

# Solarni paneli na vodenim površinama

---

**Bednaić, Una**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Agriculture / Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:204:566093>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-07**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
AGRONOMSKI FAKULTET

**SOLARNI PANELI NA VODENIM POVRŠINAMA**  
ZAVRŠNI RAD

Una Bednaić

Zagreb, rujan, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
AGRONOMSKI FAKLTET

Preddiplomski studij:  
Agroekologija

**SOLARNI PANELI NA VODENIM POVRŠINAMA**  
ZAVRŠNI RAD

Una Bednaić

Mentor: izv. Prof. dr. sc. Daniel Matulić

Zagreb, rujan 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
AGRONOMSKI FAKULTET

**IZJAVA STUDENTA**  
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, Una Bednaić, 0178123643, izjavljujem da sam samostalno izradila završni rad  
pod naslovom:

SOLARNI PANELI NA VODENIM POVRŠINAMA

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedina autorica/jedini autor ovoga završnog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj završni rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga završnog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznata/upoznat s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Potpis studentice

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
AGRONOMSKI FAKULTET

IZVJEŠĆE  
O OCJENI I OBRANI ZAVRŠNOG RADA

Završni rad studentice **Una Bednaić**, JMBAG: 0178123643, naslova

**SOLARNI PANELI NA VODENIM POVRŠINAMA**

mentor je ocijenio ocjenom \_\_\_\_\_.

Završni rad obranjen je dana \_\_\_\_\_ pred povjerenstvom koje je prezentaciju ocijenilo ocjenom \_\_\_\_\_, te je student/ica postigao/la ukupnu ocjenu \_\_\_\_\_.

Povjerenstvo:

potpisi:

1. izv.prof.dr.sc. Daniel Matulić mentor

\_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_ članica

\_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_ članica

\_\_\_\_\_

## Sadržaj

1. Uvod.....	1
1.1. Ciljevi rada .....	1
2. Agrosolari .....	2
3. Solarni paneli na vodenim površinama .....	4
3.1. Tehnički aspekti plutajućih solarnih panela .....	4
3.2. Održavanje i ekonomski aspekt.....	5
3.3. Ekološki aspekt.....	6
4. Plutajući solarni sustavi na ribnjacima i uzgajalištima .....	7
4.1. Solarni paneli na kombiniranim uzgajalištima .....	7
5. Plutajući solarni sustavi na slobodnim vodenim površinama .....	8
5.1. Solarni paneli na slatkovodnim površinama .....	8
5.2. Solarni paneli na morskoj površini.....	8
6. Istraživanja utjecaja solarnih panela na vodenim površinama .....	10
6.1. Analiza utjecaja plutajućih solarnih sustava iznad vodene površine.....	10
6.1.1. Rezultati analize kvalitete vode.....	10
6.1.2. Rezultati analize utjecaja na alge i ribe .....	11
6.2. Potencijal solarnih panela na površini kopnenih voda Španjolske.....	11
6.3. Ostali istraživački projekti.....	12
7. Potencijal i budući trendovi.....	14
7.1. Potencijal solarnih panela u Hrvatskoj .....	15
8. Zaključak .....	16
9. Literatura .....	17

## **Sažetak**

Završnog rada studentice **Una Bednaić**, naslova

### **SOLARNI PANELI NA VODENIM POVRŠINAMA**

Solarna energija predstavlja jedan od glavnih izvora obnovljive energije. Potencijal proizvodnje električne energije putem solarnih panela predmet je brojnih istraživanja. Ovaj rad daje pregled istraživanja solarnih panela na vodenim površinama te njihove prednosti i nedostatke u odnosu na kopnene solarne sustave. Obrađuje se i utjecaj solarnih panela na vodeni okoliš te njihov potencijal u budućnosti. Paneli postižu najveće vrijednosti proizvodnje kad su u doticaju s vodom radi efekta hlađenja. Također, blizina vode doprinosi dugovječnosti rada panela. Hibridni sustavi mogu pozitivno utjecati i na prirast ribe. Solarni paneli pružaju sjenu na površini vode što štiti uzgajane životinjske vrste od temperaturnih ekstrema i drugih okolišnih stresova. Suradnja između istraživača, poljoprivrednika i kreatora politike može pomoći u razvoju prilagođenih rješenja, kako za svjetski tako i hrvatski kontekst razvoja plutajućih solarnih panela koja maksimiziraju dobrobit proizvodnje obnovljive energije uz osiguranje sigurnosti hrane i vode. Tehnička izvodljivost postavljanja solarnih panela na vodene površine je već dokazana, ali i dalje nedostaju specifična istraživanja o direktnom doticaju vode s pontonskim strukturama i solarnim panelima, kao i o njihovoj mogućoj povezanosti s akvakulturom.

**Ključne riječi:** solarni paneli, proizvodnja energije, vodene površine

## **Summary**

Of the final work – student Una Bednaić, entitled

### **SOLAR PANELS ON WATER SURFACES**

Solar energy is one of the main sources of renewable energy. The potential for electricity production through solar panels has been the subject of numerous studies. This paper provides an overview of research on solar panels installed on water surfaces, highlighting their advantages and disadvantages compared to land-based solar systems. It also examines the impact of solar panels on aquatic environments and their future potential. Panels achieve the highest production values when in contact with water due to the cooling effect. Additionally, proximity to water contributes to the longevity of panel operation. Hybrid systems can also positively impact fish growth. Solar panels provide shade on the water surface, which protects cultivated species from temperature extremes and other environmental stresses. Collaboration between researchers, farmers and policy makers can help develop tailored solutions, both for the global and Croatian context of developing floating solar panels that maximize the benefits of renewable energy production while ensuring food and water security. The technical feasibility of placing solar panels on water surfaces has already been proven. However, there is still a lack of specific research on the direct contact of water with pontoon structures and solar panels, as well as their possible connection with aquaculture.

**Keywords:** solar panels, energy production, water surfaces.



# 1. Uvod

Jedan od najvećih problema modernog doba svakako je globalno zatopljenje uzrokovano onečišćenjem okoliša pretjeranom uporabom fosilnih goriva. Istraživanja pokazuju da je jedno od rješenja tog problem zamjena uporabe fosilnih goriva s izvorima obnovljive energije (Matulić i sur., 2023). Ta je ideja prvenstveno potaknuta protokolarnim sporazumima i zakonskim zahtjevima, poput Kyoto protokola. Članice Europske unije obvezale su se do 2030. godine određeni postotak njihove energije proizvoditi iz obnovljivih izvora, u protivnome će snositi, većinom financijske, posljedice. Većina tehnologija obnovljive energije, poput biomase, solarnih panela i sl., zahtjeva velike površine za proizvodnju električne energije, što stavlja ograničenja na korištenje zemljišta u poljoprivredne svrhe. Tehnologija plutajućih solarnih panela, koja uključuje postavljanje solarnih panela na vodenim površinama, nudi rješenje koje omogućuje istovremeno korištenje vodenih resursa i generiranje solarne energije (Trapani i Redón, 2014). Obzirom na globalno zatopljenje i nestabilne vremenske uvjete poput dugih sušnih perioda, temperaturnih ekstrema, poplava i tuča, očekuju se povećani zahtjevi za energijom i ulaganjem u zaštitu poljoprivrednih kultura kako bi se osigurao prinos. Paralelno s problemom globalnog zatopljenja i ispostavljanja infrastrukture za prijelaz na korištenje obnovljivih izvora energije, čovječanstvo se bori sa još jednim problemom, a to je nedostatak hrane za rastuću populaciju svijeta (Matulić i sur., 2023). Smatra se da će najveći problem budućnosti biti nedostatak hrane odnosno nedostatak obradivih površina, prikladnih za poljoprivrednu proizvodnju (Klokov i sur., 2023).

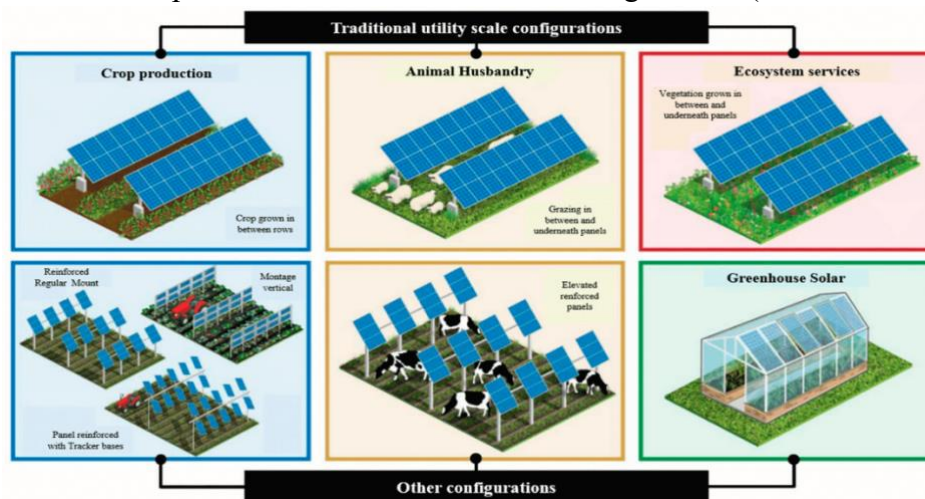
## 1.1. Ciljevi rada

U radu će se dati pregled mogućnosti i utjecaj postavljanja sustava solarnih panela na vodena tijela kao što su oceani, ribnjaci, rezervoari, jezera za navodnjavanje i sl. Poseban osvrt će se staviti na sinergiju plutajućih solara i akvatičnih organizama.

## 2. Agrosolari

Proizvodnja električne energije pomoću tehnologije solarnih panela postavljenih iznad ili između poljoprivrednih kultura ili na području uzgoja stoke. Glavni cilj ideje agrosolara je dvostruko korištenje prostora, odnosno ušteda zemljišta. Solarni paneli postavljaju se na način da ne ometaju rast poljoprivredne kulture, te da ne ometaju rad mehanizacije koja je potrebna za optimalne prinose. Osim energetske učinkovitosti, korištenje solarnih panela na poljoprivrednim površinama ima i prednosti za poljoprivrednu proizvodnju. Proizvodnja energije putem solarnih panela moguća je u kombinaciji s raznim oblicima poljoprivredne djelatnosti (Slika 1).

- Zaštita usjeva i životinja od vremenskih uvjeta: solarni paneli postavljeni iznad usjeva ili travnjaka pružaju zaštitu od sunca, tuče, ekstremnih temperatura i isušivanja tla.
- Povećanje efikasnosti vodoopskrbe: tlo nije izravno izloženo suncu pa se time smanjuje isparavanje vode iz tla i povećava zadržavanje vlage u tlu. U sušnim se periodima time smanjuje potreba za navodnjavanjem.
- Dodatni prihodi za poljoprivrednike: poljoprivrednici koriste energiju za održavanje svojih farmi, a imaju i dodatnu korist od prodaje eventualnog viška električne energije čime si osiguravaju dodatne prihode.
- Održiva poljoprivreda: budućnost poljoprivrede je uzgoj u kontroliranim uvjetima navodnjavanjem, regulacijom temperature i sl. Poželjno je da navedene tehnologije pokreće energija iz obnovljivih izvora kako bi se smanjila emisija stakleničkih plinova i ovisnost farmi o fosilnim gorivima (Matulić i sur., 2023).



Slika 1. Prikaz uporabe solarnih panela na raznim poljoprivrednim djelatnostima

Izvor: (Dreves, 2018)

Osim pozitivnih istraživanja su pokazala kako postoje i negativni učinci postavljanja solarnih panela na poljoprivredne površine. Primjerice, smanjena količina sunčeve svjetlosti može negativno utjecati na fotosintezu. Biljke koje imaju velike zahtjeve prema sunčevoj

energiji nisu prikladne za rast ispod solarnih panela jer bi to smanjilo njihove prinose i umanjilo kvalitetu konačnog proizvoda. Također u kišnim periodima može doći do prekomjernog zadržavanja površinskih voda obzirom da je isparavanje vode iz tla znatno smanjeno. Zadržavanje vode u gornjim slojevima tla može dovesti do truljenja korijena biljaka i samim time odumiranja istih što je krajnje nepoželjno za poljoprivrednu proizvodnju. Kompleksnost upravljanja i cijena još je jedna negativna strana implementacije solarnih panela u poljoprivrednu proizvodnju. Vođenje agrosolarne farme podrazumijeva prilagodbu mehanizacije i poljoprivrednih tehnika kako bi se prilagodile novim uvjetima, a to zahtjeva dodatna ulaganja i znanja (Slika 2) (Matulić i sur., 2023).



*Slika 2. Prikaz prilagodbe usjeva i tehnologije proizvodnje*

Izvor: (Statkraft, 2024.)

### 3. Solarni paneli na vodenim površinama

Postavljanjem solarnih panela na vodenu površinu provodimo koncept dvostrukog korištenja vodenog prostora. Kombinira se npr. djelatnost ribogojstva i proizvodnje električne energije putem solarnih panela (Slika 3). Solarni paneli mogu se postavljati na ili iznad vodene površine koja služi kao uzgojni prostor neke akvakulture, na akumulacijska jezera ili na slobodnu vodenu površinu. Cilj je učinkovito korištenje vodenih površina za uzgoj hrane, uštedu pitke vode ili vode za navodnjavanje, te proizvodnju energije. Proizvodnja električne energije putem plutajućih solarnih panela omogućuje čistu proizvodnju energije bez korištenja dodatnog zemljišta. Kako bi se maksimizirala produktivnost ovih sustava, a minimalizirao utjecaj na okoliš važno je pratiti okolišne parametre oko vodene površine na kojoj se paneli nalaze. Vrijednosti poput temperature vode, zraka, otopljenog kisika, količine svjetlosti i pH vrijednosti vode vrlo su važne za žive organizme tih područja. Važno je da vrijednosti parametara odgovaraju prirodnim uvjetima staništa uzgajane kulture (Sujay i sur., 2017).



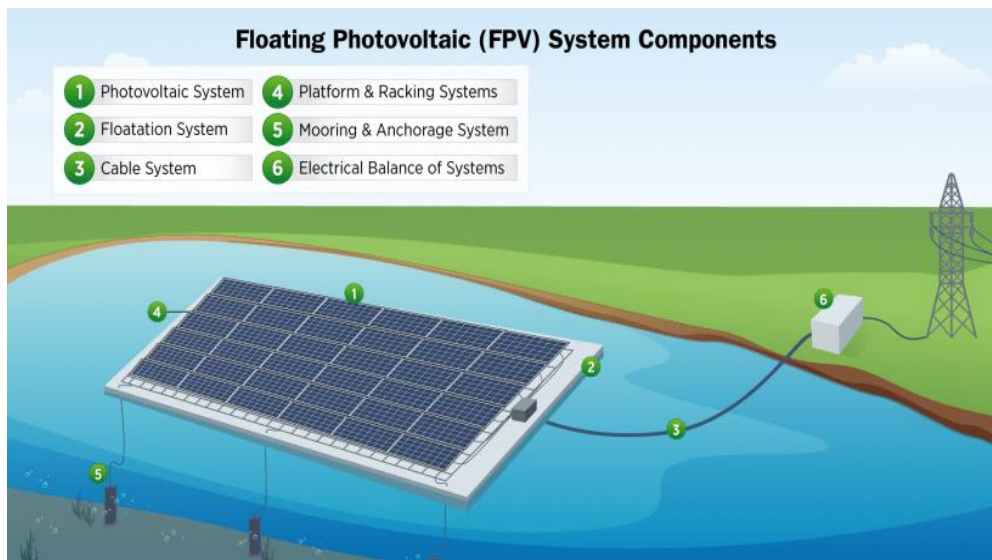
*Slika 3. Prikaz kombinirane djelatnosti akvakulture i proizvodnje električne energije*

Izvor: (Tongwei, 2024)

#### 3.1. Tehnički aspekti plutajućih solarnih panela

Plutajući solarni paneli postavljaju se na platforme ili pontone napravljene od materijala otpornog na vodu i koroziju. Ponton je stabilna struktura za plutanje izrađena da podržava velika opterećenja i određeni broj solarnih panela. Pontoni obavezno moraju biti privezani za nepomičnu strukturu kako bi se spriječilo njihovo pomicanje po vodenoj površini. Sidreni privez odnosi se na učvršćivanje položaja plutajuće strukture za dno vodotoka. Fotonaponski sustav uključuje panel ili niz solarnih modula, obzirom da jedan solarni modul može proizvesti samo ograničenu količinu energije, većina instalacija zahtjeva više modula. Osim solarnih modula, fotonaponski sustav uključuje solarni inverter, bateriju i/ili solarni tragač te povežno ožičenje. Ožičenje odnosno solarni kablovi posebno su dizajnirani da izdrže vanjske uvjete

poput UV zračenja, ekstremnih temperatura, te oštećenja od korozije (Slika 4). Sami solarni paneli izrađeni su od silicija, bakra, stakla, aluminija i srebra. Smatra se da će se u budućnosti zahtjevi za PV materijalima znatno povećati. Pozitivna je činjenica da niti jedan materijal od navedenih ne svrstava u potencijalno nedostatne. Najskuplji među njima je silicij, dok staklo čini čak 70% ukupne mase. Kako solarni paneli ne bi zahrdali ni bilo podložni koroziji, premazani su zaštitnim slojem (Patil i sur., 2017).



*Slika 4. Tehnološki dijelovi plutajućeg PV sistema*

**Izvor:** (Office of energy efficiency and renewable energy, dual-use photovoltaic technologies)

### 3.2. Održavanje i ekonomski aspekt

Investicija u sustave plutajućih solarnih panela uključuju visoke početne troškove zbog složenost instalacije i znanja koje je potrebno da bi se ista postavila. Međutim istraživanja pokazuju da su fotonaponski sustavi na vodenim površinama isplativiji od onih na kopnu iz nekoliko razloga. Prvi od njih je veća proizvodnja energije. Pokazalo se kako blizina vode i njen efekt rashlađivanja pozitivno utječe na funkciju solarnih panela te povećava njihovu efikasnost u proizvodnji energije. Utjecaj vode na rashlađivanje ovih sustava može se postići povećanje od 10 do 15% u izlaznoj snazi u usporedbi s fiksnim solarnim sustavima na tlu. Utjecaj takozvanog „cooling“ efekta ovisi o orijentaciji i blizini kontakta s vodom. Osim povećanja proizvodnje električne energije, hlađenjem panela osigurava se njihov dulji vijek trajanja. Jeftiniji materijali i lakše postavljanje druga je prednost plutajućih sustava u odnosu na kopnene. Solarni paneli na vodenim površinama postavljaju se na pontone, dok se paneli na kopnu postavljaju na visoke metalne okvire pričvršćene za tlo. Takav sustav nešto je skuplji i kompleksniji za postaviti. Ovisno o lokaciji plutajućih sustava, njihovo održavanje može biti zahtjevnije zbog slabije pristupačnosti. Dronovi se koriste u održavanju kako bi se lakše identificirao kvar ili neki drugi nedostatak (Slika 5). Radnici moraju biti dovezeni brodovima i osposobljeni za siguran rad u takvim uvjetima. Najvećom prijetnjom ovim sustavima smatra se

biološko obraštanje, odnosno interakcija vodenog ekosustava s plutajućim solarima. Biološkim obrastanjem smatra se kolonizacija vodenih organizama poput algi koje u kratkom roku mogu nastaniti, a time i ugroziti rad modula. Iz tog razloga postoji veća potreba za čišćenjem što povećava intenzitet ljudskog rada na ovim sustavima (Matulić i sur., 2023).



*Slika 5. Korištenje drona kao pomoć pri održavanju*

Izvor: (Moraglia, 2024)

### **3.3. Ekološki aspekt**

Ideja solarnih panela na vodenim površinama je u začetcima te je potrebno provesti još brojna ekološka istraživanja kako bismo utvrdili njihov utjecaj na vodeni ekosustav u koji su implementirani. Prema dosadašnjim istraživanjima postoje brojni pozitivni efekti na vodeni okoliš ispod FPV sustava, no postoje i dvojbe oko ugrožavanja prirodnih staništa (Pringle i sur., 2017). Izloženost suncu glavni je pokretač vodenih ekosustava obzirom da fotosinteza omogućuje rast organske tvari u vodi. Vodeni organizmi poput algi ovisni su o sunčevoj svjetlosti za svoj rast. Kroz prethodni članak zaključili smo da cvjetanje algi nije poželjno kad je riječ o plutajućim solarnim sustavima jer one mogu ometati rad pumpnih i filtracijskih sustava. Postavljanjem plutajućih solarnih sustava (FPV) radimo sjenu na vodenoj površini i time smanjujemo ili onemogućujemo proces fotosinteze kod algi i ostalih autotrofnih organizama. Time se smanjuje negativni utjecaj koji cvjetanje algi ima na FPV sustave i izostavlja potrebu tretiranja algi kemijskim sredstvima. Manji dotok sunčeve svjetlosti ne utječe samo na autotrofne organizme već utječe i na razne životinjske organizme tog područja. Sustavi solarnih panela na vodenim površinama životinjama pružaju hlad i smanjuju rast temperatura vode u vrućim mjesecima što smanjuje temperaturni stres u vrućim mjesecima (Matulić i sur., 2023).

## **4. Plutajući solarni sustavi na ribnjacima i uzgajalištima**

Razne vrste riba imaju različite potrebe prema količini svjetlosti, temperaturi vode i količini otopljenog kisika. Neke su vrste aktivnije na svjetlu dok su druge aktivnije po mraku. Plutajući solarni sustavi pružaju hlad, a blokirana svjetlost se putem solarnih panela pretvara u električnu energiju. Međutim ako se razmak između modula ne kontrolira, može doći do pretjeranog zasjenjivanja što bi negativno utjecalo na organizme tog staništa. Pretjerano zasjenjivanje sprječava fotosintezu, smanjuje mikrobnu gustoću i negativno utječe na životni ciklus riba koje su predmet uzgoja. Time se sukladno smanjuje i prinos uzgajivača. Negativnoj promjeni naročito su podložne vrste riba aktivnije na svjetlu, a manje aktivne u mračnim uvjetima (Pringle i sur., 2019).

Ribe i njihove ličinke imaju određene zahtjeve raspona svjetlosti za optimalni rast i razvoj. Raspon specifične svjetlosti varira ovisno o vrsti i fazi razvoja. Kako bi prinos ribe u ovakvim sustavima bio optimalan, svjetleće diode (LED lampe) mogu se instalirati na donji dio pontona ispod površine vode kako bi se ribama osigurala optimalni raspon svjetlosti za njihove potrebe. Iako takav sistem osigurava optimalni prinos ribe koja je predmet uzgoja, potrebno je procijeniti ekološke učinke na cijeli ekosustav. Također potrebno je provesti analizu ekonomske isplativosti zbog dodatnih troškova potrebne tehnologije i potrošnje električne energije (Matulić i sur., 2023).

Drugo rješenje problema pretjeranog zasjenjivanja vodene površine uključuje pomicanje odnosno rotiranje pontonskih struktura po vodenoj površini. Ovaj sistem iziskuje manja ulaganja u tehnologiju no zahtjeve prostornu neograničenost. Uslijed pomicanja pontonske strukture moglo bi doći do većih razmaka između solarnih modula, no smatra se da bi gubitci u proizvodnji time bili neznatni.

### **4.1. Solarni paneli na kombiniranim uzgajalištima**

Integrirana poljoprivreda kombinira akvakulturu i hidroponiku odnosno uzgoj vodene životinje poput riba i školjkaša u kombinaciji s biljkama. Ovakvi sustavi uzgoja potiču prirodnu ravnotežu i održivost zatvorenog sustava uzgoja dok istovremeno smanjuju ekološko zagađenje i smanjuju rizik u proizvodnji. Integrirani sustav zahtjeva da uzgajane vrste imaju međusobnu korist jedni od drugih. Neki od uspješno integriranih sustava uključuju proizvodnju: riba-fitoplankton-školjkaš i riba-morska alga-makroalga. Selektivno birani školjkaši ili morske alge mogu smanjiti onečišćenje ribljih kaveza pa samim time umanjiti troškove održavanja i uporabu kemikalija. Akvaponičnim sustavima moguće je pridodati i djelatnost proizvodnje električne energije pomoću plutajućih solara kako bismo maksimalno iskoristili prostor. U tom slučaju poželjno bi bilo postavljanje svjetlećih LED dioda na donju stranu pontona kako bi se osigurali poželjni uvjeti za rast organizama. Spektar svjetla koji pružaju LED diode poklapa se sa spektrom apsorpcije potrebnim za fotosintezu, dok istovremeno uklanjaju nepotrebne ili štetne valne duljine. Korištenjem umjetnog izvora svjetlosti, uzgajivači mogu kontrolirati uvjete uzgoja i prilagođavati svjetlost ovisno o fazi uzgoja. Rezultati provedenih studija o uzgoju riblje kulture pod širokopojasnim svjetlom pokazali su povećanje prinosa ribe. Istraživanje provedeno na uzgajalištu bakalara pokazalo je 53-60% veći rast nakon 24 tjedana pod stalnim svjetlom od 24 sata (Pringle i sur., 2017).

## 5. Plutajući solarni sustavi na slobodnim vodenim površinama

### 5.1. Solarni paneli na slatkovodnim površinama

Jedan od najvažnijih pozitivnih faktora postavljanja PV sustava na vodenu površinu je ušteda vode zbog znatno manjeg efekta isparavanja. Obzirom da plutajući sustavi služe kao zaštitni sloj na površini vode, isparavanje vode može se smanjiti do 33% na prirodnim vodenim površinama, te čak do 50% na umjetnim objektima (Slika 6). Na taj se način može spriječiti presušivanje ribnjaka u vrućim mjesecima, odnosno očuvanje prirodnog staništa. Pozitivan učinak plutajućih solarnih sustava posebno je vidljiv na rezervoarima pitke vode. Osim znatno manjih gubitaka vode, poboljšana je i kvaliteta vode. PFV sustavi štite rezervoare vode od negativnih okolišnih učinaka poput kiselih kiša, povećane mikrobne aktivnosti i ostalih potencijalno štetnih faktora za ljudsko i životinjsko zdravlje.

U kontekstu globalnog zatopljenja i klimatskih promjena, smatra se da su PFV sustavi odličan način za uštedu vode i očuvanje prirodnih ribnjaka. Zbog sve češćih sušnih perioda poljoprivrednici su primorani navodnjavati svoje usjeve. Smanjenje gubitaka vode iz rezervoara doprinijelo bi poljoprivrednoj aktivnosti. Pozitivni učinci posebno su vidljivi u područjima visokih temperatura i dugotrajnog sušnog perioda (Pringle i sur., 2017).



*Slika 6. Prikaz plutajućih solarnih panela na jezeru*

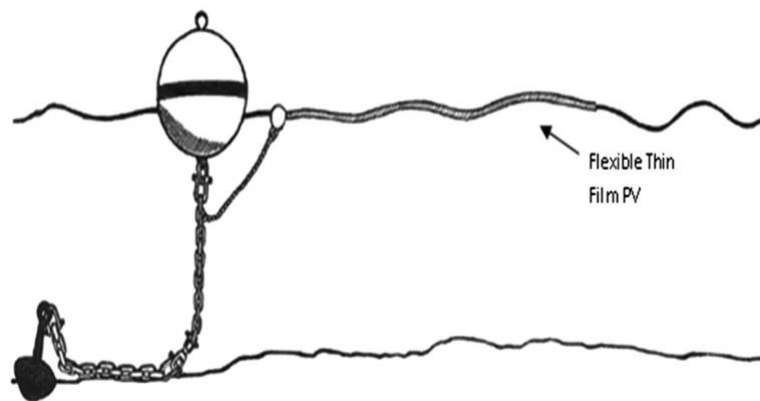
Izvor: (Ilgen i sur., 2023.)

### 5.2. Solarni paneli na morskoj površini

Dosadašnja istraživanja bila su fokusirana na solarne sustave na zatvorenim vodenim površinama kao što su ribnjaci, rezervoari i manja jezera. No veliki potencijal budućnosti proizvodnje električne energije smatraju se solarni paneli površini mora i oceana. Prema časopisu „*Mission innovation*“ postavljanjem solarnih panela na površinu oceana uz obalu Indije, mnoga siromašna mjesta dobila bi električnu energiju bez narušavanja obradivih kopnenih površina. Ista se logika može primijeniti na brojna druga siromašna mjesta uz obalu koja i dalje nemaju pristup električnoj energiji.



Kod postavljanja sustava solarnih panela na površinu mora i oceana postoje neki izazovi. Instalacija mora biti posebno dizajnirana kako bi se nosila sa kompleksnim ekološkim parametrima oceana kao što su: valovi, plima i oseka, jaki vjetrovi, morske struje i sl. Za razliku od solarnih sustava na zatvorenim vodenim površinama koji koriste krute kristalne FV panele, sustavi na moru koriste fleksibilne tanke fotonaponske filmove (Slika 7). Takva tehnologija omogućuje fleksibilnost pri kretanju na valovima tako da ne dolazi do oštećenja panela kao ni cijele konstrukcije vezova. Cilj ovakvih sustava je postaviti panele u neposrednom kontaktu s vodom kako bi se rashlađivali i na taj način proizvodili više energije. Osim toga, blizina vode i povremeno potapanje održava panele čistima što također doprinosi optimalnoj proizvodnji energije (Trapani i Santafé, 2014).



*Slika 7. Prikaz tankog fleksibilnog solaranog panela*

Izvor: (Trapani i Santafé, 2014.)

## 6. Istraživanja utjecaja solarnih panela na vodenim površinama

### 6.1. Analiza utjecaja plutajućih solarnih sustava iznad vodene površine

Fotonaponski paneli na vodenim površinama relativno su nova ideja. Zasad postoje podatci o pozitivnim učincima ovih tehnologija, prvenstveno kad je u pitanju proizvodnja veće količine energije i ušteda vode. No postoje i razne dvojbe oko utjecaja plutajućih solarnih sustava na vodeni ekosustav, problem samog održavanja tehnologije i oštećenja zbog vremenskih uvjeta poput oluja, valova i sl.

Tvrtka Nanjing Tongwei Aquatic Technology odlučila je provesti opširnu analizu utjecaja solarnih panela na vodenim površinama. Testovi su provedeni na površini ribnjaka, a predmet istraživanja je utjecaj ovih sustava na kvalitetu vode i ribe. U ovom slučaju postavljene su simulacije solarnih panela iznad površine vode kao što je prikazano na slici.

Testiranje se provodilo na 5 ribnjaka, svaki od njih veličine 110 x 205 m, mulj na dnu ribnjaka bio je 20 do 50 cm dubok, a razina vode bila je oko 2,3 m sa strane i 1,5 m dubine u sredini ribnjaka. Postotak prekrivenosti ribnjaka simulacijom solarnih panela bio je 0% (kontrola), 25%, 50%, 75% i 100%.

Četiri puta mjesečno uzimao se uzorak vode te su na njemu provedena istraživanja kvalitete u vidu sljedećih parametara: temperature vode, pH vrijednosti, količini otopljenog kisika. Osim terenskih metoda, provedene su i laboratorijski testovi: određivane koncentracije nitrata i amonijaka te mjerenje količine otopljenog fosfora. Osim testiranja kvalitete vode, provodilo se testiranje rasta i kvalitete riba vrste *Pelteobagrus fulvidraco*. 4 puta mjesečno ulovljeno je 50 riba, a veličina populacije riba procijenjena je metodom hvatanja- obilježavanja- puštanja-ponovnog hvatanja, te je uzeta prosječna vrijednost kao reprezentativna za težinu riba u tom području (Peidu Li i sur., 2020).

#### 6.1.1. Rezultati analize kvalitete vode

Rezultati analize vode iznad koje se nalazi simulacija solarnih panela pokazuju znatnu promjenu u temperaturi vode između zasjenjenih i nezasjenjenih područja. Prosječna razlika u temperaturi između zasjenjenog i nezasjenjenog područja bila je 0,7°C. Ovi podatci potvrđuju pretpostavku da postavljanjem solarnih panela na ili iznad vodene površine, možemo znatno smanjiti temperaturu vode ispod instalacije, a time i pridonijeti manjim temperaturnim stresovima za žive organizme tog područja.

Sadržaj otopljenog kisika u vodi uvjetovan je temperaturom vode i cirkulacijom zraka na površini vode. Ovim je istraživanjem dokazano da umjereno zasjenjivanje vodene površine između 25% i 75% ne utječe na normalnu razinu kisika u vodi.

Stabilna pH vrijednost zabilježena je na ribnjacima sa 25% do 75% prekrivenosti te je prosječna vrijednost iznosila 8. Izvedeno istraživanje zaključuje da pH nije kritičan parametar i da cijela testna skupina zadržava zadovoljavajuće pH vrijednosti za uspješan uzgoj ribe.

Makro elementi poput dušika i fosfora važna su hranjiva tvar za održavanje stabilnosti ekosustava. Biljke ne mogu apsorbirati navedene elemente u njihovom elementarnom obliku već koriste amonijak, nitrat i aktivni oblik fosfora. Visoke koncentracije ovih spojeva nisu zdrave za ekosustav jer dovode do procesa zvanog eutrofikacija odnosno cvjetanje more što može dovesti do onečišćenja vode. Također premale koncentracije ovih spojeva sprječavaju rast živih organizama toga područja, stoga je važno da su koncentracije spojeva unutar referentnih vrijednosti.

Prema istraživanju prosječna koncentracija amonijaka iznosila je 29,72 mg/L, nitrata 99,35 mg/L, a aktivnog fosfora 12,58 mg/L. Sadržaj amonijaka bio je najveći kod nezasjenjenog ribnjaka te je njegova koncentracija padala kako je zasjenjena površina rasla. Vrijednosti nitrata ukazali su na obrnuti trend pa je tako njihova koncentracija rasla s povećanjem zasjenjenog dijela. Kod aktivnog fosfora najveće vrijednosti zabilježene su na nezasjenjenom području i iznose 14,39 mg/l. Iz analize se zaključilo da zasjenjenost površine vode ima veliki utjecaj na količinu hranjive tvari, a samim time i na vodeni ekosustav. (Peidu Li i sur. 2020.)

### **6.1.2. Rezultati analize utjecaja na alge i ribe**

Peidu Li i sur. (2020) radili su istraživanje utjecaja solarnih panela iznad vodene površine ribnjaka na rast algi i riblje vrste *Pelteobagrus fulvidraco*. Prema njihovom istraživanju najveći broj vrsta algi i najveća biomasa zabilježena je kod 75% zasjenjenog ribnjaka, broj jedinki bio je  $15,9 \times 10^4$  jedinki/mL. Zanimljivo, gustoća algi bila je najveća kod 25% zasjenjenog ribnjaka no biomasa algi je bila niska što upućuje da su stanice algi bile nerazvijene. Najmanja biomasa algi zabilježena je kod 50% zasjenjenog ribnjaka, a u potpuno zasjenjenom ribnjaku biomasa algi bila je prosječna vrijednost. Dakle, sjena fotonaponskih modula na površinu vode definitivno ima utjecaj na broj, gustoću i biomasu algi. Utjecaj zasjenjivanja ribnjaka pokazao se pozitivan za rast ribe. Najveća biomasa ribe zabilježena je pri 75% zasjenjenom području, a iznosila je 8094,6 kg/akr. Ispostavilo se kako 75% zasjenjeni ribnjak pruža najoptimalnije uvjete za ribogojilište, barem kad je u pitanju ova vrste ribe. (Peidu Li i sur. 2020.)

## **6.2. Potencijal solarnih panela na površini kopnenih voda Španjolske**

Prema istraživačkom radu (Lopez i sur. 2022.) procjena potencijala solarnih panela na vodene površine Španjolske potrebna je kako bi se smanjilo korištenje fosilnih goriva. Španjolska se kao i ostale članice Europske unije obvezala do 2030. godine smanjiti emisiju štetnih plinova za 55% u odnosu na 1990. godinu. Obzirom da je država i dalje daleko od tog cilja, potrebno je procijeniti potencijale obnovljivih izvora energije kao što su solarni paneli. Obzirom da je čak 15 Španjolskih regija bogato slatkovodnim površinama, znanstvenici su istraživanje fokusirali na postavljanje panela na vodene površine.

Dosadašnja istraživanja procjenjuju bolju učinkovitost kod postavljanja solarnih panela na umjetna jezera i rezervoare vode u odnosu na prirodne vodene površine. Prema tome za potrebe ovog istraživanja plutajući solari postavljeni su na rezervoare u tri različite regije

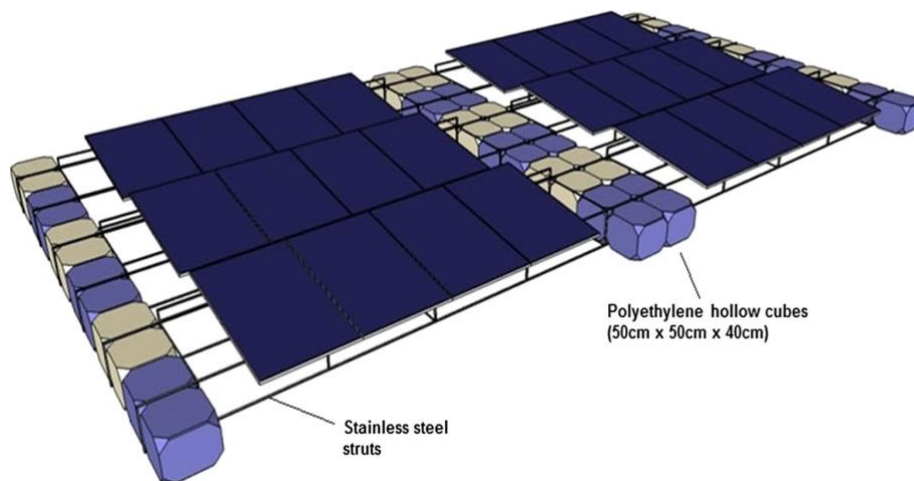
Španjolske: Guadalcačin (Andalusia), La Pedrera (Valencia) i Borbollon (Extremadura). U svakoj od tri regije postavljena su po 4 eksperimenta odnosno scenarija na 4 različita rezervoara. Prvi rezervoar bio je 100% prekriven solarnim panelima, 2. samo 10%, zatim 3. 88% dok je površina 4. rezervoara bila 77% prekrivena solarnim panelima. Scenarij 1 uključuje 100% prekrivenost vodene površine solarnim panelima te će on biti pokazatelj punog potencijala za proizvodnju energije. Minimalna dubina svakog rezervoara u istraživanju je bila dva metra, a solari su postavljeni ravno na površinu vode jer se na taj način pretpostavlja maksimalni učinak.

Analiza potencijala predviđa da se prekrivanjem 10% kontinentalnih vodenih površina panelima može proizvesti 31% od ukupne potrebne električne energije za potrebe Španjolske. Na taj bi se način korištenje neobnovljivih izvora energije smanjio za 81%. Kad se uzme u obzir potencijalno negativne posljedice postavljanja solarnih panela na prirodne vodene površine te se koriste samo umjetni rezervoari vode, brojke se spuštaju na 22% ukupnih zahtjeva države i 51% zamjene za neobnovljive izvore energije.

### **6.3. Ostali istraživački projekti**

Prvo poznato istraživanje o plutajućim solarnim panelima proveo je Nacionalni institut znanosti i tehnologije u Japanu 2007. godine. Cilj istraživanja bio je usporediti dobitak električne energije ukoliko se solarni paneli rashlađuju vodom u odnosu na one koji se hlade na zraku. Panele su postavili na plutajući ponton pod kutem od  $1,3^\circ$ . Rezultat istraživanja pokazao je veću proizvodnju energije na plutajućim solarima. Kao razlog navode čišćenje panela potapanjem ispod površine vode, dok su kopneni paneli bili izloženi ptičjim fekalijama zbog čega je proizvodnja električne energije bila 8% manja.

Jedan od najvećih projekata proveden je 2009. godine u Italiji. Sustav plutajućih solarnih panela snage 500kWp bio je priključen na mrežu i ostvarivao je prihod putem tarifa za otkup električne energije (Slika 8). Obzirom na veličinu instalacije potrebno je bilo provesti preliminarne procjene utjecaja sustava na okoliš kako bi se utvrdile potencijalne opasnosti za floru i faunu jezera na kojemu je projekt bio postavljen. Zanimljivost ovog projekta bila je izloženost panela iznimno niskim temperaturama te snijegu i ledu. Tvrtka Byro kao osnivač projekta tvrdi da rezultati analize pokazuju povećanje proizvodnje energije za 20-25% zbog hlađenja vodom.



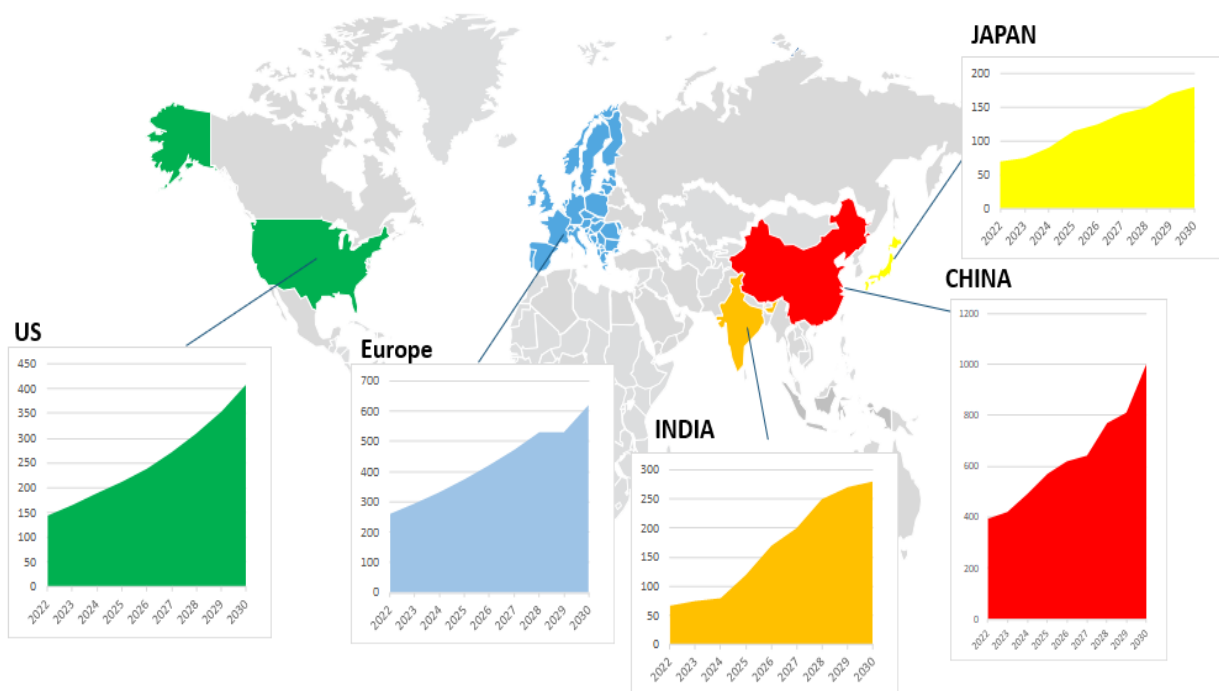
*Slika 8. Schematski prikaz pontona na projektu u Buanu*

Izvor: (Trapani. i Santafé, 2014)

Prema Abd-Elhamid i sur. (2021) u Egyptu je pokrenut projekt postavljanja solarnih panela na rezervoar s ciljem očuvanja vode od isparavanja i onečišćenja. Procijenjena evaporacija vode iz jezera bila je  $12.0 \times 10^9$  m<sup>3</sup>/godišnje. Rezultati ispitivanja pokazali su da prekrivanjem 25%, 50%, 75% i 100% površine jezera solarnim panelima može uštedjeti prosječno 2.1, 4.2, 6.3, 7.0, i  $8.4 \times 10^9$  m<sup>3</sup> vode godišnje. Također ovim istraživanjem dokazano je kako se u plićim dijelovima jezera evaporacija znatnije smanjuje nego u dubljim dijelovima jezera.

## 7. Potencijal i budući trendovi

Porastom broja stanovništva nameće se problem proizvodnje hrane, pogotovo u vremenu globalnog zatopljenja i raznih vremenskih nepogoda. Osim što potrebe za količinom hrane rastu, raste i potreba za korištenjem energije za proizvodnju hrane kako bi se osigurali optimalni prinosi. Na uzgajalištima riba i školjkaša potrebne su tehnologije poput vodenih pumpi, sustava ozračivanja, osvjjetljenja, goriva, frižidera, produkcije leda, pročišćivača vode itd. Količina energije potrebna za optimalne rezultate uzgoja ovisi o vrsti životinje, intenzitetu uzgoja, sistemu, tehnologiji, lokalnoj klimi i sl. Fosilna goriva do sad su bila glavni pokretač takvih uzgojnih farmi. Radi rastućeg problema zagađenja okoliš, nužna je tranzicija na čiste izvore energije poput solarnih panela. Predviđa se porast potrebe za energijom u ribogojstvu sa trenutnih 4.600 milijuna GJ godišnje, na 10.700 milijuna GJ godišnje do 2050. godine prvenstveno radi veće potražnje za ribom. Energetski najintenzivnijim pokazao se slatkovodni uzgoj lososa (*Salmoniformes*), zatim uzgoj tilapije i kavezni uzgoj kamenica (*Ostrea edulis*). Istraživanja pokazuju kako je solarna energija najbolji izbor za opskrbu ribogojilišta i drugih poljoprivrednih djelatnosti energijom zbog relativno niskih troškova, lakoće održavanja, dugotrajnosti panela i održivosti okoliša. Slika 9. prikazuje predviđanja porasta korištenja solarne energije u tehnološki i industrijski vodećim dijelovima svijeta do 2030. godine, vrijednosti su izražene u GW (Vo i sur., 2021.).



Slika 9. Predviđanja trendova korištenja solarne energije do 2030. godine

Izvor: (Incorrys, 2023.)

## 7.1. Potencijal solarnih panela u Hrvatskoj

Obzirom na utjecaj mediteranske klime na obalne ali i na kontinentalne dijelove Hrvatske, sve je više sunčanih dana u godini pa je time i veći potencijal za proizvodnju električne energije putem solarnih panela. Prema časopisu (Factsheet, 2023.) Hrvatska pripada državama EU sa najvećim potencijalom za proizvodnju solarne energije sa 2000-2700 sunčanih sati godišnje. Trenutno 30% ukupne energije proizlazi iz obnovljivih izvora, a od toga samo 2% čini solarna energija. Predviđeni potencijal proizvodnje solarne energije za Hrvatsku iznosi 6.8 GW. Dok proizvodnja energije putem solarnih panela za osobne potrebe ima značajan porast, koncept integrirane proizvodnje još nije u potpunosti razvijen. Ukupna površina šaranskih ribnjaka u Hrvatskoj trenutno iznosi 14.081,49 ha, dok je proizvodna površina u 2021. 12.539 ha. Na temelju ove vrijednosti teško je procijeniti koliko je prostora dostupno postavljanje plutajućih solarnih panela zbog nekoliko varijabli (Matulić i sur., 2023). To je uglavnom zbog neodređenog opsega i intenzitet vegetacije (šiševi, drvenasta vegetacija i šikare) u pojedina mjesta registriranog vodnog područja i klasifikacija intenziteta proizvodnje (RAS sustavi, kavezi za uzgoj itd.). Velika uzgajališta šarana nalaze se u kontinentalnom dijelu zemlje Republike Hrvatske, uglavnom u području velikih riječnih tokova, te su stoga značajni za očuvanje biološke raznolikosti. Slatkovodna šaranska uzgajališta predstavljaju područja velike prirodne vrijednosti u Hrvatskoj i proglašeni su dijelom ekološke mreže EU-Natura 2000. Posljedično, na ovim mjestima vrijede mnoga različita pravila i zakoni za očuvanje i zaštitu prirode. Ovo razmatranje se treba uzeti u obzir kao trenutno ograničavajući čimbenik za ugradnju plutajućih solarnih panela u Hrvatskoj.

Kako bi se izbjeglo povećanje korištenja zemljišta, pristup solarima na vodenoj površini nudi dvostruko rješenje korištenje zemljišta. Pogotovo u zemljama s dugim sušnim razdobljima, takav koncept nudi mnoge sinergije. Snažno smanjenje gubitka vode zbog nižih stopa isparavanja posebno je zanimljivo. Uz odgovarajući sistemski pristup, solari na vodenoj površini mogu doprinijeti održivo korištenje vode i ispunjavanje koncepta hrana-voda-energija. Tehnička izvedivost integracije solarnih panela u vodene površine je dokazana, ali konkretna istraživanja izravnog kontakta vode s pontonskim strukturama i solarnim panelima na vodeni svijet te njihove sinergije s uzgojem ribe još uvijek nedostaju.

## 8. Zaključak

Solarni paneli, kao jedan od najvažnijih izvora obnovljive energije, predstavljaju velik potencijal u borbi za zaštitu okoliša i smanjenu uporabu fosilnih goriva. Postavljanje fotonaponskih ploča na vodene površine ima razne prednosti u odnosu na kopnene instalacije. Kroz rad su se razmotrila postavljanja solarnih panela na ribogojilišta, rezervoare vode, jezera i morske površine. Zabilježena je veća proizvodnja energije solara postavljenih na vodene površine zbog efekta rashlađivanja, a iz istog razloga paneli se i manje kvare pa je njihova isplativost veća. Uglavnom su potrebna manja ulaganja zbog jednostavnosti i niže cijene materijala konstrukcije. Hibridni sustavi uzgoja ribe ili školjkaša koji uključuju solarne panele pokazuju porast prinosa uzgajane vrste zbog stvaranja pogodnih uvjeta. Na rezervoarima vode paneli služe i kao zaštitni sloj od sunca pa omogućuju smanjenje evaporacije i isušivanja vodene površine. Postoji i veliki potencijal u proizvodnji energije na slobodnim vodenim površinama poput većih jezera i mora. Iako Hrvatska ima veliki potencijal za proizvodnju solarne energije njena proizvodnja za sad iznosi samo 2% od ukupno proizvedene obnovljive energije. Pretpostavlja se trend rasta proizvodnje solarne energije u Europi i ostatku svijeta. Uz primjenu odgovarajućeg sistemskog pristupa, solarni paneli na vodenim površinama mogu doprinijeti održivom upravljanju vodnim resursima te ostvarivanju koncepta povezanosti hrane, vode i energije. Iako je tehnička izvodljivost postavljanja solarnih panela na vodene površine već potvrđena, još uvijek nedostaju konkretna istraživanja o direktnom kontaktu vode s pontonskim strukturama i solarnim panelima te njihovim potencijalnim sinergijama s akvakulturom i ribarstvom općenito.



## 9. Literatura

1. Abd-Elhamid, H.F., Ahmed, A., Zeleňáková, M., Vranayová, Z., Fathy, (2021) I. Reservoir Management by Reducing Evaporation Using Floating Photovoltaic System: A Case Study of Lake Nasser, Egypt. *Water* 2021, 13, 769.
2. Agrivoltaics: Combining solar panels and agriculture into a win-win result (2023) Statkraft, <https://www.statkraft.com/newsroom/news-and-stories/2022/agrivoltaics-combining-solar-panels-and-agriculture/>
3. Li, P., Gao, X., Jiang, J., Yang, L., Li, Y. (2020) Characteristic Analysis of Water Quality Variation and Fish Impact Study of Fish-Lighting Complementary Photovoltaic Power Station
4. Lopez, M., Soto, F., Hernandez, Z.A. (2022) Assessment of the potential of floating solar photovoltaic panels in bodies of water in mainland Spain
5. Matulić, D., Andabaka, Ž., Radman, S., Fruk, G., Leto, J., Rošin, J., Rastija, M., Varga, I., Tomljanović, T., Čeprija, H., et al. (2023) Agrivoltaics and Aquavoltaics: Potential of Solar Energy Use in Agriculture and Freshwater Aquaculture in Croatia. *Agriculture* 2023, 13, 1447.
6. Parida, B., Iniyar, S., Goić, R. (2011) A review of solar photovoltaic technologies
7. Patil (Desai) Sujay, S., Wagh, M. M., Shinde, N. N. (2017). Floating Solar Photovoltaic Power Plants
8. Pringle, A.M., Handler, R.M.M., Pearce, J.M. (2019) Aquavoltaics: Synergies for dual use of water area for solar photovoltaic electricity generation and aquaculture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, 2017, 80, pp.572-584.
9. Renewable Energy in Croatia (2023) Factsheet, Ministry of Foreign Affairs, <https://www.rvo.nl/sites/default/files/20202/Factsheet%20Renewable%20Energy%20in%20Croatia.pdf>
10. Solar Power Capacity Forecast 2022-2030 (2023) Incorrays, <https://incorrays.com/power-generation/solar-power-generation/solar-power-capacity-forecast-2022-2030/>
11. Trapani, K., Santafé, M.R. (2013) A review of floating photovoltaic installations: 2007–2013
12. Vo, T.T.E., Ko, H., Huh, J.H., Park, N. (2021) Overview of Solar Energy for Aquaculture: The Potential and Future Trends. *Energies*, 2021, 14, 6923.