišćenje panela. U područjima s čestim padalinama, dodatni troškovi čišćenja su obično manji. Međutim, u regijama s većim rizikom od onečišćenja, troškovi čišćenja mogu biti značajniji, ovisno o korištenim tehnikama i frekvenciji čišćenja.

4.2. Tržište električnom energijom

Hrvatsko tržište električne energije regulira Hrvatska regulatorna agencija za energetiku (HERA). HERA izdaje licence za trgovce i distributere te regulira cijene prijenosa i distribucije. Hrvatski operator tržišta energije (HROTE) upravlja tržištem električne energije i plina, potiče proizvodnju iz obnovljivih izvora i kogeneracije, te nadzire HERA. Cijene električne energije u Hrvatskoj povezane su s jedinstvenim dan unaprijed tržištem preko granica sa Slovenijom i Mađarskom (Hrvatska regulatorna agencija za energetiku, 2024).

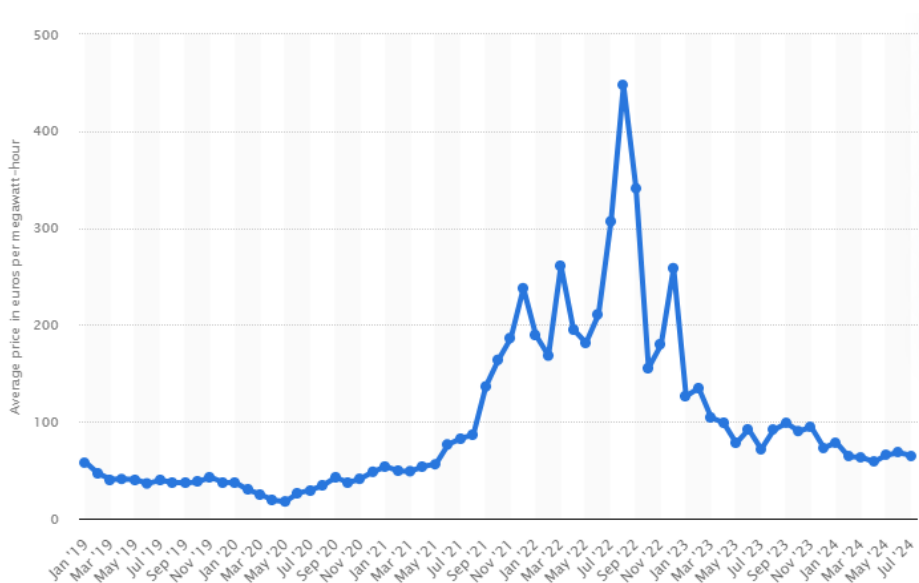
Trgovanje funkcionira putem središnje dražbe koja se održava svaki dan, gdje se cijena određuje prema svim nalogima za kupnju i prodaju zaprimljenih od strane članova burze. Prema izvještaju CROPEX-a za kolovoz 2024. godine, prosječna cijena električne energije na tržištu dan unaprijed iznosila je 113,66 €/MWh (CROPEX, 2024).

U Nizozemskoj, trgovanje električnom energijom odvija se prvenstveno na APX (Amsterdam Power Exchange), koja je dio EEX (European Energy Exchange) grupe. APX je platforma za trgovanje električnom energijom na tržištu dan unaprijed, gdje se cijene određuju na temelju

ponude i potražnje. Također, u Nizozemskoj se koriste PPA (Power Purchase Agreements), dugoročni ugovori koji omogućuju fiksnu cijenu za prodaju električne energije, što pomaže u stabilizaciji prihoda i financiranju projekata obnovljivih izvora. Ovakvi oblici ugovora su još uvijek u fazi razvoja u Hrvatskoj.

U srpnju 2024. godine, prosječna veleprodajna cijena električne energije u Nizozemskoj iznosila je 65 €/MWh, što je pad u odnosu na prethodni mjesec. Cijene su dosegnule rekordnih 447 €/MWh u kolovozu 2022. godine (Grafikon 5).

Grafikon 5: Kretanje cijena energije u Nizozemskoj za 2019.-2024. godinu



Izvor: Preuzeto sa Statista, 2024

Jedan od ključnih pokazatelja koji omogućuje procjenu troškova proizvodnje električne energije po jedinici i usporedbu različitih izvora energije je nivelirana cijena električne energije (LCOE - levelized cost of electricity). U agrosolarstvu, koje kombinira poljoprivredne aktivnosti s proizvodnjom solarne energije, LCOE pomaže razumjeti koliko je isplativa ova kombinacija u odnosu na druge oblike proizvodnje energije.

Nivelirana cijena električne energije (LCOE) ključna je za procjenu troškova proizvodnje električne energije po jedinici i usporedbu različitih izvora energije. U agrosolarstvu, LCOE pomaže razumjeti isplativost kombinacije poljoprivrede i solarne energije u odnosu na druge tehnologije. LCOE se izračunava kao omjer diskontiranih ukupnih troškova izgradnje, rada i održavanja elektrane i diskontirane ukupne proizvedene energije (Schindele et al., 2020). Kako se može vidjeti na slici 12, LCOE se može opisati kao prosječna minimalna cijena po kojoj se

električna energija proizvedena od objekta mora prodavati kako bi se pokrili ukupni troškovi proizvodnje tijekom cijelog njegovog životnog vijeka.

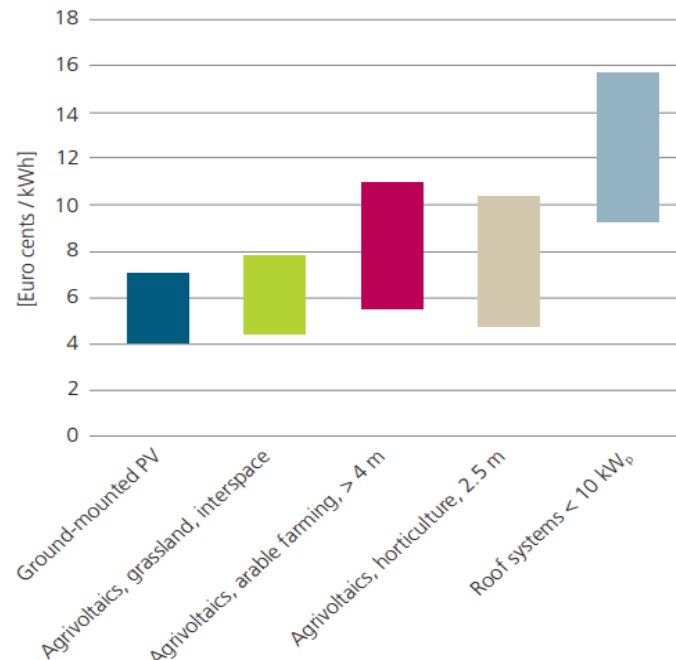
Slika 12: Formula nivelirane cijene električne energije

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{El_t}{(1+r)^t}} \quad LCOE = \frac{\text{Ukupni troškovi projekta}}{\text{Ukupna količina proizvedene energije}}$$

Izvor: Agostini et al., 2021

Prema grafikonu 6, ekonomska analiza pokazuje da agrosolarni sustavi imaju niveliranu cijenu električne energije koja je usporediva s konvencionalnim sustavima, s nešto nižom cijenom od 90 €/MWh. Specifično, cijena za sustav 1A, s panelima koji se okreću oko jedne osi, iznosi 89,5 €/MWh, dok sustav 2A, s panelima koji se okreću oko dvije osi, ima cijenu od 88,9 €/MWh. Ove cijene su otprilike 5 € i 15 € više u usporedbi s cijenama kod sustava na tlu i sustava montiranih na krovu (Agostini et al., 2021).

Grafikon 6: Procijenjeni LCOE za solarne i agrosolarne sustave.



Izvor: Fraunhofer, 2024

Prema novim istraživanjima iz Indije, agrosolarni sustav ima prednost u usporedbi s konvencionalnim solarnim sustavima. Nivelirani trošak električne energije (LCOE) za

agrosolarni sustav iznosi 0,035 €/kWh, s vremenom povrata ulaganja od 7 godina. Ovo je povoljnije u odnosu na konvencionalni bifacialni sustav, koji ima LCOE od 0,042 €/kWh i vrijeme povrata od 7,56 godina, te konvencionalni monofacialni sustav, s LCOE od 0,043 €/kWh i vremenom povrata od 7,25 godina (Bellini, 2024).

4.3. Ekonomska analiza agrosolarne elektrane

Kako bi se razumjela isplativost agrosolarnih elektrana, provedena je sveobuhvatna ekonomska analiza. U tu svrhu, analizirani su ključni financijski pokazatelji uključujući povrat na investiciju (Return on Investment - ROI), neto sadašnju vrijednost (Net Present Value - NPV), internu stopu povrata (Internal Rate of Return - IRR), prosječni ponderirani trošak kapitala (Weighted Average Cost of Capital - WACC), niveliranu cijenu električne energije (Levelized Cost of Electricity - LCOE), te novčani (kumulativni) tok. Ove analize su provedene na agrosolarnom sustavu razvijenom za potrebe ovog rada, a detalji tih analiza bit će obrađeni u nastavku rada.

Kao što je prikazano u tablici 14, analiziran je standardni agrosolarni sustav snage 1 MW. Površina koju zauzima ovaj sustav iznosi 1,11 hektara. Prema istraživanju Sveučilišta Wageningen, snaga od 0,9 MW može se realizirati na 1 hektaru, što znači da je za postizanje 1 MW potrebno 1,11 hektara zemljišta. Broj sati proizvodnje energije u Hrvatskoj procijenjen je na prosječnih 1.351 sati godišnje, uzimajući u obzir da sunčani potencijal varira između 1.168 kWh/kWp i 1.534 kWh/kWp.

Tablica 14: Parametri projektnog agrosolarnog sustava u Hrvatskoj i Nizozemskoj

Hrvatska			Nizozemska		
Snaga fotonaponskog sustava	1	MWh	Snaga fotonaponskog sustava	1	MWh
Veličina zemljišta	1,11	ha	Veličina zemljišta	1,11	ha
Sati rada	1.351	sati/godini	Sati rada	1.059	sati/godini
Investicijski trošak	915.700	€	Investicijski trošak	915.700	€
Troškovi održavanja	10.000	€/MW/godini	Troškovi održavanja	10.000	€/MW/godini
Osiguranje zemljišta	8.314	€/MW/godini	Osiguranje zemljišta	8.314	€/MW/godini
Ukupni OPEX	18.314	€/MW/godini	Ukupni OPEX	18.314	€/MW/godini
Gubitak učinkovitosti	0,50	%/godišnje	Gubitak učinkovitosti	0,50	%/godišnje
Cijena energije	65 80 100	€/MWh	Cijena energije	65 80 100	€/MWh
Godišnji prinos električne energije	1.351	MWh/godini	Godišnji prinos električne energije	1.059	MWh/godini

Izvor: Ruijter, F. et al. (2023)

Prema istom istraživanju, početna investicija iznosi između 750.000 € i 900.000 € po hektaru. U ovom slučaju, s obzirom na veličinu od 1,11 hektara, investicija je dodatno korigirana. Konačna početna investicija iznosi aritmetičku sredinu između 832.500 € i 999.000 €, što je u

prosjeku 915.700 € po MW. Što se tiče Nizozemske, glavna razlika leži u sunčanim satima, gdje se minimalni sunčani potencijal procjenjuje na 1.022 kWh/kWp, dok maksimalni iznosi 1.095 kWh/kWp. Za potrebe izračuna korištena je aritmetička sredina, koja iznosi 1.059 kWh/kWp. Projekcija početnih investicija napravljena je za Nizozemsku i Hrvatsku.

U ovoj analizi razmatrana su dva scenarija: prvi scenarij u kojem sredstva nisu osigurana te se projekt financira putem kredita, i drugi scenarij u kojem su sredstva osigurana. U Hrvatskoj, sredstva su osigurana putem Hrvatske banke za obnovu i razvitak (HBOR) kroz okvir Nacionalnog plana oporavka i otpornosti (NPOO), pri čemu je kamatna stopa 0,4%.

U Nizozemskoj, poticaji se ostvaruju putem SDE++ (Stimulering Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie) programa, koji pruža bespovratnu potporu za projekte obnovljive energije i smanjenje emisija CO₂. Program pokriva razliku između troškova proizvodnje energije i tržišne cijene, smanjujući financijski rizik za investitore, a poticaji se isplaćuju tijekom 12-15 godina (Netherlands Enterprise Agency, 2024). Ukupni godišnji troškovi održavanja i osiguranja (OPEX) iznose 18.314 €/MW/godini, što je dobiveno kao izračun 2% od ukupnih investicijskih troškova. Pretpostavljeno je da će se ti troškovi povećavati u prosjeku za 3% svake godine zbog inflacije. Cijena energije koja se prodaje ostaje fiksna tijekom 20 godina, a rađene su projekcije sa iznosima od 65,80 i 100 €/MWh. Godišnji prinos električne energije ovog agrosolarsnog sustava izračunava se množenjem snage sustava s brojem radnih sati, što rezultira s 1.351 MWh godišnje u Hrvatskoj i 1.059 MWh godišnje u Nizozemskoj. Ovaj prinos smanjivat će se svake godine za 0,5% zbog gubitka učinkovitosti solarnih panela.

Kako bi se procijenila isplativost investicije, u ovom istraživanju korišten je Excel (tablica 15) za izračun profitabilnosti tijekom razdoblja od 20 godina, uspoređujući podatke za Hrvatsku i Nizozemsku. Prvo je izračunata godišnja otplata kredita u iznosu od 66.587,54 €, koji će se otplaćivati narednih 20 godina na ukupni iznos kredita od 915.700 €. Nakon 20 godina, kredit je u potpunosti otplaćen, a investitor zadržava cjelokupni profit ostvaren prodajom električne energije. Izračun je proveden korištenjem funkcije PMT u Excelu, s fiksnom kamatnom stopom od 4%. Ukupni godišnji troškovi izračunati su dodavanjem amortizacije operativnim troškovima (OPEX), koji se u prosjeku povećavaju za 3% godišnje zbog inflacije. Prihod od prodaje električne energije izračunava se množenjem godišnjeg prinosa električne energije s cijenom energije od 65 €/MWh, uzimajući u obzir godišnje smanjenje učinkovitosti panela od 0,5%. Dobit je izračunata tako da se od prihoda od električne energije oduzmu ukupni godišnji

troškovi. Kako je prikazano u Tablici 15, sustav nije profitabilan veći dio investicijskog razdoblja. U konačnici, ostvarena je prosječna godišnja dobit od 2.764,00 €, što ipak nije dovoljno da bi se investicija smatrala isplativom, s obzirom na moguće nepredviđene troškove te potrebu za zamjenom opreme, poput invertera.

Tablica 15: Simulacija - Prikaz troškova i bruto dobiti za agrosolarni sustav od 1 MW bez subvencija (HR)

Godina	Otplata kredita (i=4%)	OPEX (3% inflacija)	Ukupni godišnji trošak	Prihod od el. energije (€/godina)	Profit
1	66.587,54 €	18.314,00 €	84.901,54 €	87.815,00 €	2.913,46 €
2	66.587,54 €	18.863,42 €	85.450,96 €	87.375,93 €	1.924,96 €
3	66.587,54 €	19.429,32 €	86.016,87 €	86.939,05 €	922,18 €
4	66.587,54 €	20.012,20 €	86.599,74 €	86.504,35 €	- 95,39 €
5	66.587,54 €	20.612,57 €	87.200,11 €	86.071,83 €	- 1.128,28 €
6	66.587,54 €	21.230,95 €	87.818,49 €	85.641,47 €	- 2.177,02 €
7	66.587,54 €	21.867,87 €	88.455,42 €	85.213,26 €	- 3.242,15 €
8	66.587,54 €	22.523,91 €	89.111,45 €	84.787,20 €	- 4.324,26 €
9	66.587,54 €	23.199,63 €	89.787,17 €	84.363,26 €	- 5.423,91 €
10	66.587,54 €	23.895,62 €	90.483,16 €	83.941,44 €	- 6.541,72 €
11	66.587,54 €	24.612,48 €	91.200,03 €	83.521,74 €	- 7.678,29 €
12	66.587,54 €	25.350,86 €	91.938,40 €	83.104,13 €	- 8.834,27 €
13	66.587,54 €	26.111,38 €	92.698,93 €	82.688,61 €	- 10.010,32 €
14	66.587,54 €	26.894,73 €	93.482,27 €	82.275,16 €	- 11.207,11 €
15	66.587,54 €	27.701,57 €	94.289,11 €	81.863,79 €	- 12.425,32 €
16	66.587,54 €	28.532,62 €	95.120,16 €	81.454,47 €	- 13.665,69 €
17	66.587,54 €	29.388,59 €	95.976,14 €	81.047,20 €	- 14.928,94 €
18	66.587,54 €	30.270,25 €	96.857,79 €	80.641,96 €	- 16.215,83 €
19	66.587,54 €	31.178,36 €	97.765,90 €	80.238,75 €	- 17.527,15 €
20	66.587,54 €	32.113,71 €	98.701,25 €	79.837,56 €	- 18.863,70 €
21	- €	33.077,12 €	33.077,12 €	79.438,37 €	46.361,25 €
22	- €	34.069,43 €	34.069,43 €	79.041,18 €	44.971,74 €
23	- €	35.091,52 €	35.091,52 €	78.645,97 €	43.554,45 €
24	- €	36.144,26 €	36.144,26 €	78.252,74 €	42.108,48 €
25	- €	37.228,59 €	37.228,59 €	77.861,48 €	40.632,89 €
UKUPNO	1.331.750,85 €	667.714,97 €	1.999.465,82 €	2.068.565,87 €	69.100,06 €

Izvor: Rad autora

U tablici 16 prikazana je analiza projekta u Nizozemskoj, koja pokazuje nepovoljniji financijski rezultat zbog manjeg broja sunčanih sati, što značajno smanjuje proizvodnju i prodaju električne energije. Zbog ovih ograničenja, sustav bilježi negativno poslovanje već od prve godine, s prosječnim godišnjim gubitkom od 15.119,68 €.

Zbog negativnih financijskih rezultata, provedene su dodatne analize uz zadržavanje istih početnih uvjeta, ali s različitim prodajnim cijenama električne energije. S obzirom na

volatilnost tržišta energenata, realno je očekivati promjene u cijenama, koje su u ovoj analizi postavljene na 80 i 100 €/MWh.

Tablica 16: Simulacija – Prikaz troškova i bruto dobiti za agrosolarni sustav od 1 MW bez subvencija (NI)

Godina	Otplata kredita (i=4%)	OPEX (3% inflacija)	Ukupni godišnji trošak	Prihod od električne energije (€/godina)	Profit
1	66.587,54 €	18.314,00 €	84.901,54 €	68.835,00 €	- 16.066,54 €
2	66.587,54 €	18.863,42 €	85.450,96 €	68.490,83 €	- 16.960,14 €
3	66.587,54 €	19.429,32 €	86.016,87 €	68.148,37 €	- 17.868,49 €
4	66.587,54 €	20.012,20 €	86.599,74 €	67.807,63 €	- 18.792,12 €
5	66.587,54 €	20.612,57 €	87.200,11 €	67.468,59 €	- 19.731,52 €
6	66.587,54 €	21.230,95 €	87.818,49 €	67.131,25 €	- 20.687,24 €
7	66.587,54 €	21.867,87 €	88.455,42 €	66.795,59 €	- 21.659,82 €
8	66.587,54 €	22.523,91 €	89.111,45 €	66.461,61 €	- 22.649,84 €
9	66.587,54 €	23.199,63 €	89.787,17 €	66.129,31 €	- 23.657,86 €
10	66.587,54 €	23.895,62 €	90.483,16 €	65.798,66 €	- 24.684,50 €
11	66.587,54 €	24.612,48 €	91.200,03 €	65.469,67 €	- 25.730,36 €
12	66.587,54 €	25.350,86 €	91.938,40 €	65.142,32 €	- 26.796,08 €
13	66.587,54 €	26.111,38 €	92.698,93 €	64.816,61 €	- 27.882,32 €
14	66.587,54 €	26.894,73 €	93.482,27 €	64.492,52 €	- 28.989,75 €
15	66.587,54 €	27.701,57 €	94.289,11 €	64.170,06 €	- 30.119,05 €
16	66.587,54 €	28.532,62 €	95.120,16 €	63.849,21 €	- 31.270,95 €
17	66.587,54 €	29.388,59 €	95.976,14 €	63.529,96 €	- 32.446,17 €
18	66.587,54 €	30.270,25 €	96.857,79 €	63.212,31 €	- 33.645,48 €
19	66.587,54 €	31.178,36 €	97.765,90 €	62.896,25 €	- 34.869,65 €
20	66.587,54 €	32.113,71 €	98.701,25 €	62.581,77 €	- 36.119,48 €
21	- €	33.077,12 €	33.077,12 €	62.268,86 €	29.191,74 €
22	- €	34.069,43 €	34.069,43 €	61.957,52 €	27.888,08 €
23	- €	35.091,52 €	35.091,52 €	61.647,73 €	26.556,21 €
24	- €	36.144,26 €	36.144,26 €	61.339,49 €	25.195,23 €
25	- €	37.228,59 €	37.228,59 €	61.032,79 €	23.804,20 €
UKUPNO	1.331.750,85 €	667.714,97 €	1.999.465,82 €	1.621.473,92 €	- 377.991,90 €

Izvor: Rad autora

U tablici 17 prikazani su rezultati za prodajnu cijenu električne energije od 80 €/MWh. U Hrvatskoj je ova cijena dovoljna za ostvarivanje pozitivnog rezultata u konačnici iako je zadnja godina s kreditom bila negativna, s prosječnim godišnjim prihodom od 21.858,46 €. Međutim, u Nizozemskoj, unatoč povećanoj prodajnoj cijeni, projekt i dalje nije profitabilan, s negativnim prosječnim godišnjim gubitkom od 152,22 €.

Tablica 17: Simulacija - Dobit s prodajnom cijenom električne energije 80€/MWh (HR i NI)

Hrvatska		Nizozemska	
80		80	
Prihod od električne energije (€/godina)	Profit	Prihod od električne energije (€/godina)	Profit
108.080,00 €	23.178,46 €	84.720,00 €	- 181,54 €
107.539,60 €	22.088,64 €	84.296,40 €	- 1.154,56 €
107.001,90 €	20.985,04 €	83.874,92 €	- 2.141,95 €
106.466,89 €	19.867,15 €	83.455,54 €	- 3.144,20 €
105.934,56 €	18.734,45 €	83.038,27 €	- 4.161,85 €
105.404,89 €	17.586,40 €	82.623,07 €	- 5.195,41 €
104.877,86 €	16.422,44 €	82.209,96 €	- 6.245,46 €
104.353,47 €	15.242,02 €	81.798,91 €	- 7.312,54 €
103.831,70 €	14.044,53 €	81.389,91 €	- 8.397,26 €
103.312,55 €	12.829,39 €	80.982,97 €	- 9.500,19 €
102.795,98 €	11.595,96 €	80.578,05 €	- 10.621,98 €
102.282,00 €	10.343,60 €	80.175,16 €	- 11.763,24 €
101.770,59 €	9.071,67 €	79.774,28 €	- 12.924,64 €
101.261,74 €	7.779,47 €	79.375,41 €	- 14.106,86 €
100.755,43 €	6.466,32 €	78.978,54 €	- 15.310,58 €
100.251,65 €	5.131,50 €	78.583,64 €	- 16.536,51 €
99.750,40 €	3.774,26 €	78.190,72 €	- 17.785,41 €
99.251,64 €	2.393,85 €	77.799,77 €	- 19.058,02 €
98.755,39 €	989,48 €	77.410,77 €	- 20.355,13 €
98.261,61 €	- 439,64 €	77.023,72 €	- 21.677,53 €
97.770,30 €	64.693,18 €	76.638,60 €	43.561,48 €
97.281,45 €	63.212,01 €	76.255,41 €	42.185,97 €
96.795,04 €	61.703,52 €	75.874,13 €	40.782,61 €
96.311,07 €	60.166,80 €	75.494,76 €	39.350,50 €
95.829,51 €	58.600,92 €	75.117,29 €	37.888,69 €
2.545.927,23 €	546.461,41 €	1.995.660,20 €	- 3.805,61 €

Izvor: Rad autora

Posljednja usporedba, prikazana u tablici 18, provedena je s prodajnom cijenom od 100 €/MWh, koja pokazuje profitabilnost u oba slučaja. U Hrvatskoj, konačni rezultat je pozitivan, s prosječnim godišnjim profitom od 47.317,73€. Situacija u Nizozemskoj također pokazuje pozitivan rezultat, ali s nižim prosječnim profitom od 19.804,38 €.

Tablica 18: Simulacija - Dobit s prodajnom cijenom električne energije 100€/MWh (HR i NI)

Hrvatska		Nizozemska	
100		100	
Prihod od električne energije (€/godina)	Profit	Prihod od električne energije (€/godina)	Profit
135.100,00 €	50.198,46 €	105.900,00 €	20.998,46 €
134.424,50 €	48.973,54 €	105.370,50 €	19.919,54 €
133.752,38 €	47.735,51 €	104.843,65 €	18.826,78 €
133.083,62 €	46.483,87 €	104.319,43 €	17.719,68 €
132.418,20 €	45.218,09 €	103.797,83 €	16.597,72 €
131.756,11 €	43.937,62 €	103.278,84 €	15.460,36 €

131.097,33 €	42.641,91 €	102.762,45 €	14.307,03 €
130.441,84 €	41.330,39 €	102.248,64 €	13.137,18 €
129.789,63 €	40.002,46 €	101.737,39 €	11.950,22 €
129.140,68 €	38.657,52 €	101.228,71 €	10.745,55 €
128.494,98 €	37.294,95 €	100.722,56 €	9.522,54 €
127.852,50 €	35.914,10 €	100.218,95 €	8.280,55 €
127.213,24 €	34.514,31 €	99.717,86 €	7.018,93 €
126.577,18 €	33.094,91 €	99.219,27 €	5.737,00 €
125.944,29 €	31.655,18 €	98.723,17 €	4.434,06 €
125.314,57 €	30.194,41 €	98.229,55 €	3.109,40 €
124.687,99 €	28.711,86 €	97.738,41 €	1.762,27 €
124.064,55 €	27.206,76 €	97.249,71 €	391,92 €
123.444,23 €	25.678,33 €	96.763,47 €	- 1.002,44 €
122.827,01 €	24.125,76 €	96.279,65 €	- 2.421,60 €
122.212,88 €	89.135,75 €	95.798,25 €	62.721,13 €
121.601,81 €	87.532,38 €	95.319,26 €	61.249,82 €
120.993,80 €	85.902,28 €	94.842,66 €	59.751,14 €
120.388,83 €	84.244,57 €	94.368,45 €	58.224,19 €
119.786,89 €	82.558,30 €	93.896,61 €	56.668,02 €
3.182.409,04 €	1.182.943,22 €	2.494.575,25 €	495.109,44 €

Izvor: Rad autora

U tablici 19 prikazani su konačni i prosječni godišnji rezultati svih projekata u Nizozemskoj i Hrvatskoj. Ključna razlika između ovih projekata je prodajna cijena električne energije. Iz podataka se može zaključiti da Hrvatska ima povoljnije uvjete za realizaciju ovakvih projekata zbog većeg broja sunčanih sati, što u konačnici igra ključnu ulogu u isplativosti i izvedivosti.

Tablica 19: Simulacija - Pregled financijskih rezultata s različitom cijenom električne energije

Država i cijena električne energije	Konačan financijski rezultat	Godišnji prosječni rezultat
Hrvatska - 65€/MWh	69.100,06 €	2.764,00 €
Nizozemska - 65€/MWh	- 377.991,90 €	- 15.119,68 €
Hrvatska - 80€/MWh	546.461,41 €	21.858,46 €
Nizozemska - 80€/MWh	- 3.805,61 €	- 152,22 €
Hrvatska - 100€/MWh	1.182.943,22 €	47.317,73 €
Nizozemska - 100€/MWh	495.109,44 €	19.804,38 €

Izvor: Rad autora

U drugom scenariju koji je prikazan u tablici 20, pretpostavlja se da investitor (koji mora biti tvrtka s barem jednim poljoprivrednikom) dobiva sredstva osigurana putem Hrvatske banke za obnovu i razvitak (HBOR) kroz Nacionalni plan oporavka i otpornosti (NPOO), uz kamatnu stopu od 0,4%. Mjesečna rata otplate poticajnih sredstava iznosi 1.588,28 €, a izračunata je pomoću funkcije PMT u Excelu.

Tablica 20: Simulacija - Parametri agrosolarnog sustava u Hrvatskoj

Snaga fotonaponskog sustava	1	MWh
Veličina zemljišta	1,11	ha
Sati rada	1.351	sati/godini
Početni investicijski trošak	915.700	€
Kredit NPOO-a (40%)	366.280	€
Vlastiti investicijski trošak	549.420	€
Troškovi održavanja	10.000	€/MW/godini
Osiguranje zemljišta	8.314	€/MW/godini
Ukupni OPEX	18.314	€/MW/godini
Gubitak učinkovitosti	0,50	%/godišnje
Cijena energije	65	€/MWh
Godišnji prinos električne energije	1.351	MWh/godini

Izvori: Rad autora

Ukupan iznos dobivenih sredstava predstavlja 40% ukupne investicije, što iznosi 366.280 €, a otplaćuje se kroz razdoblje od 20 godina. Tijekom sljedećih 5 godina nakon otplate kredita, investitor zadržava cijeli prihod od agrosolarne elektrane. Mjesečna rata kredita iznosi 1.588,28 €, što odgovara godišnjoj rati od 19.059,38 €. Vlastita sredstva investitora čine 60% investicije, odnosno 549.420 €, i uključena su u ukupnu financijsku analizu. Godišnji prinos električne energije temelji se na aritmetičkoj sredini između minimalne i maksimalne sunčane radijacije u Hrvatskoj. Tablica 21 prikazuje financijsku analizu isplativosti agrosolarne elektrane, te prema rezultatima, projekt može ostvariti pozitivan godišnji profit s prosjekom od 18.809,73€.

Tablica 21: Simulacija - Financijska analiza isplativost agrosolarne elektrane s 40% dobivenih sredstava

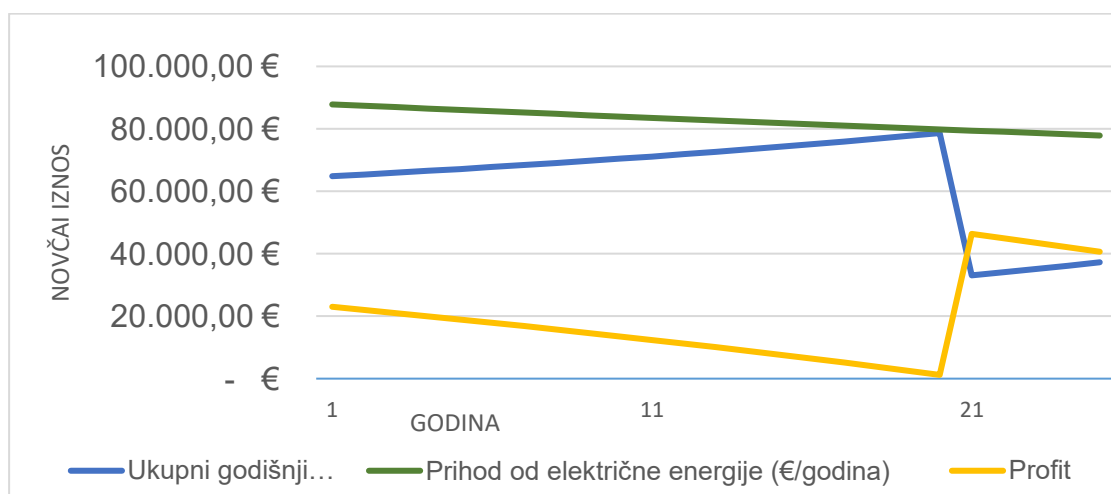
Godina	Otplata kredita (i=4%)	OPEX (3% inflacija)	Ukupni godišnji trošak	Prihod od električne energije (€/godina)	Profit
1	46.530,38 €	18.314,00 €	64.844,38 €	87.815,00 €	22.970,62 €
2	46.530,38 €	18.863,42 €	65.393,80 €	87.375,93 €	21.982,13 €
3	46.530,38 €	19.429,32 €	65.959,70 €	86.939,05 €	20.979,35 €
4	46.530,38 €	20.012,20 €	66.542,58 €	86.504,35 €	19.961,77 €
5	46.530,38 €	20.612,57 €	67.142,95 €	86.071,83 €	18.928,88 €
6	46.530,38 €	21.230,95 €	67.761,32 €	85.641,47 €	17.880,15 €
7	46.530,38 €	21.867,87 €	68.398,25 €	85.213,26 €	16.815,01 €
8	46.530,38 €	22.523,91 €	69.054,29 €	84.787,20 €	15.732,91 €
9	46.530,38 €	23.199,63 €	69.730,00 €	84.363,26 €	14.633,26 €
10	46.530,38 €	23.895,62 €	70.425,99 €	83.941,44 €	13.515,45 €
11	46.530,38 €	24.612,48 €	71.142,86 €	83.521,74 €	12.378,87 €
12	46.530,38 €	25.350,86 €	71.881,24 €	83.104,13 €	11.222,89 €
13	46.530,38 €	26.111,38 €	72.641,76 €	82.688,61 €	10.046,84 €
14	46.530,38 €	26.894,73 €	73.425,10 €	82.275,16 €	8.850,06 €
15	46.530,38 €	27.701,57 €	74.231,95 €	81.863,79 €	7.631,84 €
16	46.530,38 €	28.532,62 €	75.062,99 €	81.454,47 €	6.391,48 €
17	46.530,38 €	29.388,59 €	75.918,97 €	81.047,20 €	5.128,23 €
18	46.530,38 €	30.270,25 €	76.800,63 €	80.641,96 €	3.841,33 €
19	46.530,38 €	31.178,36 €	77.708,74 €	80.238,75 €	2.530,01 €
20	46.530,38 €	32.113,71 €	78.644,09 €	79.837,56 €	1.193,47 €

21	- €	33.077,12 €	33.077,12 €	79.438,37 €	46.361,25 €
22	- €	34.069,43 €	34.069,43 €	79.041,18 €	44.971,74 €
23	- €	35.091,52 €	35.091,52 €	78.645,97 €	43.554,45 €
24	- €	36.144,26 €	36.144,26 €	78.252,74 €	42.108,48 €
25	- €	37.228,59 €	37.228,59 €	77.861,48 €	40.632,89 €
UKUPNO		930.607,54 €	1.598.322,51 €	2.068.565,87 €	470.243,37 €

Izvor: Rad autora

Nakon što se dobivena sredstva otplate u roku od 20 godina, ukupni troškovi opadaju dok profit trenutno raste i dostiže vrhunac (46.361, 25€), čak i ako prihod od električne energije nastavlja opadati zbog smanjenja učinkovitosti panela (oko 0,5% svake godine), kao što je prikazano u grafikonu 7. Međutim, to u velikoj mjeri ovisi o tržišnoj cijeni energije, koja može biti viša ili niža od 65 €/MWh. To znači da investicija može biti isplativa i nakon više od 20 godina, a još isplativija nakon tog razdoblja.

Grafikon 7: Linijski razvoj agrosolarnog projekta u Hrvatskoj uz potporu NPOO-a



Izvor: Rad autora

U kontekstu agrosolarnih projekata, neto sadašnja vrijednost (NPV) predstavlja ključni indikator isplativosti investicije. Ovi projekti često zahtijevaju značajna početna ulaganja te imaju dugoročne novčane tokove koji ovise o cijeni električne energije, troškovima održavanja sustava i drugim faktorima. Korištenjem NPV-a, procjenjuje se koliko je investicija vrijedna u sadašnjem trenutku tako što se svi budući primitci i izdatci diskontiraju na njihovu sadašnju vrijednost. Ovaj proces uključuje upotrebu diskontne stope koja uzima u obzir kamatne stope, inflaciju i rizike (Escont Partners, 2024).

Prosječni ponderirani trošak kapitala (WACC), ključan je za analizu agrosolarnih projekata. On odražava prosječnu cijenu koju poduzeće plaća za kapital, uključujući dug, obične i

povlaštene dionice, te obveznice. Izračunava se ponderiranjem troškova svakog izvora kapitala prema njihovom udjelu u ukupnoj strukturi financiranja. WACC pomaže u procjeni isplativosti investicija i donošenju odluka o financiranju usporedbom troškova kapitala s očekivanim povratima (Alpha Capitalis, 2024).

Prvi analizirani scenarij odnosi se na projekt koji je u potpunosti financiran putem kredita s kamatnom stopom od 4% tijekom 20 godina. Ključne kategorije su operativni i kumulativni novčani tok. Ukupna početna investicija iznosi 915.700 €, dok je prodajna cijena električne energije 80 €/MWh.

Za precizniji izračun novčanog toka uključuje se trošak kamata na kredit, koji tijekom cijelog razdoblja iznosi 416.050,85 €, odnosno 20.802,54 € godišnje. Prihod od prodaje električne energije smanjuje se za operativne troškove (OPEX) i kamate na godišnjoj razini. Trošak kamata i kredita prikazan je u tablici 22.

Tablica 22: Simulacija - Kreditni i kamatni trošak na mjesečnoj i godišnjoj razini

Kamata	4%
Mjesečni iznos kredita	5.548,96 €
Godišnji iznos kredita	66.587,54 €
Ukupan iznos kredita	1.331.750,85 €
Ukupna investicija	915.700,00 €
Ukupan kamatni trošak	416.050,85 €
Godišnji kamatni trošak	20.802,54 €

Izvor: Rad autora

Za potrebe financijske analize potrebno je izračunati prosječni ponderirani trošak kapitala (Weighted Average Cost of Capital – WACC). Investitor je osigurao kredit uz kamatnu stopu od 4%, dok porezna stopa na dobit iznosi 10%. Očekivani prinos investitora postavljen je na 10%. U tablici 23 prikazani su izračuni WACC-a za dva različita scenarija. U scenariju 1, prosječni ponderirani trošak kapitala iznosi 3,60%, dok u scenariju 2 taj iznos raste na 6,15%.

Tablica 23: Simulacija - Promjena udjela duga i vlastitog kapitala na prosječni ponderirani trošak

	Postotak duga (W_d)	Postotak vlastitog kapitala (W_s)	Trošak duga (k_d)	Trošak duga nakon poreza ($k_d \cdot (1 - s_p)$)	Očekivani prinos (k_s)	WACC
SCENARIJ 1	1	0	4	3,6	10	3,60
SCENARIJ 2	0,4	0,6	0,4	0,36	10	6,14

Izvor: Rad autora

Izračun prosječnog ponderiranog troška kapitala je potrebno izračunati za oba scenarija jer se mijenja udjel investiranja vlastitog i posuđenog kapitala. Za dobivanje prosječnog ponderiranog kapitala promatrana su dva scenarija. Izračun je ovako izgledao:

- Scenarij 1: $WACC=(1 \times 3,6\%)+(0 \times 10\%)= 3,6\%$
- Scenarij 2: $WACC=(0,4 \times 0,36\%)+(0,6 \times 10\%)= 0,144\%+6\%=6,14\%$

Tablica 24 prikazuje novčane tokove za investicije u scenariju 1. U prvih 15 godina projekt se nalazi u negativnom novčanom toku. Tek u 16. godini projekt prelazi u pozitivan novčani tok, čime započinje ostvarivanje profita. Od 16. godine pa nadalje, kumulativni novčani tok raste stabilno, dosegnuvši 546.461 € na kraju 25. godine.

Tablica 24: Simulacija - Novčani tok za scenarij 1 - Hrvatska

Hrvatska - vrijeme povrata investicije: scenarij 1 (80 €/MWh)		
Godina	Novčani tok	Kumulativni novčani tok
0	- 915.700 €	- 915.700 €
1	68.963 €	- 846.737 €
2	67.874 €	- 778.863 €
3	66.770 €	- 712.093 €
4	65.652 €	- 646.441 €
5	64.519 €	- 581.921 €
6	63.371 €	- 518.550 €
7	62.207 €	- 456.342 €
8	61.027 €	- 395.315 €
9	59.830 €	- 335.486 €
10	58.614 €	- 276.871 €
11	57.381 €	- 219.491 €
12	56.129 €	- 163.362 €
13	54.857 €	- 108.505 €
14	53.564 €	- 54.941 €
15	52.251 €	- 2.689 €
16	50.916 €	48.227 €
17	49.559 €	97.786 €
18	48.179 €	145.965 €
19	46.774 €	192.740 €
20	45.345 €	238.085 €
21	64.693 €	302.778 €
22	63.212 €	365.990 €
23	61.704 €	427.694 €
24	60.167 €	487.860 €
25	58.601 €	546.461 €
UKUPNO	1.462.161,41 €	

Izvor: Rad autora

Tablica broj 25 prikazuje ključne rezultate financijske analize projekta agrosolarne elektrane.

Ovi rezultati uključuju neto sadašnju vrijednost (net present value - NPV), internu stopu povrata (internal rate of return - IRR), vrijeme povrata (payback period - PB), prosječnu maržu i povrat investicije (return over investment - ROI).

Tablica 25: Simulacija - Financijski pokazatelji agrosolarnog projekta - scenarij 1

Neto sadašnja vrijednost (NPV)	191.705 €
Interna stopa povrata (IRR)	4%
Vrijeme povrata (PB)	15,05
Prosječna marža	52.637,81 €
Povrat investicije (ROI)	5,75%

Izvor: Rad autora

Neto ili čista sadašnja vrijednost (NPV) iznosi 191.705 €. Ova vrijednost dobivena je diskontiranjem godišnjih novčanih tokova primjenom prosječnih ponderiranih troškova kapitala (WACC) od 3,60% te u konačnici oduzimanjem ukupnih diskontiranih novčanih tokova od početnog ulaganja. Pozitivna NPV jasno sugerira da je projekt financijski isplativ, budući da ukazuje na to da će očekivani novčani tokovi premašiti početno ulaganje, uzimajući u obzir vremensku vrijednost novca. Drugim riječima, projekt ne samo da će pokriti sve troškove, već će ostvariti dodatnu vrijednost za investitore.

Interna stopa povrata (IRR) izračunata je pomoću Excel funkcije IRR i iznosi 4%. U ovom slučaju, IRR od 4% nešto je veća od WACC-a, koji iznosi 3,6%, što signalizira da projekt ne generira visok prinos u usporedbi s troškom kapitala. Iako je IRR pozitivan, niska stopa ukazuje na manju atraktivnost projekta u odnosu na druge investicije s višom stopom povrata.

Vrijeme povrata (PB) iznosi 15,05 godina. To je pokazatelj koliko dugo je potrebno da se vrati početna investicija iz novčanih tokova projekta. Duže vrijeme povrata može značiti da je projekt rizičniji ili da je povrat na investiciju sporiji, što može utjecati na odluku o investiranju. Prosječna marža iznosi 52.637,81 €. Ova brojka predstavlja prosječan iznos profita koji agrosolarna elektrana generira nakon pokrića svih operativnih troškova, uključujući poreze i trošak kamate. Visoka prosječna marža ukazuje na solidnu profitabilnost projekta.

Tablica 26 prikazuje novčane tokove za investicije u scenariju 2, koji uključuje strukturu financiranja s 60% vlastitog kapitala i 40% kreditnih sredstava. Kredit je osiguran putem Hrvatske banke za obnovu i razvitak (HBOR) u okviru Nacionalnog plana oporavka i otpornosti (NPOO), s kamatnom stopom od 0,4%. Ovaj program financira projekte zelene

tranzicije, uključujući agrosolarne elektrane. Ukupan iznos kredita za početnike poduzetnike je 500.000 €, dok je u ovom slučaju potreban iznos od 366.280 €, s rokom otplate od 20 godina.

Tablica 26: Simulacija - Novčani tok za scenarij 2 - Hrvatska

Hrvatska - vrijeme povrata investicije - scenarij 2 - (80€/MWh)		
Godina	Novčani tok	Kumulativni novčani tok
0	- 915.700 €	- 915.700 €
1	89.021 €	- 826.679 €
2	87.931 €	- 738.749 €
3	86.827 €	- 651.921 €
4	85.709 €	- 566.212 €
5	84.577 €	- 481.635 €
6	83.429 €	- 398.207 €
7	82.265 €	- 315.942 €
8	81.084 €	- 234.858 €
9	79.887 €	- 154.971 €
10	78.672 €	- 76.300 €
11	77.438 €	1.138 €
12	76.186 €	77.324 €
13	74.914 €	152.238 €
14	73.622 €	225.860 €
15	72.308 €	298.168 €
16	70.974 €	369.142 €
17	69.616 €	438.758 €
18	68.236 €	506.994 €
19	66.832 €	573.826 €
20	65.403 €	639.228 €
21	64.693 €	703.921 €
22	63.212 €	767.133 €
23	61.704 €	828.837 €
24	60.167 €	889.004 €
25	58.601 €	947.605 €
UKUPNO	1.863.304,72 €	

Izvor: Rad autora

Tablica broj 27 prikazuje ključne rezultate financijske analize projekta agrosolarne elektrane. Vrijednost početnog ponderiranog kapitala (WACC) iznosi 6,14%.

Tablica 27: Simulacija - Financijski pokazatelji agrosolarnog projekta - scenarij 2

Neto sadašnja vrijednost (NPV)	860.336 €
Interna stopa povrata (IRR)	7%
Vrijeme povrata (PB)	10,97
Prosječna marža	67.078,97 €
Povrat investicije (ROI)	7,33%

Izvor: Rad autora

Prema izračunu, neto sadašnja vrijednost (NSV) projekta iznosi 860.336 €, što ukazuje na pozitivnu financijsku isplativost. Budući novčani tokovi, diskontirani po stopi godišnjeg prosječnog ponderiranog troška kapitala (WACC) od 6,14%, ukupno iznose 1.776.035,54 €. Nakon što je od tog iznosa oduzeta početna investicija od 915.700 €, dobivena je NSV od 860.336 €, što potvrđuje da projekt generira dodatnu vrijednost i da će investitor ostvariti povrat ulaganja. Interna stopa povrata (IRR) od 7% je iznad WACC-a od 6,14%, što pokazuje da projekt donosi povrat veći od troška kapitala. Vrijeme povrata (PB) pokazuje da je potrebno nešto više od 10 godina za povrat početne investicije od 915.700 €.

Prosječna marža od 67.078,97 € predstavlja prosječan godišnji profit nakon pokrivanja svih troškova, uključujući poreze i trošak kamate. Izračunata je kao razlika između prihoda od prodaje električne energije i operativnih troškova (OPEX). Ova marža prikazuje prosječan godišnji profit koji projekt ostvaruje nakon pokrivanja svih troškova. S povratom na investiciju (ROI) od 7,33%, projekt donosi pristojan povrat na uloženi kapital.

Nakon financijskih analiza, moguće je izračunati niveliranu cijenu električne energije (LCOE) kako bi se bolje razumio trošak proizvodnje energije. Rezultati i izračuni se mogu vidjeti u tablici broj 28. U oba scenarija, kapitalni troškovi (CAPEX) iznose 915.700 €, a operativni troškovi (OPEX) su 667.714,97 €. Razlikuju se samo troškovi kamata. U Scenariju 1, trošak kamata na kredit je 416.050,85 €, dok je u Scenariju 2 znatno manji, 14.907,54 €. Ukupni troškovi projekta za Scenarij 1 iznose 1.999.465,82 €, dok su za Scenarij 2 1.598.322,51 €. S obzirom na to da agrosolarna elektrana proizvodi 1.351 MWh godišnje tijekom 25 godina, ukupna proizvodnja energije iznosi 33.775 MWh u oba scenarija.

Kada se ukupni troškovi podijele s ukupnom količinom proizvedene energije, LCOE za Scenarij 1 iznosi 0,05917 €/kWh ili 59,17 € po MWh. Ova cijena odražava visoke troškove kamata, što povećava cijenu proizvodnje energije. S druge strane, LCOE za Scenarij 2 je 0,04733 €/kWh ili 47,33 € po MWh, što je rezultat značajno nižeg troška kamata.

Tablica 28: Simulacija - Prikaz izračuna nivelirane cijene električne energije

	SCENARIJ 1	SCENARIJ 2
Kapitalni troškovi (CAPEX)	915.700,00 €	915.700,00 €
Operativni troškovi (OPEX)	667.714,97 €	667.714,97 €
Trošak kamate kredita	416.050,85 €	14.907,54 €
Godišnja proizvodnja električne energije (MWh)	1.351	1.351
Vijek trajanja projekta (godina)	25	25

Ukupni troškovi	1.999.465,82 €	1.598.322,51 €
Ukupna generirana energija (MWh)	33.775	33.775
Nivelirana cijena električne energije (LCOE) €/MWh	59,20 €	47,32 €

Izvor: Rad autora

Niži trošak kamata u Scenariju 2 rezultira nižim troškom po proizvedenoj jedinici energije (LCOE) u usporedbi s Scenarijem 1. Smanjenje troškova kamata značajno smanjuje ukupne troškove proizvodnje energije, čime se povećava isplativost projekta.

5. ZAKLJUČAK

Ovaj rad se bavi analizom financijske isplativosti i izvedivosti agrosolarnih elektrana u Nizozemskoj i Hrvatskoj. Agrosolarni sustavi predstavljaju inovativan pristup kombiniranju poljoprivredne proizvodnje i proizvodnje solarne energije, što omogućava optimalno korištenje zemljišta za proizvodnju hrane i energije. Cilj rada je bio istražiti ekonomske, tehničke i regulatorne aspekte tih sustava kako bi se procijenila njihova dugoročna održivost. U tu svrhu kroz rad su analizirani ključni financijski pokazatelji poput povrata na investiciju (ROI), neto sadašnje vrijednosti (NPV), interne stope povrata (IRR), prosječnog ponderiranog troška kapitala (WACC) i nivelirane cijene električne energije (LCOE). Ove su analize primjenjene na izračunu potencijalnog projekta u Nizozemskoj i Hrvatskoj.

U Nizozemskoj postoji deset aktivnih agrosolarnih projekata, dok je u Hrvatskoj ovaj koncept još u fazi razvoja. Agrosolarni projekti koji se razvijaju u Hrvatskoj su smješteni u Slavoniji i Dalmaciji, a zajedničko im je što su unutar projektne snage od 10 MW, što ih stavlja u povoljniji zakonodavni okvir. Naime, u Hrvatskoj za solarne i agrosolarne elektrane snage do 10 MW nije potrebno ishoditi lokacijsku ili građevinsku dozvolu te energetske odobrenje, već samo potvrdu za glavni projekt. Ovaj pojednostavljeni postupak omogućava bržu realizaciju i smanjuje administrativni teret.

Agrosolarni sustavi nude brojne prednosti, uključujući istovremenu proizvodnju hrane i energije na istom zemljištu, što povećava učinkovitost korištenja zemljišta za čak 186%. Ovi sustavi ne samo da pružaju dodatne izvore prihoda poljoprivrednicima, već i štite usjeve od ekstremnih vremenskih uvjeta i toplinskog stresa. Unatoč ovim prednostima, postoje i značajni izazovi. Agrosolarne elektrane zahtijevaju veća početna ulaganja u usporedbi s tradicionalnim solarnim elektranama. Instalacija agrosolara često se preporučuje na minimalnoj površini od 1 ha, dok se u nekim slučajevima spominje i veća površina od 5 ha do 10 ha za isplativost. Prosječni poljoprivrednik često nema potrebna sredstva i znanja za ulaganje u agrosolare, što može ograničiti rasprostranjenost ovih sustava.

U kontekstu agrosolarnih projekata, ključnu ulogu igraju investitori i kompanije koje uspostavljaju partnerstva s poljoprivrednicima. Ova suradnja može donijeti značajne prednosti, ali također nosi određene rizike. Jedan od potencijalnih nedostataka takvih partnerstava je mogućnost da poljoprivrednici, motivirani samo financijskim naknadama, ne posvećuju dovoljno pažnje upravljanju svojim usjevima.

S druge strane, iako zakonodavne i administrativne olakšice mogu privući investitore, postoji opasnost da se njihova uključenost svodi na realizaciju i financijsku isplativost projekta bez dugoročne brige za poljoprivredne aktivnosti. Stoga je od ključne važnosti osigurati da agrosolarni projekti budu pažljivo praćeni i evaluirani ne samo tijekom razvoja, već i nakon implementacije. Ova pažnja može pomoći u održavanju ravnoteže između energetske proizvodnje i poljoprivredne proizvodnje te osigurati da svi partneri ispunjavaju svoje obaveze i doprinose održivom razvoju projekta.

Nedavni slučaj iz Japana pokazuje važnost stroge primjene zakona i pravila. Japan je privremeno obustavio poticaje za 342 agrosolarna projekta zbog kršenja izmijenjenog Zakona o poljoprivrednom zemljištu, koji je uveo stroža ograničenja za solarna postrojenja na poljoprivrednim površinama.

U okviru ovog istraživanja provedene su detaljne analize isplativosti agrosolarnih projekata, s posebnim fokusom na Hrvatsku i Nizozemsku. Analize su uključivale usporedbe između ovih dviju zemalja, kao i istraživanje utjecaja različitih cijena električne energije, koje su se kretale od 65 € do 100 € po megavat-satu (MWh). Financijske analize za Hrvatsku, predstavljene u Scenariju 1 i Scenariju 2, pokazuju da su agrosolarni projekti isplativi, uz određene razlike u financijskim pokazateljima. Scenarij 1 prikazuje pozitivnu neto sadašnju vrijednost (NPV) od 1.107.405 €, s internom stopom povrata (IRR) od 4% i vremenom povrata (PB) od 15,05 godina, što ukazuje na dugoročnu isplativost. Scenarij 2 pruža povoljnije rezultate s NPV-om od 860.336 €, IRR-om od 7%, te vremenom povrata od nešto više od 10 godina. Ovi pokazatelji potvrđuju stabilan godišnji profit i potencijal za uspješnu implementaciju agrosolarnih sustava.

Zaključno, analiza je pokazala da su agrosolarni sustavi isplativi uz određene preduvjete. Nizozemska, s povoljnijim zakonodavnim okvirom i poticajima, pruža bolje uvjete za razvoj ovakvih projekata. Hrvatska, s geografske strane ima više prednosti, s prosječnom godišnjom insolacijom od 1.351 MWh, dok je u Nizozemskoj taj prosjek 1.059 MWh. Ipak, Hrvatska mora dodatno razviti regulatorni okvir i osigurati veću financijsku podršku kako bi postigla sličnu razinu razvijenosti kao u Nizozemskoj.

POPIS LITERATURE

- 1) Agostini, A., Colauzzi, M., & Amaducci, S. (2021) Innovative agrivoltaic systems to produce sustainable energy: An economic and environmental assessment. Applied Energy, 281, Dostupno na: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116102> [26.05.2024.]
- 2) Alpha Capitals. (n.d.) Weighted Average Cost of Capital. Dostupno na: <https://alphacapitalis.com/glossary/wacc/> 12.05.2024].
- 3) Baywa r.e.. (2021) Bear Fruit for Netherlands Agri-PV. Dostupno na: <https://www.baywa-re.com/en/cases/emea/solar-installations-bear-fruit-for-netherlands-agri-pv> [08.07.2024].
- 4) Bellini, E. (2024) Japan Suspends Incentives for 342 Agrivoltaic Facilities. PV Magazine, Dostupno na: <https://www.pv-magazine.com/2024/08/27/japan-suspends-incentives-for-342-agrivoltaic-facilities/> [27.08.2024].
- 5) Bellini, E. (2024). Researchers find agrivoltaics have LCOE of 0.039 €/kWh, 7-year payback time in India. PV Magazine. Dostupno na: <https://www.pv-magazine.com/2024/07/26/researchers-find-agrivoltaics-have-lcoe-of-0-039-kwh-7-year-payback-time-in-india/#:~:text=The%20analysis%20also%20showed%20that,for%20the%20conventiona%20monofacial%20system> [26.08.2024].
- 6) CROPEX (n.d.) Hrvatska burza električne energije. Dostupno na: <https://www.cropex.hr/hr/> [08.07.2024].
- 7) Dawnbreaker (2022) DOE Market Research Study: Agrivoltaics. Prepared for the Department of Energy, United States Government. Dostupno na: www.dawnbreaker.com [20.05.2024.]
- 8) Escont Partners (2024) Koliko je zaista važna ročna struktura u investicijskom ciklusu? Dostupno na: <https://escontpartners.hr/koliko-je-zaista-vazna-rocna-struktura-u-investicijskom-ciklusu/> [05.06.2024].
- 9) Fernando, J., (2024) Capital Expenditure (CapEx) Definition, Formula, and Examples. Investopedia. Reviewed by M. James. Fact checked by S. Kvilhaug. Dostupno na: <https://www.investopedia.com/terms/c/capitalexpenditure.asp> [01.08.2024].
- 10) Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE (2024) Agrivoltaics: Opportunities for

- Agriculture and the Energy Transition: A Guideline for Germany, February.[12.12.2023.]
- 11) Goreta, D., (2024) Želite izgraditi solarnu elektranu? Donosimo sve što morate znati. Bloomberg Adria, Dostupno na: <https://hr.bloombergadria.com/ostalo/opce/52113/zelite-izgraditi-solarnu-elektranu-donosimo-sve-sto-morate-znati/news#:~:text=Za%20sun%C4%8Dane%20i%20agrosun%C4%8Dane%20elektrane,samo%20potvrdu%20na%20glavni%20projekt> [18.08.2024.]
 - 12) Helsen, H., Maestrini, B., Meijers, E., Hermelink, M., de Vries, W., Balk, P. i de Ruijter, F. (2021) Crop Response to Agrivoltaics in Soft Fruit Production, Wageningen University & Research, Field Crops, PO Box 200, 6670AE Zetten, The Netherlands, Dostupno na: <https://edepot.wur.nl/588670> [04.11.2023]
 - 13) Hrvatska regulatorna agencija za energetiku (2024) O nama. Dostupno na: <https://www.hera.hr/hr/html/agencija.html> [08.07.2024].
 - 14) Hermelink, M.I., Maestrini, B., de Ruijter, F.J. (2024) Berry shade tolerance for agrivoltaics systems: A meta-analysis. Scientia Horticulturae, 330, 113062. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113062>. Dostupan na: <https://research.wur.nl/en/publications/berry-shade-tolerance-for-agrivoltaics-systems-a-meta-analysis> [13.04.2024.]
 - 15) Hidroplan d.o.o. (2022) Elaborat zaštite okoliša u postupku ocjene o potrebi procjene utjecaja na okoliš za zahvat: Izgradnja agro fotonaponske elektrane (FNE) BRAČ na području Općine Nerežišća. Dostupno na: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://mingo.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA-ZA-PROCJENU-UTJECAJA-NA-OKOLIS-ODRZIVO-GOSPODARENJE-OTPADOM/Opuo/OPUO_2024/06_05_2024_Elaborat_SE_Brac.pdf [15.08.2024]
 - 16) IRES Ekologija (2023), Elaborat zaštite okoliša: Ocjena o potrebi procjene utjecaja zahvata Sunčana elektrana Dragalić na okoliš, Dostupno na: https://mingo.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA-ZA-PROCJENU-UTJECAJA-NAOKOLIS-ODRZIVO-GOSPODARENJEOTPADOM/Opuo/OPUO_2023/17_11_2023_Elaborat_SE_Dragalic.pdf [09.10.2023]
 - 17) IRES Ekologija (2023) Elaborat zaštite okoliša: Ocjena o potrebi procjene utjecaja zahvata Agro-sunčana elektrana Kraljeva Sakala na okoliš. Dostupno na:

https://mzozt.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA-ZA-PROCJENU-UTJECAJA-NA-OKOLIS-ODRZIVO-GOSPODARENJE-OTPADOM/Puo/15_07_2024_Elaborat_SE_Kraljeva_Sakala.pdf [09.06.2024]

- 18) Leto, J., Karoglan, M., Radman, S., Matulić, D., Andabaka, Ž., Fruk, G., Rastija, M., Varga, I., Kranjac, D., Rošin, J., Radunić, M., Ninčević Runjić, T., Čagalj, M., Kontek, M., Turković, M. (2023) Studija o potencijalu uporabe solarne energije u poljoprivrednom sektoru i sektoru slatkovodne akvakulture u Hrvatskoj. Osijek: Fakultet agrobiotehničkih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, OIE Hrvatska, European Bank, Dostupno na: <https://oie.hr/en/studies/> [06.08.2023.]
- 19) Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja. (2017). PRAVILNIK O JEDNOSTAVNIM I DRUGIM GRAĐEVINAMA I RADOVIMA. Narodne novine, broj 112/17, 34/18, 36/19, 98/19, 31/20, 74/22, 155/23. [20.04.2024.]
- 20) Neoen, Ires ekologija (2022) Agrosolarstvo u Hrvatskoj, Verzija 1. [12.10.2023.]
- 21) Netherlands Enterprise Agency (2024) Stimulation of Sustainable Energy Production and Climate Transition (SDE++). Dostupno na: <https://english.rvo.nl/subsidies-financiering/sde> [08.07.2024.]
- 22) Nygren, A. & Sundstrom, E. (2021). MODELLING BIFACIAL PHOTOVOLTAIC SYSTEMS, Malardalen Univestiy Sweden, Västerås, Dostupno na: <https://www.diva.portal.org/smash/get/diva2:1572661/FULLTEXT01.pdf> [16.05.2024]
- 23) Padilla, J., Toledo, C., Abad, J. (2022) Enovoltaics: Symbiotic integration of photovoltaics in vineyards. Front. Energy Res., Volume 10. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.1007383> [24.07.2024]
- 24) Ruijter, F., Helsen, H., Elisen, H., & Eerenstein, W. (2023). Producing food and electricity on the same square meter. Wageningen University & Research. Dostupno na: <chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcglclefindmkaj/https://edepot.wur.nl/639135> [10.03.2024.]
- 25) Schamhart, A. (2023), Vertical PV at a dairy farm: a successful cooperation with a cooperative, Vrijstad Energie [13.01.2024]
- 26) Schindele, S., Trommsdorff, M., Schlaak, A., Obergfell, T., Bopp, G., Reise, C., Weber,

- E. (2020). Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications. *Applied Energy*. Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626192030249X?via%3Dihub> [20.05.2024.]
- 27) Sirnik, I., Sluijsmans, J., Oudes, D., & Stremke, S. (2023). Circularity and landscape experience of agrivoltaics: A systematic review of literature and built systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032123001065> [01.05.2024.]
- 28) Sirnik, I., Oudes, D., & Stremke, S. (2024). Agrivoltaics and landscape change: First evidence from built cases in the Netherlands. *Land Use Policy*, 140, 107099. Dostupno na: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837724000516?ref=pdf_download&fr=RR-7&rr=88ebb998de216932 [22.05.2024.]
- 29) SolarPower Europe (2023), Agrosunčane elektrane – Smjernice najbolje prakse, verzija 2.0, Dostupno na: <https://www.solarpowereurope.org/insights/thematic-reports/agrisolar-best-practice-guidelines-croatian-version> [26.09.2023]
- 30) SolarPower Europe (2024), Agrisolar Digital Map, Dostupno na: <https://agrisolareurope.org/map/> [15.05.2024.]
- 31) Toledo, C. and Scognamiglio, A. (2021) Agrivoltaic Systems Design and Assessment: A Critical Review, and a Descriptive Model towards a Sustainable Landscape Vision (Three-Dimensional Agrivoltaic Patterns), *Sustainability*, 13(6871). Dostupno na: [doi: 10.3390/su13126871](https://doi.org/10.3390/su13126871). [14.03.2024.]
- 32) Tridge, (2022) Netherlands: Strawberry under solar panels not yet ready for practical use. [online] Tridge. Dostupno na: <https://www.tridge.com/news/netherlands-strawberry-under-solar-panels-not-yet-ready-for-practical-use> [17.05.2024].
- 33) Trommsdorff, M., Gruber, S., Keinath, T., Hopf, M., Hermann, C., Schönberger, F., Högy, P., Zikeli, S., Ehmann, A., Weselek, A., Bodmer, U., Rösch, C., Ketzer, D., Weinberger, N., Schindele, S. i Vollprecht, J. (2022) Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition A Guideline for Germany. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. Dostupno na: <https://www.ise.fraunhofer.de> [04.06.2024.]

- 34) Uredba o poticanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i visokoučinkovitih kogeneracija (2023) NN 70/2023, Zakon.hr. Dostupno na: <https://www.zakon.hr/cms.htm?id=57277> [28.04.2024].
- 35) Weselek, A., Ehmann, A., Zikeli, S., Lewandowski, I., Schindele, S. i Högy, P. (2019) Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. A review, *Agronomy for Sustainable Development*, 39, 35. Dostupno na: <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0581-3> [12.04.2024.]
- 36) Willockx, B., Lavaert, C. i Cappelle, J. (2022) Geospatial assessment of elevated agrivoltaics on arable land in Europe to highlight the implications on design, land use and economic level. *Energy Reports*, 8, pp. 8736–8751. Energy and Automation Research Group, Electrical Energy Systems and Applications (ELECTA) Ghent, Gebroeders De Smetstraat 1, Ghent, 9000, Belgium. Dostupno na: [361809770_Geospatial_assessment_of_elevated_agrivoltaics_on_arable_land_in_Europe_to_highlight_the_implications_on_design_land_use_and_economic_level](https://doi.org/10.1016/j.ersy.2022.05.001) [14.05.2024]
- 37) Zakon o poljoprivrednom zemljištu (2022) NN 20/18, 115/18, 98/19, 57/22. Na snazi od 28.05.2022. Zakon.hr. Dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/133/Zakon-o-poljoprivrednom-zemljištu> [02.07.2024].
- 38) Zakon o tržištu električne energije (2023) Pročišćeni tekst zakona. NN 111/21, 83/23. Na snazi od 29.10.2023. Zakon.hr. Dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/377/Zakon-o-tržištu-električne-energije> [13.07.2024].

POPIS SLIKA, TABLICA I GRAFIKONA

TABLICE

Tablica 1: Suradnja sudionika u kontekstu agrosolarstva	9
Tablica 2: Prikaz glavnih segmenata agrosolarnih projekata u Nizozemskoj.....	14
Tablica 3: Prikaz najbitnijih elemenata projekta Babberich	15
Tablica 4: Prikaz najbitnijih elemenata projekta Wadenoijen.....	16
Tablica 5: Prikaz najbitnijih elemenata projekta Culemborg.....	17
Tablica 6: Prikaz najbitnijih elemenata projekta FN Brač	20
Tablica 7: Prikaz najbitnijih elemenata projekta FN Dragalić	21
Tablica 8: Prikaz najbitnijih elemenata projekta ASE Kraljeva Sakala.....	22
Tablica 9: Uzgoj mediteranskih vrsta voća u Jadranskoj podregiji, 2021. godine.....	24
Tablica 10: Cijena voća i povrća u Hrvatskoj.....	25
Tablica 11: Uzgoj aromatičnoga i ljekovitog bilja u Hrvatskoj, 2021. godine	26
Tablica 12: Sažetak karakteristika triju sustava s ekonomskim izračunima	28
Tablica 13: Odnos transparentnosti i snage solarnih panela	31
Tablica 14: Parametri projektnog agrosolarnog sustava u Hrvatskoj i Nizozemskoj	36
Tablica 15: Troškovi i bruto dobiti za agrosolarni sustav od 1 MW bez subvencija (HR)	38
Tablica 16: Troškovi i bruto dobiti za agrosolarni sustav od 1 MW bez subvencija (NI)	39
Tablica 17: Dobit s prodajnom cijenom električne energije 80€/MWh (HR i NI)	40
Tablica 18: Dobit s prodajnom cijenom električne energije 100€/MWh (HR i NI)	40
Tablica 19: Pregled financijskih rezultata s različitim cijenom električne energije.....	41
Tablica 20: Parametri agrosolarnog sustava u Hrvatskoj.....	42
Tablica 21: Financijska analiza isplativost agrosolarne elektrane s 40% dobivenih sredstava.....	42
Tablica 22: Kreditni i kamatni trošak na mjesečnoj i godišnjoj razini.....	44
Tablica 23: Promjena udjela duga i vlastitog kapitala na prosječni ponderirani trošak.....	44
Tablica 24: Novčani tok za scenarij 1 - Hrvatska	45
Tablica 25: Financijski pokazatelji agrosolarnog projekta - scenarij 1.....	46
Tablica 26: Novčani tok za scenarij 2 - Hrvatska	47
Tablica 27: Financijski pokazatelji agrosolarnog projekta - scenarij 2.....	47
Tablica 28: Prikaz izračuna nivelirane cijene električne energije.....	48

SLIKE

Slika 1: Agrosolarna digitalna mapa.....	5
Slika 2: Šematski prikaz bifacijalnih i monofacijalnih panela.....	7
Slika 3: Različite izvedbe agrosunčanih elektrana.....	8
Slika 4: Različiti agrosolarni sustavi s obzirom na gustoću i raspored solarnih panela.....	8

Slika 5: Prikaz dvostrukog korištenja zemljišta	10
Slika 6: Utjecaj agrosolara na poljoprivredni uzgoj.....	11
Slika 7: Prikaz svih agrosolarnih projekata u Nizozemskoj.....	13
Slika 8: Prikaz izabраниh agrosolarnih elektrana u Nizozemskoj.....	15
Slika 9: Fotonaponski električni potencijal Nizozemske	18
Slika 10: Poljoprivredno zemljište OPG-a u Hrvatskoj 2020. godine	23
Slika 11: Fotonaponski električni potencijal Hrvatske	23
Slika 12: Formula nivelirane cijene električne energije.....	35

GRAFIKONI

Grafikon 1: Porast pretraživanja agrosolarnih sustava.....	5
Grafikon 2: Prikaz strukture uzgoja i kultura u Nizozemskim agrosolarnim projektima	14
Grafikon 3: Procijenjeni kapitalni izdaci (CAPEX) za solarne i agrosolarne elektrane	30
Grafikon 4: Usporedba OPEX-a (€/kWp) između solarne i agrosolarne elektrane	32
Grafikon 5: Kretanje cijena energije u Nizozemskoj za 2019.-2024. godinu	34
Grafikon 6: Procijenjeni LCOE za solarne i agrosolarne sustave.....	35
Grafikon 7: Linijski razvoj agrosolarnog projekta u Hrvatskoj uz potporu NPOO-a	43

ŽIVOTOPIS

Tomislav Vlajčić rođen je 25. siječnja 2000. godine u Zagrebu. Nakon završetka Treće ekonomske škole 2018. godine, upisao je Ekonomski fakultet u Zagrebu. Nakon prijediplomskog studija, nastavlja svoje obrazovanje na diplomskom studiju Ekonomika energije i okoliša.

Tijekom studija istaknuo se kroz angažman u brojnim projektima i studentskim udrugama poput Tourism Lab-a i Hrvatske studentske asocijacije (HSA), gdje je doprinio kao član tima, ali i kao voditelj timova i projekata. Zbog kvalitetnih rezultata i predanosti akademskom i izvannastavnom radu, nagrađen je dekanovom i rektorovom nagradom.

Kroz svoj diplomski studij, Tomislav je imao priliku proširiti svoje horizonte kroz međunarodne razmjene. Prva je bila bilateralna razmjena, kada je boravio u gradu Gwangju, Južna Koreja. Druga je bila Erasmus razmjena u Portu, Portugal. Kroz dobivene stipendije, sudjelovao je i na kratkim međunarodnim Erasmus programima u Italiji, Irskoj te na Europskom Forumu Alpbach u Austriji.

Godine 2023. radio je u nizozemskoj tvrtki Green Trust Consultancy u Arnhemu, gdje je proveo četveromjesečno istraživanje na temu financijske isplativosti agrosolarnih elektrana. Uz to, poslovno iskustvo stjecao je i kroz rad u kompanijama kao što je Zelena energetska zadruga (ZEZ) te FeelsGood Capital, što mu je omogućilo da se usmjeri na područje financija i obnovljivih izvora energije.

Vođen željom za unapređenjem obrazovanja i širenjem prilika za mlade, Tomislav se pridružio Studentskom zboru, gdje je u Odboru za suradnju sa srednjim školama promovirao obrazovanje i prilike za mlade kroz razne projekte i predavanja.

Tomislav Vlajčić nastavlja svoj razvoj s jasnim ciljevima i motivacijom da koristi svoje iskustvo i znanje za pozitivan doprinos u zajednici.