

KOLOVOZ
2023.



Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih
znanosti Osijek



OIE HRVATSKA

European Bank
for Reconstruction and Development

STUDIJA O POTENCIJALU UPORABE SOLARNE ENERGIJE U POLJOPRIVREDNOM SEKTORU I SEKTORU SLATKOVODNE AKVAKULTURE U HRVATSKOJ



IZJAVA O ODRIČANJU OD ODGOVORNOSTI

Ovo izvješće financirala je Europska banka za obnovu i razvoj (EBRD), a izradili su ga Agronomski fakultet u Zagrebu (AFZ), Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek (FAZOS) i Institut za jadranske kulture i melioraciju krša u Splitu (IJKMKS). Izvješće analizira postojeći okvir, kao i poljoprivredne potencijale za razvoj projekata agrosunčanih elektrana u Hrvatskoj, poznatih i pod nazivom agrosolari. Ovo izvješće daje preporuke za daljnji razvoj sustava agrosolara u Hrvatskoj, ali ništa u ovom izvješću ne treba shvatiti kao pravni, tehnički ili profesionalni savjet ili uslugu. Ni Europska banka za obnovu i razvoj, ni Obnovljivi izvori energije Hrvatske, niti autori nisu odgovorni za bilo kakav gubitak koji bi pretrpjela bilo koja pravna ili fizička osoba koja se oslanja na ovaj dokument.

AUTORI:

prof. dr. sc. Josip Leto, AFZ

prof. dr. sc. Marko Karoglan, AFZ

izv. prof. dr. sc. Sanja Radman, AFZ

izv. prof. dr. sc. Daniel Matulić, AFZ

izv. prof. dr. sc. Željko Andabaka, AFZ

izv. prof. dr. sc. Goran Fruk, AFZ

prof. dr. sc. Mirta Rastija, FAZOS

doc. dr. sc. Ivana Varga, FAZOS

doc. dr. sc. David Kranjac; FAZOS

mr. sc. Jakša Rošin, IJKMKS

doc. dr. sc. Mira Radunić, IJKMKS

dr. sc. Tonka Ninčević Runjić, IJKMKS

doc. dr. sc. Marin Čagalj, IJKMKS

mag. ing. agr. Mislav Kontek

mag. iur. Mario Turković

DIZAJN: design.inmedia@gmail.com

KONTAKT: info@oie.hr

SADRŽAJ

PREDGOVOR	VI
INFORMATIVNI SAŽETAK	VIII
POPIS KRATICA	X
1. UVOD	11
2. PREGLED PRIMJENE OIE U POLJOPRIVREDNOM SEKTORU	14
2.1 Poljoprivredna proizvodnja i klimatske promjene	15
2.2 Uporaba solarne energije u poljoprivrednom sektoru	16
2.3 Agrosolari u kontekstu inicijativa i politika EU-a	18
3. TEHNIČKI ASPEKTI NUŽNI ZA PROVEDBU AGROSOGLARNIH PROJEKATA	20
4. PREGLED PRAVNIH SUSTAVA ZA AGROSOGLARE U DRUGIM DRŽAVAMA EU-a	30
5. MODELI FINANCIRANJA PROVEDBE AGROSOGLARNIH PROJEKATA	38
6. STANJE NA TRŽIŠTU AGROSOGLARA U HRVATSKOJ	41
6.1 Pravni okvir za agrosolarne projekte	42
6.2 Očekivani izazovi u provedbi agrosolarnih projekata	46
7. POLJOPRIVREDNI POTENCIJALI HRVATSKE ZA PRIMJENU AGROSOGLARNIH PROJEKATA	49
7.1 Uvod	50
7.2 Vinogradarstvo	53
7.2.1 Uvod	53
7.2.2 Rezultati dosadašnjih istraživanja – prednosti i izazovi	54
7.2.3 Studije slučaja referentnih projekata	55
7.2.4 Struktura vinogradarskih površina u Hrvatskoj	57
7.2.5 Zaključci i preporuke	58
7.3 Voćarstvo	59
7.3.1 Uvod	59
7.3.2 Rezultati dosadašnjih istraživanja – prednosti i izazovi	60
7.3.3 Studije slučaja referentnih projekata	62
7.3.4 Struktura uzgoja voća u Hrvatskoj	65
7.3.5 Zaključci i preporuke	68
7.4 Uzgoj aromatičnoga i ljekovitog bilja	69
7.4.1 Uvod	69
7.4.2 Rezultati dosadašnjih istraživanja – prednosti i izazovi	69
7.4.3 Studije slučaja referentnih projekata	70

7.4.4 Struktura proizvodnje ljekovitoga bilja u Hrvatskoj	72
7.4.5 Zaključci i preporuke	76
7.5 Povrćarstvo	76
7.5.1 Uvod	76
7.5.2 Rezultati dosadašnjih istraživanja – prednosti i izazovi	77
7.5.3 Studije slučaja referentnih projekata	78
7.5.4 Struktura uzgoja povrća u Hrvatskoj	79
7.5.5 Zaključci i preporuke	84
7.6. Proizvodnja žitarica, industrijskoga i krmnog bilja	84
7.6.1 Uvod	84
7.6.2 Rezultati dosadašnjih istraživanja – prednosti i izazovi	85
7.6.3 Studije slučaja referentnih projekata	87
7.6.4 Struktura proizvodnje žitarica te industrijskoga i krmnog bilja u Hrvatskoj	88
7.6.5 Zaključci i preporuke	91
7.7 Travnjaštvo i stočarstvo	91
7.7.1 Uvod	91
7.7.2 Rezultati dosadašnjih istraživanja – prednosti i izazovi	92
7.7.3 Studije slučaja referentnih projekata	95
7.7.4 Struktura travnjaka i stočarstva u Hrvatskoj	96
7.7.5 Zaključci i preporuke	97
7.8 Ribnjačarstvo/plutajuće FN elektrane	98
7.8.1 Uvod	98
7.8.2 Rezultat dosadašnjih istraživanja – prednosti i izazovi	99
7.8.3 Studije slučaja referentnih projekata	102
7.8.4 Struktura slatkovodne (ciprinidne) akvakulture u Hrvatskoj	104
7.8.5 Zaključci i preporuke	105
8. PROCIJENJENI ULAGAČKI POTENCIJALI U AGROSOLARE U HRVATSKOJ	107
8.1 Opća razmatranja	108
8.2 Prepostavke za procjenu kapitalnih izdataka	109
8.3 Procjena investicijskih potencijala u agrosolarne projekte	111
9. ZAVRŠNI ZAKLJUČCI I PREPORUKE	114
10. LITERATURA	119
11. POPIS TABLICA	128
12. POPIS SLIKA	130

PREDGOVOR

Hrvatska obiluje suncem i plodnom zemljom. Ova dva prirodna resursa sada treba objediniti u proizvodnji energije. Samo dva mjeseca prije objave ove studije, nove izmjene zakona dopustile su postavljanje solarnih fotonaponskih sustava na poljoprivrednim površinama koje zauzimaju višegodišnji nasadi poput vinograda i voćnjaka. Kako pokazuje ova studija, obradivo zemljište bi također imalo znatne koristi od dvostrukе namjene, kombinirajući poljoprivredu i solarnu energiju.

Studija o potencijalu uporabe solarne energije u sektoru poljoprivrede i slatkovodne akvakulture, koju financira EBRD, četvrta je po redu izrađena studija u suradnji s udruženjem Obnovljivi izvori energije Hrvatske. Naša prethodna studija, objavljena u svibnju 2023., identificirala je potencijal od više od 25 GW kapaciteta vjetroelektrana na moru, u područjima smanjenog utjecaja na okoliš na sjevernom Jadranu.

Trenutno, Hrvatska uvozi trećinu svoje potrošnje električne energije, dok proizvodi tri puta manje solarne energije od zemalja poput Estonije. To se može promijeniti korištenjem agrosolarnog potencijala.

Ukoliko bi se agrosolari implementirali na samo 1% raspoloživog poljoprivrednog zemljišta, kako je to definirano ovom studijom, Hrvatska bi mogla instalirati do 900 MW novih solarnih kapaciteta što je pet puta više od 182 MW, koliko trenutno ima. Ukoliko bi se pak iskoristilo samo 5% poljoprivrednog zemljišta, raspoloživog za instalaciju agrosolarnih elektrana, bilo bi moguće instalirati do 4.7 GW električne energije, što je približno jednako ukupnom kapacitetu za proizvodnju

električne energije u Hrvatskoj (preko 5 GW u 2023.). Solarna energija, najjeftiniji i najbrže rastući izvor energije, ne samo da može zamjeniti uvoz fosilnih goriva, već i nadopuniti hidroenergiju, na koju znatno utječe i klimatske promjene poput suša.

Kada govorimo o agrosolarima, nije riječ samo o energiji. Kako ljeta postaju toplija, poljoprivrednici i stočari će sve veću pažnju morati posvetiti jačanju otpornosti svoje proizvodnje tako što će morati osigurati više zasjenjivanja i navodnjavanja usjevima i stoci. Ova studija pokazuje da bi, korištenjem agrosolara, poljoprivredna gospodarstva mogla povećavati prinose, primjerice vinove loze, bobičastog voća, koštuničavog voća, lisnatog povrća i drugih usjeva. Solarni fotonaponski sustavi na farmama i slatkovodnim ribnjacima stvaranjem sjene utječu na smanjeno isparavanje vode, što uz trenutno globalno zatopljenje, postaje sve važnije. Usjevi ili trava koji rastu ispod panela, pak, smanjuju potrebu za hlađenjem solarnih ploča, čineći ih učinkovitijima.

Istodobno korištenje poljoprivrednog zemljišta za proizvodnju hrane i energije već se prakticira u više europskih zemalja; iskustva iz Njemačke, Francuske, Italije, Španjolske, Grčke, Nizozemske i Austrije detaljno su prikazana u ovoj studiji.

Hrvatski potencijal obnovljive energije iz različitih izvora je izniman – vjetar na kopnu i na moru, primjena konvencionalnih i platujućih fotonaponskih panela za proizvodnju električne energije, geotermalna energija. Vrijeme je da ovaj potencijal počnemo pre-

tvarati u stvarnost uklanjanjem regulatornih i administrativnih prepreka za nove projekte obnovljivih izvora energije. Po donošenju izmjena Zakona o prostornom uređenju te povezanih podzakonskih akata, stvorene su osnovne pravne pretpostavke za intenzivnu implementaciju agrosolara, čime Hrvatska zaista ima priliku postati europskom solarnom velesilom.

Victoria Zinchuk

Regionalna direktorica za srednju Europu
Europska banka za obnovu i razvoj

INFORMATIVNI SAŽETAK

Klimatske promjene postaju sve veća prijetnja u 21. stoljeću s obzirom na to da utječu na učestalost i intenzitet ekstremnih vremenskih prilika koje ugrožavaju posebice poljoprivredni sektor jer uzrokuju promjene razdoblja rasta i niže prinose svih poljoprivrednih kultura te veću ovisnost o vodi.

Agrosunčane elektrane (ASE), poznate i pod nazivom agrosolari, moguće bi poslužiti kao rješenje za povećanje proizvodnje energije i poljoprivredne produktivnosti bez zauzimanja dodatnih površina. Velik broj studija pokazao je da je kombinacijom fotonaponskih (FN) sustava s poljoprivrednom proizvodnjom moguće zaštiti poljoprivredne usjeve od viška solarne energije i od olujnog nevremena te održati ili čak povećati prinose usjeva s obzirom na to da agrosolari stvaraju modificiranu mikroklimu ispod modula tako što mijenjaju temperaturu zraka, relativnu vlažnost, brzinu vjetra, smjer vjetra i vlažnost tla.

Najčešća definicija agrosolara uključuje elemente kao što su dvojno i sinergijsko korištenje poljoprivrednog zemljišta za poljoprivredu proizvodnju i za proizvodnju energije, pri čemu uzgoj i održavanje poljoprivredne proizvodnje mora biti glavna i primarna djelatnost, dok ugradnja fotonaponskih sustava na isto poljoprivredno zemljište treba biti sekundarna i komplementarna djelatnost koja „služi“ poljoprivrednoj proizvodnji i štiti je od nepovoljnih uvjeta uzgoja.

U posljednjih nekoliko godina, koncept agrosolara prisutan je u cijelom svijetu (uključujući i Europu) s različitim vrstama agrosolarnih projekata koji su pokrenuti (uključujući neke pilot-projekte istraživačkog tipa čija je provedba u tijeku), a koje prati razvoj napredne tehnologije i uvođenje sofisticiranijeg prav-

nog okvira uspostavljenog posebno za tržište agrosolara.

Hrvatska je također u tijeku s tim aktualnim trendovima. U skladu s najnovijim promjenama u zakonodavstvu, stvoreni su relativno čvrsti pravni temelji za pripremu i razvoj prvih agrosolarnih projekata primjenjivih za višegodišnje nasade poljoprivrednih kultura koji su upisani u evidenciju ARKOD, kao i za ribnjake.

Unatoč tome, tržište agrosolara trebalo bi dodatno regulirati na sustavniji i sveobuhvatniji način koji bi obuhvatilo institucionalne i administrativne uvjete za odobravanje i praćenje takvih projekata kako bi se osigurao nastavak poljoprivredne proizvodnje nakon ugradnje agrosunčanih elektrana. Budući da agrosolarse projekte treba promatrati kao agrotehničku mjeru djelomičnog zasjenjivanja, nužno je osigurati da su poduzete sve mjere za sprječavanje negativnog utjecaja na tlo i biljke. Stoga bi trebalo ustanoviti norme i najbolje prakse za agrosolarne projekte koje bi uključivale tehničke smjernice za dizajn, gradnju i rad agrosolarnih sustava.

Na temelju intenzivnog rada koji je rezultirao ovom studijom, zaključuje se da bi vinogradarstvo, voćarstvo, uzgoj aromatičnoga i ljekovitog bilja, travnjaštvo i ribnjačarstvo bili najpogodniji za primjenu agrosunčanih elektrana, dok se za povrće, žitarice, industrijsko i krmno bilje smatra da još nisu prikladni za njihovu primjenu te da bi se u tom smislu mogli pokrenuti tek manji projekti istraživačkog tipa.

Konkretnije, vinova loza, maslina, američka borovnica, haskap, malina, sibirski kivi, marelica, trešnja i višnja bile bi najprikladnije poljoprivredne kulture za primjenu agrosolara.

Očekuje se da će aromatične sorte vinove loze bolje reagirati na sniženje temperature i UV zračenja, što će im pomoći održati njihove sortne arome. Za jabuke, kruške, borovnice, kivi, breskve, nektarine, dunje i jagode preporučuje se primjena agrosolara ovisno o sorti. Žute i zelene sorte jabuka, kao što su Golden Delicious ili Granny Smith, imat će koristi od FN panela postavljenih iznad voćnjaka jer će se tako spriječiti promjena njihove boje u crvenu.

Prema metodologiji koja je primijenjena u ovoj studiji, uzimajući u obzir sve čimbenike koji ograničavaju stvarnu provedbu agrosolarnih projekata te na temelju postojećih podataka o raspoloživim zemljиштima većima od 1 ha za sve prikladne poljoprivredne kulture, pretpostavlja se da bi se, ako bi se 1 % raspoloživoga zemljишta koristilo za APV projekte, moglo instalirati do 900 MWp kapaciteta solarne energije, što se načelno može povećati do 4.700 MWp instaliranog kapaciteta ako se 5 % raspoloživog zemljишta koristi za agrosolarne sustave. U tom pogledu, značajno ograničenje zasigurno će biti raspoloživost postojeće distribucijske i prijenosne mreže koja se trenutačno procjenjuje na približno 2.100 MWp instaliranog kapaciteta za sve vrste energetskih projekata.

Još jedan važan izazov za uspješnu provedbu agrosolarnih projekata moglo bi biti dobijanje potrebne podrške svih relevantnih dionika, kao što su kreatori politika, poljoprivrednici i poljoprivredni uzgajivači te njihova udruženja. Stoga bi trebalo izraditi komunikacijsku strategiju kako bi se svim dionicima, a posebno poljoprivrednicima i poljoprivrednim proizvođačima, pružile objektivne informacije o mogućim prednostima i ograničenjima primjene agrosolara. Educiranje javnosti

o prednostima ASE-a, organiziranje javnih događanja i demonstracija te isticanje primjera uspješnih projekata može pomoći u izgradnji javne svijesti i podrške primjeni agrosolara.

Kako bi se olakšao razvoj manjih agrosolarnih projekata, može se razmotriti razvoj programa poticaja putem bespovratnih sredstava i/ili poticajnih cijena kao načina pružanja specifične financijske i tehničke potpore poljoprivrednicima i zajednicama za razvoj takvih projekata.

Naposljeku, relevantne državne ustanove i znanstvene zajednice trebale bi poticati kontinuirana znanstvena istraživanja agrosolarnih projekata, što bi uključivalo uspostavu odgovarajućih programa financijske potpore, kao i druge načine tehničke podrške, obuke i edukacije uzgajivača i drugih dionika u vezi s postavljanjem, održavanjem i praćenjem agrosolarnih projekata.

POPIS KRATICA

Kratica	Naziv
ARKOD	evidencija uporabe poljoprivrednog zemljišta
ASE	agrosolarna elektrana, agrosunčana elektrana
BDP	bruto domaći proizvod
CAPEX	kapitalni izdaci
CDPENAF	Commission départementale de préservation des espaces naturels, agricoles et forestiers
DZS	Državni zavod za statistiku
EU	Europska unija
FN	fotonaponski
FNSEA	Fédération nationale des syndicats d'exploitants agricoles
GHG	staklenički plinovi
HOPS	Hrvatski operator prijenosnog sustava
kWp	vršni kilovat
LED	svjetleće diode
MWh	megavat sat
MWp	vršni megavat
NGEU	Next Generation EU
NGO	nevladina organizacija
NUTS	Nacionalna klasifikacija statističkih regija
OIE	obnovljivi izvori energije
PFNE	plutajuće fotonaponske elektrane
PNRR	Piano Nazione di Ripresa e Resilienza
POSP	polupropusni organski solarni paneli
PPA	ugovori o otkupu električne energije
ZIO	zaštićeni izvor originalnosti

1. UVOD

Klimatske promjene postaju sve veća prijetnja u 21. stoljeću. To je izazov za cijelo čovječanstvo jer utječe na sve aspekte okoliša i gospodarstva i ugrožava održivi razvoj društva. Klimatske promjene utječu na učestalost i intenzitet ekstremnih vremenskih prilika (iznimne količine oborina, poplave i bujične poplave, erozije, oluje, suše, toplinski valovi i požari) te tako uzrokuju postupne devijacije u okolišu (porast temperature zraka, tla i površine vode, podizanje razine mora, zakiseljavanje mora i širenje suhih područja).

Poljoprivredni sektor posebno je osjetljiv na sveprisutne učinke klimatskih promjena. Očekivane posljedice u poljoprivrednom sektoru, među ostalim, obuhvaćaju: (i) promjene u razdobljima rasta poljoprivrednih kultura, s naglaskom na usjeve i uljarice (npr. kukuruz, šećerna repa, soja itd.); (ii) slabije urode svih poljoprivrednih kultura; i (iii) veću ovisnost o vodi.

Brojne klimatološke studije upozoravaju na promjene u klimi Sredozemlja, kako analizom izmjerениh vrijednosti, tako i uporabom klimatskih simulacija. Hrvatska se nalazi u osjetljivom području Europe, kao svojevrsna tranzitna zona između središnje Europe i Sredozemlja, stoga je u cijeloj Hrvatskoj prisutan trend porasta prosječne godišnje temperaturе zraka. Uočena je i velika varijabilnost kada je riječ o izmjerenim ekstremnim oborinama, od jakih suša do velikih poplava. Brojne klimatološke studije provedene na regionalnim klimatskim modelima pokazuju da će ekstremne vrijednosti temperatura i oborina u Europi nadalje poprimati samo još veće razmjere.

Poljoprivredni je sektor zbog svoje ovisnosti o vremenskim prilikama posebno osjetljiv na klimatske promjene. Ekstremne vremenske prilike, kao što su suša i tuča, u Hrvatskoj su

rezultirale prosječnim gubicima od 76 milijuna eura godišnje u razdoblju od 2000. do 2007. godine, dakle 0,6 % nacionalnog BDP-a¹. Klimatske promjene utječu na promjenu trajanja/duljine razdoblja rasta poljoprivrednih kultura i slabljenje uroda. Česte suše uzrokovat će veću potražnju za vodom za navodnjavanje. Dulja vegetacijska razdoblja na određeni će način omogućiti i uzgoj nekih novih kultura i sorti, no, s druge strane, češće poplave i stagniranje površinskih voda smanjit će ili uništiti urode.

Istodobno, na međunarodnoj razini, kao i na razini EU-a postoje različiti strateški dokumenti, strategije i provedbeni planovi kojima je cilj smanjenje emisija CO₂, i to odmicanjem od uporabe fosilnih goriva te poticanjem korištenja obnovljivih izvora energije (OIE) u proizvodnji električne energije, uglavnom s fokusom na potencijale vjetra i sunca.

Intenzivno korištenje solarne (fotonaponske) energije u poljoprivrednom sektoru i sektoru slatkovodne akvakulture moglo bi imati značan utjecaj na sprječavanje ili smanjenje potencijalne štete uzrokovane klimatskim promjenama. Projekti usredotočeni na uporabu solarne energije u poljoprivrednom sektoru obično se objedinjuju pod nazivom agrosolari (u ovoj se studiji također koriste i nazivi agrosunčane elektrane, agrosolarne elektrane ili ASE). Agrosolari su pristup u nastajanju koji nastoji kombinirati poljoprivredu i proizvodnju solarne energije na istoj parceli. To se može postići podizanjem solarnih modula i povećanjem prostora između redova, zadržavajući pritom poljoprivredne aktivnosti na tlu ispod ili između modula.

Promicanjem intenzivne sinergije između projekata na temelju solarne energije i sek-

¹ The World Bank Group

tora poljoprivrede i akvakulture mogu se postići višestruki učinci, kao što je fizička zaštita određenih usjeva (npr. vinograda, maslinika i pašnjaka) od određenih ekstremnih vremenskih prilika (toplinski valovi, ekstremna količina oborina), što može imati pozitivan utjecaj na količinu uroda i kvalitetu proizvoda. Osim učinka na poljoprivrednu proizvodnju, primjena agrosolara povećava profitabilnost poljoprivrede stvaranjem dodatnih prihoda putem proizvodnje energije².

S obzirom na znatan i naširoko prepoznat potencijal, koji je već utvrđen raznim istraživanjima i pilot-projektima, primjena agrosolara u posljednjih je nekoliko godina u različitim dijelovima svijeta (SAD, Azija – npr. u Japanu i Južnoj Koreji, kao i u različitim europskim državama) uvelike intenzivirana. Unatoč tome, s obzirom na to da je riječ o relativno novom konceptu, još uvijek postoje ozbiljni izazovi i prepreke (pravni, tehnički, ekološki, finansijski itd.) koje valja nadići kako bi došlo do uspješne kombinacije dvaju sektora. Neki od izazova u odnosu na razvoj hrvatskoga tržišta agrosolara, bit će također raspravljeni u sklopu ove studije.

Stoga je glavna svrha ovog dokumenta napraviti detaljnu analizu mogućnosti provedbe agrosolarnih projekata u Republici Hrvatskoj, i to uzimajući u obzir postojeća iskustva s agrosolarnim sustavima i projektima u nekim od drugih zemalja EU-a, različita znanstvena istraživanja i studije slučaja o opravdanosti primjene agrosolara na različite poljoprivredne kulture, kao i sveukupne poljoprivredne potencijale Republike Hrvatske u pogledu prikladnosti različitih kultura za primjenu agrosolara. Također, drugi aspekti kao što su postojeći pravni okvir, različiti modeli financiranja, mogući izazovi u primjeni agrosolarnih

projekata, kao i procjena investicijskih potencijala bit će također predstavljeni u ovoj studiji.

Rezultat tog pothvata je ova dvojezična studija kojoj je cilj predstaviti poljoprivredne potencijale provedbe agrosolarnih projekata u Hrvatskoj, obrazložiti glavne prednosti i moguće izazove koji dolaze uz primjenu agrosolarnih projekata, iznijeti odgovarajuće zaključke te preporučiti mjere koje je potrebno poduzeti kako bi se uspostavio uspješan sustav primjene agrosolara u Hrvatskoj.

² Weselek et al., 2019.

2. PREGLED PRIMJENE OIE U POLJOPRIVREDNOM SEKTORU

2.1 POLJOPRIVREDNA PROIZVODNJA I KLIMATSKE PROMJENE

Mnoge klimatološke studije upozoravaju na ozbiljan utjecaj klimatskih promjena na poljoprivrednu proizvodnju. Prema posljednjem izvješću Međuvladina povjerenstva za klimatske promjene (IPCC, 2022.), Zemlja bi trebala dosegnuti razinu planetarnog zagrijavanja od $1,5^{\circ}\text{C}$ u sljedeća dva desetljeća. Povjerenstvo je zaključilo da bi samo najdrastičnije smanjenje emisija ugljika u što kraćem roku moglo igrati ulogu u sprječavanju ekološke katastrofe. Klimatološke studije provedene na regionalnim klimatskim modelima pokazuju da će ekstremne vrijednosti temperature i oborina u Europi nadalje poprimati samo još veće razmjere. Brojne studije upozoravaju na promjene u klimi Sredozemlja, kako analizom mjerenja³, tako i uporabom klimatskih simulacija⁴.

Hrvatska se nalazi u osjetljivom području Europe u kojem je već neko vrijeme prisutan trend porasta prosječne temperature (ekstremne vremenske prilike poput suše i tuče rezultirale su prosječnim gubitkom od 76 milijuna eura godišnje u razdoblju od 2000. do 2007. godine, odnosno 0,6 % nacionalnog BDP-a⁵).

Poljoprivreda se suočava s izazovom proizvodnje dovoljne količine hrane, stočne hrane i vlakana kako bi zadovoljila povećanu potražnju u uvjetima promjenjive klime i iscrpljivanja prirodnih resursa.⁶ Porast temperature iznad optimalne vrijednosti postaje ozbiljan problem jer većina poljoprivrednih kultura izravno ovisi o klimatskim uvjetima. Sve češće promjene područja uzgoja, duljine razdoblja

rasta, potencijal prezimljavanja, pojava mraza i tuče, slabiji urodi i lošija kvaliteta hrane neke su od najočitijih posljedica globalnog zatopljenja⁷. Zapažanja pokazuju povećanje učestalosti zatopljenja i povezanih ekstremnih vremenskih prilika.⁸

Zbog zagrijavanja biljke ubrzavaju svoj godišnji ciklus rasta i preskaču određene faze, posljedica čega je smanjenje količine uroda. Sve u svemu, i zimske i ljetne kulture prolaze kroz ubrzane faze nicanja, cvatnje i sazrijevanja kao reakcija na više temperature, a predviđa se da će se trajanje ciklusa rasta kultura općenito smanjiti.⁹ Toplotno opterećenje nedvojbeno negativno utječe na zdravlje i dobrobit životinja. Ti okolišni uvjeti mogu biti štetni za zdravlje stoke u obliku poremećaja rada metabolizma, oksidativnog stresa i narušavanja imuniteta, što uzrokuje infekcije i smrt. Neizravni učinci povezani su s promjenom dostupnosti i kvalitete stočne hrane i pitke vode, kao i s preživljavanjem i redistribucijom patogena i/ili njihovih prijenosnika.¹⁰ Porast temperature potaknut će rast i razvoj insekata zbog povećanja zemljopisne rasprostranjenosti i prezimljavanja (hibernacije).¹¹

Uočena je znatna varijabilnost izmijerenih ekstremnih oborina, od jakih suša do velikih poplava. U svakom slučaju, povećanje temperature ide ruku pod ruku s nestašicom vode, što može biti štetno za poljoprivredne sustave, osobito u polusušnim područjima poput južne Europe.¹² Posljedično, česte suše dovest će do veće potražnje za vodom za navodnjavanje kako bi se izbjeglo smanjenje uroda. Navodnjavanje poljoprivrednih površina odgovorno je za oko 70 % crpljenja slatke vode na glo-

⁷ Jones et al., 2005.

⁸ Lotze-Campen i H.-J. Schellnhuber, 2009.

⁹ Moriondo et al., 2010.

¹⁰ Lacetera, 2018., Bernabucci, 2019.

¹¹ Ziska i Runion, 2007.

¹² Agovino et al., 2018.

balnoj razini.¹³ S druge strane, veće količine oborina mogle bi dobro poslužiti polusušnim područjima tako što će automatski dovesti do veće vlažnosti tla, ali i pogoršati probleme u područjima s viškom vode.¹⁴ Češće poplave i stagniranje površinskih voda prorijedit će ili čak u uništiti usjeve.¹⁵ Klimatske promjene utječu na tlo povećanjem stope ispiranja hranjivih tvari i erozije tla.¹⁶ Iznimno obilne kiše te naglo izmjenjivanje snijega i kiše također će povećati stopu erozije.

Porast temperature na višim geografskim širinama sjeverne polutke podrazumijeva prodljenje razdoblja rasta za 1,2 do 3,6 dana po desetljeću.¹⁷ Dulja razdoblja rasta omogućit će i uzgoj nekih novih kultura i sorti. Neki usjevi koji trenutačno uglavnom rastu u južnoj Europi (npr. kukuruz, suncokret i soja) počet će nicati sjevernije ili na višim geografskim širinama na jugu.¹⁸ Literatura upućuje na to da je u zemljama u razvoju raznolikost usjeva jedna od najčešće korištenih *ex ante* mjera prilagodbe za suočavanje s klimatskim šokovima.¹⁹

Klimatske promjene također utječu i na dva glavna procesa dezertifikacije – eroziju i salinizaciju. Opasnost od erozije tla ovisi o erozivnosti izazvanoj klimatskim uvjetima, erodibilnosti tla i praksama upravljanja tlom i usjevima. Klimatske promjene mogu imati utjecaj na sve te parametre i uvelike povećati opasnost od erozije. Već prilično ozbiljan problem salinizacije tla također bi se mogao pogoršati predviđenim sušama uzrokovanim povećanjem potencijalne evapotranspiracije kao posljedice globalnog zatopljenja.²⁰ Poslje-

dice klimatskih promjena umanjuju kapacitet većine zemalja da zadovolje potrebe rastuće svjetske populacije za hranom, energijom i vodom.

2.2 UPORABA SOLARNE ENERGIJE U POLJOPRIVREDNOM SEKTORU

Klimatske promjene s druge su pak strane potaknule razvoj projekata na bazi obnovljivih izvora energije, s posebnim interesom za fotonaponske sustave, uključujući uporabu fotonaponskih sustava u poljoprivrednom sektoru (agrosolari).²¹

Ne postoji međunarodno priznata definicija agrosolara kao takvih. Izraz „agrosolar“ (od eng. „agrivoltaics“ ili „agriphotovoltaics“) prvi je put predložen 1982. godine, a podrazumijeva proizvodnju električne energije i sadnju usjeva na istom poljoprivrednom zemljištu. Engleska riječ „agrivoltaic“ neologizam je koji se sastoji od etimološke jedinice „agro“ za poljoprivredu i „voltaics“ za fotonapon.²² Jedna od definicija izložena je u nedavnom nješto kom normativnom aktu naziva „DIN SPEC 91434:2021-05 – Agrosolarni sustavi – Zahtjevi za primarnu poljoprivrednu uporabu“²³, a osobito je naglašena važnost poljoprivredne komponente:

„Agrosolari, odnosno agrosolarni sustavi podrazumijevaju kombiniranu uporabu jedne te iste površine zemljišta, u prvome redu za poljoprivrednu proizvodnju, a zatim za proizvodnju električne energije putem FN sustava. Dvojna namjena zemljišta ne samo da dovodi do povećanja ekološke i ekonomske učinkovitosti uporabe zemljišta, nego u praksi može rezultirati i pozitivnim sinergijskim

¹³ Gitay et al., 2001.

¹⁴ Agovino et al., 2018.

¹⁵ The World Bank Group, 2021.

¹⁶ Lotze-Campen and H.-J. Schellnhuber, 2009.

¹⁷ Gitay et al., 2001.

¹⁸ Audsley et al., 2006.

¹⁹ Macours et al., 2012.

²⁰ Rengasamy, 2006.

²¹ IPCC, 2022.

²² Challenges for Agrivoltaics in the International Context, Master's Thesis Maximilian Vorast. 2022.

²³ DIN 2021.

učincima između poljoprivredne proizvodnje i agrosolarnog sustava.”²⁴

Agrosolari obuhvaćaju i pojmove kao što su agrosolarni sustavi, agrosolarne elektrane ili agrosunčane elektrane²⁵, skraćeno ASE. U ovoj studiji koristit će se svi navedeni termini.

U nekim se zemljama agrosolarni projekti odnose i na projekte u sklopu kojih poljoprivrednici postavljaju solarne panele na krovove zdanja na svojim zemljištima, i to u svrhu korištenja tako dobivene energije za vlastite potrebe. Budući da u tom slučaju nema dvojne uporabe zemljišta, što je ključni element da bi projekt bio definiran kao agrosolar, tako vrste projekata neće biti predmet analize obuhvaćene ovom studijom.

Velik broj studija pokazao je kako je moguće kombinirati fotonaponski (FN) sustav s poljoprivrednom proizvodnjom, čime se omogućuje razvoj ASE-a u većim razmjerima, a istodobno se štite poljoprivredni usjevi i održavaju prinosi.²⁶ Glavna je prednost agrosolara tzv. produktivnost zemljišta tijekom zime, kada poljoprivredna proizvodnja nije moguća na otvorenom. Mnoga istraživanja pokazuju kako je moguće povećati prinos usjeva pomoću FN sustava.²⁷ To je moguće jer agrosolari stvaraju modificiranu mikroklimu ispod modula tako što mijenjaju temperaturu zraka, relativnu vlažnost, brzinu vjetra, smjer vjetra i vlažnost tla.²⁸ Agrosolari štite usjeve i od viška solarne energije i od olujnog nevremena, poput tuče.²⁹

²⁴ Challenges for Agrivoltaics in the International Context, Master's Thesis Maximilian Vorast, 2022.

²⁵ Termin „agrosunčane/agrosolarne elektrane“ koristi se i u nedavnoj usvojenoj Uredbi o kriterijima za provođenje javnog natječaja za izdavanje energetskog odobrenja i uvjetima izdavanja energetskog odobrenja (Narodne novine, broj: 70/2023).

²⁶ Marrou et al. 2013a; Guerin et al., 2019.; Pascaris et al., 2020.; Pascaris et al., 2021.

²⁷ Hudelson et al., 2021.; Trommsdorff et al., 2021.

²⁸ Adeh et al., 2018.

²⁹ Dupraz et al., 2011.

Agrosolari također utiru put učinkovitijoj uporabi vode, što može pomoći u smanjenju njezine potrošnje.³⁰ To je osobito važno za suha područja, gdje prevladavaju nepovoljni uvjeti uzgoja, kao što su prekomjerna sunčeva svjetlost, visoke temperature i jake suše (nestašica vode).

Kada se nastoje opisati izazovi povezani s agrosolarama, pojam dijeljenje solarne energije vjerojatno je najbolji način za dočaranje situacije. Dijeljenje solarnog izvora za istodobnu proizvodnju hrane i energije podrazumijeva da ustroj fotonaponskog sustava ne može uvjek slijediti standardni pristup u sklopu kojeg je orientacija panela namijenjena optimizaciji proizvodnje energije i u kojem bi ustroj sustava mogao biti u suprotnosti s optimiziranim proizvodnjom hrane.³¹ Stoga je potrebno primijeniti prilagodbe sustava lokalnoj klimi, vrsti usjeva ili obliku zemljišta.³²

Agrosolari kao koncept, odnosno pristup, uključuju više različitih tehnologija, koje su određene specifičnim načinom kombiniranja poljoprivredne proizvodnje i primjene fotonaponskih sustava.³³

Raznolikost agrosolarnih rješenja koju su predložili Gorjian i suradnici³⁴ detaljno je prikazana na Slici 1. Prva se razlika odnosi na činjenicu jesu li moduli ugrađeni na otvoreno polje ili na krov. Potpuno neprozirni krovovi mogu biti povezani s poljoprivrednim zgradama, čak i s uzgojem u zatvorenom prostoru, ali nije naznačena nikakva izravna interakcija između FN sustava (osim uporabe električne energije) i poljoprivrednih aktivnosti.

³⁰ Marrou et al., 2013b; Elamri et al., 2018.

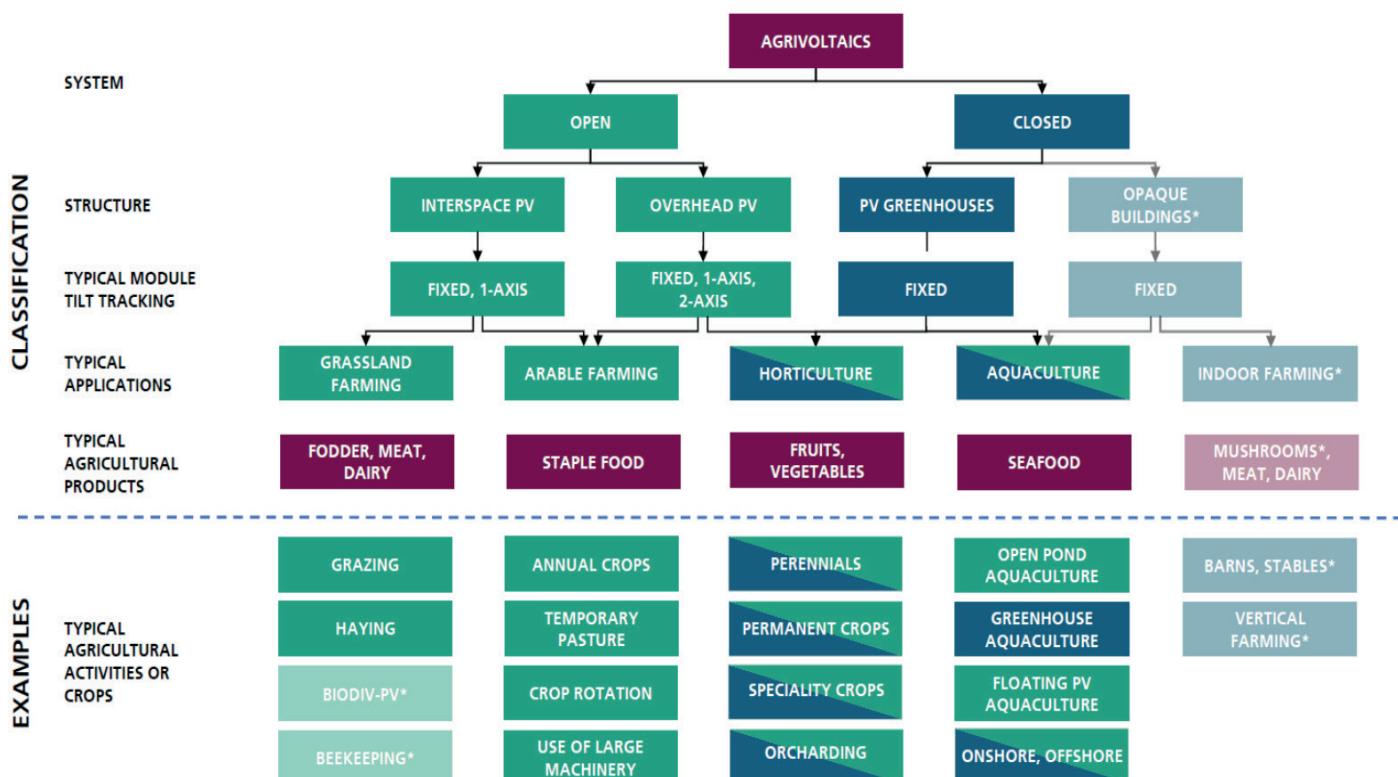
³¹ Toledo i Scognamiglio, 2021.; Trommsdorff et al., 2021.

³² Padilla et al., 2022.

³³ Challenges for Agrivoltaics in the International Context, Master's Thesis Maximilian Vorast, 2022.

³⁴ Gorjian et al., 2022.

Slika 1. Prijedlog kategorizacije agrosolarnih sustava



* Typically not considered as agrovoltaics

Izvor: Gorjian et al., 2022. godine

Akvakultura i hortikultura također se mogu kombinirati s fotonaponskim sustavima na otvorenom ili u staklenicama. Sustavi na otvorenom nadalje se razlikuju po tome odvija li se uzgoj usjeva između redova modula, u međuprostoru, ili ispod modula s većim vertikalnim razmakom, dok se fotonaponski paneli nalaze iznad. Ti sustavi mogu biti fiksno nagnuti, pratiti jednu ili dvije osi. Budući da je kompatibilnost s poljoprivrednim strojevima glavni kriterij ustroja agrosolara, pretpostavlja se da je međuprostorni agrosolar uglavnom usmjeren na poljoprivredno gospodarstvo s travnjacima, proizvodnju stočne hrane i ispašu, dok nadzemni sustav ima veći kapacitet za uzgoj raznih stabilnih prehrabnenih poljoprivrednih kultura na obradivim površinama, kao i za hortikulturu, uključujući višegodišnje i trajne nasade te specijalizirane kulture.³⁵

³⁵ Challenges for Agrivoltaics in the International Context, Master's Thesis Maximilian Vorast, 2022.

2.3 AGROSOLARI U KONTEKSTU INICIJATIVA I POLITIKA EU-A

Na razini EU-a u posljednjih su nekoliko godina usvojene različite vrste strateških i zakonodavnih dokumenata s ciljem smanjenja emisija CO₂ te posljedičnog poticanja primjene različitih projekata OIE-a.³⁶ To je posebno bio slučaj 2022. godine, kada je Europska komisija predstavila plan REPowerEU kao svoj odgovor na neravnotežu na globalnom tržištu energije uzrokovano ruskom invazijom na Ukrajinu. Mjere u sklopu plana REPowerEU streme

³⁶ Europska komisija, Politički okvir za klimu i energiju u razdoblju od 2020. do 2030. godine, COM/2014/015; Europska komisija, Čista energija za sve Europljane, COM/2016/0860; Europska komisija, Okvirna strategija za otpornu energetsku uniju s politikom o klimatskim promjenama okrenutom budućnosti, COM/2015/080; Europska komisija, Europski zeleni dogovor, COM (2019.) 640; Direktiva o obnovljivoj energiji, Direktiva (EU) 2018/2001, (RED II).

navedenom cilju putem uštede energije, diversifikacije opskrbe energijom te ubrzanog uvođenja obnovljivih izvora energije kako bi se zamjenilo fosilna goriva u domovima, industriji i proizvodnji električne energije.³⁷

Pod okriljem navedenoga plana Europska komisija usvojila je Strategiju EU-a za solarnu energiju³⁸ koja nalaže višestruku uporabu prostora kao jedan od inovativnih oblika dodatne implementacije solarnih (fotonaponskih) projekata. Sukladno tom dokumentu, višestruka uporaba prostora može pridonijeti ublažavanju zemljišnih ograničenja povezanih s nadmetanjem za prostor, uključujući zaštitu okoliša, poljoprivredu i sigurnost opskrbe hranom.

Konkretno, pod određenim uvjetima, uporaba zemljišta u poljoprivredne svrhe može se kombinirati sa solarnom proizvodnjom u tzv. agrosunčanim elektranama (ASE). Prema navedenom dokumentu, dvije aktivnosti mogu uspostaviti sinergiju, pri čemu fotonačinski sustavi mogu pridonijeti zaštiti usjeva i stabilizaciji prinosa, dok poljoprivreda ostaje primarnom uporabom zemljišne površine. Države članice trebale bi razmotriti poticaje za razvoj ASE-a tijekom osmišljavanja svojih nacionalnih strateških planova za zajedničku poljoprivrednu politiku, kao i svoje okvire potpore za solarnu energiju (npr. integracijom agrosolara u podnošenje ponuda za obnovljive izvore energije). Također valja napomenuti kako pravila o državnim potporama u poljoprivrednom sektoru dopuštaju subvencije za ulaganja u održivu energiju.

Nadalje, zahvaljujući plutajućim fotonaponskim rješenjima, i površina vode može se ko-

ristiti za proizvodnju solarne energije. Plutajući fotonaponski paneli smanjuju isparavanje vode i mogu se spojiti na električne sustave brane, čime povećavaju ukupnu proizvodnju energije, iako se utjecaj na vodnu biocenu još uviјek istražuje.

Konačno, Komisija će razviti smjernice za države članice za promicanje razvoja inovativnih oblika primjene solarne energije navedenih u sklopu ove strategije.³⁹ Kako bi ispunila tu obvezu, Komisija je ugovorila studiju koja će istražiti potencijale i specifične prepreke takvim vrstama inovativnih oblika primjene solarne energije te identificirati slučajevе dobre prakse među državama članicama. Istraživanje će provoditi konzorcij koji je okupio Trinomics, Enerdata, Schoenherr, Fraunhofer ISE i DNV. To će istraživanje poslužiti kao osnova za smjernice čije se objavlјivanje očekuje u prvom tromjesečju 2024. godine.

Stoga je namjera da se na razini EU-a ubuduće podržavaju agrosolarni projekti u vidu dvojne namjene poljoprivrednog zemljišta, jasna, kao i to da se uskoro mogu očekivati konkretne smjernice po pitanju toga kako pristupiti takvим projektima.

Kada je riječ o iskustvima zemalja EU-a s agrosolarnim projektima, postoje različite prakse u pogledu pravnog okvira, vrste i veličine projekata, modela financiranja i tome slično, što će detaljnije biti obrađeno u idućim poglavljima kroz studije slučaja i primjere iz Njemačke, Italije, Francuske, Španjolske, Grčke, Nizozemske i Austrije.

³⁷ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_3131

³⁸ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022DC0221&from=EN>

³⁹ EU Solar Energy Strategy

3. TEHNIČKI ASPEKTI NUŽNI ZA PROVEDBU AGROSOLARNIH PROJEKATA

Tehnički pristupi integraciji fotonaponskih elektrana u poljoprivredu raznoliki su kao i sama poljoprivreda. ASE se može postaviti iznad „obradivog zemljišta“, „travnjaka“ i „staklenika“ (Slika 2.). Primjena agrosolara na oranične usjeve, poput trajnih ili jednogodišnjih i višegodišnjih kultura, obično iziskuje posebne sustave za održavanje za fotonaponske module prilagođene vrsti kultura, dok agrosolari na travnjacima obično koriste konvencional-

prinosa poljoprivrednih kultura i proizvodnju energije. Obično se redovi povišenih FN panela kombiniraju s nižim redovima usjeva na istom posjedu. Druga je mogućnost postaviti FN panele i posaditi usjeve ili voćke između njih.⁴¹ Nadalje, mogu se napraviti razne promjene i modifikacije kako bi se optimizirala integracija agrosolara, uključujući optimizaciju razmaka između redova modula, podešavanje visine postavljenih modula, konfiguriranje gu-

Slika 2. Fotonaponski moduli preko folija za staklenike



Izvor: BayWa r.e.

ne nosive strukture za fotonaponske sustave postavljene na tlu, ponekad uz određene manje prilagodbe.⁴⁰

Kada je riječ o projektiranju poljoprivrednih pogona s fotonaponskim sustavima, u tehničkom smislu postoji nekoliko načina za maksimiziranje uporabe zemljišta uz povećanje

stoće solarnih modula i podešavanje kuta nлага; međutim, svi radovi ovise o vrsti ASE-a, geografskim uvjetima i razdoblju rasta.⁴²

U agrosolarnim sustavima mogu se koristiti sve vrste solarnih modula. Strukturne promjene u solarnim modulima prije su se uglavnom svodile na razvoj što čvršćih struktura.

⁴⁰ Astydama, 2022.

⁴² Zainol Abidin et al., 2021.

Međutim, u novije vrijeme došlo je do napretka po pitanju korištenja vertikalnih bifacialnih polupropusnih fotonaponskih modula i solarnih sustava za praćenje. Cilj je minimizirati nadmetanje za sunčeve zračenje između fotonaponskih ćelija i poljoprivrednih kultura uz maksimiziranje proizvodnje energije i poljoprivrednih prinosa.⁴³

Moduli sa silicijskim solarnim ćelijama na bazi poluvodičkih pločica čine oko 95 % globalnoga fotonaponskog tržišta. Uobičajeni sastav podrazumijeva staklenu ploču s prednje i bijelu foliju za prekrivanje sa stražnje strane. Zahvaljujući prozirnoj poleđini (staklo, folija), praznine između ćelija propuštaju većinu svjetlosti, koja zatim dopire do biljaka koje se nalaze ispod. U konvencionalnim modulima razmaci između ćelija čine četiri do pet posto površine. Taj se prostor može povećati, a okviri modula zamijeniti stezalkama kako bi se povećao prijenos svjetla. Moduli s većim omjerom prozirne i ukupne površine mogu zaštititi biljke od okolišnih uvjeta bez smanjenja raspoložive količine svjetlosti.

Bifacialni moduli, također za proizvodnju električne energije, mogu koristiti okolnu svjetlost koja pada na poleđinu. Ovisno o intenzitetu zračenja na poleđini, prinos električne energije može se povećati do 25 % (obično između 5 i 15 %). Budući da razmak sa svakim redom postaje sve veći, a nosači obično viši, količina svjetlosti koja pada na poleđinu modula osobito je velika. Stoga su bifacialni moduli izuzetno prikladni za agrosolare. Još jedna prednost modula bifacialne staklene strukture je preostala čvrstoća u slučaju loma stakla. U vezi s tankoslojnim modulima identične strukture, njihova je masa po jedinici površine oko 500 g/m² (grama po metru četvornome) manja od modula sa silicijskim

solarnim ćelijama na bazi poluvodičkih pločica. Međutim, učinkovitost im je malo niža. I trošak po jedinici površine također je malo niži u slučaju tankoslojnih modula.⁴⁴ Polupropusni organski solarni paneli (POSP) pokazali su se učinkovitim zbog svoje sposobnosti filtriranja određenih valnih duljina svjetlosti.⁴⁵ Načelno, postoji mogućnost selektivne spektralne prilagodbe aktivnih slojeva POSP-a, što znači da mogu propušтati dio spektra sunčeve svjetlosti koji će koristiti biljke koje rastu ispod. Međutim, POSP još uvijek je u fazi uvođenja na tržište, a njegova su niska učinkovitost i vijek trajanja pritom temeljni izazovi. Trenutačno postoji vrlo malo dobavljača POSP-a i koncentratorskih fotonaponskih modula za agrosolarne sustave.⁴⁶

Kada je riječ o primjeni najprikladnijih tehničkih rješenja za agrosolarne projekte u Hrvatskoj, to će ovisiti o vrsti kultura, njihovoј potrebi za intenzitetom svjetlosti/sjene, obilježjima zemljišta i sl.

Dalje u tekstu izlažu se određene studije slučaja o projektnim istraživanjima koja ispituju različita tehnička rješenja u odnosu na različite vrste kultura u sklopu agrosolarnih projekata.

a. APV-RESOLA (NJEMAČKA)

Jedan od najopsežnijih projekata s obzirom na različite aspekte istraživanja provedenih u Njemačkoj je projekt zvan APV-RESOLA (Agrosolari – Učinkovita uporaba resursa i zemljišta), koji je trajao od 2015. do 2021. godine.⁴⁷ Fraunhofer ISE izvršio je uvodne simulacije u

⁴⁴ Fraunhofer ISE, 2022.

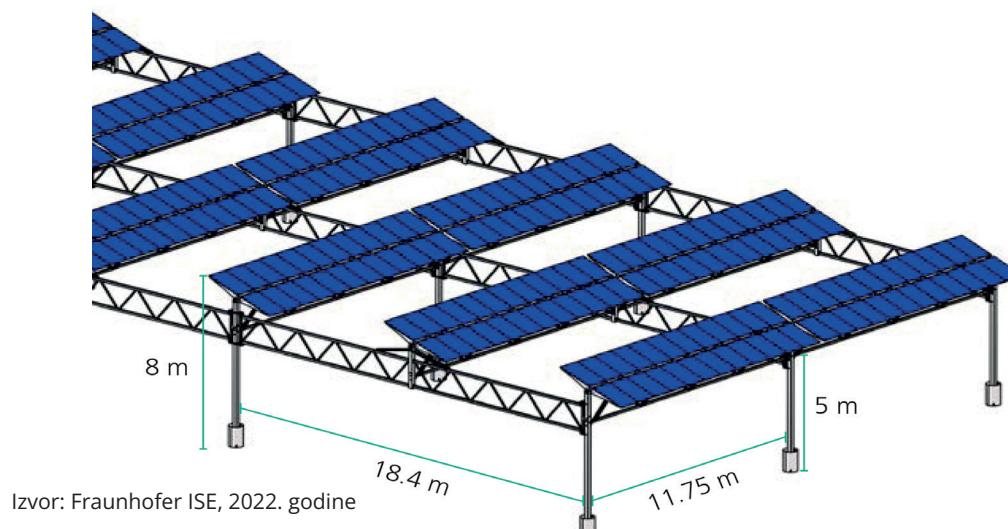
⁴⁵ Gauffin, 2022.

⁴⁶ Fraunhofer ISE, 2022.

⁴⁷ Projekt APV-RESOLA subvencioniralo je njemačko Savezno ministarstvo za obrazovanje i istraživanje (BMBF). Voditelj projekta bio je Fraunhofer institut za solarne energetske sustave ISE i nekoliko partnera. Glavni cilj projekta bio je istražiti osnove agrosolarne tehnologije i dokazati njezinu izvedivost (Fraunhofer ISE, 2022).

⁴³ Zainol Abidin et al., 2021.

Slika 3. Ilustracija agrosolarnog sustava u Heggelbachu. © AGRISOLAR Europe GmbH



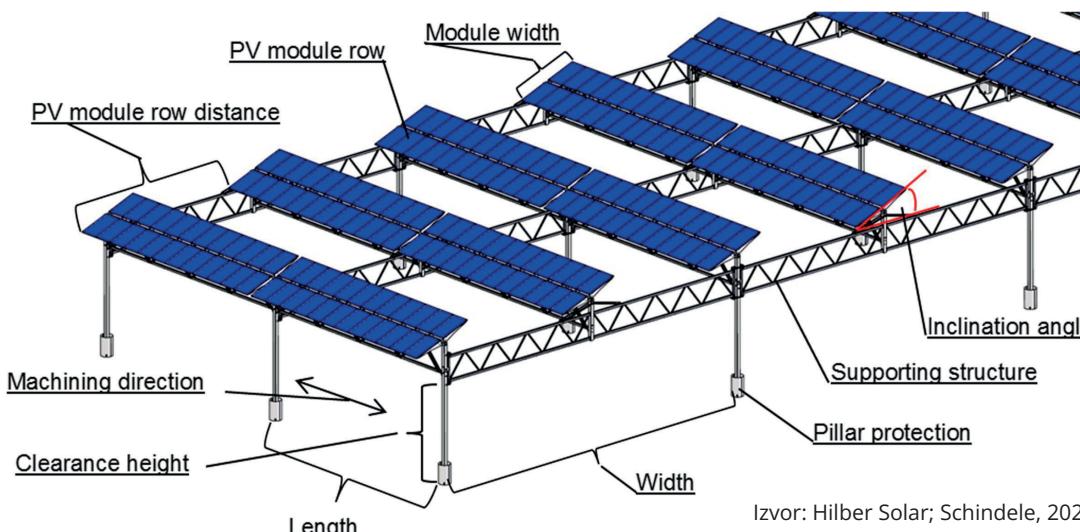
pogledu tehničke optimizacije agrosolarnih sustava. Iz toga je proizašlo mnogo istraživačkih radova, publikacija i dva izdanja agrosolarnih smjernica koje je objavio Fraunhofer ISE, a koji su također korišteni za svrhe ove studije. Taj projekt ne samo da je ispitao tehničke i ekološke, nego i ekonomске i društvene aspekte agrosolarne tehnologije. Obuhvaćeni su proizvodnja energije, proizvodnja usjeva, tehnološko projektiranje, ekomska izvedivost i društvena prihvatljivost.⁴⁸

Agrosolarni pilot (probni) sustav postavljen je na obradivo zemljište na poljoprivrednom

⁴⁸ Weselek, 2019.

dobru za ekološki uzgoj Hofgemeinschaft Heggelbach na području Bodenskoga jezera 2016. godine. Ukupna površina područja ispitivanja, koje uz agrosolarni sustav uključuje i referentno područje, iznosila je oko 2,5 ha, dok je agrosolarni sustav dimenzija 25 x 136 m postavljen na površinu od oko trećine hektara. Postavljeno je ukupno 720 dvostrukih bifacialnih staklenih fotonaponskih modula s okomitim razmakom od 5 m (ukupna visina FN polja iznosila je 8 m) i razmakom širine do 19 m (Slika 3.). Osnovni tehnički parametri ASE-a prikazani su na Slici 4. Bifacialni FN moduli koriste i prednju i stražnju stranu za pretvaranje solarne energije u električnu te tako

Slika 4. Osnovni tehnički parametri tehnologije agrosolarnog sustava



Izvor: Hilber Solar; Schindele, 2020. godine

Slika 5. Žetva pšenice u pokusnoj agrosolarnoj proizvodnji 2018. godine



Izvor: Farm community Heggelbach; Schindele, 2020. godine

Slika 6. Skupljanje krumpira pod FN panelima 2017. godine



Izvor: Farm community Heggelbach; Schindele, 2020. godine

osiguravaju veći prinos električne energije po jedinici površine, ali i omogućuju ravnomjernu raspodjelu svjetla ispod fotonaponskog polja.⁴⁹

Posebne značajke tog sustava, uključujući visinu, veću udaljenost između redova FN modula i jugozapadnu orientaciju, ne samo da su osigurale homogenost sunčeve svjetlosti za usjeve, nego i uporabu velikih poljoprivrednih strojeva, poput kombajna za žetvu (Slike 5. i 6.). Taj njemački dizajn razlikuje se od većine drugih agrosolarnih tehnika.⁵⁰ Instalirani kapacitet tog pilot-sustava bio je 194 kWp, što je dovoljno za godišnju opskrbu 62 četveročlana kućanstva. Ozima pšenica, krumpir, celer i travno-djetelinske smjese uzgajani su u plodoredu kao pokusni usjevi pod agrosolarnim sustavom.⁵¹ Polja uz sustav koriste se u svojstvu kontrole (bez solarnih panela) kako bi se analizirao utjecaj ASE-a na rast usjeva. Praćeni su mikroklimatski parametri, rast i razvoj usjeva te prinosi u 2017. i 2018. godini.

Rezultati su pokazali da su različiti vremenski uvjeti tijekom razdoblja rasta vrlo važan čimbenik prinosu usjeva. Na primjer, prinos krumpira uzgojenog u agrosolarnom sustavu varirao je od -20 % u 2017. do +11 % u sušnoj i vrućoj 2018. godini. Rasponi prinosu ostalih usjeva uzgajanih u agrosolarnom sustavu u usporedbi s referentnim poljem iznosili su -19 do +3 % za ozimu pšenicu, -8 do -5 % za travno-djetelinske smjese i -18 do +12 % za celer. Praćenje razvoja usjeva pokazalo je da su visina biljke i nadzemna biomasa porasle pod agrosolarima u obje navedene godine. Istraživanje se nastavilo i u idućim godinama. Rezultati iz 2019. pokazali su smanjenje pri-

nosa usjeva pod agrosolarnim sustavom do 33 % za celer, 28 % za pšenicu i 19 % za travno-djetelinske smjese. Urod pšenice u 2020. povećao se za neznatnih 2 %.⁵²

Dokazano je da se može očekivati smanjenje prinosu usjeva uzgojenih pod agrosolarima, ali i da u nepovoljnim vrućim i sušnim vegetacijskim razdobljima postoje pozitivni učinci na rast i prinos usjeva. Vjeruje se da su usjevi imali koristi od djelomičnog zasjenjenja ispod FN modula tijekom vrućih i sušnih razdoblja.

U sklopu projekta APV-RESOLA znatna je pozornost posvećena mikroklimi ispod fotonaponskih modula jer se unaprijed očekuje da zasjenjenje dovede do nekih promjena. Na razvoj usjeva i ukupan prinos utjecali su izmijenjeni mikroklimatski uvjeti. Fotosintetsko aktivno sunčeve zračenje pod agrosolarima bilo je oko 30 % niže nego na referentnoj lokaciji. Uz to, u proljeće i ljetu temperatura tla pod agrosolarnim sustavom obje je godine bila niža, dok se temperatura zraka nije mijenjala.⁵³ Srednja godišnja vlažnost zraka bila je viša pod agrosolarima obje godine zaredom, ali prosječna vlažnost tla porasla je tek 2017. godine.⁵⁴ U svakom slučaju, tijekom vrućega i sušnog ljeta 2018. godine na parceli sa pšenicom utvrđena je veća vlažnost tla nego na kontrolnoj parceli.⁵⁵

Rezultati tog pilot-projekta upućuju na činjenicu da bi agrosolarni sustavi mogli imati veći potencijal u toplim i suhim područjima, s obzirom na to da se očekuju povoljni učinci na proizvodnju usjeva. Međutim, zahvaljujući kombiniranoj uporabi zemljišta, učinkovitost korištenja zemljišta s agrosolarnim sustavom

⁴⁹ Fraunhofer ISE, 2016.

⁵⁰ Trommsdorf et al., 2021.

⁵¹ Ova studija slučaja može se razmatrati i u odnosu na paragrade 7.5.3 (studije slučaja za uzgoj povrća) i 7.6.3. (studije slučaja za uzgoj žitarica).

⁵² Fraunhofer ISE, 2022.

⁵³ Fraunhofer ISE, 2020.; 2022.

⁵⁴ Weselek, 2021.

⁵⁵ Fraunhofer ISE, 2022.

u 2017. godini dosegla je 160 %, a u 2018. čak 186 %.

U Njemačkoj vlada velika zabrinutost zbog sukoba u vezi s korištenjem zemljišta između poljoprivrednog sektora i energetske industrije. Stoga je u sklopu projekta APV-RESOLA u istraživanje bila uključena i lokalna zajednica, i to putem lokalne ankete te radionice za građane i skupine dionika, kako bi se utvrdilo i njihovo stajalište, s obzirom na to da je potrebno osigurati znatnu potporu javnosti agrosolarnoj tehnologiji.⁵⁶ Kada je riječ o podršci poljoprivrednog sektora i šire javnosti, smanjenje prinaosa do 20 % smatra se prihvatljivim. Rezultati projekta pokazuju kako je potrebno osigurati odgovarajuće upravljanje svjetlošću za važne ratarske kulture u Njemačkoj, što je moguće uz smanjenu gustoću modula i njihovo prila-

gođeno centriranje. Uz to, uporaba pokretnih agrosolarnih sustava može povećati količinu raspoložive svjetlosti tijekom kritičnih faza rasta te tako smanjiti gubitak prinosa.

b. VERTIKALNI AGROSOLARNI SUSTAVI U JAVNIM AGROSOLARNIM PARKOVIMA (NJEMAČKA)

Vertikalni agrosolarni sustav s dvostrukim fotonaponskim staklenim modulima okomito postavljenim od istoka prema zapadu te s oko 10 m razmaka između redova, pušten je u pogon 2018. godine u Saarlandu (agrosolarni park Eppelborn-Dirmingen) kao jedan od prvih europskih bifacialnih agrosolarnih sustava većih razmjera. Prema istom tom obrascu, 2020. u Baden-Württembergu (agrosolarni park Donaueschingen-Aasen) agrosolarni sustav instaliran je na površini od 14 ha s energetskim prinosom od 4.850 MWh/godišnje te počinje

⁵⁶ Ketzer et al., 2019.

Slika 7. Vertikalni agrosolarni sustav u agrosolarnom parku Donaueschingen-Aasen, Baden-Württemberg



Izvor: ©Next2Sun GmbH

Slika 8. Traktor tijekom košnje redova između modula

Izvor: ©Next2Sun GmbH

s radom (Slika 7.). Sustav ima kapacitet snage od 4,1 MW_p, što je dovoljno za opskrbu 1.400 kućanstava. Obradivo zemljište pretvoreno je u poljoprivredno zemljište ekstenzivnog uzgoja. Udio površine koju zauzima fotonaponska instalacija minimalan je, a razmak od 10 m između redova omogućuje primjenu poljoprivrednih strojeva (Slika 8.). Oba se agrosolarna parka koriste za proizvodnju stočne hrane, odnosno sijena i silaže.^{57/58} Uporaba FN sustava postavljenih na tlu za uzgoj ovaca uobičajena je praksa u Njemačkoj. Pretpostavlja se da će taj novi pristup okomitoj ugradnji biti posebno povoljan za pogone u vjetrovitim područjima, s obzirom na to da moduli mogu poslužiti kao zaštita od vjetra, ali i smanjiti eroziju uzrokovana vjetrom.⁵⁹

c. H2ARVESTER (NIZOZEMSKA)

Dva prototipa mobilnoga solarnog sustava

⁵⁷ Next2Sun, 2022.

⁵⁸ Ova studija slučaja može se razmatrati i u odnosu na poglavlje 7.6.3 (studije slučaja za žitarice, industrijsko i krmno bilje).

⁵⁹ Fraunhofer ISE, 2022.

trenutačno ispituju jedan poljoprivrednik i istraživački institut u Nizozemskoj. Prvi prototip mobilnoga agrosolarnog sustava, nazvan H2arvester, postavljen je 2022. godine na polja šećerne repe u Oude-Tongeu, na jugu Nizozemske, a drugi u Lelystadu, na istraživačkom poljoprivrednom zemljištu Wageningen Collegea. Oba će sustava biti u funkciji godinu dana kako bi se ispitao utjecaj na prinose i tlo te dokazalo da ne dolazi do gubitaka unutar poljoprivredne proizvodnje. Taj je mobilni sustav konstruiran kao samopogonski (Slika 9.), a za razliku od statičkih agrosolarnih sustava, namijenjen je kretanju po polju, čime se isključuje mogućnost pojave trajnog zasjenjenja tog područja. Ako ne dođe do trajnog zasjenjenja navedene površine, proizvodnja biljaka ne bi se smjela smanjiti niti bi se kvaliteta tla trebala pogoršati. To solarno vozilo prekriva maksimalno 10 % zemljišta i kreće se 10 m/h. Također, ispitat će se i rad u kombinaciji s elektrolizatorom (koji se nalazi na poljoprivrednom zemljištu) za proizvodnju vodika koji se može koristiti kao ekološki prihvatljivo gorivo za poljoprivrednu voznu tehniku.

Slika 9. Mobilni agrosolari



Izvor: pv magazine, 2022. godine

Slika 10. Agrosolari u voćnjaku jabuka „Gala“ u Kressbronn



Izvor: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/research-projects/agri-pv-bawue.html>

vredne primjene. Preostala toplina od elektrolize i proizvodnje vodika može se koristiti za sušenje raznih usjeva kao što su zob, trava i lucerna.⁶⁰

d. AGROSOLARI U BADEN-WÜRTTEMBERGU (NJEMAČKA)

Pilot-projekt agrosolara u regiji Baden-Württemberg počeo je 2022. godine, a trajat će gotovo tri godine (34 mjeseca). Prva faza podrazumijevala je postavljanje pet FN sustava za nasade jabučastog i jagodastog voća (Ravensburg, Weinsberg, Karlsruhe, Kressbronn i Nußbach) s ukupnim instaliranim kapacitetom od 1,7 MWp. Dva od tih pet FN sustava postavit će se u postojećim voćnjacima (Kressbronn i Nußbach). Cilj projekta je proučiti različite fotonaponske sustave (standardne, bifacialne i polupropusne module s različitim propuštanjem svjetlosti; statične i prateće fotonaponske panele), od kojih je svaki prilagođen biljci (Slika 10.).

Projekt se također koristi u svrhu ispitivanja njemačkoga normativnog akta „DIN SPEC 91434:2021-05“ kao dio procesa uvođenja norme u njemačke agrosolare.

⁶⁰ pv magazine, 2022.

4. PREGLED PRAVNIH SUSTAVA ZA AGROSOLARE U DRUGIM DRŽAVAMA EU-a

Budući da je tema agrosolarnih projekata relativno nova i složena pojava, jedno od glavnih pitanja koje se nameće glasi: kako pravno definirati te projekte, kako regulirati njihov razvoj te različite tehničke i postupovne zahtjeve za njihovu uspostavu, provedbu i potencijalno praćenje? To bi pitanje trebalo biti od posebne važnosti za Hrvatsku, uzimajući u obzir trenutačno stanje tržišta agrosolara u našoj zemlji, kao što je objašnjeno u 6. poglavljju.

U nastavku će biti predstavljeni strateški i pravni modeli za agrosolare u nekim od zemalja EU-a s najrazvijenijim agrosolarnim sustavima.

1. ITALIJA

Italija je jedina europska zemlja koja je uspjela pribaviti pozamašna sredstva za gradnju novih agrosunčanih elektrana u sklopu Nacionalnog plana oporavka i otpornosti (PNRR – Piano Nazione di Ripresa e Resilienza), koji je usvojen nakon usvajanja Europskog plana oporavka EU - Next Generation EU (NGEU). U sklopu jedne od komponenti Plana predviđeno je ulaganje u tehnološki razvoj agrosolara u iznosu od 1,1 milijarde eura do 2026. godine.

U vezi s područjem agrosolara planiran je projekt agrosunčanih parkova (Parco agriso-

lare) čiji je glavni cilj povećanje proizvodnje električne energije putem agrosolara za 5 % do 2026. godine, uz ostale koristi koje proizadu iz planiranih aktivnosti.

Ministarstvo zaštite okoliša i energetske sigurnosti (Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica) koje je odgovorno za provedbu tog projekta, u lipnju 2022. godine objavilo je **Smjernice u području agrosolarnih sustava** (Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici).

Smjernice su posljedica činjenice da je 28. travnja 2022. godine donesen zakon kojim se određena područja proglašavaju odgovarajućim za postavljanje agrosunčanih elektrana te su pojednostavljeni postupci davanja odobrenja za elektrane koje se nalaze na tim područjima.

Prostorno planiranje i odobravanje energetskih projekata u Italiji odvijaju se na regionalnoj razini, a uvjeti za postavljanje agrosunčanih elektrana mogu se razlikovati od regije do regije.

Prema navedenim Smjernicama, temeljenim na iskustvima iz drugih zemalja, poljoprivredne kulture dijele se prema njihovoj prikladnosti za uporabu agrosolara u različitim vrstama nasada (Tablica 1.).

Tablica 1. Prikladnost kultura za uporabu agrosolara

Prikladnost	Kultura
Vrlo prikladne kulture	krumpir, hmelj, špinat, zelena salata, bob
Prosječno prikladne kulture	luk, grah, krastavci, tikvice
Prikladne kulture	raž, ječam, zob, zeleni kupus, uljana repica, grašak, šparoge, mrkva, rotkvica, poriluk, celer, komorač, duhan
Jedva prikladne kulture	cvjetača, šećerna repa, cikla
Neprikladne kulture	pšenica, pir, kukuruz, voćke, suncokret itd.

Izvor: Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici, 2022. godine

Uz to, Smjernice pružaju nekoliko različitih definicija agrosolara vezanih uz razinu složenosti projekata te vrste:

- 1) agrosolarni sustav (ili agrosolar ili agro-sunčana elektrana): fotonaponski sustav koji usvaja rješenja usmjerena na očuvanje kontinuiteta poljoprivrednih i stočarskih aktivnosti na mjestu ugradnje;
- 2) napredna agrosunčana elektrana - agro-sunčana elektrana koja:
 - usvaja inovativna integrativna rješenja, koja uključuju sklapanje modula uzdignutih od tla te istodobno osigurava rotaciju samih modula kako se ne bi ugrozio kontinuitet poljoprivrednih i stočarskih aktivnosti uzgoja, uz mogućnost primjene digitalnih i preciznih poljoprivrednih alata;
 - osigurava istodobno razvijanje sustava praćenja, koji omogućuju provjeru utjecaja fotonaponske instalacije na usjeve, štednju vode, poljoprivrednu produktivnost za različite kulture, kontinuitet aktivnosti odgovarajućih poljoprivrednih gospodarstava, oporavak plodnosti tla, mikroklimu i otpornost na klimatske promjene;
- 3) napredni agrosolarni sustav: složeni sustav koji čine radovi potrebni za obavljanje poljoprivrednih aktivnosti na određenom području i agrosolarni sustav koji je postavljen na potonjem te koji, putem prostorne konfiguracije i odgovarajućih tehnoloških izbora, integrira poljoprivrednu aktivnost i proizvodnju električne energije, a čiji je cilj povećati proizvodni potencijal obaju podsustava te istodobno osigurati kontinuitet poljoprivrednih aktivnosti navedenog područja.

Smjernice navode da agrosolarni sustavi moraju ispunjavati sljedećih pet zahtjeva:

- A. agrosolarni sustav mora se projektirati i pustiti u pogon na način pogodan za usvajanje prostorne konfiguracije i odgovarajućih tehnoloških rješenja koja omogućuju integraciju poljoprivredne djelatnosti i proizvodnje električne energije te povećavaju proizvodni potencijal obaju podsustava;
- B. agrosolarni sustav mora osiguravati sinergijsku proizvodnju električne energije i poljoprivrednih proizvoda te ne smije ugrožavati kontinuitet poljoprivredne i stočarske djelatnosti;
- C. agrosolarni sustav mora usvajati inovativna integrirana rješenja s modulima uzdignutim od tla, i to s ciljem optimizacije kako energetskih, tako i poljoprivrednih performansi agrosolarnog sustava;
- D. agrosolarni sustav mora biti opremljen sustavom za praćenje čiji je cilj provjera utjecaja na usjeve, štednju vode, poljoprivrednu produktivnost za različite kulture i kontinuitet poljoprivrednih aktivnosti koje provode odgovarajuća poljoprivredna gospodarstva;
- E. agrosolarni sustav mora biti opremljen sustavom za praćenje koji, osim što ispunjava zahtjev D, omogućuje provjeru oporavka plodnosti tla, mikroklima i otpornosti na klimatske promjene.

Zahtjevi A i B nužni su kako bi se fotonaponski pogon sagradio u poljoprivrednom području mogao svrstati pod pojam „agrosunčana elektrana“, a zahtjevi A, B, C i D potrebni su za usklađivanje s definicijom „napredne agro-sunčane elektrane“. Svi navedeni zahtjevi predviđaju su za pristup poticajima iz PNRR-a.

Također, u sklopu zahtjeva A, najmanje 70 % površine treba koristiti za poljoprivrednu aktivnost, dok postotak ukupne površine prekrivenih modulima treba biti manji od 40 %.

2. NJEMAČKA

Koncept agrosolara tek je nedavno zadobio veću znanstvenu pozornost u Njemačkoj. Godine 2012. skupina istraživača s Fraunhofer instituta za solarne energetske sustave ISE provela je neka preliminarna istraživanja o mogućnostima primjene ASE-a u Njemačkoj.⁶¹ Istraživali su mogućnosti primjene ASE-a u Njemačkoj s obzirom na nekoliko aspekata, uključujući rast biljaka pod postojećim FN instalacijama, kako bi odabrali prikladne kulture za Srednju Europu.

Glede pravnog okvira, agrosolarni sustavi nisu izričito uvršteni ni u jedan.⁶² Izmjena zakona EEG koja je stupila na snagu 1. siječnja 2021. godine (Zakon o obnovljivim izvorima energije; Erneuerbare Energien-Gesetz) uvela je zaseban segment u podnošenje ponuda za inovativne projekte u vidu „posebnih solarnih sustava koji ne uključuju samo FN sustave iznad parkirališta i plutajuće solarne sustave, nego i sustave solarne energije na obradivim ili hortikulturnim površinama – odnosno trajnim i višegodišnjim nasadima – ako se zemljište istodobno koristi i za uzgoj poljoprivrednih kultura“.

Ukratko, agrosolarni sustavi moraju izričito ispunjavati zahtjeve DIN SPEC 91434. Prema članku 3. stavku 1. tog propisa, agrosolarni sustavi namijenjeni su proizvodnji električne energije iz obnovljivih izvora energije.⁶³ Najnovija revizija Zakona EEG 2023. godine predviđa daljnji razvoj fotonaponskih sustava te

mogućnost da se dobiju na zemljištu putem njihove klasifikacije kao agrosolarnih i drugih FN sustava. Od sada pa nadalje agrosolari spadaju u kategoriju samostojećih instalacija, a ne inovativnih projekata.

Naposljeku, odjeljak 12 (5) Uredbe o izravnim plaćanjima Zajedničke poljoprivredne politike (CAP) definira agrosolarni sustav kao sustav za uporabu energije iz sunčeva zračenja sagrađen na poljoprivrednom zemljištu koji ne sprječava da se zemljište obrađuje konvencionalnim poljoprivrednim metodama, strojevima i opremom te ne smanjuje iskoristivo poljoprivredno zemljište za više od 15 % na temelju DIN SPEC 91434:2021-05. Shodno Uredbi, 85 % poljoprivrednog zemljišta prihvatljivo je za financiranje poticajima.⁶⁴

Tehničko pravilo DIN SPEC 91434:2021-05 Agrosolarni sustavi - zahtjevi za primarnu poljoprivrednu uporabu⁶⁵

Godine 2021. konzorcij od 15 poljoprivrednih i energetskih poduzeća, istraživačkih subjekata i nadležnih tijela za ovjeravanje u Njemačkoj sastavio je normativni akt DIN SPEC 91434 za agrosolare. Bit dokumenta DIN SPEC 91434 u jasnom je razlikovanju agrosolarnih sustava od konvencionalnih FN sustava na tlu **i odredbi da se zemljište koje se koristi za agrosolarnе sustave mora nastaviti koristiti kao obradivo zemljište za uzgoj usjeva.**

Pritom su određeni i zahtjevi za primarnu poljoprivrednu namjenu agrosolarnih projekata te norme za planiranje, rad, dokumentaciju i operativno praćenje, kao i mjerni pokazatelji za postupak ispitivanja s ciljem osiguravanja kvalitete agrosolarnih sustava. Navedeni zahtjevi se, na primjer odnose, na intenzitet svjetlosti i raspodjelu svjetlosti pod

⁶¹ Beck at al. 2012.

⁶² Vollprecht et al., 2021.

⁶³ Fraunhofer ISE, 2022.

⁶⁴ Fraunhofer ISE, 2022.
⁶⁵ Agri-Photovoltaik-Anlagen – Anforderungen an die landwirtschaftliche Hauptnutzung.

agrosolarnim sustavom, koji također moraju biti prilagođeni potrebama odgovarajućih kultura.

Ta norma klasificira agrosolarne sustave prema visini slobodnog prolaza i oblicima uporabe zemljišta:

- I. kategorija uključuje nadzemne ASE-e s visinom slobodnog prolaza od $> 2,1$ m, što podrazumijeva uzgoj u agrosolarnom sustavu;
- II. kategorija odnosi se na međuprostorne ASE-e s visinom slobodnog prolaza od $< 2,1$ m i uzgoj između redova agrosolarnih sustava.

U obje kategorije zemljište se može koristiti za trajne i višegodišnje nasade (vinogradarstvo, voće, bobičasto voće), jednogodišnje i dugotrajne kulture (ratarske kulture, povrće, stočna hrana, raznoliki travnjaci) te trajne travnjake s košnjom ili ispašom. Međuprostorni ASE-i jeftiniji su i imaju manji utjecaj na krajolik, a obično se koriste na trajnim travnjacima. Nadzemni ASE-i učinkovitije iskorištavaju zemljište i omogućuju bolju zaštitu od nepovoljnih vremenskih prilika, a prikladniji su za hortikulturnu proizvodnju (voćarstvo, vinogradarstvo, povrćarstvo) ili ratarstvo. Za sve navedene kategorije obvezno je održavati poljoprivredni postupak ispod i između FN modula.⁶⁶

Kriteriji i ključni zahtjevi za prijedlog poljoprivrednog uzgoja su:

- prethodna poljoprivredna namjena područja mora ostati ista, a planirani oblik uporabe zemljišta utvrđuje se prijedlogom namjene poljoprivrednog zemljišta;
- gubitak zemljišta nakon ugradnje FN sustava ne smije biti veći od 10 % ukupne

površine područja obuhvaćenog projektom u slučaju I. kategorije i 15 % u slučaju II. kategorije;

- raspoloživa količina svjetlosti, homogenost svjetlosti i dostupnost vode moraju se provjeriti i prilagoditi potrebama poljoprivrednih proizvoda;
- potrebno je poduzeti korake kako bi se izbjegla erozija tla i šteta uzrokovana konstrukcijom FN sustava, kao i sezanje u tlo ili otjecanje vode iz FN modula;
- mora se osigurati da poljoprivredni prinos nakon gradnje agrosolarnog sustava iznosi najmanje 66 % referentnog prinsosa. Referentni prinos izračunava se pomoću trogodišnjeg prosjeka prinsosa s istog poljoprivrednog zemljišta ili usporedivih podataka preuzetih iz odgovarajućih publikacija.

3. FRANCUSKA

Razvoj agrosolarnih projekata u Francuskoj počeo je ranih 2000-ih na temelju eksperimentata s malim staklenicima. U međuvremenu razmjeri agrosolarnih projekata znatno su se povećali. U lipnju 2021. godine francuska energetska poduzeća iz sektora OIE Sun'Agri, REM Tec, Kilowattsol i Altergie Développement et Râcines najavila su osnivanje France Agrivoltaisme, prvoga svjetskog interesnog udruženja za sektor agrosolara.

Ministère de la Transition Écologique et Solidaire u suradnji s Bureau des énergies renouvelables i Direction générale de l'énergie et du climat 2018. godine izložilo je pravni okvir za agrosolare i iznijelo prve zaključke na tu temu. Agrosolarni projekti ocijenjeni su na temelju tehničkog izvješća o sinergiji s poljoprivrednom uporabom. Tehničko izvješće morao je potvrditi poljoprivredni stručnjak poput lokalnog Chambre d'Agriculturea (poljoprivredne komore).

⁶⁶ Trommsdorff et al., 2022.; Fraunhofer ISE, 2022.

Nedavno je francuska agencija za okolišnu tranziciju zvana ADEME objavila više novih smjernica koje jasno definiraju agrosolare. Prema smjernicama ADEME-a i suradnika (2021.), solarni fotonaponski sustav može se smatrati agrosolarnim kada su solarni fotonaponski moduli smješteni na istoj površini čestice kao i poljoprivredna proizvodnja te kada utječu na poljoprivrednu proizvodnju pružanjem, bez sudjelovanja posrednika, neke od dolje navedenih usluga, i to bez izazivanja bilo kakvog znatnijeg pogoršanja poljoprivredne proizvodnje (kako kvalitativnog, tako i kvantitativnog), ili bilo kakvoga gubitka prihoda gospodarstva:

- prilagodba klimatskim promjenama,
- zaštita od šteta na poljoprivrednim kulturnama,
- dobrobit životinja,
- specifične poljoprivredne usluge.

Osim navedenoga, agrosolarni projekti uvejk moraju omogućavati prisutnost aktivnog poljoprivrednika i spriječiti bilo kakvu potencijalnu promjenu vlasnika poljoprivrednog dobra. Takve instalacije također moraju biti reverzibilne i prilagođene lokalnim uvjetima, bez nanošenja štete okolišu.

Konačno, Senat je u veljači 2023. godine usvojio Prijedlog zakona o ubrzanom uvođenju obnovljivih izvora energije koji utvrđuje pravila za suodnos između poljoprivrede i fotonaponskih instalacija.

Tekst Zakona sažima razvoj fotonaponske industrije i njezin suodnos s poljoprivredom te omogućuje dva režima praćenja, ovisno o vrsti solarne instalacije.

S jedne strane, postoje elektrane koje ne pružaju usluge poljoprivrednom sektoru, koje FNSEA (Fédération nationale des syndicats d'exploitants agricoles) naziva i „fotonapon-

skim pogonima na tlu“, koje mogu biti postavljene na zemljištima koja nisu obrađena ili nisu obrađivana najmanje deset godina. Druga opcija se odnosi na „agrosolarne elektrane“ koje se definiraju kao postrojenja kojima pogoduje fleksibilniji okvir i koje moraju pružati usluge izravno na parceli zemlje na kojoj se nalaze, dok im poljoprivredna proizvodnja ostaje glavna djelatnost.

Agrosolari se, prema Zakonu, definiraju kao „postrojenja za proizvodnju električne energije koja koriste energiju sunčeva zračenja i čiji se moduli nalaze na poljoprivrednoj parceli gdje trajno pridonose postavljanju, održavanju ili razvoju poljoprivredne proizvodnje“. Kako bi se klasificiralo kao agrosolarno, postrojenje mora jamčiti značajnu poljoprivrednu proizvodnju⁶⁷ i održiv rast prihoda, dati prednost poljoprivredi kao glavnoj djelatnosti i imati mogućnost povrata u prijašnje stanje.

Kako bi se projekt klasificirao kao „agrosolarni“, treba zadovoljiti barem jedan od sljedeća četiri uvjeta, odnosno mora:

- poboljšavati poljoprivredni potencijal poljoprivrednih kultura;
- služiti poljoprivrednicima kao sredstvo za borbu protiv negativnih učinaka klimatskih promjena;
- pomagati pri suočavanju s raznim opasnostima kao što su suša ili nestaćica vode;
- pridonositi poboljšanju dobrobiti životinja.

U oba slučaja treba uzeti u obzir mišljenje Commission départementale de préservation des espaces naturels, agricoles et forestiers (CDPENAF).

⁶⁷ Ono što u praksi znači da postrojenje mora „jamčiti značajnu poljoprivrednu proizvodnju i održiv rast prihoda“ bit će detaljnije definirano Uredbom koja bi trebala biti donesena u sljedećih nekoliko mjeseci.

Tekst Zakona također predviđa sankcije za projekte koji bi mogli znatno pogoršati poljoprivrednu proizvodnju.

4. AUSTRIJA

Osnovni austrijski zakon kojim se određuje i usmjerava razvoj sustava obnovljive energije, uključujući agrosolare, Savezni je zakon o raspodjeli energije iz obnovljivih izvora⁶⁸, kojim se uređuje i integracija FN elektrana u postojeće poljoprivredne sustave, stvarajući tako agrosolarne površine, odnosno površine koje se koriste i za proizvodnju električne energije i poljoprivrednu proizvodnju.

Osim tim zakonom, provedba i postupanje s investicijskom potporom za gradnju i proširenje fotonaponskih elektrana i povezanom gradnjom novih skladišta električne energije regulirana je i Uredbom Saveznog ministarstva za zaštitu klime o dodjeli potpore za ulaganje u gradnju, revitalizaciju i proširenje postrojenja za proizvodnju i skladištenje električne energije iz obnovljivih izvora za 2022. godinu (Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, 2022.).⁶⁹ U toj uredbi stoji da se smanjenje subvencija od 25 % ne primjenjuje ako je agrosolarni sustav postavljen **na poljoprivrednom zemljištu čija je primarna namjena proizvodnja biljnih ili životinjskih proizvoda, a sekundarna proizvodnja električne energije** te čiji su FN moduli ravnomjerno raspoređeni po ukupnoj površini, a poljoprivredna djelatnost zauzima najmanje 75 % ukupne površine za proizvodnju biljnih ili životinjskih proizvoda.

Uredbom su određeni preduvjeti za dodjelu subvencija za ulaganja, što u slučaju ASE-a podrazumijeva sljedeće:

- svaki sustav mora se moći rastaviti bez nakupljanja ikakvih ostataka, uključujući infrastrukturu sustava, a posebno temelje i sustav pričvršćivanja. Ako se struktura tla naruši tijekom sastavljanja ili rastavljanja sustava, potrebno je poduzeti odgovarajuće mјere za poboljšanje strukture tla kako bi se vratila u stanje što je moguće sličnije prvobitnom;
- razmak između donjeg ruba modula i tla treba biti najmanje 80 cm, dok razmak između redova (udaljenost između nasuprotnih površina modula) mora biti najmanje dva metra. Ti se propisi ne odnose na inovativne fotonaponske sustave.

Također se navodi da se pri postavljanju FN sustava na poljoprivredno zemljište ili travnjak potrebno pridržavati najmanje pet od sljedećih osam mјera:

- očuvanje postojećih biotopskih struktura;
- u slučaju ograda, ozelenjavanje ograde biljkama lokalnog podrijetla primjerenim lokacijama;
- formiranje živica ili grmlja lokalnog podrijetla primjerenih lokacija;
- postavljanje pomagala za gniježđenje ptica, šišmiša i kukaca;
- formiranje cvjetnih traka pomoću mješavina sjemena u skladu s posebnim uvjetima lokacije;
- obrađivanje površine naizmjeničnom košnjom s visine od najmanje deset centimetara;
- upravljanje površinom uz košnju maksimalno dva puta godišnje, i to s visine od najmanje deset centimetara; ispaša površine bez strojne košnje;
- ozelenjavanje područja pomoću regional-

⁶⁸ Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, 2022.; Bundesgesetz über den Ausbau von Energie aus erneuerbaren Quellen, BGBl. I Nr. 150/2021.

⁶⁹ Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, 2022.; EAG-Investitionszuschüsseverordnung-Strom, CELEX-Nr.: 32018L2001.

nih mješavina sjemena koje uključuju najmanje 15 biljnih vrsta i samoniklo bilje.

SAŽETAK RAZLIČITIH PRAVNIH SUSTAVA KOJI SE ODNOSE NA AGROSOLARNE PROJEKTE

Nakon analize pravnih sustava koji pokrivaču područje agrosolara u različitim zemljama EU-a, može se zaključiti da u većini zemalja postoji uglavnom jedinstvena definicija agrosolara, kojom se naglašava potreba dvojne i sinergijske upotrebe poljoprivrednog zemljista, pri čemu je poljoprivrednu proizvodnju potrebno održavati kao primarnu djelatnost.

Definicija agrosolara uobičajeno je sastavni dio zakonodavstva koje regulira energetska pitanja, dok su specifične pojedinosti (koja je najveća površina koja može biti pokrivena agrosolarima, koje je maksimalno smanjenje prinosa, koji su mogući modeli i tehnička rješenja i sl.), obuhvaćene posebnim smjernicama (Italija, Njemačka) ili sekundarnim zakonodavstvom (Austrija, Francuska). Stoga su ASE-i definirani kao posebni modeli fotonaponskih postrojenja koji imaju svoja specifična pravila, postupke primjene i sl.

U pogledu primjenjivosti tih modela na hrvatsko tržište, može se zaključiti da bi sličnu definiciju trebalo uvesti u hrvatsko zakonodavstvo (najvjerojatnije u neki od energetskih zakona), a da zakonski obvezujuće pojediniti u smislu mogućih zakonskih ograničenja i administrativnih uvjeta za primjenu ASE-a trebaju biti dio sekundarnog zakonodavstva, dok bi sve ostale pojedinosti u pogledu mogućih modela, tehničkih uvjeta i specifikacija (koje zahtijevaju fleksibilniji pristup) trebale biti obuhvaćene odgovarajućim smjernicama i priručnicima (detaljnije o tome možete pronaći u odjeljku 6.).

5. MODELI FINANCIRANJA PROVEDBE AGROSOLARNIH PROJEKATA

Jedan od ključnih aspekata uspješne provedbe agrosolarnih projekata podrazumijeva prepoznavanje i korištenje odgovarajućih modela financiranja. Svaki model donosi jedinstvene prilike i izazove za dionike, uključujući poljoprivrednike, zemljoposjednike, investitore i vlade.

U ovom se poglavlju raspravlja o različitim modelima financiranja agrosolarnih projekata, koji su već implementirani u nekima od zemalja podvrgnutih analizi u sklopu ove studije, kao i o tome kako ti modeli mogu olakšati rast i usvajanje agrosolarnih sustava. Ti modeli su: izravno vlasništvo, zakup zemljišta, ugovori o otkupu električne energije, sudjelovanje javnog i privatnog sektora u energetskim zadugama i financiranje kroz programe i potpore EU-a.

a) IZRAVNO VLASNIŠTVO

U sklopu modela izravnog vlasništva, vlasnik ili zakupac poljoprivrednog zemljišta sam ulaze u agrosolarni sustav. On snosi odgovornost za financiranje početnih troškova sustava, uključujući ugradnju, rad i održavanje. Time što je vlasnik sustava, zemljoposjednik ili zakupac poljoprivrednog zemljišta maksimalno profitira kada je riječ o uštedi energije, prihodima od prodaje viška energije i potencijalnim poboljšanjima prinosa usjeva. Ovaj model omogućuje vlasniku ili zakupcu poljoprivrednog zemljišta da zadobije potpunu kontrolu nad agrosolarnim sustavom, ali iziskuje i pozamašna početna ulaganja i tekuće obveze održavanja.

Mogao bi se primijeniti u slučaju vrlo velikih i/ili najvećih poljoprivrednih proizvođača u Hrvatskoj, sa znatnom finansijskom snagom i potrebama za potrošnjom energije. Također, za očekivati je da će ga primjenjivati i zakupnici državnog zemljišta koje se ne može dati u podzakup potencijalnim investitorima u OIE-e.

b) ZAKUP ZEMLJIŠTA

Zakup se u kontekstu agrosolara odnosi na zakup zemljišta, pri čemu poljoprivrednik ili zemljoposjednik iznajmljuje svoje zemljište investitoru u OIE-e radi ugradnje agrosolarnog sustava. Investitor dalje upravlja sustavom i održava ga, dok istodobno prodaje proizvedenu električnu energiju u elektroenergetsku mrežu ili drugim kupcima. Poljoprivrednik/zemljoposjednik prima zakupninu za korištenje zemlje, a može imati i koristi od pozitivnih utjecaja agrosolarnog sustava na prinose poljoprivrednih kultura i modificiranje mikroklimata.

Za očekivati je da će ovaj model biti najzastupljeniji u Hrvatskoj, barem u početnoj fazi, s obzirom na to da poljoprivrednici općenito nemaju dovoljno tehničkih, finansijskih i administrativnih resursa da sami razviju i provedu projekte takve vrste, ali mogli bi biti zainteresirani za njih jer će im to omogućiti zaštitu kultura od negativnih učinaka klimatskih promjena te osigurati dodatni prihod od zakupa zemljišta. Važno je napomenuti da će se takva mogućnost uglavnom primjenjivati u slučajevima poljoprivrednog zemljišta u privatnom vlasništvu, s obzirom na to da zakupnik državnog zemljišta ne može to zemljište dati u podzakup trećim osobama.

c) UGOVORI O OTKUPU ELEKTRIČNE ENERGIJE

Ovaj se model obično odnosi na korištenje ugovora o otkupu električne energije (Power Purchase Agreement – PPA) u obliku sporazuma između investitora u OIE-e i poljoprivrednika ili zemljoposjednika. Sukladno ugovoru o otkupu električne energije, investitor gradi, posjeduje i održava agrosolarni sustav na poljoprivrednom zemljištu, dok poljoprivrednik, zemljoposjednik ili treća strana pristaje kupiti dobivenu električnu energiju prema unaprijed određenoj cijeni. Ovaj model omoguću-

je poljoprivrednicima da iskoriste prednosti agrosolarnog sustava bez snošenja početnih troškova ulaganja ili odgovornosti za rad i održavanje. Zauzvrat, investitor u OIE-e može im osigurati stabilan, dugoročan dotok prihoda.

Budući da tržište ugovora o otkupu električne energije općenito još nije u potpunosti razvijeno za „obične“ vrste projekata obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj, ne očekuje se da će ovaj model biti dominantan u slučaju agrosolara, barem ne u početnim fazama otvaranja tržišta.

d) JAVNO-PRIVATNA PARTNERSTVA (JPP)

Sudjelovanje javnog sektora u financiranju agrosolara podrazumijeva uključivanje građana ili zajednica u postupke ulaganja, vlasništva i donošenja odluka o agrosolarnim projektima, pri čemu vlade surađuju s privatnim investitorima kako bi se podijelili rizici, odgovornosti i koristi od primjene agrosolarnih sustava. JPP-i obično uključuju ugovorne sporazume između javnih tijela i privatnih subjekata, kojima se utvrđuju uloge i odgovornosti svake strane po pitanju projektiranja, gradnje, rada i održavanja agrosolarnog projekta.

Budući da ovaj model uključuje velik broj dijonalika, što podrazumijeva da oni posjeduju potrebne informacije i znanje o pojedinostiima agrosolarnih projekata, širina njegove provedbe može se očekivati tek u kasnijim fazama, kada agrosolarno tržište uđe u zreliju fazu.

e) PROGRAMI I POTPORE EU-A ZA ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ

Financiranje putem programa za istraživanje i razvoj EU-a još je jedna mogućnost za agrosolarnе projekte, posebno u slučaju istraživačkih

i pilot-elektrana. EU redovito nudi sredstva za inovativne tehnologije i projekte koji pridonose ciljevima Europskoga zelenog plana, uključujući obnovljive izvore energije, ublažavanje klimatskih promjena i održivu poljoprivredu. Programi kao što su Horizon Europe, program LIFE i Europski fond za regionalni razvoj (ERDF) mogu osigurati bespovratna sredstva ili subvencije za razvoj, ispitivanje i provedbu agrosolarnih sustava. Te mogućnosti financiranja mogu znatno smanjiti finansijsko opterećenje istraživačima, poljoprivrednicima i zemljoposjednicima te olakšati suradnju između akademске zajednice, industrije i javnih institucija.

U svjetlu činjenice da se to već prakticira u drugim zemljama, može se očekivati da će se i u Hrvatskoj pokrenuti znatan broj istraživačkih agrosolarnih projekata koje će poduprijeti i financirati Europska unija ili neko od njezinih tijela.

Osim te vrste financiranja, moglo bi doći do potrebe za specifičnom finansijskom i tehničkom potporom, i to u obliku bespovratnih sredstava te poticajnih cijena za poljoprivrednike i zajednice koje rade na agrosolarnim projektima manjih razmjera.

6. STANJE NA TRŽIŠTU AGROSOLARA U HRVATSKOJ

6.1 PRAVNI OKVIR ZA AGROSOLARNE PROJEKTE

a) STRATEŠKI OKVIR ZA PROVEDBU AGROSOLARNIH PROJEKATA

U ovom trenutku nema odredbi o agrosolarnim projektima niti u jednoj relevantnoj strategiji koja se odnosi na razvoj poljoprivrednog sektora u Hrvatskoj (npr. Strategija poljoprivrede do 2030. godine, Narodne novine 26/2022) ili na proizvodnju energije iz obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj (npr. Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske do 2030. godine s pogledom na 2050. godinu, Narodne novine, 25/2020.)

b) PRAVNI OKVIR ZA PROVEDBU AGROSOLARNIH PROJEKATA (KOJI SE ODNOSI NA POLJOPRIVREDNO ZEMLJIŠTE)

Najvažniji propis koji se odnosi na pitanja poljoprivrede je Zakon o poljoprivrednom zemljištu (Narodne novine, broj: 20/18, 115/18, 98/19, 57/22).

Poljoprivrednim zemljištem, u smislu čl. 3 st. 1. Zakona, smatra se poljoprivredno zemljište koje je u katastru prema načinu uporabe opisano kao: obradivo zemljište, vrt, livada, pašnjak, voćnjak, maslinik, vinograd, ribnjak, trščak i močvarno tlo, kao i svako drugo zemljište koje se može koristiti za poljoprivredni proizvodnju sukladno prostornom planu. Sva obradiva poljoprivredna zemljišta upisuju se u sustav ARKOD.⁷⁰

U vezi s predmetom agrosolara, navedeni pojam nije izričito definiran u sklopu tog zakona.

Međutim, posljednjim izmjenama iz 2022. godine u članak 31. Zakona dodani su stavci

⁷⁰ <https://arkod.apprrr.hr/>

30., 31. i 32., čime se otvara mogućnost primjene projekata obnovljivih izvora energije na poljoprivrednim zemljištima u državnom vlasništvu, odnosno stvara prostor za primjenu agrosolara.

U navedenim stavcima стоји sljedeće:

(30) Zakupnik⁷¹ može, u skladu s važećim prostornim planom, uz suglasnost Ministarstva, postaviti infrastrukturu za proizvodnju zelene energije na dijelu zakupljenoga državnog poljoprivrednog zemljišta u svrhu povećanja profitabilnosti.

(31) Pri gradnji infrastrukture iz stavka 30. ovoga članka zakupnik je dužan:

- zadržati namjenu poljoprivrednog zemljišta u skladu s prihvaćenim Gospodarskim programom iz ugovora;
- projektiranje, gradnju i upravljanje infrastrukturom provoditi u skladu sa zakonskim uvjetima, posebno u dijelu koji se odnosi na prostorno planiranje, zaštitu okoliša i propise iz područja energetike.

(32) Nakon isteka Ugovora o zakupu, zakupnik je dužan postojeću infrastrukturu iz stavka 30. ovoga članka prenijeti u vlasništvo Republike Hrvatske ili je ukloniti u roku od 90 dana od datuma isteka Ugovora o zakupu.

Ipak, iz sadržaja navedenog članka može se zaključiti da isključivo zakupnik na državnom poljoprivrednom zemljištu (što znači da se privatna zemljišta izuzimaju iz primjene tog članka⁷²), uz obveznu suglasnost Ministarstva

⁷¹ Prema Zakonu o poljoprivrednom zemljištu (čl. 41.), zakupniku poljoprivrednog zemljišta u državnom vlasništvu nije dopušteno davati to zemljište u podzakup trećim osobama, što je bitno ograničenje u smislu primjene modela „zakupa zemljišta“ kod agrosolarnih projekata.

⁷² Ovo je važan podatak s obzirom na to da je samo oko 25 % ukupnoga iskorištenog poljoprivrednog zemljišta u državnom vlasništvu.

poljoprivrede, može postaviti „zelenu energetsku infrastrukturu“ u svrhu „povećanja profitabilnosti poljoprivredne proizvodnje“, ako je to u skladu s prostornim planom koji se odnosi na određenu lokaciju. Stoga nije jasno što točno označava pojma „zelena energetska infrastruktura“, ni što bi u svakom pojedinom slučaju značilo „povećanje profitabilnosti poljoprivredne proizvodnje“, kao niti kako pratiti ispunjavanje navedenog uvjeta.

Sljedeći stavak, kao prijeko potreban preduvjet za provedbu takvih projekata, naglašava potrebu očuvanja namjene poljoprivrednog zemljišta (koja mora biti u skladu s Gospodarskim programom), ali bez navođenja ikakvih ograničenja kada je riječ o tome koliki udio površine poljoprivrednog zemljišta može biti prekriven „zelenom energetskom infrastrukturom“ i slično. Nadalje, općenito je utvrđeno da se na projektiranje, gradnju i upravljanje takvom infrastrukturom moraju primjenjivati odredbe propisa koji se odnose na prostorno planiranje, zaštitu okoliša i energetiku, bez navođenja bilo kakvih pojedinsti ili posebnosti za takvu vrstu projekata „zelene energije“.

U dalnjem razvoju pravnog okvira za agrosolarnе projekte u dijelu koji se odnosi na zakonodavstvo koje se odnosi na poljoprivredu također treba uzeti u obzir da se takvu vrstu projekata praktično treba promatrati kao agrotehničku mjeru u skladu s čl. 2. st. 1. Pravilnika o agrotehničkim mjerama (Narodne novine br. 22/2019). U navedenom člansku tako se navodi sljedeće:

„Agrotehničke mjere skup su mehaničkih, fizikalnih, kemijskih i bioloških zahvata u i na poljoprivrednom zemljištu s ciljem povećanja ili održavanja trenutačne plodnosti zemljišta te osiguranja odgovarajućega gospodarenja sadržajem organskog ugljika s ciljem sprje-

čavanja ili smanjenja degradacije tla i zemljišta kako bi se osigurala sigurnost hrane, priлагodba i ublažavanje klimatskih promjena, poboljšala kvaliteta tla, smanjila erozija, povećao kapacitet zadržavanja vode i povećala otpornost na sušu, dok bonitetna vrijednost zemljišta treba primjenom agrotehničkih mjera ostati ista ili bi se primijenjenim mjerama trebala povećati.“

c) PRAVNI OKVIR ZA PROVEDBU

AGROSOLARNIH PROJEKATA (KOJI SE ODNOŠI NA ENERGETSKO ZAKONODAVSTVO)

Ne postoji definicija agrosolara ni u zakonima koji se odnose na energetska pitanja, kao što je Zakon o energiji (Narodne novine br. 120/12, 14/14, 95/15, 102/15 i 68/18), Zakon o tržištu električne energije (Narodne novine br. 111/21, 83/23) i Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (Narodne novine br. 138/21, 83/23).

Glede mogućeg usklađivanja agrosolarnih projekata s propisima vezanim uz energetiku, ne postoje odgovarajuće odredbe o tome kako bi cijeli postupak trebao izgledati. Za sada se može pretpostaviti da će se agrosolarni projekti razvijati kao i svi drugi projekti OIE-a u smislu uvjeta koje valja ispuniti te odobrenja i dozvola koje treba pribaviti. To bi značilo da te projekte treba uskladiti s prostornim planovima te ishoditi potrebne okolišne dozvole, što će u nekim slučajevima (primjerice, za fotonaponski sustav na ribnjaku koji je dio ekološke mreže Natura 2000) podrazumijevati provođenje dugotrajnih postupaka. Ako ne budu osmišljeni za vlastitu potrošnju, jedan od izazova bit će kako se takvi pogoni mogu priključiti na elektroenergetsku mrežu, posebice u južnom dijelu Hrvatske u kojem je prijenosna mreža već preopterećena postojećim i najavljenim projektima.

Unatoč tome, nedavno su u različitim vrstama propisa napravljeni vrlo važni koraci u uspostavljanju pravnog okvira za agrosolare.

Jedno od osnovnih pitanja koje je potrebno općenito riješiti za sve vrste projekata OIE-a, odnosi se na procedure pribavljanja energetskog odobrenja kao temeljnog koraka u razvoju projekata obnovljivih izvora energije (sukladno Zakonu o tržištu električne energije). Pitanje ishodišta energetskog odobrenja konačno je regulirano Uredbom o kriterijima za provođenje javnog natječaja za izdavanje energetskog odobrenja i uvjetima izdavanja energetskog odobrenja (dalje u tekstu: Uredba o izdavanju energetskog odobrenja) koju je Vlada usvojila 28. lipnja 2023. godine (Narodne novine br. 70/2023.).

Prema toj uredbi, slijedeći sličnu formulaciju iz izmjena i dopuna Zakona o prostornom uređenju, agrosolarna postrojenja (agrosunčane/agrosolarne elektrane u kontekstu navedene uredbe) definirana su kao fotonaponska postrojenja sagrađena na zemljištu koje je prostornim planom bilo koje razine definirano kao poljoprivredno zemljište zasađeno poljoprivrednim trajnim nasadima⁷³ i koje je kao takvo upisano u evidenciju uporabe poljoprivrednih zemljišta (ARKOD) ili na koje su, uz postojeći prostor obuhvata farme i staklenika, postavljene agrosunčane elektrane s ciljem razvoja poljoprivredne djelatnosti i uz zadržavanje namjene poljoprivrednog zemljišta, uz izuzetak nacionalnih parkova i parkova prirode.

Uredba u čl. 18. izričito navodi da će se energetsko odobrenje za agrosolarna postrojenja

izdavati bez provođenja javnog natječaja, što je Zakonom o tržištu energije u pravilu predviđeno za projekte u kojima su vlasnički odnosi na zemljištu na kojem se planira sagraditi fotonaponsko postrojenje već riješeni. U stavku 6. tog članka navodi se da se zahtjev za izdavanje energetskog odobrenja za gradnju agrosolarnog postrojenja podnosi Ministarstvu, uz prilaganje dokaza o uspostavi trajnih poljoprivrednih nasada upisanih u ARKOD ili lokacijske informacije o prostoru obuhvata poljoprivrednih gospodarstava, staklenika ili plastenika, uključujući i ostalu dokumentaciju koju se mora podnijeti za sve ostale vrste energetskih projekata, a kako je definirano u čl. 3. Uredbe (studija izvedivosti, idejno rješenje, preliminarno mišljenje o mogućnosti priključenja na mrežu, itd.).

Također, ista definicija agrosolarnih projekata preuzeta je i Uredbom o poticanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i visokoučinkovitih kogeneracija (Narodne novine br. 70/2023) koja otvara mogućnost da se agrosolarni projekti financiraju putem modela tržišne premije ili zajamčene otkupne cijene.

d) PRAVNI OKVIR ZA PROVEDBU AGROSOLARNIH PROJEKATA (KOJI SE ODNOSI NA OSTALO ZAKONODAVSTVO)

Kada je riječ o ostalim dijelovima pravnog okvira koji su općenito važni za primjenu projekata obnovljivih izvora energije, znatan iskorak po pitanju regulacije agrosolarnih projekata bilo je donošenje Zakona o izmjenama i dopunama Zakona o prostornom uređenju (Narodne novine br. 67/2023). Prema tom prijedlogu Zakona, uveden je novi podstavak 35. u stavak 1. čl. 3. (definicije), koji glasi:

„Površine za gradnju agrosunčanih elektrana su površine koje su prostornim planom bilo

⁷³ Sukladno Pravilniku o provedbi izravne potpore poljoprivredi i IAKS mjera ruralnog razvoja za 2023. godinu (Narodne novine broj: 25/2023), trajni nasadi odnose se na vinograde, iskrčene vinograde, maslinike, voćnjake, višegodišnje nasade aromatičnoga i ljekovitog bilja, kulture kratke ophodnje, rasadnike, matičnjake loznih podloga i plemki te mješovite višegodišnje nasade.

koje razine određene kao poljoprivredne površine, a na kojima se uspostavom poljoprivrednih trajnih nasada upisanih u evidenciju uporabe poljoprivrednog zemljišta (ARKOD) ili na kojima se uz postojeći prostor obuhvata farme, staklenika ili plastenika postavom agrosunčanih elektrana postižu ciljevi razvoja poljoprivredne djelatnosti, uz zadržavanje namjene poljoprivrednog zemljišta, osim u nacionalnom parku i parku prirode.“

Osim toga, dodan je i podstavak 34. u kojem se navodi da površine na kojima je moguće graditi infrastrukturne građevine sunčanih elektrana, sukladno odredbama tog zakona, obuhvaćaju i vodne površine – jezera nastala eksploatacijom mineralnih sirovina, kao i **ribnjake** i druga uzgajališta akvakultura na kopnu, uz suglasnost davatelja koncesije, odnosno davatelja zakupa ako je riječ o području pod koncesijom, odnosno zakupom.

To je prvi usvojeni zakonodavni akt u kojem se izričito koristi termin „agrosunčana elektrana“ (koji se nadalje ponavlja i u Uredbi o izdavanju energetskih odobrenja), a koji predviđa da će se, pod određenim uvjetima, zahvaljujući prostornim planovima na postojećim poljoprivrednim zemljištima (uključujući ribnjake), takva površina definirati kao površina prikladna za gradnju agrosunčanih elektrana. Taj je zakon iznimno važan za cijelokupni razvoj agrosolarnog tržišta u Hrvatskoj jer se njime rješava pitanje usklađenosti agrosolarnih projekata s prostornim planovima, što je jedan od glavnih preduvjeta za pribavljanje energetskog odobrenja, a to je pak ključna točka u razvoju energetskih projekata.

e) ZAKLJUČCI VEZANO ZA POSTOJEĆI I BUDUĆI PRAVNI OKVIR ZA AGROSOLARNE PROJEKTE

Izneseni presjek postojećeg zakonodavstva vezanog uz agrosolare, iako je prilično fra-

gmentiran, također pruža relativno čvrst okvir koji bi se mogao pokazati dostatnim za pripremu prvih agrosolarnih (pilot) projekata u Hrvatskoj. Prema postojećoj zakonskoj regulativi, posebice nedavno usvojenim izmjenama i dopunama Zakona o prostornom uređenju i Uredbi o izdavanju energetskih odobrenja, moguće je pokrenuti projekte agrosunčanih elektrana na poljoprivrednom zemljištu ako se na tom zemljištu nalaze poljoprivredni trajni nasadi koji su upisani u ARKOD. Ako su ispunjeni svi ostali uvjeti definirani Uredbom o izdavanju energetskih odobrenja, prema članku 18., za takve je projekte moguće ishoditi energetsko odobrenje kao ključni dokument za poduzimanje svih ostalih koraka u tipičnom razvojnog procesu (dobivanje ugovora o priključenju na elektroenergetsku mrežu, podnošenje zahtjeva za lokacijsku dozvolu i sl.). Ako se planira projekt agrosunčane elektrane na zemljištu u državnom vlasništvu, relevantne, prethodno navedene odredbe Zakona o poljoprivrednom zemljištu moraju se uzeti u obzir, posebice u vezi s potrebnim odobrenjima Ministarstva poljoprivrede.

Ipak, kao što se može vidjeti iz primjera drugih zemalja, navedenih u 4. poglavljju, toj bi temi trebalo pristupiti na još sustavniji način. Također, uzimajući u obzir iskustva iz budućih pilot-projekata, barem neka od sljedećih pitanja trebala bi se riješiti putem zakona i/ili podzakonskog akta):

- 1) jasno definiranje agrosolarnih projekata kao projekata dvojne namjene poljoprivrednog zemljišta, koji su ujedno i agrotehnička mjera u smislu Pravilnika o agrotehničkim mjerama, uključujući jasno definiranje svih preduvjeta koje je potrebno ispuniti kako bi se projekt mogao smatrati agrosolarnim (uz elemente koji su već definirani postojećim zakonodavstvom);

- 2) utvrđivanje potrebnih preduvjeta i kriterija za održavanje i/ili poboljšanje postojeće poljoprivredne proizvodnje ili pokretanje nove poljoprivredne proizvodnje za agrosolarne projekte;
- 3) definiranje uvjeta koji se odnose na utvrđivanje prihvatljivih prostornih ograničenja, odnosno dopuštenih razina ograničenja prinosa poljoprivrednih kultura za primjenu agrosolarnih projekata na poljoprivrednom zemljištu (u smislu maksimalne površine poljoprivrednog zemljišta koju smiju prekrivati FN paneli, i dopuštene razine smanjenja prinosa poljoprivrednih kultura u odnosu na referentne vrijednosti i sl.);
- 4) određivanje tko može polagati pravo na pokretanje i razvoj takvih projekata (osim poljoprivrednika vlasnika ili zakupaca poljoprivrednog zemljišta), uz uvođenje mogućnosti različitih modela ulaganja u provedbu navedenih projekata, posebice na zemljištu u državnom vlasništvu;
- 5) definiranje mogućih posebnih postupaka ishođenja dozvola za pripremu i razvoj agrosolarnih projekata;
- 6) poboljšanje potrebnog institucionalnog ustroja u pogledu odobravanja i praćenja provedbe agrosolarnih projekata prema unaprijed određenim uvjetima i kriterijima, u kojem slučaju neke od znanstvenih ustanova mogu imati ulogu u cijelom procesu (usporedivo s iskustvima iz Francuske);
- 7) izdvajanje određenih programa i sredstava za potporu znanstvenim istraživanjima za primjenu agrosolara za različite kulture u različitim dijelovima Hrvatske;
- 8) razmatranje pokretanja programa bespovratnih sredstava i poticajnih cijena za poljoprivrednike i zajednice koje bi razvijale agrosolarne projekte manjih razmjera.

Uz to, može se uzeti u obzir de ce biti potrebno usvojiti posebne tehničke propise ili smjernice za primjenu agrosolara za različite mo-

dele tehničkih rješenja primjenjive za različite vrste poljoprivrednih kultura, kao što je bio slučaj u nekim od zemalja koje smo ispitali u sklopu ove studije (npr. Njemačka ili Italija).

Naposljetu, koncept agrosolara trebalo bi na odgovarajući način ugraditi i u strateške dokumente koji se odnose na poticanje proizvodnje energije iz obnovljivih izvora i smanjenje štetnih učinaka zbog emisije stakleničkih plinova, kao i u strateške dokumente koji imaju za cilj unaprjeđenje poljoprivredne proizvodnje u Republici Hrvatskoj.

6.2 OČEKIVANI IZAZOVI U PROVEDBI AGROSOLARNIH PROJEKATA

Budući da definicija agrosolara u pravilu podrazumijeva dvojnu upotrebu poljoprivrednog zemljišta te da se kao koncept može promatrati kao nešto novo i inovativno, pri uspostavi uspješnog sustava agrosolara moguće je naići na razne izazove i prepreke.

Uzimajući u obzir iskustva mnogih zemalja koje su već donekle uspostavile te sustave, ti se izazovi i prepreke mogu sažeti u određene osnovne kategorije kao što su tehnološke, infrastrukturne, finansijske, pravne, kulturne i sl.

Glede razvoja agrosolarnog tržišta u Hrvatskoj, postoji nekoliko izazova koje je potrebno uzeti u obzir.

a) NEDOSTUPNOST DISTRIBUCIJSKE/ PRIJENOSNE MREŽE

Prvi važniji izazov bio bi pitanje povezivanja i integracije agrosolarnih projekata na elektro-distribucijsku i prijenosnu mrežu.

Tablica 2. Mogućnost spajanja na prijenosnu mrežu

Županija	Regija	A	B	C	Ukupno
Osječko-baranjska	Slavonija	300	100	300	700
Sisačko-moslavačka	Središnja Hrvatska	350	0	0	350
Istarska	Istra	200	100	0	300
Zagrebačka	Središnja Hrvatska	200	0	0	200
Grad Zagreb	Središnja Hrvatska	150	0	0	150
Brodsko-posavska	Slavonija	100	0	0	100
Primorsko-goranska	Kvarner	50	0	0	50
Virovitičko-podravska	Slavonija	50	0	0	50
Vukovarsko-srijemska	Slavonija	50	0	0	50
Bjelovarsko-bilogorska	Središnja Hrvatska	50	0	0	50
Karlovačka	Središnja Hrvatska	50	0	0	50
Požeško-slavonska	Slavonija	50	0	0	50
UKUPNO		1.600	200	300	2.100

Legenda: Trafostanica mogućnosti priključenja A ≤ 50 MW, B ≤ 100 MW i C >100 MW

Izvor: Informacija o mogućnosti priključenja na prijenosnu mrežu za 2023. godinu; HOPS; prosinac, 2022. godine

U prosincu 2022. godine Hrvatski operator prijenosnog sustava (HOPS) objavio je Informaciju o mogućnosti priključenja na prijenosnu mrežu za 2023.⁷⁴, u sklopu koje je procijenio da postoji električni potencijal od više od 2.100 MW za priključenje novih proizvodnih pogona OIE-a na prijenosnu mrežu (Tablica 2.). Kada se napravi podjela po regijama, zaključuje se da Slavonija ima 45 % ukupnoga raspoloživog kapaciteta s minimalno 950 MW priključne snage.

S obzirom na golem potencijal za razvoj obnovljivih izvora energije u Slavoniji, nužno je dati prioritet ulaganjima i politikama koje podržavaju razvoj i širenje projekata OIE-a na tom području. Integracija proizvodnje solarne energije u poljoprivredu posebno je pogod-

na za Slavoniju s obzirom na njezinu primarno poljoprivrednu prirodu. Implementacija agrosolara u Slavoniji također može poslužiti kao alat protiv sve intenzivnijeg iseljavanja, i to promicanjem gospodarskog razvoja i diversifikacije. Ako se okrene iskoristavanju obnovljivih izvora energije i oživljavanju poljoprivrede, ta će regija postati atraktivnija i za ulaganja i za inovacije.

Sve što je rečeno ne znači da se agrosolarni projekti ne mogu provoditi u južnom dijelu Hrvatske, nego tek da će primjena takvih projekata (ako nisu u svrhe i za potrebe vlastite potrošnje) biti ograničena jer će ovisiti o dalnjim nadogradnjama mreže, za koje se očekuje da će se dogoditi u sljedećem desetljeću.

b) NEJASAN PRAVNI OKVIR

Kao što je prethodno objašnjeno, drugi izazov za uspješnu primjenu agrosolarnih projekata

⁷⁴ <https://www.hops.hr/post-file/35w5GaQFeKUAaQyy-m3UXM1/informacija-o-mogucnosti-prikljucenja-na-prijenosnu-mrezu-za-2023.-godinu/Informacija%20o%20mogu%C4%87nosti%20priklu%C4%8Denja%20na%20prijenosnu%20mre%C5%BEu%20za%202023.%20godinu.pdf>

je nedosljedan i nejasan pravni okvir. Ipak, kao što je spomenuto u prethodnom poglavljju, postojeći pravni okvir već je znatno unaprijeđen dajući solidan okvir za primjenu prvih agrosolarnih projekata. Uzimajući u obzir i stečena iskustva iz tih prvih projekata nadležna bi tijela (Ministarstvo poljoprivrede te Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja) trebala pokrenuti proces cjelokupne i sustavne regulacije agrosolara.

c) NEODGOVARAJUĆA KOMUNIKACIJA I NEDOSTATAK PODRŠKE JAVNOSTI

Jedan od većih potencijalnih izazova bit će suočavanje s mogućim protivljenjem konceptu agrosolara, što se može očekivati od nekih od ključnih dionika (poljoprivrednici, nevladine organizacije, udruženja poljoprivrednika, lokalni predstavnici izvršne vlasti, šira javnost). Svako takvo protivljenje može biti rezultat nedostatka relevantnih i objektivnih informacija o modelu, njegovim prednostima i nedostacima, kao i neasnoga pravnog okvira te straha da će se poljoprivredno zemljište uništiti ili znatno narušiti puštanjem energetskih pugona u rad i tome slično. Veoma je važno da relevantne institucije, kao što su nadležna ministarstva, akademска zajednica, komore i udruge/udruženja različitih interesnih skupina, razmjenjuju objektivne i provjene informacije o prednostima i nedostacima agrosolara, pružaju određene smjernice i primjere najbolje prakse te u konačnici uspostave pravni i institucionalni okvir koji će osigurati da svaki agrosolarni projekt u prвome redu znači očuvanje poljoprivredne proizvodnje, dok će se proizvodnja električne energije na poljoprivrednom zemljištu smatrati sekundarnom i komplementarnom djelatnošću.

d) POTRAŽNJA NADMAŠUJE POTENCIJALE AGROSOLARNIH PROJEKATA

Nadalje, jedan od izazova može biti i prevelika količina zahtjeva za agrosolarne projekte, posebno u dijelovima Hrvatske u kojima još uvjek postoji slobodan i dostupan priključak na mrežu (sjeverni i središnji dio). U tom slučaju mogla bi se dogoditi blokada cijelog sustava kada je riječ o ishođenju potrebnih dozvola (energetska odobrenja, ugovori o priključenju na mrežu), što potencijalno može zaustaviti razvoj takvih projekata na nekoliko godina. Jedan od mogućih načina nošenja s tom hipotetskom situacijom je utvrđivanje godišnjih kvota za razvoj agrosolarnih projekata (u smislu ukupnoga kapaciteta) ili kvota za određeno razdoblje (odnosno za određena područja Hrvatske).

e) OSTALI RIZICI I PREPREKE

Drugi izazovi koji bi se mogli pojaviti bit će tehnički (kako primijeniti agrosolare na nepovoljnim terenima kao što su krš i/ili brdoviti teren), finansijski (kako pretvoriti agrosolare u finansijski održive projekte, posebno u slučaju manjih projekata), poljoprivredni (koje poljoprivredne kulture odabrati za agrosolarnu primjenu) i slično. Inovativna tehnička rješenja, daljnja znanstvena istraživanja, prijenos stručnih znanja i iskustava iz drugih zemalja sa sličnih, već implementiranih projekata mogu biti od pomoći u suočavanju s tim izazovima.

7. POLJOPRIVREDNI POTENCIJALI HRVATSKE ZA PRIMJENU AGROSOLARNIH PROJEKATA

U ovom će poglavlju biti predviđena detaljna analiza poljoprivrednih potencijala za agrosolarni projekti u Hrvatskoj.

To će prije svega uključivati analizu prednosti i ograničenja primjene agrosolara za specifične kulture, uzimajući u obzir različite vrste istraživanja, primjenjive studije slučaja i primjere sličnih projekata, kao i zaključke autora studije o primjenjivosti agrosolara za određene vrste usjeva u Hrvatskoj.

Svrha ovog poglavlja je istražiti koji su potencijali različitih vrsta poljoprivrednih kultura/poljoprivrednih površina za primjenu agrosolara u Hrvatskoj, bez obzira na postojeće ili buduće zakonske definicije agrosolarnih postrojenja, te što će se smatrati agrosolarama u pravnom smislu.

Slijedom definicije poljoprivrednog zemljišta prema Zakonu o poljoprivrednom zemljištu, predmet ove analize obuhvatit će sljedeće vrste poljoprivrednih kultura, odnosno oblika poljoprivredne proizvodnje:

1. vinogradarstvo;
2. voćarstvo (i kontinentalne i mediteranske kulture);
3. uzgoj aromatičnoga i ljekovitog bilja;
4. povrćarstvo;
5. proizvodnju žitarica te industrijskoga i krmnog bilja;

6. travnjaštvo i stočarstvo;
7. ribnjačarstvo/plutajuće FN elektrane.

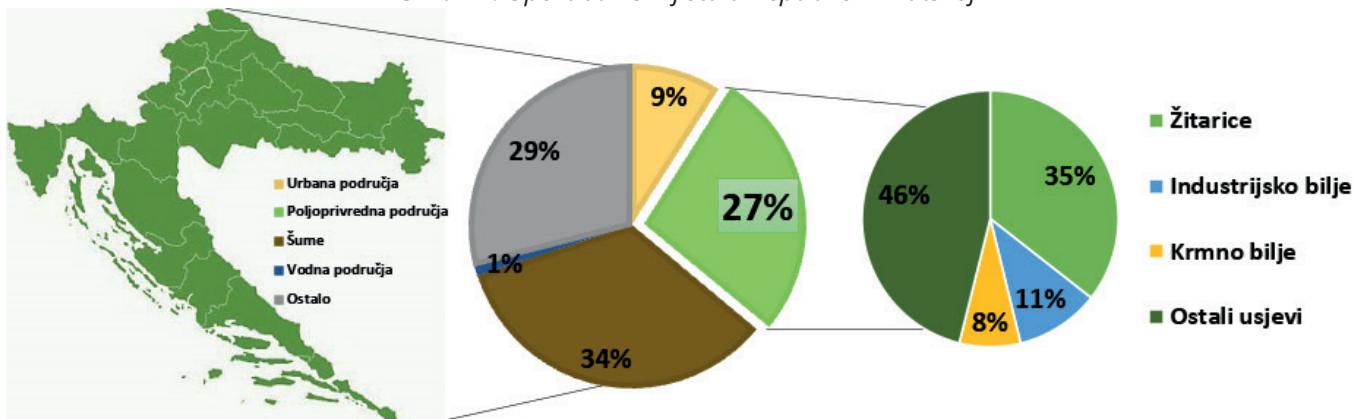
7.1 UVOD

Republika Hrvatska obično se dijeli se na Kontinentalnu Hrvatsku i Jadransku regiju. Međutim, od 2021. godine postoji nova Nacionalna klasifikacija statističkih regija (NUTS) koja definira četiri regije: Panonsku Hrvatsku, Sjevernu Hrvatsku, Grad Zagreb (sve su dio Kontinentalne Hrvatske) i Jadransku Hrvatsku.

Područje Kontinentalne Hrvatske obuhvaća središnju Hrvatsku, Slavoniju i Baranju. Središnja je Hrvatska blago brdovito područje prekriveno vinogradima, livadama i šumama te ispresjecano riječnim tokovima. Slavonija se nalazi na krajnjem istoku Hrvatske, a poznata je po prostranim ravnicama i velikoj količini ratarskih kultura – do te mjeru da je zovu „zeleni riznica“. Područje Jadranske Hrvatske obuhvaća sjeverni Jadran, odnosno Kvarner, Istru i Gorski kotar, srednji Jadran, koji obuhvaća područje sjeverne Dalmacije i Liku, a postoji još i područje srednje i južne Dalmacije.

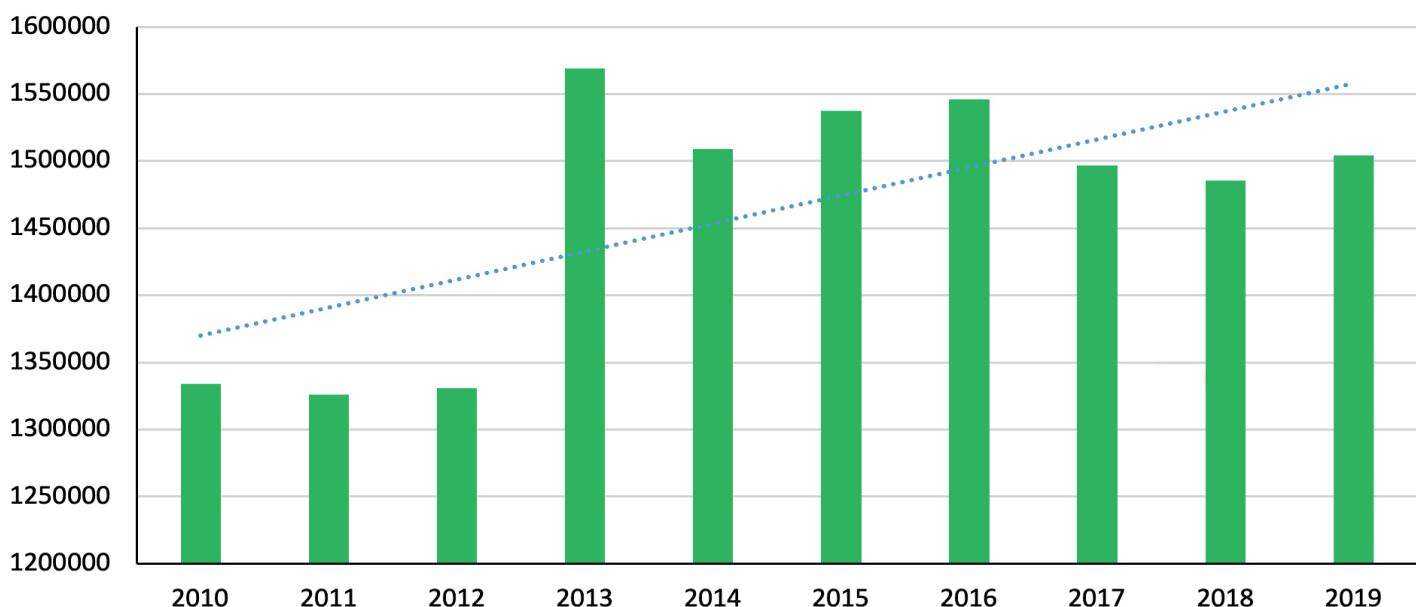
U Jadranskoj regiji prevladavaju trajni travnjaci, a poljoprivredna proizvodnja uključuje uglavnom vinogradarstvo i maslinarstvo kao najvažnije grane tog područja, ali i proizvodnju agruma i povrća.

Slika 11. Uporaba zemljišta u Republici Hrvatskoj



Izvor: Državni zavod za statistiku (DZS), 2022. godine

Slika 12. Površine korištenoga poljoprivrednog zemljišta u Republici Hrvatskoj od 2010. do 2019. godine



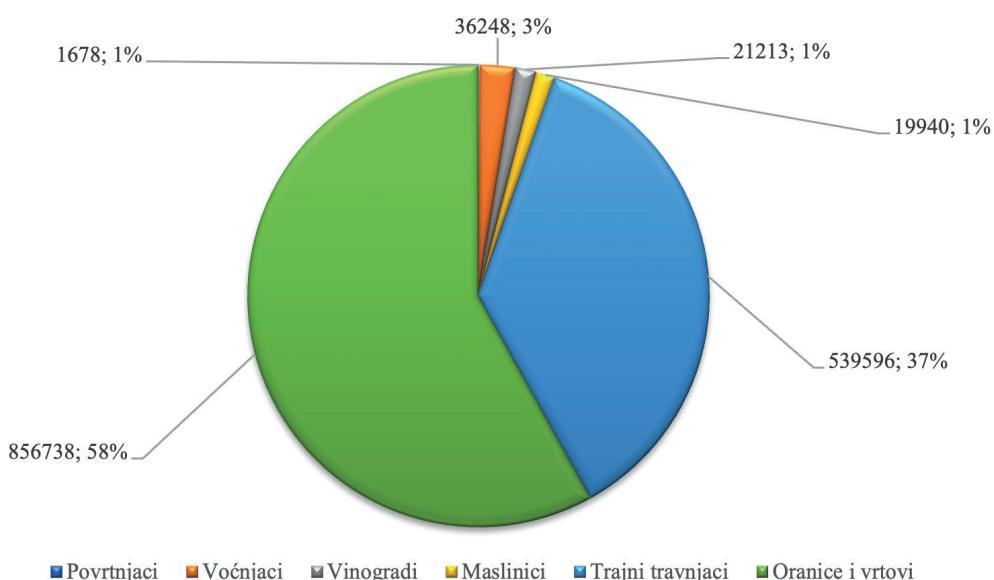
Izvor: Državni zavod za statistiku (DZS), 2022. godine

Republika Hrvatska prostire se na površini od 56.590 km² koja se dijeli na: šume i grmlje – oko 35 % ukupne površine; poljoprivredna zemljišta – oko 27 %; urbana područja – 9 %; unutarnji vodeni putovi – 1,0 % i ostalo – 29 % (Slika 11.). Prema podacima Državnog zavoda za statistiku (DZS, 2022.), ukupna površina zemljišta koja se koriste za poljoprivredu u razdoblju od 2010. do 2019. godine u prosjeku je iznosila oko 1.477.000 ha (Slika 12.).

Oko 55 do 60 % korištenih poljoprivrednih površina spada u kategoriju obradivih oranica i vrtova, koji zauzimaju više od 850.000 ha (Slika 13.), a na drugome su mjestu trajni travnjaci (oko 540.000 ha). Ostale kulture – povrće, voćnjaci, maslinici i vinogradi – zauzimaju oko 6 % poljoprivrednih površina (oko 80.000 ha).

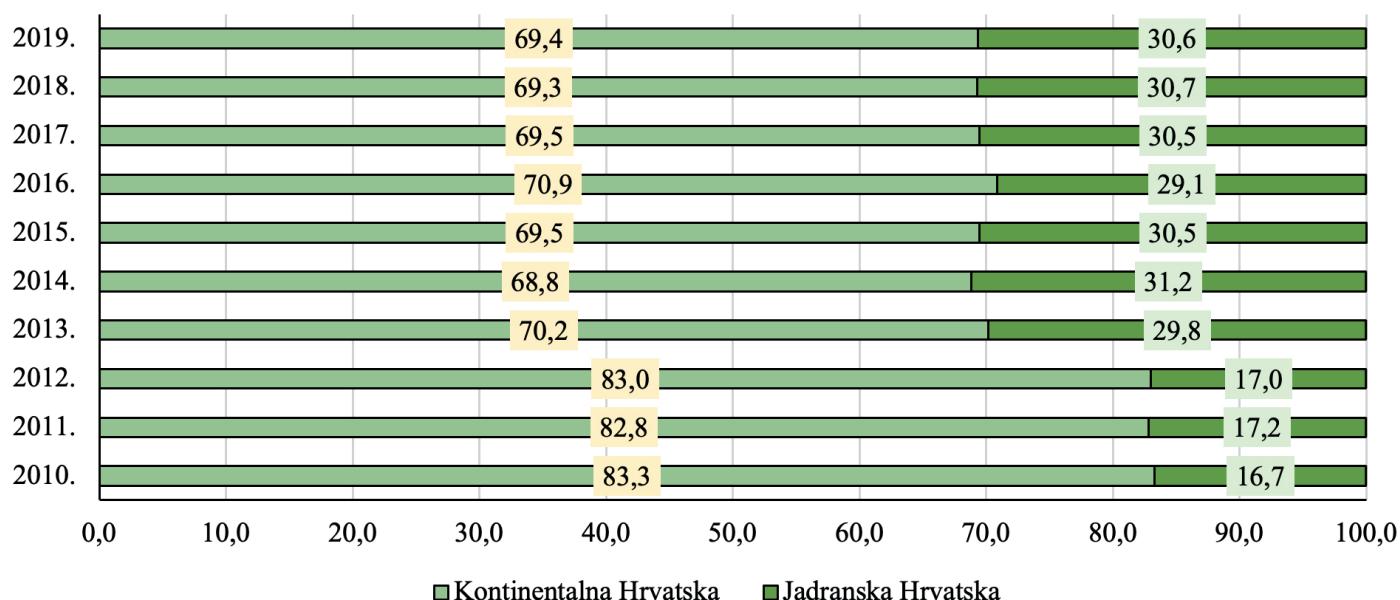
Tijekom posljednjega desetljeća 70 % korištenih poljoprivrednih površina zabilježeno

Slika 13. Površina (ha) i udio (%) poljoprivrednog zemljišta po kategorijama 2021. godine



Izvor: Državni zavod za statistiku (DZS), 2022. godine

Slika 14. Udio korištenih poljoprivrednih površina u Kontinentalnoj i Jadranskoj Hrvatskoj od 2010. do 2019. godine



Izvor: Državni zavod za statistiku (DZS), 2022. godine

je u Kontinentalnoj Hrvatskoj, a oko 30 % u Jadranskoj Hrvatskoj (Slika 14.).

Prema istraživanju autora ove studije, uzimajući u obzir podatke kojima trenutačno raspolaze ARKOD, od ukupne površine zemljišta koja se koriste za poljoprivredu, otprilike 25 % u državnom je vlasništvu, dok je oko 75 % zemljišta u privatnom vlasništvu (točni podaci za svaku navedenu vrstu poljoprivrednog zemljišta nisu dostupni).

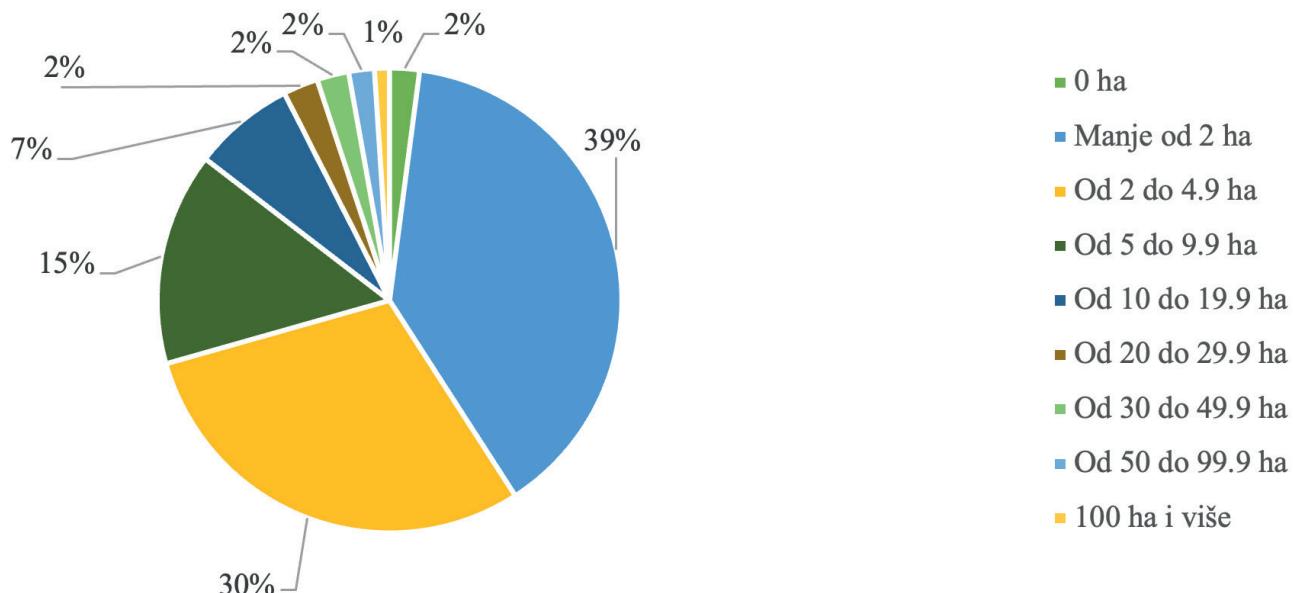
VELIČINA POLJOPRIVREDNIH GOSPODARSTAVA U HRVATSKOJ

Poljoprivredna gospodarstva Republike Hrvatske karakterizira velik broj različitih proizvodnih i gospodarskih subjekata. Prema Eurostatovoj (2022.) bazi podataka za poljoprivredu, šumarstvo i ribarstvo, od ukupnoga broja poljoprivrednih gospodarstava (143.927), većina (39 %) ima manje od 2 ha, 30 % ima od 2 do 4,9 ha, a 15 % prekriva površinu od 5 do 9,9 ha. Najmanji broj poljoprivrednih gospodarstava ima više od 100 ha (1 %)

(Slika 15.). To upozorava na još uvijek prisutnu veliku rascjepkanost poljoprivrednih gospodarstava u Hrvatskoj, u kojoj je prosjek površine komercijalnih poljoprivrednih gospodarstava oko 8,5 ha, a prosjek površine svih drugih poljoprivrednih gospodarstava samo 2,9 ha, što može djelovati kao ograničavajući čimbenik u široj primjeni agrosolarnih projekata.

Za potrebe ove Studije bit će uzete u obzir površine poljoprivrednih gospodarstava većih od 1 ha, na kojima se uzgajaju poljoprivredne kulture koje mogu biti pogodne za primjenu agrosolara, jer se temeljem međunarodne prakse smatra da je riječ o minimalnim površinama potrebnim da bi se mogli implementirati financijski održivi projekti agrosolara (što ne znači da se navedeni projekti u nekim konkretnim slučajevima neće moći razvijati i na manjim površinama, pogotovo ako vlasnici/zakupci poljoprivrednog zemljišta tako dobivenu energiju budu koristili za vlastitu potrošnju).

Slika 15. Poljoprivredno zemljište obiteljskih gospodarstava u Hrvatskoj 2020. godine



Izvor: Eurostat, 2022. godine

7.2 VINOGRADARSTVO

7.2.1 Uvod

Vinogradi se u načelu mogu smatrati pogodnim za agrosolarne projekte. Jedan od glavnih razloga za to je činjenica da je vinova loza poljoprivredna kultura visoke gospodarske vrijednosti. Vinogradi se najčešće podižu u područjima s umjerenim temperaturama i obiljem sunčeve svjetlosti. Vinova loza obično se smatra biljkom kojoj treba dosta sunca, ali čak i u nedostatku sunčeve svjetlosti tijekom dana još ju je uvijek moguće uzgajati u hladu.⁷⁵ Potencijalna rješenja trebala bi pronaći ravnotežu između proizvodnje energije i podnošljive količine zasjenjenja koja neće negativno utjecati na rast i razvoj vinove loze. Glavna istraživačka pitanja i dalje su koegzistencija vegetacije i agrosolara, posebno u pogledu svojstava tla i mikroklimatskih promjena, kao i troškovi instalacije i održavanja agrosolarnih sustava.

Vinogradi se u pravilu sade u redovima. Uobi-

⁷⁵ Rodriguez, 2022.

čajena metoda za maksimalno iskorištavanje sunčeve svjetlosti podrazumijeva fiksne potporne sustave sa solarnim panelima podignutim iznad nasada. To vinogradarskim strojevima omogućuje nesmetan pristup trsovima. Neki su autori⁷⁶ predložili postavljanje FN panela u međuprostor između redova vinove loze. S druge strane, neki autori predlažu vertikalnu integraciju fotonaponskih površina⁷⁷ uz postojeći sustav rešetkastih ograda, čime bi se maksimalno umanjili troškovi i opseg gradnje. Predložena simbiotička integracija fotonaponskih modula u sustav rešetkastih ograda vinograda nazvana je enovoltaika. Agrosolarni moduli postavljeni iznad vinograda ne samo da mogu djelovati kao barijera sunčevoj svjetlosti, nego i kao zaštita od tuče i/ili obilnih pljuskova.

Vinogradi s optimalnom površinom za agrosolarne instalacije obično su veći od 1 ha. U tako velikim vinogradima trsovi se načelno obrađuju pomoću mehaničke opreme. Sto-

⁷⁶ Malu et al., 2017.; Cho et al., 2020.

⁷⁷ Padilla et al., 2022.

ga ustroj ASE-a mora biti u skladu ne samo s regionalnim klimatskim uvjetima i sortama vinove loze, nego i s metodama ampelotehničkih zahvata u vinograd. Podizanje agrosolarnih modula, udaljenost između njih te gustoća i kut nagiba solarnih panela još uvijek su predmet mnogih istraživanja.⁷⁸

7.2.2 REZULTATI DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA – PREDNOSTI I IZAZOVI

Studije koje se bave agrosolarnim sustavima u načelu su se fokusirale na vrlo malu količinu kultura, uz gotovo nikakve zaključke i informacije o vinovoj lozi. Tek su posljednjih nekoliko godina pokrenuta određena istraživanja o kulturama poput vinove loze⁷⁹, ali podaci nisu baš izdašni. Važnost proizvodnje stolnoga grožđa, vina i grožđica naširoko je poznata, a samo u EU-u ima više od 3 milijuna ha vinogradarskih površina, i to u različitim klimatskim uvjetima.⁸⁰

Glavna prednost agrosolara u tom je slučaju efekt zasjenjenja, koji može biti od velike pomoći u vinogradima koji rastu u vrućim i sušnim klimatskim uvjetima i koji sprječava prekomjerno toplotno opterećenje tijekom sparnih ljetnih mjeseci.⁸¹ Znanstvenici su otkrili da agrosolarni sustav može stvoriti hladnije okruženje poboljšavajući performanse FN panela, dok više hlađa može imati povoljan utjecaj na učinkovitost uporabe vode, sadržaj vlage u tlu i prinos vinove loze.

Među različitim poljoprivrednim kulturama koje su proučavane u pogledu mogućnosti primjene agrosolara, vinova je loza vrlo slabo zastupljena.

Postoji samo nekoliko znanstvenih radova na tu temu. Jedan od njih otkrio je⁸² blago smanjenje sadržaja šećera i mase grozda, zbog čega se došlo do zaključka da se normalna kvaliteta može postići odgodom berbe od 10 dana. Stopa zasjenjenja solarnih panela projektirana je tako da iznosi 30 % od ukupne promatrane krovne površine. Ispitani su i vodoravno postavljeni fotonaponski paneli u međuprostoru između redova vinograda⁸³, ali bez ikakva biološkog aspekta. Uočene su i ekonomski pogodnosti u vinogradima s armaturom.

Tvrta Sun Agri prva je dobila i iznijela pouzdane rezultate nakon proučavanja pilot-agrosunčane elektrane u Piolencu, odnosno Vaucleuse, u dolini rijeke Rhone. Trsovi zaštićeni dinamičkim agrosolarnim sustavom imali su bolju otpornost na visoke ljetne temperature nego ostali: zastoj u rastu zasjenjenih trsova zabilježen je 6 do 13 dana kasnije u usporedbi s nezaštićenim kontrolnim trsovima.

Nestašica vode, zabilježena pomoću senzora, poprimila je manje razmjere u zasjenjenim trsovima – smanjenje potrebe za vodom variralo je od 12 do 34 %, ovisno o sustavu. Zasjenjenje je također pozitivno utjecalo na masu grozdova, koja je kod zaštićenih trsova porasla za 17 %. U sličnom tonu, zasjenjenje je povoljno djelovalo i na organoleptičku kvalitetu vina. Sadržaj antocijana bio je veći (+13 %), kao i ukupna kiselost (+9 do +14 %, ovisno o metodi). Nasuprot tome, alkoholna jakost vina ostala je na istoj razini na zasjenjenim parcelama i u kontrolnom vinogradu.⁸⁴ Ista tvrtka zabilježila je i smanjenje potrošnje vode za 20 % u vinogradu Domaine de Nidolères u Tressereu. Uočili su povećanje sadržaja antocijana za 13 % i povećanje kiselosti između 9 % i 14 %, ali nije jasno odnosi li se to

⁷⁸ Zaniol Abidin et al., 2021.

⁷⁹ Sun'Agri, 2021.

⁸⁰ Ferrara et al., 2023.

⁸¹ Turan, 2021.

⁸² Cho et al., 2020.

⁸³ Malu et al., 2017.

⁸⁴ Vitisphere, 2020.

na grožđe ili vino. Također su primijetili manje zastoja u rastu i manje uvenulih listova tijekom toplinskih valova u ljeto 2019. godine.⁸⁵

Prema nedavnom istraživanju⁸⁶ u vinogradu koji se nalazi u sjevernoj Italiji, u regiji Veneto, provedenom na sorti vinove loze Corvina (*Vitis vinifera, L.*), fotonaponski paneli smanjili su maksimalnu temperaturu zraka i tla za 1 – 2° C. Vodni potencijal trsa znatno je smanjen (manje negativan) zasjenjivanjem od strane panela i ujutro i u podne u vrijednosti od oko 1 – 6 Mpa, što upućuje na umanjene stresne uvjete za vinovu lozu pod agrosolarima.

Fotonaponski paneli utjecali su na mikroklimu vinograda (niža temperatura zraka i tla, viši vodni potencijal matičnog supstrata u tlu) tijekom tri godišnja doba. Na parametre produktivnosti vinove loze (prinos, broj grozdova

⁸⁵ Sun Agri, 2021.

⁸⁶ Ferrara et al., 2023.

i masu) utjecalo se u ograničenoj mjeri; antocijani, šećeri i polifenoli smanjeni su u moštlu iz agrosolarnih trsova. Ta otkrića pokazuju da paneli utječu na mikroklimu i fiziologiju vinove loze te da dolazi do smanjenja prinosa pod agrosolarima, ali i kako u vrućim i suhim vremenskim uvjetima rezultati mogu biti vrlo zanimljivi – bilo za proizvodnju energije, bilo za proizvodnju grožđa. Daljnje eksperimente u takvim uvjetima okoliša potrebno je provesti i iz perspektive klimatskih promjena.

7.2.3 STUDIJE SLUČAJA REFERENTNIH PROJEKATA

a. VINOGRAD DOMAIN DE NIDOLÈRES U TRESSEREU (FRANCUSKA)

Prvo agrosolarno poljoprivredno gospodarstvo na svijetu s panelima na daljinsko upravljanje osnovano je 2018. godine u Francuskoj.

Slika 16. Domaine de Nidolères



Izvor: <https://sunagri.fr/en/project/nidoleres-estate>

Proteže se na 4,5 hektara vinograda Domaine de Nidolères u Tressereu, u regiji Aspres, na istočnome dijelu Pireneja (Slika 16.). Vinogradarska regija Aspres uživa zaštićenu oznaku izvornosti (ZOI) od 2017. godine. Vinogradi su izravno ugroženi zbog klimatskih promjena i sve jačih suša, i to do te mjere da je propadanje poljoprivrednih površina najizraženije u regiji. Fotonaponski paneli pokrivaju 28.600 mladih trsova vinove loze (Grenache Blanc, Chardonnay, Marselan rouge) na visini od 4,5 m od tla, a njima se upravlja automatski, pomoću algoritama. Projekt su osmislili Sun'R i Bouygues Energies et Services, a pokrenuli su ga uz potporu regije Occitanie Pyrénées Méditerranée. Instalirana snaga agrosolarne elektrane je 2,1 MWp, a proizvedena električna energija preusmjerava se u elektroenergetsku mrežu, u koju svrhu su obližnji vodovi pomaknuti kako bi se spojili na agrosolarno postrojenje. Elektrana proizvodi do-

voljno energije za 650 kućanstava i štedi gotovo 3.000 tona CO₂.

**b. PAMETNA AGROSUNČANA ELEKTRANA
WINESOLAR, GUADAMUR, TOLEDO
(ŠPANJOLSKA)**

Tvrtka Iberdrola pustila je 2022. godine u pogon prvu pametnu agrosunčanu elektranu u Španjolskoj u vinogradima González Byass i Grupo Emperador, koji se nalaze u mjestu Guadamur, u Toledo. Ta inovativna instalacija omogućuje prilagodbu razmještaja modula potrebama vinove loze, i to kako bi se pomoću zasjenjenja od panela regulirala insolacija i temperatura u vinogradu.

Uređajima za praćenje u sklopu instalacije upravlјat će algoritam umjetne inteligencije, koji će u svakom trenutku biti u stanju odrediti optimalan položaj solarnih panela postav-

Slika 17. Prva pametna agrosunčana elektrana u Španjolskoj (Guadamur, Toledo)



Izvor: https://www.infolibre.es/contenidos-publicitarios/iberdrola-pone-marc-ha-primera-planta-agovoltaica-inteligente-espana_1_1341728.html

ljenih iznad vinove loze. Stupanj nagiba utvrđuje se prema informacijama koje prikupljaju senzori postavljeni u vinogradima, koji bilježe podatke koji se, među ostalim, odnose na sunčevu zračenje, vlažnost tla, uvjete vjetra i debljinu stabla trsova.

Cilj je poboljšati kvalitetu grožđa, smanjiti potrošnju vode za navodnjavanje te povećati otpornost nasada na vremenske prilike u uvjetima rasta temperatura i sve češćih toplinskih valova.

Proizvodnja te pilot-elektrane kapaciteta 40 kW vinarije González Byass i Grupo Empera-

dor koristit će se isključivo za vlastitu potrošnju, čime će smanjiti vlastite emisije, odnosno pridonijeti dekarbonizaciji vlastite djelatnosti te umanjiti svoje troškove energije (Slika 17.).

7.2.4 STRUKTURA VINOGRADARSKIH POVRŠINA U HRVATSKOJ

Klima je, uz tlo i sorte, jedan od glavnih čimbenika regionalizacije. Republika Hrvatska ima specifičan geografski položaj koji je popriše susreta dviju vrsta klime: kontinentalne (istočni i središnji dio zemlje) i mediteranske (južni i obalni dio). Sukladno podneblju, temperatura je jedan od ograničavajućih čimbenika za uz-

Tablica 3. Struktura vinogradarskih čestica u Republici Hrvatskoj

Vinogradarske čestice (ha)	Površina/br. proizvođača	Ukupno	Udio ukupne površine (%)
< 0,1	Površina (ha)	837,50	4,73
	Br. proizvođača	13.075,00	39,09
0,1 – 1	Površina (ha)	4.851,63	27,39
	Br. proizvođača	17.848,00	53,35
1 – 5	Površina (ha)	4.257,83	24,03
	Br. proizvođača	2.191,00	6,55
5 – 10	Površina (ha)	1.351,11	7,63
	Br. proizvođača	197,00	0,59
10 – 50	Površina (ha)	2.143,14	12,10
	Br. proizvođača	117,00	0,35
50 – 100	Površina (ha)	700,68	3,96
	Br. proizvođača	11,00	0,03
100 – 200	Površina (ha)	973,91	5,50
	Br. proizvođača	7,00	0,02
> 200	Površina (ha)	2.599,50	14,67
	Br. proizvođača	6,00	0,02
Ukupno u Republici Hrvatskoj	Površina (ha)	17.715,31	100
	Br. proizvođača	33.452,00	100
Prosj. nagib vinograda [°]		6,38	

Izvor: Agencija za plaćanja u poljoprivredi, ribarstvu i ruralnom razvoju (APPRRR)

goj vinove loze. U slučaju vinove loze, srednja dnevna temperatura od 10° C predstavlja biološku nulu, dok se sve temperature iznad toga smatraju aktivnima. Aktivne temperature u pravilu traju od travnja do kraja listopada (razdoblje rasta). Ako se biološka nula oduzme od aktivne temperature, rezultat je efektivna temperatura. Republika Hrvatska dijeli se na četiri vinske regije⁸⁷: Hrvatsko gorje, Istra i Kvarner, Slavonija i Podunavlje te Dalmacija. Te se regije nadalje dijele na 12 podregija.

Prema podacima iz vinogradarskog registra⁸⁸ od 24. studenoga 2022. godine, ukupna površina vinogradarskog područja u Republici Hrvatskoj iznosi 17.715,31 ha.

Struktura vinogradarskih površina u Hrvatskoj odlikuje se malim proizvodnim česticama i malim brojem velikih vinogradarskih proizvođača (Tablica 3.). U Tablici 3. vidljivo je da 92,44 % proizvođača posjeduje vinogradarske čestice manje od 1 ha, ali u isto vrijeme njihove vinogradarske čestice čine udio od 32,12 % ukupne površine vinogradarskog područja u Republici Hrvatskoj. Odabrani kriterij za gradnju agrosunčanih elektrana bio bi prag veličine čestice od 1 ha, što je 67,88 % ukupnih površina pod vinogradima, **što nadalje znači da je 12.026,17 ha ukupne površine vinogradarskog područja u teoriji pogodno za primjenu agrosolara.** Prosječni nagib vinograda iznosi 6,38 %, što nije prepreka pri gradnji agrosolarnih pogona.

Podregije s najviše vinograda površine veće od 1 ha su Hrvatsko Podunavlje, Slavonija, Hrvatska Istra (to su ujedno i regije s najviše raspoloživog kapaciteta elektroenergetske mreže), Srednja i Južna Dalmacija te Dalmatinska zagora. Najmanje takvih vinograda ima

u podregijama Pokuplje, Hrvatsko primorje, Prigorje – Bilogora i Sjeverna Dalmacija.

7.2.5 ZAKLJUČCI I PREPORUKE

Kao što je prethodno prikazano, 92,44 % proizvođača posjeduje vinogradarske čestice manje od 1 ha, ali u isto vrijeme njihove čestice čine udio od 32,12 % ukupne površine vinogradarskog područja u Hrvatskoj. Dakle, 67,88 %, odnosno **12.026 ha ukupne površine vinogradarskog područja čini se prikladnim za primjenu agrosolarne tehnologije.** Preporučuje se primjenjivati agrosolarnu tehnologiju samo u vinogradima velike površine, točnije, veće od 1 ha.

Velika većina preporučenih vinogradarskih površina nalazi se u pet vinogradarskih podregija (Hrvatsko Podunavlje, Slavonija, Hrvatska Istra, Srednja i Južna Dalmacija i Dalmatinska zagora), s ukupnom površinom od 10.402 ha.

Prosječni nagib od 6,38 % nije prepreka za gradnju agrosunčanih elektrana. Nije bilo moguće doći do podataka o izloženosti vinograda, ali imajući u vidu vinovu lozu kao biljku dugog dana, pretpostavlja se da su svi vinograđi dovoljno izloženi suncu za postavljanje agrosolarnih sustava.

U vezi s pojedinačnim sortama vinove loze, može se očekivati da će aromatične bijele sorte imati snažan pozitivan odgovor na djelomično zasjenjenje nastalo primjenom agrosolara. Bijele sorte općenito su osjetljivije na opeklne izazvane intenzivnim UV zračenjem, a aromatski spojevi koji se nalaze u kožici bobice skloni su razgradnji u ekstremno vrućim vremenskim uvjetima. S druge strane, jaka suša može prouzročiti znatan gubitak prinaša. Stoga bi ugradnja agrosolara mogla biti od posebnog interesa u sušnim i polusušnim vinogradarskim područjima. S obzirom na mo-

⁸⁷ Pravilnik o vinogradarstvu (Narodne novine, broj 81/2022.)

⁸⁸ <https://www.aprrr.hr/registri/>

gućnost korištenja agrosolara u vinogradarstvu, treba nastaviti s istraživanjem i radom kako bi se eksperimentalno provjerili rezultati prethodnih istraživanja, koji variraju ovisno o mnogo različitih čimbenika.

7.3 VOĆARSTVO

7.3.1 Uvod

Solarni paneli iznad voćnjaka zasigurno će utjecati na rast biljaka i prinos plodova. Hoće li biti riječ o pozitivnom ili negativnom utjecaju, ovisi o raznim čimbenicima (vrste i sorta voća, položaj, vremenski uvjeti...). Kao posljedica klimatskih promjena javljaju se brojni problemi kada je riječ o tradicionalnim položajima voćnjaka i tehnologiji uzgoja voća. To znači da valja ili promijeniti vrste voća koje se uzgajaju na određenom položaju i sheme voćnjaka ili prilagoditi tehnologiju uzgoja voća novim uvjetima. Uporaba agrosolara kao segmenta tehnologije uzgoja voća djeluje kao dobar način za rješavanje navedenog problema. Fotonaponski paneli iznad biljaka svakako će ublažiti sunčevu svjetlost koja dopire do biljke te tako smanjiti njezin rast i urod. To je važno napomenuti jer proces fotosinteze u biljkama proizvodi hranu za njihov rast. Međutim, s druge strane, vegetativni i generativni rast u stalnoj su konkurenciji. Ako FN paneli iznad voćnjaka smanjuju vegetativni rast (na određenoj razini), postoji mogućnost da će to utjecati na proizvodnju voća. To potvrđuje i primjena agrosolara na proizvodnju malina (Babberich, Nizozemska), u sklopu koje gustoća ugrađenih FN panela (60-postotna pokrivenost) smanjuje prinos za samo 5 % u usporedbi s konvencionalnom tehnologijom. Također, zasjenjenje uzrokovano FN panelima ugrađenim u voćnjak ima pozitivan učinak na smanjenje nekih fizioloških poremećaja kod biljaka i plodova, kao što

su opaljenost suncem, toplotno opterećenje, prevelika obojenost plodova itd. Ugradnja fotonaponskih struktura u voćnjake nosi svoje potencijale i koristi za voćarstvo, ali sve to treba znati oprezno i pomno prilagoditi i primijeniti.

Sustavi uzgoja voća razlikuju se od vrste do vrste. Uz to, identične vrste voća mogu se uzgajati pomoću različitih sustava, ovisno o željama i potrebama uzgajivača.

Međutim, moguće je ipak izložiti neke opće smjernice.

Jabuke i kruške obično se uzgajaju u voćnjacima visoke gustoće s 4000 do 6000 stabala po hektaru. To se može postići uporabom snažnih podloga niskog rasta. Uporaba takvih podloga iziskuje rešetkastu ogradu (od stupova i žice) za učvršćivanje stabala i sprječavanje njihova polijeganja. Ta se infrastruktura često koristi i za podupiranje sustava navodnjavanja i mreža protiv tuče. Razmak između redova trebao bi biti oko 3 do 3,5 m, a razmak između stupova u redu obično iznosi od 5 do 7 m. Stupovi su visoki od 3,5 do 5 m, ovisno o visini stabla. I breskve i nektarine mogu se uzgajati u takvim sustavima rešetkastih ograda. Ti se sustavi nadalje mogu prilagoditi i koristiti za podupiranje FN panela.

Maline, kupine i ribiz također se uzgajaju u sustavu armature, ali uz prosječnu visinu od 3 m, razmak između stupova sličan je sustavima uzgoja jabuka. Sustav armature koristi se i kao potporna struktura za navodnjavanje i držać mreža za zasjenjivanje.

Kivi se također uzgaja na armaturi, ali pomoću malo drukčije tehnologije. Sustav armature u sklopu proizvodnje jabuka, krušaka, kupina i malina uglavnom je uzak. U proizvodnji kivija armatura je šira pri vrhu i čini pergolu. Ta se

struktura također može prilagoditi za držanje FN panela.

Breskve, nektarine i trešnje najčešće se uzgajaju kao samostojeće drveće, bez armaturne potpore.

Malim bobičastim plodovima kao što su jagode, borovnice, haskap (sibirske borovnice) i drugi ne treba nikakav sustav potpore. Stoga se u tim voćnjacima na pomoćnu arhitekturu za FN panele može gledati kao na dodatno ulaganje koje može povećati troškove postavljanja agrosolara. Ali, s obzirom na to da te vrste voća ne prelaze visinu od 1,5 m, paneli se mogu postaviti niže, čime se smanjuju troškovi konstrukcije.

Kada je riječ o mediteranskim vrstama voća, većina ih se uzgaja u obliku stabala u voćnjacima niske ili srednje gustoće. Maslina se tradicionalno uzgaja u voćnjacima niske gustoće sa 100 do 150 stabala po hektaru i s visinom stabla od 5 do 6 m. Suvremeni maslinici mjeri gustoću od otprilike 300 do 350 stabala po hektaru, s visinom stabla od 2 do 3 m. Rijetki su maslinici veće gustoće.

Agrumi se obično uzgajaju u voćnjacima gustoće od 2.000 do 2.500 stabala po hektaru, visine 2 do 2,5 m, dok se stabla badema i smokve u pravilu sade u voćnjacima niske gustoće i uzgajaju kao bujnija stabla, uz neke iznimke u intenzivnijim modernim nasadima.

U uzgoju voća ne postoji jedna jedina, univerzalna najbolja opcija koju se može koristiti u svakom voćnjaku i na svakoj lokaciji. Kako bi se odabralo najprikladniji sustav uzgoja prema ciljevima i željama proizvođača, svakoj lokaciji, svakom voćnjaku i svakoj kulturi treba pristupiti na odgovarajući način.

7.3.2 REZULTATI DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA – PREDNOSTI I IZAZOVI

Prema postojećoj literaturi, vrste voća koje su općeprihvачene za uporabu agrosolara iznad voćnjaka su:

Posebno preporučljive: američka borovnica (*Vaccinium corymbosum*), haskap (*Lonicera caerulea*), malina (*Rubus idaeus*), sibirski kivi (*Actinidia arguta*), marelica (*Prunus armeniaca*), trešnja (*Prunus avium*) i višnja (*Prunus cerasus*).

Malina je poznata kao kultura za poluzasjenjene lokacije. Previše sunca i izravne sunčeve svjetlosti dovodi do oštećenja njezina lišća uzrokovanih žegom. U voćnjaku koji je dio proizvodnog pogona zasjenjenje se ne može uspostaviti bez mreža za zasjenjivanje ili folija koje raspršuju sunčevu svjetlost. Te mreže za zasjenjivanje i folija za raspršivanje mogu se zamijeniti FN panelima i difuzijskim filmom između FN modula (potvrđio proizvođač u Babberichu, Nizozemska, projekt Sunbioso). Osobno iskustvo autora Studije u praćenju nasada američke borovnice (8 ha u Cetingradu u Hrvatskoj) i haskapa (2 ha u Samoboru u Hrvatskoj) pokazalo je kako navedene kulture tijekom ljeta, osobito vrućih, imaju problema sa žućenjem, čak i odumiranjem lišća. Biljke koje su se nalazile u blizini šume upijale su manje sunca (manje izravne sunčeve svjetlosti tijekom dana) te su imale zdravije lišće, koje je bilo potpuno tamnozelene boje i čvrsto. Sibirski je kivi kultura koja može preživjeti niske zimske temperature do -40° C. Nažlost, tijekom ljeta izravna sunčeva svjetlost i temperature više od 30° C uzrokuju prženje i odumiranje lišća, što iscrpljuje biljku i uzrokuje lošu kvalitetu plodova.

Postavljanje fotonaponskih panela moglo bi smanjiti tu štetu i povećati potencijal za uzgoj

te kulture u Hrvatskoj. Trešnja i višnja imaju problema s pucanjem plodova. Pucanje plodova uzrokovano je genetskim čimbenicima i gospodarenjem vodom. Nakon cvatnje, biljke trebaju velike količine vode, ali tijekom dozrijevanja pristup vodi treba biti umjereno raspoređen. Prekomjerna količina vode kao posljedica obilnih kiša tijekom faze dozrijevanja može uzrokovati pucanje plodova jer će biljke uzimati vodu iz tla (kroz korijenje), kao i kapi kiše koje padnu izravno na plodove. Fotonaponski paneli iznad biljaka spriječit će padanje kiše izravno na plodove. Također, kišnica koja dospije na okapne rubove fotonaponskog panela skliznut će u prostor između redova (gdje ima manje korijenja) ili će je se skupiti i spremiti u rezervoare za kasniju uporabu. Tako će se gospodarenje vodom bolje ustrojiti, što će dovesti do manjeg broja raspucalih plodova. No, za ugradnju FN panela u proizvodnji višanja potrebno je prilagoditi tehnologiju uzgoja jer one se obično beru pomoću strojeva za berbu. Stoga bi potporna struktura agrosolara mogla biti ograničavajući faktor za strojnu berbu i obrnuto.

Preporučljive (ovisno o sorti): jabuka (*Malus domestica*), kruška (*Pyrus communis*), kupina (*Rubus fruticosus*), kivi (*Actinidia chinensis*), breskva (*Prunus persica*), nektarina (*Prunus persica var. nectarine*), dunja (*Cydonia oblonga*) i jagoda (*Fragaria ananassa*).

Jabuke i kruške mogu biti pogodne za agrosolare, ovisno o sorti. Smanjena sunčeva svjetlost koja dopire do plodova jabuka i krušaka može imati gore navedene pozitivne i negativne učinke (osjetljivost na niske temperature, prevelika obojenost plodova, zakašnjelo dozrijevanje...). Kivi je voćka koja kasno dozrijeva, ali za neke sorte kasno dozrijevanje može uzrokovati probleme. Breskva i nektarina poznate su kao jedne od rijetkih voćnih kultura koje vrlo kasno nakupljaju aromu (aroma se

nakuplja u plodu na stablu i pod sunčevom svjetlošću). Sa stajališta potrošača, lijepa boja ploda i fina aroma poprilično su važne. To bi mogao biti problem u slučaju nekih obojenih sorti. Primjena agrosolara u proizvodnji jagoda ovisi o tehnologiji uzgoja voća. Uzgoj jagoda na tlu uzgoj je niske visine, a FN panele treba postaviti visoko kako bi se izbjeglo sudaranje s mehaničkom opremom i radnicima. Stoga infrastruktura agrosolara u sklopu tehnologije za uzgoj voća može podrazumijevati velike izdatke već za same solarne panele. Kod agruma boja nije pokazatelj stupnja zrelosti, ali potrošači su ti koji traže agrume određene boje. Ta se obojenost može postići primjenom tehnika uklanjanja zelenila nakon berbe koje neće utjecati na stupanj zrelosti. Stoga fotonaponski paneli ne bi trebali imati negativan učinak u proizvodnji agruma.

Prije postavljanja agrosolara u voćnjak potrebno je napraviti detaljnu analizu lokacije, klimatskih uvjeta, vrsta voća i sorti koje se planira uzgajati, kao i tehnologije uzgoja koja će se koristiti.

Kada se razmatraju mogućnosti primjene agrosolara u nasadima mediteranskih vrsta voća, treba uzeti u obzir nekoliko aspekata. Najprije valja razmotriti utjecaj samog sustava na uzgajane vrste. Iz dostupnih inozemnih podataka vidljivo je da taj utjecaj može poprimiti nekoliko oblika s različitim ishodom. Idealan je scenarij kada se primjenom agrosolarnog sustava postiže sinergijski učinak s voćarskom kulturom, odnosno kada se poljoprivredna proizvodnja kvalitativno i/ili kvantitativno poboljšava uz optimalan učinak agrosolarnog sustava. Moguće je i da utjecaj na poljoprivrednu proizvodnju bude neutralan ili čak blago negativan, ali da ukupni učinak obaju sektora ispadne pozitivan. Naravno, postoje i mogućnost izrazito nepovoljnog utjecaja agrosolara na biljke koje se uzgajaju, a ako se

to dogodi, treba izbjegavati njihovo postavljanje na istim površinama.

Kada je riječ o maslini, najvažnijoj vrsti voća u mediteranskom dijelu Hrvatske, uporaba FN panela u tradicionalnim maslinarskim područjima ne bi trebala imati znatniji negativan učinak na kvalitetu uzgoja, iako bi u nekim razičnjim područjima uzgoja s niskim temperaturama odgođena berba mogla uzeti danak. Kao posljedica klimatskih promjena posljednjih godina u nekim područjima dolazi do pucanja kore drveta masline – u tim bi slučajevima uporaba FN panela mogla imati pozitivan utjecaj putem smanjenja količine sunčeva zračenja, bez prilagodbi u orezivanju voćaka.

7.3.3 STUDIJE SLUČAJA REFERENTNIH PROJEKATA

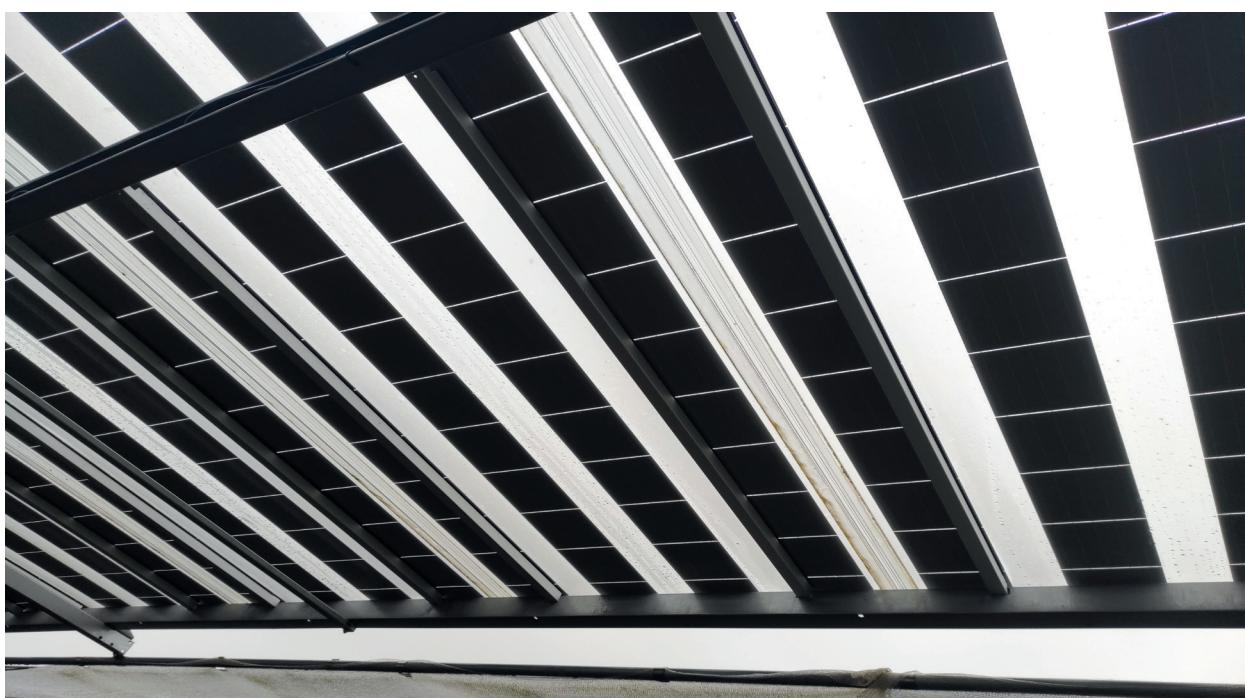
a. SUNBIOSE (NIZOZEMSKA)

Projekt Sunbiose agrosolarni je projekt koji finančira nizozemska vlada putem Inovacijskog

programa MOOI. Sunbiose će proučavati utjecaj FN panela na kvalitetu tla, biološku raznolikost i pojavu bolesti kod biljaka. Budući da paneli blokiraju dio sunčeve svjetlosti, koristit će se i proučavati poseban premaz (koji UV zrake pretvara u vidljivu svjetlost) kako bi se ispitao njegov utjecaj na biljke. U sklopu projekta Sunbiose, FN paneli bit će postavljeni na vrh nasada bobičastog voća i krušaka u obliku pomičnih lukova u travnatim/djetelinskim poljima i ratarskim usjevima. Godine 2020. prvi agrosolar u Nizozemskoj postavljen je u Babberichu na 3,4 ha malinjača s 2,7 MWp. Paneli su postavljeni na vrhu usjeva na visini od 2,6 m i pokrivaju oko 60 % površine iznad biljaka (Slika 18.).

Prostor između panela ispunjava prozirni polimerni materijal presvučen posebnim premažom za raspršivanje sunčeve svjetlosti. Budući da maline uspijevaju u polusjeni, to bi zasjenjenje čak moglo pozitivno utjecati na biljke. Prednosti postavljanja FN panela iznad nasada malina leže u činjenici da se taj pokrov može koristiti u svrhu zaštite od tuče, zasjenjivanja

Slika 18. Agrosolarni paneli u nasadu bobičastog voća



Izvor: Fotografija: G. Fruk

Slika 19. Agrosolari u voćnjaku malina u Babberichu

Izvor: Fotografija: G. Fruk

biljaka i modifikacije temperature zraka. Tijekom sunčanih dana (ljeti) temperatura ispod FN pokrova je 5 do 6° C niža nego u otvorenom dijelu voćnjaka. Također, temperatura zraka ispod panela tijekom noći nekoliko je stupnjeva viša nego u nenatkrivenom dijelu. Niže temperature zraka tijekom dana ljeti smanjuju opterećenje biljaka i njihovu potrebu za vodom, što je do 25 % manje ispod FN panela.

Voćnjak bez FN panela redovito se zasjenjuje plastičnom folijom, koja onemogućuje njegovo normalno provjetravanje. U voćnjaku s FN pokrovom konstrukcija je napravljena tako da provjetravanje bude što bolje te da dolazi do što manje problema s glivičnim bolestima, ali i

dalje ih ima više nego u nenatkrivenim voćnjacima (bez panela i plastične folije). Uz smanjeno provjetravanje voćnjaka ide veća vlažnost zraka, a biljke su zbog toga sklonije obolijevanju. Stoga je voćnjak s FN pokrovom za kišnih godina podložniji bolestima biljaka. Uz to, priнос se zbog zasjenjenja smanjuje za oko 5 %.

Još jedno ispitno polje projekta Sunbiose postavljeno je 2022. godine u Wadenijenu na 2 ha voćnjaka crvenog ribiza s 1,2 MWp. Pravi učinak na biljke crvenog ribiza nije se mogao izmjeriti jer je tuča oštetila biljke u nenatkrivenom dijelu voćnjaka.

U istom tom voćnjaku u travnju 2023. godine

planiralo se zasaditi 2 ha stabala krušaka i nad njih postaviti FN panele. Poljoprivrednici iz obaju voćnjaka (maline i crveni ribiz) uočili su problem s velikom količinom vode između redova, koja klizi s panela tijekom kiše. Stoga se u voćnjaku krušaka planira ugradnja žljebova na krajeve panela za odvod viška vode. Cilj je tu kišnicu sakupiti na jednome mjestu i koristiti je za navodnjavanje tijekom vrućih dana.

b. AGROSOLARNI SUSTAV HAIDEGG (AUSTRIJA)

Uz finansijsku potporu klimatskog fonda u Haideggu i u suradnji s privatnim sektorom, Eksperimentalni i istraživački institut za uzgoj voća i vinogradarstvo u pokrajini Štajerskoj pokrenuo je pilot-projekt za uporabu agrosolara (Slika 20 i Slika 21).

Ti se agrosolarni sustavi postavljeni u srpnju 2022. godine koriste u svojstvu zaštitne mjere

s dvojakim prednostima za proizvodnju voća. S jedne strane, osigurava se zaštita od jake kiše i tuče pomoću fizičke barijere, a s druge, pruža se zaštita od laganijih oblika mraza zahvaljujući efektu nadstrešnice. Uz to, mogućnost potpune zaštite od kiše mogla bi smanjiti potrebu za uporabom sredstava za zaštitu bilja protiv gljivičnih bolesti. Kao rezultat toga, agrosolarni sustavi također bi bili od velike pomoći u organskoj proizvodnji voća. Provedeni su pokusi s jabukama, kruškama, trešnjama, marelicama, šljivama mirabela, breskvama, višnjama i običnim šljivama.

Učinci prekrivanja nasada fotonaponskim panelima i utjecaj promjene uvjeta osvjetljenja na rast biljaka, zdravlje biljaka, napade štetnika, prinos te unutarnju i vanjsku kvalitetu plodova zabilježeni su u dvama ispitnim kvartalima. Osim toga, projektni partner provjerava performanse sustava u dijelu

Slika 20. Usporedni satelitski prikaz ugrađenog agrosolarnog sustava Haidegg



Izvor: ECOwind

Slika 21. Razlike među voćem s obzirom na način zaštite

Apple variety „Elstar“ under Agri PV



Izvor: ECOwind

Apple variety „Elstar“ under hail protection net



proizvodnje energije iz fotonaponskog sustava. U drugoj seriji ispitivanja istražit će se mogućnost daljnog poboljšanja proizvodnje različitih vrsta voća s individualno prilagođenim modulima.

Ukupno je 2.775 m² voćnjaka površine od 5.000 m² prekriveno FN panelima, s ugrađenom snagom od 340 kWp i očekivanom godišnjom proizvodnjom od 385.000 kWh. Uкупno se koriste 1.134 komada 49-postotnih prozirnih modula na posebnoj agrosolarnoj potkonstrukciji, s 9 jedinica, od kojih svaka uključuje po 6 nizova s 21 modulom.

7.3.4 STRUKTURA UZGOJA VOĆA U HRVATSKOJ

Prema podacima ARKOD-a, u Hrvatskoj je krajem 2022. godine bilo ukupno 56.180,57 ha voćnjaka (uključujući 17.210,25 ha maslinika). Prema podacima iz Tablice 4., ukupan broj voćnjaka u Hrvatskoj iznosi **91.172**. Uzimajući u obzir zadani minimum od 1 ha, sukladno podacima dobivenim od ARKOD-a, **trenutačno je 25.654,13 ha voćnjaka (što uključuje 4.368,26 ha maslinika) s površinama većim od 1 ha.**

UZGOJ MEDITERANSKOG VOĆA

Kada se razmotre podaci o uzgoju mediteranskih vrsta voća u Jadranskoj poljoprivrednoj podregiji (Tablica 5.), očito je da najveće površine prekrivaju maslinici (17.210,25 ha sukladno podacima iz ARKOD-a za 2022. godinu), a maslina je vodeća voćna kultura u svim primorskim županijama. Na drugome su mjestu površine namijenjene uzgoju agruma, od kojih su samo mandarine (u toj kategoriji prednjače sve vrste mandarina, ali najčešće je riječ o Satsuma mandarini) za stupljene na većim površinama (1.589,87 ha), dok se uzgoj ostalih vrsta odvija na vrlo malom području. Od drugih voćnih vrsta najveće su površine namijenjene uzgoju badema (738,34 ha), a ostale veće površine prekrivene su višnjom maraskom (347,09 ha) i smokvama (303,96 ha). Uzgoj vrsta voća koje se vode kao posebna kategorija (šipak, rogač, kivi i žižula) nije baš rasprostranjen i obično se odvija na lokalnoj razini. Ostale mediteranske vrste voća (mušmule, kaki, planike...) ne vode se kao posebna kategorija, ali ih je moguće smjestiti u skupinu uzgoja mješovitog voća, a o njihovoј količini nema

Tablica 4. Broj voćnjaka po županijama s obzirom na veličinu (31. prosinca 2022. godine)

Županija	Veličina voćnjaka (ha)						
	0 - 1	1 - 5	5 - 20	20 - 100	100	TOTAL	
Kontinentalni dio							
Bjelovarsko-bilogorska	3.906	926	61	1	0	4.894	
Brodsko-posavska	5.850	656	53	13	0	6.572	
Grad Zagreb	1.612	30	0	0	0	1.642	
Karlovačka	4.314	547	33	3	0	4.897	
Koprivničko-križevačka	3.859	294	13	3	0	4.169	
Krapinsko-zagorska	8.261	56	0	0	0	8.317	
Međimurska	1.628	255	21	0	0	1.904	
Osječko-baranjska	4.042	1.381	136	20	0	5.579	
Požeško-slavonska	4.415	607	26	5	0	5.053	
Sisačko-moslavačka	4.572	589	52	6	0	5.219	
Varaždinska	4.694	137	5	0	0	4.836	
Virovitičko-podravska	2.608	479	29	9	1	3.126	
Vukovarsko-srijemska	1.981	465	50	12	0	2.508	
Zagrebačka	5.995	326	42	4	0	6.367	
	57.737	6.748	521	76	1	65.083	
Gorje/primorski dio *							
Ličko-senjska	4.670	42	0	0	0	4.712	
Primorsko-goranska	805	15	1	0	0	821	
Šibensko-kninska	1.281	22	9	1	0	1.313	
	6.756	79	10	1	0	6.846	
Primorski dio							
Dubrovačko-neretvanska	7.929	360	3	0	0	8.292	
Istarska	1.931	68	5	1	0	2.005	
Splitsko-dalmatinska	3.900	28	9	1	0	3.938	
Zadarska	4.807	167	29	5	0	5.008	
	18.567	623	46	7	0	19.243	
UKUPNO	83.060	7.450	577	84	1	91.172	

* Tri županije u ovoj skupini protežu se preko obaju područja (gorja i primorskog dijela)

Izvor: Agencija za plaćanja u poljoprivredi, ribarstvu i ruralnom razvoju (APPRRR), 2023. godine

preciznih podataka. Glavno obilježje svih mediteranskih voćnih kultura, što je vidljivo iz Tablice 5., mala je prosječna zastupljenost na obradivim površinama (0,84 ha). Od uku-

pono 22.142 poljoprivredna gospodarstava, samo 292 (1,31 %) površinom mjere više od 1 ha, dok samo 31 gospodarstvo (0,14 %) ima malo veću površinu (> 10 ha).

Tablica 5. 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 (APPRRR), 2022. godine

Tablica 6. Uzgoj maslina u Jadranskoj poljoprivrednoj podregiji, 2021. godine

	Ukupna površina (ha)	Poljop. djelatnost	Prosječna površina (ha)	Poljop. djelatnost > 1 ha	Poljop. djelatnost > 10 ha
Istarska županija	3.171,84	2.492	1,27	68	6
Primorsko-goranska županija	562,05	495	1,14	19	0
Ličko-senjska županija	121,93	96	1,27	1	0
Zadarska županija	2.625,96	3.522	0,75	23	6
Šibensko-kninska županija	2.061,95	2.082	0,99	28	0
Splitsko-dalmatinska županija	3.511,11	2.728	1,29	28	1
Dubrovačko-neretvanska županija	2.170,51	2.772	0,78	22	2
UKUPNO	14.225,34	14.187	1,00	180	15

Izvor: Agencija za plaćanja u poljoprivredi, ribarstvu i ruralnom razvoju (APPRRR), 2022. godine

Ukupno 180 maslinika (Tablica 6.) ima površinu veću od 1 ha (ukupno oko 700 ha). Najviše ih je u Istarskoj županiji (37,78 %), a na području Splitsko-dalmatinske i Šibensko-kninske županije ih je podjednako (po 15,56 %).

Kada je riječ o ostalim vrstama mediteranskog voća, 33 su nasada badema na česticama većim od 1 ha (ukupno 281 ha), 30 nasada smokava većih od 1 ha (ukupno 90 ha), 13 nasada agruma većih od 1 ha (48 ha), kao i manji broj nasada ostalih vrsta (višnja maraska⁸⁹, uzgoj miješanog voća).

7.3.5 ZAKLJUČCI I PREPORUKE

Agrosolari u voćnjacima u Hrvatskoj imaju velik potencijal, osobito u onima male do srednje veličine (5 do 15 ha), kao što su obiteljska poljoprivredna gospodarstva. Fotonaponski paneli iznad usjeva voća mogu smanjiti učestalost pojave fizioloških poremećaja kod biljaka i plodova (usahlost od sunca, toplotno opterećenje, prevelika obojenost itd.). Istodobno, paneli se mogu koristiti u svrhu zaštite od tuče, ali bez potrebe za uklanjanjem izvan sezone (što oduzima mnogo vremena i iziskuje dodatan rad). Fotonaponske strukture mijenjaju mikroklimatske uvjete (niže temperature zraka tijekom dana, više temperature tijekom noći, raspršivanje sunčeve svjetlosti, promjena sunčeva spektra koji dopire do biljaka) u voćnjacima, ali i smanjuju štetu, a mogu čak i poboljšati kvalitetu plodova. Paneli bi također mogli spriječiti prekomjerno zagrijavanje biljaka pod suncem u proljeće i tako u korijenu sasjeći ranu vegetaciju koja može uzrokovati štetu od mraza i tako usporiti rast i razvoj vegetacije te posljedično štete od kasnih proljetnih mrazeva. Također, primjena zaštitnih mjera protiv mraza, poput grijanja voćnjaka (stroj Frostbuster), mogla bi

⁸⁹ Tri najveća nasada višne maraske zauzimaju ukupno oko 250 ha.

biti učinkovitija jer su paneli ujedno i barijera protiv gubitka topline, što znači da će se toplina dulje zadržati u voćnjaku.

Iako su pozitivni učinci ugradnje FN panela u voćnjake znatni, postoje i neki negativni učinci do kojih u određenom trenutku može doći. Najistaknutiji se odnosi na boju plodova. Svaka vrsta i sorta voća ima svoju standardnu boju koja je prihvatljiva potrošačima i po kojoj se razlikuje od ostalih sorti. Na primjer, plod crvene jabuke sorte Red Delicious mora biti potpuno crven. Uz manje sunčeve svjetlosti koja dopire do ploda i manju razliku između dnevnih i noćnih temperatura zraka, boja ne bi dosegla svoju idealnu nijansu do stupnja dozrelosti za berbu. S druge strane, žute i zelene sorte jabuka poput Golden Delicious ili Granny Smith odlično će uspijevati pod FN panelima. Paneli će smanjiti sklonost prijelaza boje plodova u crvenu (što je velik problem kada je riječ o sorti Granny Smith u posljednjih 10 godina, uzrokovani, ni manje ni više, nego klimatskim promjenama), što sprječava prebojavanje tih sorti i čini ih prihvatljivima za potrošače.

Prema najnovijim podacima (Tablica 5.) postoje 292 nasada mediteranskih vrsta voća veća od 1 ha, s ukupnom površinom od 1.400 ha (31 nasad veličine veće od 10 ha). Procjenjuje se da bi najmanje 2/3 navedenih nasada većih od 1 ha (oko 200 nasada – 950 ha) moglo imati potencijal za ugradnju agrosolarnih sustava, bilo u postojećem obliku uzgoja ili uz malu prilagodbu agrotehničkih mjera u nasadu.

Od ukupnoga broja nasada većih od 1 ha, gotovo 2/3, odnosno 180 prekriveno je maslinama (15 nasada veće je od 10 ha). Ako se ti nasadi nalaze na reljefno prihvatljivim područjima i lokacijama s odgovarajućom infrastrukturom te s barem poluintenzivnim stupnjem uzgoja, moguće ih je smatrati povoljnima za postav-

Ijanje agrosolarnih sustava. Procjenjuje se da se potencijalno prikladnima za postavljanje agrosolarnih sustava može smatrati oko 120 do 150 nasada maslina (riječ je o otprilike 500 ha). Budući da se u Istarskoj županiji nalazi oko 28 % svih maslinika koji imaju raspoložive mrežne potencijale, može se očekivati da će se prvi agrosolarni projekti vezani uz masline pokrenuti upravo u toj županiji.

Uz veliku rascjepkanost poljoprivrednih čestica, jedna od najvećih prepreka uvođenju agrosolara u poljoprivrednu na Jadranu je pozicioniranost dobrog dijela nasada voća na tom području (posebice onih vrsta koje ne iziskuju navodnjavanje kako bi rasle), s obzirom na to da se često nalaze na neprikladnim zemljиштимa i u područjima podosta udaljenim od potrebne popratne infrastrukture.

Budući da je uglavnom riječ o nasadima na kojima se odvija poluintenzivna ili ekstenzivna poljoprivredna proizvodnja, teško je iznijeti pretpostavku da su zadovoljeni potrebni uvjeti te da je interes vlasnika zemljишta za postavljanje agrosolara u njima dovoljan i opravdan, čak i u slučaju većih nasada. Preporuka je da se agrosolari postavljaju samo u intenzivnim nasadima voća, u kojima se ugradnja i uporaba agrosolara može smatrati jednom od agrotehničkih mjera koje će pridonijeti najboljoj mogućoj uporabi zemljишnih resursa.

Vrste voća koje su općenito prihvatljive za korištenje u agrosolarnim projektima su američka borovnica, haskap, malina, sibirski kivi, marelica, trešnja i višnja. Jabuka, kruška, kuhinja, breskva, nektarina i jagoda preporučuju se za agrosolare ovisno o sorti.

Kao opći zaključak, uspješno uvođenje agrosolarnih sustava u mediteranskim voćnjacima je moguće, iako u ovom trenutku postoje neka ograničenja koja mogu odgoditi postav-

Ijanje agrosolarnih sustava na veća područja u Jadranskoj Hrvatskoj. Uklanjanje tih ograničenja znatno povećava potencijalna područja koja bi bila pogodna za agrosolarne sustave.

7.4 UZGOJ AROMATIČNOGA I LJEKOVITOG BILJA

7.4.1 Uvod

Proizvodnja ljekovitoga i aromatičnog bilja u Hrvatskoj razlikuje se od regije do regije, i to zbog raznolikosti klimatskih i agroekoloških uvjeta. Neke su biljke ustaljenije za uzgoj u primorskom dijelu Hrvatske (smilje, lavanda, kadulja), dok su druge više karakteristične za kontinentalni dio Hrvatske (kamilica, komorač, čičak, metvica, matičnjak, pelin).

7.4.2 REZULTATI DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA – PREDNOSTI I IZAZOVI

Kada je riječ o toj skupini biljaka, one se najčešće užgajaju u obliku žbunja, polužbunja ili travnatog bilja. U svakom slučaju, to je bilje male do srednje visine, što omogućuje lakše upravljanje nasadom, posebno u odnosu na drvenaste kulture.

Sve što je prethodno napisano o spoznajama iz znanstvene literature o mogućnostima primjene agrosolara u voćarskim poljoprivrednim nasadima, vrijedi i za ljekovito i aromatično bilje. Jedino što valja dodati je da je, prema dosadašnjim saznanjima, povećan broj cvjetova, a vrijeme cvatnje na djelomično zasjenjenim parcelama je produljeno, što bi moglo pogodovati kasnoj berbi u ekosustavima s ograničenom količinom vode. Brojnost, raznolikost i obilje oprašivača slični su na osuščanim površinama i u djelomičnom hladu, u oba slučaja intenzivniji nego u potpuno zasjenjenim područjima.

7.4.3 STUDIJE SLUČAJA REFERENTNIH PROJEKATA

a. FATTORIA SOLARE LA PETROSA, CASTROVILLARI, KALABRIJA (ITALIJA)

Projekt Fattoria solare La Petrosa (Slika 22.) osmišljen je za mjesto Castrovillari u pokrajini Cosenza (Kalabrija), u neposrednoj blizini zatvora Castrovillari. Predviđeno područje mjeri oko 35 ha, s fotonaponskim pogonima snage 14,4 MW podijeljenim u tri neovisne pogonske sekcije od po 4,8 MW (Castrovillari A, Castrovillari B i Castrovillari C) i postavljenim na visini od 3 metra iznad površine tla. Predviđeno je da čelične konstrukcije služe kao potpora sustavima za navodnjavanje i sustavima zamagljivanja. Ako se FN panel postavi parallelno s tlom, ispod modula nalazi se iskoristiv vertikalni prostor od 2,7 metara. Uz nagib, prostor je viši od 2 metra i omogućuje pro-

vedbu uobičajenih agrotehničkih postupaka. Takav raspored omogućuje obradu svih iskorištenih površina s indeksom zasjenjenosti tla između 15 i 30 %. U sklopu projekta predviđena je sadnja ljekovitog bilja (lavanda – 10 ha, facelija – 12 ha, pljuskavica – 2 ha, ehinaceja – 2 ha, neven – 2 ha, rabarbara – 2 ha). Osim agronomskoga i energetskog aspekta, projekt također ima za cilj promicanje ponovnog uključivanja zatvorenika na tržiste rada njihovim angažmanom u poljoprivrednim aktivnostima.

b. AGROSUNČANA ELEKTRANA VAMVAKIES (GRČKA)

Projekt je pokrenut u suradnji s općinom Kozani i CluBE, grupacijom za bioekonomiju i okoliš Zapadne Makedonije, a pušten je u pogon u prosincu 2021. godine. (Slika 23.). Projekt je u svojoj naravi fotonaponska

Slika 22. Fattoria solare La Petrosa



Izvor: <https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/fotovoltaico-agricoltura-agrovoltaico-progetti/>

elektrana od 6,5 MW smještena na lokaciji Agios Ioannis-Vamvakies, u blizini grada Verije, u sjevernome dijelu zemlje⁹⁰, te uključuje 16.000 bifacialnih panela, a ulaganje je iznosilo oko 3,5 milijuna eura. Fotonaponska elektrana Vamvakies dovršena je u listopadu 2021. godine u blizini grada Verija u sjevernoj Grčkoj i spriječit će emisiju od 6.500 tona CO₂ godišnje te pridonijeti većoj dekarbonizaciji Zapadne Makedonije (Enel Green Power, 2022a).

U tom fotonaponskom sustavu uzgajat će se aromatsko bilje poput origana, ružmarina, majčine dušice, sideritisa (očista), drače (također poznate i pod nazivom jeruzalemski trn) i planinskoga čaja.

⁹⁰ <https://www.enelgreenpower.com/our-projects/operating/vamvakies-solar-farm>. Pristupljeno: 26. listopada 2022.

Slika 23. Agrosunčana elektrana Vamvakies



Izvor: <https://www.enelgreenpower.com/countries/europe/greece/sustainable-construction-site-vamvakies-pv-plant>

Tablica 7. 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 (APPRRR), 2022. godine

7.4.4 STRUKTURA PROIZVODNJE LJEKOVITOGA BILJA U HRVATSKOJ

Na površinama većim od jednog hektara proizvodi se ukupno 16 kultura, od kojih je 10 najzastupljenijih prikazano u Tablici 7. Kamilica se u Hrvatskoj uzgaja više od svega drugog

ljekovitog bilja. Kultivira se u Kontinentalnoj Hrvatskoj, na području Slavonije i Baranje. Na drugome se mjestu po pitanju razmjera proizvodnje nalazi smilje, koje se uzgaja na Jadranu, a na trećem lavanda. U većim se količinama proizvode i komorač, sikavica, paprena metvica, matičnjak, kadulja, pelin i sljez.

Tablica 8. Uzgoj kamilice u Hrvatskoj, 2021. godine

	Ukupna površina (ha)	Poljop. djelatnost	Prosječna površina (ha)	Poljop. djelatnost > 1 ha	Poljop. djelatnost > 10 ha
Zagrebačka županija	41,64	13	3,20	8	1
Sisačko-moslavačka županija	346,37	17	20,37	14	7
Karlovačka županija	0,23	1	0,23	0	0
Koprivničko-križevačka županija	115,30	18	6,41	17	2
Bjelovarsko-bilogorska županija	219,61	10	21,97	10	7
Primorsko-goranska županija	1,06	1	1,06	1	0
Virovitičko-podravska županija	4.137,89	361	11,46	351	123
Požeško-slavonska županija	45,97	5	9,19	5	1
Brodsko-posavska županija	8,10	5	1,62	3	0
Osječko-baranjska županija	1.400,21	61	22,95	58	36
Vukovarsko-srijemska županija	22,38	3	7,46	3	1
Istarska županija	1,75	1	1,75	1	0
Dubrovačko-neretvanska županija	0,75	1	0,75	0	0
Međimurska županija	2,02	2	1,01	1	0
Grad Zagreb	16,54	4	4,14	3	0
UKUPNO	6.359,92	503	12,64	475	178

Izvor: Agencija za plaćanja u poljoprivredi, ribarstvu i ruralnom razvoju (APPRR), 2022. godine

Kamilica (Tablica 8.) je najuzgajanija ljekovita biljka u Hrvatskoj, a zauzima ukupnu površinu veću od 6.300 ha (više od 86 % svih površina posvećenih uzgoju ljekovitoga i aromatičnog bilja). Uzgaja se u gotovo svim županijama, a najviše u Virovitičko-podravskoj (gdje se proizvodi oko 65 % hrvatske kamilice) i Osječko-baranjskoj (oko 22 % ukupne hrvatske pro-

izvodnje kamilice). Veći nasadi kamilice mogu se naći i na području Sisačko-moslavačke, Bjelovarsko-bilogorske i Koprivničko-križevačke županije. Velika većina kamilice uzgaja se u nasadima većim od 1 ha, kojih je 475, s ukupnim područjem proizvodnje od 6.348 ha, dok je 178 nasada veće od 10 ha. Neki nasadi dosežu i veličinu od oko 100 ha.

Tablica 9. Uzgoj smilja u Hrvatskoj, 2021. godine

	Ukupna površina (ha)	Poljop. djelatnost	Prosječna površina (ha)	Poljop. djelatnost > 1 ha	Poljop. djelatnost > 10 ha
Zagrebačka županija	5,50	4	1,38	3	0
Krapinsko-zagorska županija	0,05	1	0,05	0	0
Karlovačka županija	0,01	1	0,01	0	0
Varaždinska županija	1,01	3	0,34	0	0
Koprivničko-križevačka županija	0,72	1	0,72	0	0
Primorsko-goranska županija	13,56	6	2,26	6	0
Ličko-senjska županija	5,24	4	1,31	2	0
Zadarska županija	204,10	231	0,88	32	2
Osječko-baranjska županija	1,81	2	0,91	1	0
Šibensko-kninska županija	186,39	244	0,76	32	1
Splitsko-dalmatinska županija	93,42	90	1,04	12	1
Istarska županija	20,45	27	0,76	7	0
Dubrovačko-neretvanska županija	28,91	25	1,16	7	0
Grad Zagreb	28,01	16	1,75	6	0
UKUPNO	589,18	655	0,90	108	4

Izvor: Agencija za plaćanja u poljoprivredi, ribarstvu i ruralnom razvoju (APPRRR), 2022. godine

Uzgoj smilja na drugome je mjestu po zastupljenosti (Tablica 9.). Najviše nasada i površina nalazi se u Zadarskoj (34,64 %), Šibensko-kninskoj (28,58 %) i Splitsko-dalmatinskoj županiji (15,86 %), što znači da se više od 80 % proizvodnje odvija u Dalmaciji. Stoga ti nasadi, uzimajući u obzir stanje elektroenergetske mreže u Dalmaciji, i nisu baš prikladni za primjenu agrosolara, barem u skorije vrijeme. Prema podacima kojima raspolaze Agencija za plaćanja u poljoprivredi, ribarstvu i ruralnom razvoju, 108 nasada (ukupno 480 ha) veće je od 1 ha (po 32 u Zadarskoj i Šibensko- kninskoj županiji), dok 4 nasada premašuju površinu od 10 ha.

U bazi podataka Agencije za plaćanja u poljo-

privredi, ribarstvu i ruralnom razvoju (APPRRR), lavanda i lavandin nalaze se u istoj kategoriji i treća su aromatična biljka po uzgoju u Hrvatskoj. Uzgajaju se na površini od 225,32 ha (Tablica 10.), a najviše se nasada nalazi u Splitsko-dalmatinskoj (32,70 %) i Istarskoj županiji (26,17 %). Oni su jedino ljekovito i aromatično bilje s barem po jednim nasadom u svakoj županiji. Iako u Splitsko-dalmatinskoj županiji ima trostruko više nasada lavande nego u Istarskoj, kada se uzme u obzir podatak o broju nasada većih od 1 ha, situacija je dijаметralno suprotna: tu prednjači Istarska županija koja ima 22 takva nasada u odnosu na tek 6 u Splitsko-dalmatinskoj županiji. Ukupno je 55 nasada većih od 1 ha, što je 170 ha zemljišta, a

Tablica 10. Uzgoj lavande i lavandina u Hrvatskoj, 2021. godine

	Ukupna površina (ha)	Poljop. djelatnost	Prosječna površina (ha)	Poljop. djelatnost > 1 ha	Poljop. djelatnost > 10 ha
Zagrebačka županija	7,51	13	0,58	2	0
Krapinsko-zagorska županija	4,81	16	0,30	0	0
Sisačko-moslavačka županija	6,70	9	0,74	4	0
Karlovačka županija	10,48	16	0,66	5	0
Varaždinska županija	2,76	10	0,28	0	0
Koprivničko-križevačka županija	3,61	10	0,36	1	0
Bjelovarsko-bilogorska županija	2,86	5	0,57	1	0
Primorsko-goranska županija	4,35	12	0,36	0	0
Ličko-senjska županija	2,40	4	0,60	1	0
Virovitičko-podravska županija	1,12	4	0,28	0	0
Požeško-slavonska županija	0,85	3	0,28	0	0
Brodsko-posavska županija	2,20	3	0,73	1	0
Zadarska županija	7,67	10	0,77	2	0
Osječko-baranjska županija	10,67	13	0,82	5	0
Šibensko-kninska županija	3,62	13	0,28	0	0
Vukovarsko-srijemska županija	8,37	3	2,79	1	0
Splitsko-dalmatinska županija	73,69	163	0,45	6	0
Istarska županija	58,96	51	1,16	22	0
Dubrovačko-neretvanska županija	1,73	6	0,29	1	0
Međimurska županija	5,87	3	1,96	2	0
Grad Zagreb	5,09	12	0,42	1	0
UKUPNO	225,32	379	0,59	55	0

Izvor: Agencija za plaćanja u poljoprivredi, ribarstvu i ruralnom razvoju (APPRRR), 2022. godine

niti jedan ne zauzima površinu veću od 10 ha. Od svih ostalih vrsta ljekovitoga bilja samo je 35 nasada većih od 1 ha (168 ha površine).

7.4.5 ZAKLJUČCI I PREPORUKE

Kako je prethodno navedeno, prepoznata su 673 nasada ljekovitoga i aromatskog bilja (7.166 ha) površine veće od 1 ha te 185 nasada većih od 10 ha.

Procjenjuje se da za najmanje tri četvrtine nasada većih od 1 ha (oko 500 nasada) postoje prepostavke o mogućnosti postavljanja agrosolarnih sustava, bilo u postojećem obliku uzgoja, bilo uz malu prilagodbu agrotehničkih mjera u nasadu.

Dakako, osim uvjeta proizvodnje za uzgoj, nije sve ljekovito i aromatično bilje ni po svojoj prirodi jednakom prikladno za postavljanje agrosolarnih sustava.

Kamilica je daleko najvažnija ljekovita i aromatična biljka koja se uzgaja u Hrvatskoj. Od ukupnog broja njezinih nasada, 475 veće je od 1 ha, a 178 premašuje površinu od 10 ha (ukupna površina nasada većih od 1 ha iznosi 6.348 ha). Pretpostavka je da su svi veći proizvodni nasadi prikladni za potencijalno uvođenje agrosolara, a isto vrijedi i za većinu nasada veličine od 1 do 10 ha, za koje treba napraviti detaljniju procjenu. Prema mišljenju autora ove studije, postoji realna mogućnost uvođenja agrosolara u oko 400 do 420 nasada (otprilike 5.600 ha površine) uz odabir odgovarajućeg sustava. Osim toga, važno je napomenuti da se kamilica obično uzgaja u županijama s mogućnošću trenutačnog priključenja na mrežu, što je veoma bitno za primjenu agrosolarnih projekata u što kraćem roku.

Nasada smilja većih od 1 ha ima 108 (ukupno 480 ha), a 4 premašuju površinu od 10 ha. Stručna je procjena da bi oko 70 % tih nasada

(otprilike 336 ha površine) moglo doći u obzir za postavljanje agrosolarnih sustava.

Lavanda je još uvijek jedina ljekovita i aromatična biljka s malo više nasada većih od 1 ha (55 nasada – 170 ha površine), ali zanimljivo je da niti jedan ne premašuje površinu od 10 ha. Neki od tih nasada nalaze se na mjestima koja nemaju pravu infrastrukturu, što treba imati na umu pri razmatranju mogućnosti uvođenja agrosolarnih sustava. Prema mišljenju autora ove studije, oko 50 % nasada (otprilike 90 ha površine) moglo bi se uzeti u obzir za daljnje razmatranje.

Kada je riječ o svim ostalim vrstama, samo je 35 nasada veće od 1 ha (168 ha površine). Na temelju poznavanja situacije na terenu, procjenjuje se da jedna trećina tih nasada (oko 60 ha površine) ima povoljne uvjete proizvodnje koji ispunjavaju kriterije za postavljanje agrosolara.

Ako se sažme sve dosad izneseno, može se utvrditi da postoji oko 500 nasada **ukupne proizvodne površine ljekovitoga i aromatičnog bilja od 6.086 ha koje se uopće može uzeti u obzir za postavljanje agrosolara**. Nakon izvršenja detaljne procjene, ta će se brojka zasigurno smanjiti.

Kao opći zaključak može se ustvrditi da su mogućnosti za uspješno uvođenje agrosolarnih sustava u nasade ljekovitoga i aromatičnog bilja u ovome trenutku, zbog brojnih okolnosti, relativno velike, ali zbog nedovoljnih iskustava s agrosolarama, treba pomno birati vrste za agrosolarnu tehnologiju.

7.5 POVRĆARSTVO

7.5.1 Uvod

Konvencionalna poljoprivredna proizvodnja povrća na otvorenim površinama suočava se

s brojnim izazovima zbog izraženih učinaka klimatskih promjena, posebice globalnoga zatopljenja i suše. Glavno je pitanje kako u takvim uvjetima osigurati odgovarajuće prinose i visokokvalitetan hranjivi biljni materijal. U sklopu poljoprivrednog sektora istaknutu ulogu u tom pogledu ima uzgoj u zaštićenim prostorima (staklenici i plastenici), poznato i kao zatvorena poljoprivreda. Uzgoj biljaka u zaštićenim prostorima od strateške je važnosti za povećanje proizvodnih kapaciteta i zadovoljavanje globalne potražnje s obzirom na to da biljkama osigurava prikladnu mikroklimu, koja omogućuje optimalan rast, produženo vrijeme proizvodnje, raniju žetvu/berbu te više i kvalitetnije prinose.⁹¹

Budući da su povrtnе kulture uglavnom vrlo osjetljive na vanjske utjecaje, često se koriste skupe zaštitne konstrukcije – poput mreža protiv tuče ili folija – za njihovu zaštitu od vremenskih nepogoda. Prednost takvog načina uzgoja lakše je upravljanje i kontrola mnogih čimbenika tijekom uzgoja (temperatura i relativna vlažnost zraka, uravnotežena i racionalna uporaba gnojiva i dr.), čime se osiguravaju bolji uvjeti za rast i razvoj povrća prema njegovim potrebama.⁹²

Uz uzgoj na otvorenom, hidroponski sustavi smatraju se jednim od najvažnijih tehničkih pristupa za održivu opskrbu hranom i smanjenje pritiska na poljoprivredna zemljišta putem premještanja proizvodnje hrane u urbane sredine.⁹³ Osim toga, hidroponske tehnike za uzgoj bez korištenja zemlje u zatvorenim prostorima omogućuju učinkovitiju uporabu vode i hranjivih tvari, što rezultira ubrzanim rastom biljaka, ranijim i višestrukim berbama, većim brojem proizvodnih ciklusa – s obzirom na to da se usjevi mogu uzbuditi tijekom cijele

godine – i većom proizvodnjom biomase, što u konačnici dovodi do viših prinosa.⁹⁴ Međutim, to nije energetski učinkovito rješenje, a enormna potrošnja energije (za grijanje i hlađenje, ventilaciju, navodnjavanje, LED rasvjetu itd.) koju podrazumijeva hidroponski sustav ne samo da dovodi do povećanja operativnih troškova, nego i utječe na okoliš.⁹⁵ Međutim, većina hidroponskih sustava polako prelazi na što veću uporabu prirodne, sunčeve energije. Kako bi se zadovoljila velika potražnja za energijom, a poljoprivredu u staklenicima učinilo održivijom, javlja se velik interes za integracijom s fotonaponskim elektranama, a time i agrosolarnih sustava u staklenike.⁹⁶

7.5.2 REZULTATI DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA – PREDNOSTI I IZAZOVI

Hidroponskim proizvođačima glavni je izazov odabir vrste i kapaciteta solarnih panela ovisno o kulturi koja se uzgaja. Ispod panela dolazi do promjena temperature zraka, tla i biljaka zbog smanjenog sunčeva zračenja. Stoga je cilj većine istraživanja bio i ostao pronaći način kako utjecati na brzinu rasta biljaka odgovarajućim zasjenjivanjem uz pomoć solarnih panela.

Biljke rajčice u agrosolarnim sustavima dale su dvostruko više plodova od onih u kontrolnoj skupini bez FN panela. Druge biljke, poput salate i jalapeño papričica, urodile su istom količinom plodova, ali su potrošile znatno manje vode.

Kako navodi skupina autora⁹⁷, agrosolarni sustavi s dodatnim zasjenjivanjem rezultirali su plodovima brokule koji su zeleniji i primamljiviji potrošačima od onih uzgojenih na otvorenom polju, iako se prinos, antioksidativni kapaci-

⁹¹ Gauffin, 2022.

⁹² Opačić et al., 2022.

⁹³ Xu et al., 2022.

⁹⁴ Gonnella et al., 2004.; Nicola et al., 2007.

⁹⁵ Fraunhofer ISE, 2021

⁹⁶ Gauffin, 2022.

⁹⁷ Chae et al. 2022.

tet, određeni glukozinolati i produkti hidrolize brokula uzgojenih u agrosolarnom sustavu nisu znatnije razlikovali od istih parametara brokula uzgojenih u polju. Unatoč benefitima, rizik agrosolarnih sustava je činjenica da djelomična pokrivenost poljoprivrednog zemljišta dovodi do neravnomjerne raspodjele oborina na okapnim rubovima fotonaponskih modula. U tim područjima treba poduzeti mjere za suzbijanje erozije tla zbog otjecanja površinskog sloja tla bogatog hranjivim tvarima, prekrivanja tla, ispiranja sadnica ili ispuštanja hranjivih tvari i eutrofikacije površinskih voda. Za sustave koji ne pružaju nikakvu ili pak osiguravaju samo djelomičnu zaštitu od kiše, moguće promjene u protoku zraka, vlažnosti i opasnost od gljivičnih infekcija moraju se uzeti u obzir pri odabiru povrtnih sorti. Osim praktičnih aspekata, poznavanje mikroklimatskih učinaka agrosolara također služi kao osnova za odabir odgovarajućih povrtnih vrsta. Prikladnost pojedinih biljaka određuje veličina površine koju FN paneli zasjenjuju.⁹⁸ Stoga su potrebne određene prilagodbe u praksama uzgoja kada je riječ o nasadima povrća pod solarnim panelima, s naglaskom na veće propuštanje svjetlosti i odabir povrtnih vrsta koje su u stanju

maksimalno iskoristiti sunčevu zračenje. Kada je riječ o nasadima smještenim između redova panela, provedena ispitivanja rezultirala su povećanjem poljoprivrednog prinosa i prosječne mase plodova nekih hortikulturnih vrsta, poput paprike, do 60 % te povećanje broja plodova do 30 % u usporedbi s kontrolnim parcelama bez fotonaponskih panela. Kod biljaka kao što je aloe vera zamjećeno je povećanje biomase od 50 do 60 %, a druge vrste aromatičnog, ljekovitog i krmnog bilja te mahunarki bilježe povećanje prinosa između 30 i 60 %.⁹⁹

7.5.3 STUDIJE SLUČAJA REFERENTNIH PROJEKATA

a. AGROSOLARNI SUSTAV SAINT-ETIENNE-DU-GRÈS (FRANCUSKA)

Solarni projekt na poljoprivrednom zemljištu kapaciteta 3 MW pušten je u pogon u francuskoj općini Saint-Etienne-du-Grès, u regiji Provence-Alpes-Côte-d'Azur (Slika 24.). Smještena na otvorenom, agrosunčana elektrana Cabanon od 3 MW sagrađena je zahvaljujući participativnom financiranju, iz budžeta od 700.000 eura koji je većinski prikupilo lokalno

⁹⁸ Fraunhofer ISE, 2022.

⁹⁹ Enel Green Power, 2022.

Slika 24. Agrosolarni sustav Saint-Etienne-du-Grès



Izvor: <https://www.pv-magazine.fr/2021/03/18/voltalia-met-en-service-son-premier-champ-agrovoltaïque/>

Slika 25. Primjer hidroponskog agrosolarnog projekta



Izvor: pv magazine, 2022. godine

stanovništvo i žitelji susjednih područja. Projekt je ostvaren na površini od 4,5 hektara i ima solarne panele visine 4,5 metara, sa sustavima dinamičkog praćenja koji omogućuju prolazak poljoprivrednih strojeva, a istodobno štite usjeve povrća od vrućine.¹⁰⁰

b. Q ENERGY FRANCE – AGROSOLARI U HIDROPONSKOM UZGOJU (FRANCUSKA)

Q Energy France i Aquacosy predstavili su pilot-fotonaponski sustav u kombinaciji s hidroponskim uzgojem u gradu Montauban u francuskom okrugu Tarn-et-Garonne. Hidroponsko zemljишte ima površinu od oko 250 m², spojeno je na FN sustav ugrađene snage 9,3 kW i opremljeno hidrauličkim sustavom s dvama žljebovima za skupljanje kišnice. Tako se kišnica koja teče preko panela skuplja u spremniku (Slika 25.) te, zahvaljujući zatvorenom kruženju vode, omogućuje kontinuirano navodnjavanje nasada radi očuvanja vodnih resursa. Sustav koji uključuje senzore vlažnosti, sonde i crpku u potpunosti se napaja solarnom energijom.¹⁰¹

¹⁰⁰ Taiyangnews, 2021.

¹⁰¹ pv magazine, 2022.

7.5.4 STRUKTURA UZGOJA POVRĆA U HRVATSKOJ

Republika Hrvatska raspolaže znatnim prednostima za proizvodnju povrća te je, zahvaljujući njezinim klimatskim, pedološkim i hidrološkim mogućnostima, proizvodnja povrća na otvorenom moguća tijekom gotovo cijele godine.¹⁰² Međutim, unatoč tim povoljnim agroekološkim uvjetima prikladnim za proizvodnju većine povrća, trenutačna je proizvodnja nedostatna za potrebe hrvatskog tržišta, što je posljedica rascjepkanosti obrađenih površina, neorganizirane proizvodne infrastrukture, nedostatka sustava grijanja i navodnjavanja te sustava zaštite od tuče i mraza, kao i neadekvatnih skladišnih površina. Sve navedeno upućuje na činjenicu da su potrebna dodatna ulaganja u modernizaciju, osobito u vidu spomenutih agrosolarnih sustava, kako bi proizvodnja povrća postala konkurentnom i isplativom.

Važno je istaknuti kako su statistički podaci o proizvodnji povrća u Republici Hrvatskoj nedostatni i nepotpuni s obzirom na to da je većina povrća u svojoj naravi jednogodišnja

¹⁰² Grgić et al., 2016.

kultura koja se ne zadržava dulje vrijeme na istoj parceli u uzgoju (kulture se zbog važnosti plodoreda izmjenjuju tijekom godina, ali ponекад i unutar jedne godine na istoj parceli – zbog različite duljine razdoblja rasta i maksimalne isoristivosti površine).

Osim toga, na određenim parcelama može se istodobno uzgajati više kultura. Iz istog razloga povrće se u statističkim prikazima ne iskazuje zasebno, nego se svrstava u ostale kulture (čak i u voćne, poput jagoda), što otežava praćenje statističkih podataka u godišnjim rasponima, posebice u odnosu na pojedine

Tablica 11. Uzgoj povrća u Hrvatskoj, 2021. godine

	Površina (ha)	Proizvodnja (t)	Prinos (t/ha)
Ukupna količina svježeg povrća (uključujući i ono iz povrtnjaka)	10.076	214.374	21,3
Ukupna količina svježeg povrća	8.398	168.624	20,1
Cvjetača i brokula	195	3.154	16,2
Kupus (bijeli i crveni)	1.201	28.844	24
Ostale kupusnjače	146	2.536	17,4
Poriluk	97	1.697	17,5
Zelena salata	195	3.586	18,4
Salate u staklenicima	31	701	22,6
Ostalo lisnato ili stabljičasto povrće	520	6.419	12,3
Rajčica	292	18.785	64,3
Rajčica za konzumaciju u svježem obliku	64	1.316	20,6
Rajčica u staklenicima	88	11.902	135,3
Krastavci i kornišoni (mali krastavci za kiseljenje)	98	8.549	87,2
Krastavci i kornišoni u staklenicima	43	7.554	175,7
Dinja	132	1.852	14
Lubenica	720	21.476	29,8
Crvena paprika, paprike roda Capsicum	803	13.559	16,9
Crvena paprika, paprike roda Capsicum u staklenicima	31	1.778	57,4
Ostalo plodovito povrće	1.327	17.938	13,5
Mrkva	306	6.403	20,9
Luk i češnjak	914	19.044	20,8
Cikla	126	3.173	25,2
Ostalo korjenasto i gomoljasto povrće	289	4.107	14,2
Grašak	563	4.600	8,2
Mahune	474	2.902	6,1
Svježe povrće (iz povrtnjaka)	1.678	45.750	27,3
UKUPNO	28.807	620.623	907,2

Izvor: Državni zavod za statistiku (DZS), 2022. godine

kulture. Statistički podaci o proizvodnji najzastupljenijih povrtlarskih vrsta za 2021. godinu prezentirani su u Tablici 11.

Imajući u vidu obrađene površine, kao i ekološke uvjete potrebne za rast (termofilne vrste povrća), za potrebe ove studije detaljnije će se informacije navesti za rajčice, paprike i lubenice (tu se mogu svrstati i dinje i krastavci). To su kulture kojima pogoduje toplina i koje se odlikuju dugim razdobljem rasta, što ih čini prikladnima i potencijalno isplativima za agrosolarne sustave. Navedene vrste naznačene su kao prikladan izbor za uzgoj u kombinaciji sa solarnim panelima zbog pove-

ćane osjetljivosti na sunce i pojave fiziološkog poremećaja vrsne truleži. Upravo se pomoću FN struktura mogu stvoriti povoljniji mikroklimatski uvjeti. Kako bi se produljilo razdoblje rasta i potaknuto ranije dozrijevanje plodova, preporučuje se uzgoj tih biljaka iz presadnika.

RAJČICA [(*LYCOPERSICON ESCULENTUM* (MILL.) SINONIM: *LYCOPERSICON LYCOPERSICON*, L. (KARSTEN)]

Rajčica iziskuje navodnjavanje te dovoljnu kolicišnu i dobru raspodjelu oborina. Za potrebe svježe proizvodnje u Republici Hrvatskoj najprikladnija su obalna i krška mediteranska

Tablica 12. Uzgoj rajčice u Hrvatskoj, 2022. godine

Županija	Ukupna površina (ha)	Broj poljoprivrednih gospodarstava
Bjelovarsko-bilogorska	4,98	33
Brodsko-posavska	2,15	18
Dubrovačko-neretvanska	6,71	51
Grad Zagreb	4,16	30
Istarska	113,49	82
Karlovačka	0,42	8
Koprivničko-križevačka	3,13	23
Krapinsko-zagorska	0,1	1
Ličko-senjska	0,83	1
Međimurska	0,26	1
Osječko-baranjska	15,2	46
Požeško-slavonska	0,47	8
Primorsko-goranska	2,19	8
Sisačko-moslavačka	1,83	17
Splitsko-dalmatinska	5,94	39
Šibensko-kninska	0,7	4
Varaždinska	0,89	20
Virovitičko-podravska	24,65	115
Vukovarsko-srijemska	6,19	28
Zadarska	11,18	42
Zagrebačka	1,37	16
UKUPNO	206,84	591

Izvor: Agencija za plaćanja u poljoprivredi, ribarstvu i ruralnom razvoju (APPRRR), 2022. godine

područja gdje je moguće navodnjavanje. Takvi klimatski uvjeti omogućuju bolje iskorištanje rodnosti sorti, odnosno raniji početak sjetve i berbe te kasniji završetak berbe u jesen. U kontinentalnom području, na aluvijalnom tlu u riječnim dolinama, povoljni su uvjeti za proizvodnju rajčice za konzumaciju u svježem obliku, a berba se obavlja u kolovozu i rujnu (proizvodnja rajčice prikazana je u Tablici 12.).¹⁰³

PAPRIKA (*CAPSICUM ANNUUM*, L.)

Paprika je biljka kojoj je za rast i razvoj potrebno mnogo vode, koju zbog plitkog kori-

jenja upija iz površinskih slojeva tla. Paprika ne uspijeva na previše natopljenom tlu. Stoga je važno odabratи toplo i rahlo tlo, dobre teksture i s dobrim vodnim kapacitetom i kapacitetom zraka kao i osigurati navodnjavanje. Preporučuje se uzgoj na neutralnom ili blago kiselom tlu s više od 3 % humusa jer je paprika osjetljiva na alkalnu reakciju tla. Paprika ne podnosi „samu sebe“ tako dobro kao druge biljke iz iste porodice (rajčica, krumpir, krastavci), a za ponovni uzgoj na istom tlu potrebne su najmanje četiri godine stanke. Podaci iz 2022. godine o uzgoju paprike po županijama predviđeni su u Tablici 13.

¹⁰³ Lešić et al., 2016.

Tablica 13. Uzgoj paprike u Hrvatskoj, 2022. godine

Županija	Ukupna površina (ha)	Broj poljoprivrednih gospodarstava
Bjelovarsko-bilogorska	37,01	63
Brodsko-posavska	19,47	54
Dubrovačko-neretvanska	4,57	35
Grad Zagreb	12,44	26
Istarska	4,44	16
Karlovačka	3,47	12
Koprivničko-križevačka	53,51	60
Krapinsko-zagorska	0,15	2
Ličko-senjska	-	-
Međimurska	3,38	7
Osječko-baranjska	62,97	97
Požeško-slavonska	21,48	43
Primorsko-goranska	0,4	1
Sisačko-moslavačka	9,2	18
Splitsko-dalmatinska	5,04	23
Šibensko-kninska	0,56	4
Varaždinska	32,41	107
Virovitičko-podravska	326,62	349
Vukovarsko-srijemska	32,76	67
Zadarska	7,39	32
Zagrebačka	14,59	29
UKUPNO	651,86	1.045

Izvor: Agencija za plaćanja u poljoprivredi, ribarstvu i ruralnom razvoju (APPRR), 2022. godine

LUBENICA [*CITRULLUS LANATUS (THUMB.)*
SINONIM: *CITRULLUS LANATUS VAR. VULGARIS (SCHARD.) MANSF.*]

Lubenica je kserofitna biljka kojoj pogoduje toplina i vrlo je osjetljiva na niske temperature. Glavni joj korijen seže dublje od 1 m u zemlju, ali većina ostalog korijenja nalazi se u sloju tla dubine od 15 do 25 cm. Najpovoljnije temperature za rast lubenice i formiranje ploda su između 28 i 30° C. Rast se zaustavlja na 15° C, a ako temperatura ostane niža od 10° C, može doći do nepovratnog oštećenja biljke. Lubenica

je biljka kojoj je potrebna intenzivna svjetlost pa za oblačnog vremena kvaliteta ploda opada s rastom (isto vrijedi i za dinje). Uzgoj je moguć samo u razdobljima bez mraza, kada je zbroj prosječnih dnevnih temperatura 3.000° C.

Lubenica nije osjetljiva na blago slana tla i dobro raste pri pH od 5 do 7. Najprikladnija su duboka, rahla tla bogata humusom. Aluvijalna tla u riječnim dolinama također su pogodna za uzgoj bez navodnjavanja. Lubenica se ne smije ponovno uzgajati na istom zemljištu a da nije napravljeno najmanje 4 do 5 godina raz-

Tablica 14. Uzgoj lubenica u Hrvatskoj, 2022. godine

Županija	Ukupna površina (ha)	Broj poljoprivrednih gospodarstava
Bjelovarsko-bilogorska	10,1	33
Brodsko-posavska	10,46	21
Dubrovačko-neretvanska	188,33	153
Grad Zagreb	5,16	10
Istarska	23,72	51
Karlovačka	4,93	21
Koprivničko-križevačka	20,55	14
Krapinsko-zagorska	0,24	2
Ličko-senjska	0,01	1
Međimurska	0,36	1
Osječko-baranjska	42,54	57
Požeško-slavonska	18,49	21
Primorsko-goranska	1,36	4
Sisačko-moslavačka	6,79	16
Splitsko-dalmatinska	10,91	25
Šibensko-kninska	14	6
Varaždinska	0,87	7
Virovitičko-podravska	62,74	80
Vukovarsko-srijemska	162,09	74
Zadarska	92,46	172
Zagrebačka	3,73	9
UKUPNO	679,84	778

Izvor: Agencija za plaćanja u poljoprivredi, ribarstvu i ruralnom razvoju (APPRRR), 2022. godine

maka.¹⁰⁴ Podaci iz 2022. godine o uzgoju lubenica po županijama predočeni su u Tablici 14.

7.5.5 ZAKLJUČCI I PREPORUKE

Rizik od uporabe solarnih panela u povrtarstvu osobito se odnosi na plodored jer je obično riječ o jednogodišnjim vrstama koje se izmjenjuju vremenski i prostorno, odnosno tijekom jedne godine uzgajaju se pretходne kulture (obično vrste koje uspijevaju u rano proljeće ili zimi, poput špinata, salate, rotkvica, graška, mladog krumpira i mladog luka), zatim slijedi glavna kultura s najduljim razdobljem rasta (rajčica, paprika, kupus, luk) i naposljetku sljedeće kulture koje se uzgajaju nakon glavne (salata, špinat, poriluk). Uz takav uzgoj moguće je maksimalno iskoristiti određenu česticu tijekom cijele godine jer različite vrste povrća imaju drukčije biološke zahtjeve (mezofilne i termofilne vrste) i razdoblja rasta. Zbog različitih zahtjeva u pogledu temperature, svjetlosti i vode uporaba FN panela mogla bi biti problematična, kao i prilagođavanje agrotehničkih mjera ugrađenom agrosolarnom sustavu pri uzgoju različitih vrsta.

Prema podacima iz različitih istraživanja, kada se koriste FN paneli, temperatura tla opada tijekom posebno vrućih dana, a u manjoj se mjeri snižava i temperatura zraka. Brzina vjetra može se smanjiti ili povećati ovisno o orientaciji i dizajnu sustava. Stoga bi pri projektiranju sustava trebalo uzeti u obzir efekt tunela i njegov utjecaj na rast biljaka. Prednost u uzgoju povrća je činjenica da se uporabom agrosolarnog sustava gubi manje podzemne vode. Između redova solarnih panela mogu se zasaditi vrste kojima treba mnogo svjetlosti (paprike, rajčice, dinje, lubenice i krastavci).

¹⁰⁴ Lešić et al., 2016.

U Republici Hrvatskoj izgledi za uspješnu provedbu agrosolarnih sustava u uzgoju povrća trenutačno su relativno mali zbog brojnih ograničavajućih okolnosti (rascjepkane obrađene površine, nesređena proizvodna infrastruktura...). Stoga uzgoj povrća pod solarnim panelima iziskuje određene prilagodbe u uzgojnim praksama usmjerene prema većem propuštanju svjetlosti (osobito kod uzgoja dinja, lubenica i paprika) te odabir i kombinaciju usjeva koji su u stanju maksimalno iskoristiti sunčevu zračenje.

Zaključno, sve navedeno može biti veliki izazov i rizik pri postavljanju solarnih panela u povrtarstvu, tako da povrće u ovom trenutku možda nije prikladno za primjenu agrosolara. Unatoč tome, preporuka je da se ipak počne s istraživanjima u obliku pilot-projekata s nekim vrstama povrća koje bi mogle biti prikladne za uporabu solara (npr. rajčice, paprike, lubenice) kako bi se analizirali mogući učinci fotonaponskih instalacija na te vrste u pogledu njihove proizvodnje, rasta, prinosa, otpornosti na mikroklimatske promjene itd.

7.6. PROIZVODNJA ŽITARICA, INDUSTRIJSKOGA I KRMNOG BILJA

7.6.1 Uvod

Žitarice su najvažnija komponenta u ljudskoj prehrani: one su postojan izvor hranjivih tvari i energije putem izravne svakodnevne uporabe proizvoda od žitarica, kao i neizravne putem konzumacije mesa, mlijeka i jaja, imajući u vidu da upravo one služe kao hrana životinjama od kojih se dobivaju ti proizvodi. Velika gospodarska važnost žitarica očituje se u golemoj količini površina na svijetu na kojima se siju, u njihovoj zastupljenosti u ukupnoj svjetskoj proizvodnji i udjelu u svjetskoj trgovini.

Malo je istraživanja koja se bave isključivo uzgojem najčešćih ratarskih kultura poput žitarica te industrijskoga i krmnog bilja u agrosolarnim sustavima. Uzgoj pod FN panelima razlikuje se od konvencionalnog uzgoja na otvorenom. Glavne razlike odnose se na metode obrade, izbor kultura i tehnologije uzgoja. Glede raspolažanja zemljištem i uzgoja ratarskih kultura, veoma je važno provesti prilagodbu agrosolarnih sustava. Prijeko je potrebno prilagoditi nosivu strukturu agrosolara kako bi se omogućio prolazak konvencionalnih poljoprivrednih strojeva. Na primjer, za uzgoj žitarica potreban je slobodan prostor od najmanje 4 - 5 m, posebno zbog velikih kombajna.¹⁰⁵ U slučaju agrosolarnih sustava u kombinaciji s usjevima osjetljivim na svjetlo, poravnanje i razmak između redova modula moraju biti projektirani tako da optimiziraju dostupnost i homogenost svjetlosti kako bi se izbjegao negativan učinak na rast biljaka. Mora se paziti da fotonaponski sustav ne ugrozi radnike ili strojeve.¹⁰⁶

7.6.2 REZULTATI DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA – PREDNOSTI I IZAZOVI

Tlo pod agrosolarom manje gubi na vlažnosti, a vlažnost zraka se povećava.¹⁰⁷ S druge strane, opće je poznato da je glavni učinak agrosolarnih sustava smanjeno sunčev zračenje, što bi, posebno u slučaju usjeva koji ne podnose zasjenjivanje (kao što su, primjerice, kukuruz ili suncokret), moglo dovesti do znatnog smanjenja prinosa. Dakle, za „normalnih“ godina s uobičajenom količinom i rasporedom oborina vrlo je vjerojatno smanjenje prinosa većine ratarskih kultura, poput pšenice i drugih žitarica, kukuruza ili raznih vrsta industrijskog bilja. Rezultati projekta APV-RESOLA u Njemačkoj pokazali su kako se u uobičajenim vegetacijskim sezonomama može očekivati smanjenje prinosa

do 20 % za usjeve kao što su krumpir, pšenica i druge vrste žitarica (ječam, pšenoraž, zob, raž) pod fiksnim nosivim strukturama.¹⁰⁸

Iako se znanstvenici u globalu slažu kako su gotovo sve kulture pogodne za uzgoj u agrosolarnim sustavima, za očekivati je da dođe do smanjenja prinosa zbog utjecaja zasjenjenja. Kada je riječ o ratarskim kulturama, samo bi određeno krmno bilje poput travno-djetelinskih smjesa i lucerne moglo biti prikladno, za razliku od usjeva koji su vrlo otporni na zasjenjenje. U jednom od najnovijih istraživanja¹⁰⁹ agrosolarnih sustava s mobilnim solarnim panelima zabilježen je prosječan porast biomase lucerne za 10 % tijekom dvije godine pod zasjenjenjem između 29 % i 44 % u odnosu na izloženost punoj sunčevoj svjetlosti.

Nema dovoljno informacija o učincima agrosolara, tj. učinku zasjenjenja na prinos i kvalitetu ratarskih kultura u stvarnim uvjetima. Kasna primjena (od cvatnje pa nadalje) neujednačenog zasjenjenja kod ozime pšenice znatno je smanjila prinos zrna.¹¹⁰ Pšenica uzgojena u sjeni u sklopu sustava istodobnog uzgoja paulovnije i pšenice u Kini zabilježila je smanjenje prinosu za oko 50 %.¹¹¹ U šumarskom sustavu u Francuskoj prinos durum pšenice smanjen je u svim intenzitetima zasjenjenja, a u najintenzivnijim uvjetima zasjenjenja (31 % manje svjetlosti) pao je za gotovo 50 %. Najizraženija posljedica zasjenjenja bilo je smanjenje broja zrna po klasu i mase zrna.¹¹² Može se pretpostaviti da bi i druge žitarice sitnog zrna slično reagirale.

Unatoč tome, u uvjetima visokog zračenja, kao npr. u mediteranskom podneblju, kultivari ječma i pšenice mogu imati koristi od djelomičnog zasjenjenja te povećati prinos

¹⁰⁸ Fraunhofer ISE, 2022.

¹⁰⁹ Silvain et al., 2023.

¹¹⁰ Artru et al., 2017.

¹¹¹ Li et al., 2008.

¹¹² Dufour et al., 2013.

zrna prilagodbom fizioloških i morfoloških svojstava.¹¹³ Procijenjen je teoretski agrosolarni potencijal u Europi za različite sorte ozime pšenice te je također zaključeno kako Mediteran, s obzirom na to da je učinak fotonapona jači zbog veće insolacije, a zaštita od suše i topotnog opterećenja ograničava smanjenje prinosa zrna, ima najveći potencijal za agrosolare.¹¹⁴ Međutim, uzgoj žitarica u mediteranskom (jadranskom) dijelu Hrvatske nije uobičajena praksa.

Industrijsko bilje obuhvaća morfološki i biološki vrlo raznolike biljne vrste. Smatra se da bi se biljke nižeg habitusa mogle uzgajati pod agrosolarnim sustavom. Većina takvih usjeva tolerira smanjeno sunčevu zračenje do 15 %, pri čemu ne dolazi do razmernog smanjenja prinosa, pa tako krmno bilje, lisnato povrće, korijenski i gomoljasti usjevi te C3 biljke pokazuju manji gubitak prinosa u usporedbi s kukuruzom i zrnatim mahunarkama, kod kojih dolazi do znatnog smanjenja prinosa, čak i u uvjetima blagog zasjenjenja.¹¹⁵

Kukuruz se općenito smatra neprikladnim za uzgoj s djelomičnim zasjenjenjem, posebno u umjerenim klimatskim podnebljima s obzirom na to da pripada C4 tipu biljaka s većim potrebama za toplinom i svjetlošću. Većina dosadašnjih istraživanja utjecaja zasjenjenja na uzgoj kukuruza pod agrosolarima ili u drugim umjetno stvorenim uvjetima zasjenjenja potvrđuje negativan učinak na razvoj i prinos kukuruza te kod njega postoji jaka povezanost između prinosa zrna i zračenja. U sklopu eksperimenta s ravnomjerno primijenjenim umjetnim zasjenjenjem došlo je do smanjenja mase zrna, što je posljedično dovelo do manjeg prinosa zrna kukuruza.¹¹⁶ Zasjenjeno

lišće kukuruza imalo je znatno smanjenu fotosintetsku učinkovitost.¹¹⁷

Prema mišljenju određenih autora¹¹⁸, teško je projektirati odgovarajući agrosolarni sustav s maksimalnom proizvodnjom električne energije u umjerenim klimatskim podnebljima zbog manjeg sunčeva zračenja. Istraživali su dvije vrste solarnih modula s različitim omjerima zasjenjenja (21,3 %; 25,6 % i 32 %) i zaključili kako je najbolja vrsta agrosolara, kada je riječ o ukupnoj dobiti, za uzgoj soje bifacialni modul s omjerom zasjenjenja od 32 %, a za kukuruz također bifacialni modul s omjerom zasjenjenja od 21,3 %. U slučaju suncokretna, zasjenjenje do 20 % upadnog zračenja tijekom razvoja cvjetova, cvatnje i zametanja zrna, smanjilo je broj zrna u svim tretmanima zasjenjivanja.¹¹⁹

U Italiji je otkriveno¹²⁰ da se pod agrosolarnim sustavom prosječan prinos zrna i broj sjemenki po biljci soje smanjio za 8 i 13 %.

U južnoj Rusiji postoji primjer¹²¹ FN sustava s konfiguracijom od 3,4 m i 6,4 m razmaka između fotonaponskih nizova te 4 m visine iznad usjeva šećerne repe i salate, koji su dokazano otporni na zasjenjenje i pogodniji za uvođenje agrosolarnog sustava. Ističe se da se za agrosolarne sustave u proizvodnji ratarskih kultura mogu uzeti u obzir samo biljke niže od 50 cm koje podnose određeni stupanj zasjenjenja. Vrijedi napomenuti i da su autori zaključili kako taj sustav iziskuje vrlo velika ulaganja te da je na temelju njihovih proračuna vijek trajanja takvih sustava između 23 i 25 godina.

¹¹³ Arenas-Corraliza et al., 2019.

¹¹⁴ Willockx et al., 2020.

¹¹⁵ Laub et al., 2021.

¹¹⁶ Jia et al., 2011.

¹¹⁷ Collison et al., 2020.

¹¹⁸ Kim et al., 2021.

¹¹⁹ Cantagallo et al., 2004.

¹²⁰ Potenza et al., 2022.

¹²¹ Kostik et al., 2020.

7.6.3 STUDIJE SLUČAJA REFERENTNIH PROJEKATA

a. MONTICELLI D'ONGINA, EMILIA ROMAGNA (ITALIJA)

Agrosolarna instalacija nalazi se u općini Monticelli d'Ongina (Slika 26.) u pokrajini Piacenza (Emilia Romagna) u Italiji. Ukupna površina zemljišta iznosi 17,11 ha, od čega je 2,23 ha opremljeno FN modulima (13 %). Trenutačna je instalacija u pogonu od kolovoza 2021. godine (prva je bila puštena u pogon 2012. godine) i sadrži 11.535 polikristalnih solarnih panela, što znači predviđenu godišnju proizvodnju od 4.842 MWh. Moduli su postavljeni na visini od 4,5 metara i ugrađeni na dvoosne stupove sustava za praćenje koji je cijelo vrijeme izložen suncu. Ta se poljoprivredna površina koristi za uzgoj soje, a u nasadu je proveden eksperi-

ment s 4 različite razine zasjenjenja. Prvi rezultati uputili su na smanjenje ukupnog prinosa za 8 %, što je zadovoljavajuće s obzirom na to da je soja među usjevima koji najviše pate pod zasjenjenjem, što je pak znatno ispod granica smanjenja prinosa na koje su uputila prethodna istraživanja u agrosolarnim pogonima u Njemačkoj i Južnoj Koreji.

b. TSE – RAZVOJ SOLARNIH NADSTREŠNICA (FRANCUSKA)

Projekt je veličine 3 ha i postavljen je na poljoprivrednom zemljištu na kojemu se uzgajaju soja, pšenica, raž, ječam i uljana repica (Slika 27.). Pilot-objekt koristi TSE-ovu nadstrešnicu za zasjenjivanje (2,4 MW) s rotirajućim solarnim panelima pričvršćenim na kabele postavljene 5 metara iznad tla. Nadstrešnica se nalazi na konstrukciji od četiriju stupova dimenzija

Slika 26. Monticelli d'Ongina



Izvor: <https://remtec.energy/agrovoltaico>

Slika 27. Razvoj solarnih nadstrešnica TSE-a



Izvor: Fotografija: Sun Services USA, 2022. godine

27 x 12 metara. Prikladna je za uporabu u kombinaciji sa svim poljoprivrednim strojevima, uključujući i vrlo velike strojeve kao što su kombajni, prskalice i proširivači. Ta je tehnologija osobito prikladna za polja žitarica na kojima se uzgajaju uljana repica, kukuruz, ječam i biljni proteinski proizvodi, kao i za farme ovača i stočarska gospodarstva prosječne veličine od 5 do 10 hektara. Nadstrešnica je opremljena senzorima za procjenu vremenskih uvjeta, koji kontroliraju kretanje uređaja za praćenje, koji pak usmjeravaju solarne panele duž sunčeve osi od istoka prema zapadu i sukladno vremenskoj prognozi. Francuska tvrtka također koristi algoritme za praćenje putem sustava za nadzor, kontrolu i prikupljanje podataka (SCADA) za namještanje FN panela prema vremenskim uvjetima. Putem optimizacije tog algoritma za praćenje, TSE se nuda povećati

proizvodnju za 10 do 20 % u usporedbi s konvencionalnim FN sustavom.¹²² Gradnja u sklopu tog projekta počela je u lipnju 2020. godine, a za iduće razdoblje od 30 godina TSE ima ambiciozan plan i program za očuvanje i obnovu bioraznolikosti pomoću triju vrsta mjera: devegetacije tla, obnove mozaika travnjaka i suzbijanja invazivnih biljnih vrsta.¹²³

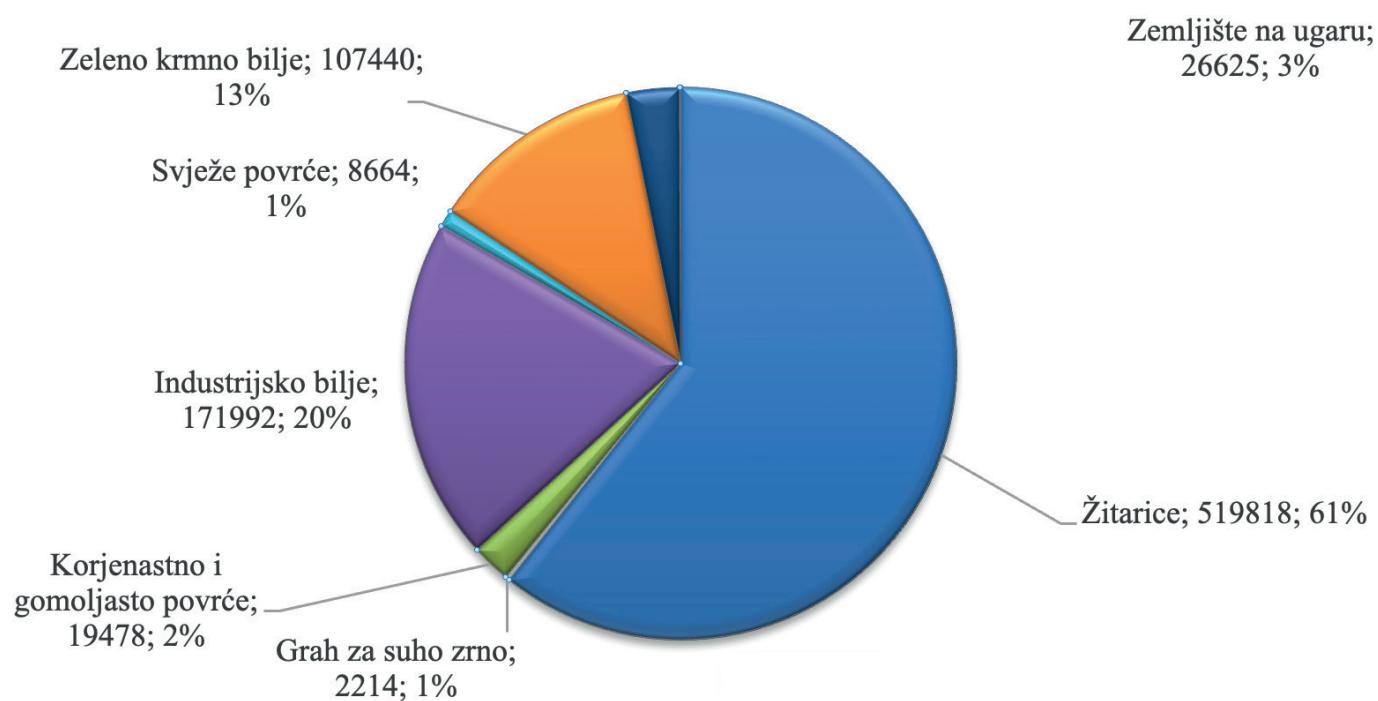
7.6.4 STRUKTURA PROIZVODNJE ŽITARICA TE INDUSTRIJSKOGA I KRMNOG BILJA U HRVATSKOJ

Od svih ratarskih kultura na oranicama su najzastupljenije žitarice, s udjelom od oko 60 %. Nakon žitarica, oko 20 % ide na industrijsko bilje i 13 % na krmno bilje (Slika 28.).

¹²² Fresh Plaza, 2022.; Sun Services Usa, 2022.

¹²³ Reglobal, 2021.

Slika 28. Površina (ha) i udio (%) glavnih usjeva, 2021. godine



Izvor: Državni zavod za statistiku (DZS), 2022. godine

U Republici Hrvatskoj, posebice u istočnom dijelu zemlje, vrlo su povoljni uvjeti za proizvodnju žitarica koje se tradicionalno uzgajaju. U poljoprivrednoj proizvodnji u Hrvatskoj prevladava proizvodnja žitarica, a kukuruz i pšenica glavne su kulture. Najuobičajeniji je

usjev kukuruz (za proizvodnju suhog zrna), zatim ozima pšenica (jara i tvrda pšenica raštu u znatno manjem rasponu), a slijede ozimi i jari ječam, zob, pšenoraž, raž te druge žitarice poput pira, heljde, sirka itd.

Tablica 15. Poljoprivredne površine koje se koriste za žitarice te industrijsko i krmno bilje

	Žitarice (ha)	Industrijsko bilje (ha)	Krmno bilje (ha)
2010.	584.663	125.209	126.297
2011.	575.938	127.343	129.479
2012.	611.212	112.048	122.774
2013.	513.537	129.757	116.668
2014.	490.811	167.140	113.674
2015.	490.811	167.140	113.674
2016.	529.388	178.974	107.444
2017.	461.483	187.826	100.928
2018.	459.703	187.033	94.864
2019.	490.908	170.492	102.388
Prosjek	520.845	155.296	112.819

Izvor: Državni zavod za statistiku (DZS), 2022. godine

Pšenica se uzgaja isključivo za proizvodnju brašna, koje daljnjom obradom potpada u proizvodni proces prehrambenih proizvoda. Ostale žitarice, uz izuzetak pšenice i ječma za proizvodnju slada, u prvome se redu koriste za hranidbu životinja.

Glavno industrijsko bilje u Hrvatskoj su uljarice (soja, suncokret, uljana repica, uljne tikve), korjenasti usjevi (šećerna repa i cikorija), predivo bilje (industrijska konoplja i lan), krumpir i duhan. U kontinentalnom dijelu Hrvatske odvija se najveći udio ukupne proizvodnje industrijskog bilja.

Tablica 16. Broj poljoprivrednih gospodarstava prema vrsti usjeva, 2020. godine

	Republika Hrvatska	Panonska regija	Jadranska regija	Grad Zagreb	Sjeverna regija
Ukupan broj poljoprivrednih gospodarstava	141.211	56.546	41.987	1.897	40.781
Žitarice					
Žitarice	84.500	43.238	7.204	1.115	32.943
Obična pšenica i pir	30.389	16.025	3.163	325	10.876
Tvrda pšenica	430	130	80	10	210
Raž	380	130	160	10	80
Ječam	34.090	16.670	4.240	520	12.660
Zob	16.320	9.360	2.270	240	4.450
Kukuruz koji se žanje u suhom stanju radi zrna	74.552	39.267	2.374	1.044	31.867
Ostale žitarice (pšenoraž, sirak, proso, heljda i dr.)	10.650	5.990	1.040	140	3.480
Industrijsko bilje					
Krumpir	20.035	3.578	9.286	301	6.870
Šećerna repa	460	400	-	-	60
Korjenasti usjevi i kupusnjače za krmivo	3.106	482	1.091	104	1.429
Industrijsko bilje – ukupno	20.629	13.817	1.007	106	5.699
Duhan	480	470	-	-	10
Uljana repica	4.040	2.590	10	20	1.420
Suncokret	5.120	4.430	40	z	640
Soja	9.610	8.510	10	30	1.060
Ostale uljarice	3.800	550	40	60	3.150
Krmno bilje					
Suhe mahunarke i proteinski usjevi za proizvodnju zrnja – ukupno	3.505	1.130	587	72	1.716
Bilje za zeleno krmivo – ukupno	33.090	14.970	7.300	410	10.410
Ostalo svježe krmno bilje	870	440	160	z	270
Kukuruz za silažu	2.170	1.150	70	z	950
Ostalo krmno bilje: mahunarke	18.576	8.425	5.108	209	4.834

Izvor: Državni zavod za statistiku (DZS), 2022. godine

Krmno bilje koristi se za proizvodnju voluminoznog krmiva (sijeno, svježa zelena krma, si-laža i sjenaža) te za proizvodnju zrnja (mahu-narki i žitarica) za ishranu domaćih životinja.

Tablica 16. prikazuje broj poljoprivrednih gospodarstava koja proizvode određene žitarice te industrijsko i krmno bilje. Najveći broj poljoprivrednih gospodarstava u 2020. godini proizvodi žitarice (84.500), a zatim industrijsko bilje (20.629).

7.6.5 ZAKLJUČCI I PREPORUKE

Agrosolarni sustavi mogu biti dobar koncept u smislu proširenja površina poljoprivrednog zemljišta i učinkovitosti njihove uporabe. U današnje vrijeme sve je više studija koje se bave projektiranjem i primjenom agrosolara na obradivim poljoprivrednim površinama. Međutim, još uvijek nema dovoljno podataka o razvoju i prinosima najzastupljenijih ratarskih kultura koje se mogu uzgajati u agrosolarnim sustavima u uvjetima umjerene klime.

Prema novijim, ali oskudnim informacijama o prinosima ratarskih kultura u stvarnom agrosolarnom sustavu, čini se da je za takav sustav prikladna samo lucerna. Otpornost usjeva na zasjenjenje jedan je od najvažnijih čimbenika za određivanje ekonomskog ishoda primjene agrosolara. Iz te perspektive, kukuruz i sun-cokret vjerojatno su najmanje prikladni za uzgoj u agrosolarnom sustavu.

Kada je riječ o industrijskom bilju, agrosolarni sustav eventualno se može primijeniti u proizvodnji krumpira i šećerne repe, dok je upitno bi li imao učinka u uzgoju uljane repice i soje.

Međutim, još uvijek ima mnogo neriješenih pitanja u vezi sa sinergijom između ratarskih kultura i proizvodnje električne energije na obradivim površinama. Koncept agrosola-

ra još uvijek je nova pojava i za pretpostaviti je kako ga mnogi hrvatski poljoprivrednici vjerojatno neće biti voljni prihvati. Stoga je potrebno poduzeti dodatna terenska ispitivanja, razmjenjivati primjere dobre prakse, kao i organizirati posebne radionice na kojima će se prezentirati prednosti i nedostatci agrosolara. Među proizvođačima je također prisutna sumnja u rentabilnost takvog sustava jer troškovi njegove gradnje i adaptacije mogu biti poprilično izdašni.

Kada se uzme sve u obzir, uzgoj ratarskih kultura u većem rasponu u agrosolarnim sustavima u ovom trenutku ne bi bio preporučljiv, osobito u slučaju kukuruza i suncokreta. Međutim, s obzirom na to da neke žitarice (ozima pšenica, ječam) i industrijsko bilje (soja, uljana repica) zauzimaju velik dio obradivih površina, bilo bi dobro provesti istraživački agrosolarni pilot-projekt, odnosno poljski pokus manjeg razmjera, u plodoredu s različitim ratarskim kulturama tijekom nekoliko godina. Osim najčešće uzgajanih žitarica i industrijskog bilja, u plodored se u sklopu takvog ispitivanja mogu uključiti krumpir, lucerna ili djetelina.

7.7 TRAVNJAŠTVO I STOČARSTVO

7.7.1 Uvod

Iskustva iz drugih zemalja (Grčka, Francuska, Austrija) pokazala su da postoji znatan broj studija slučaja i da primjena agrosolarnih sustava na travnjacima u kombinaciji s uzgojem životinja (u prvome redu, ovaca) može imati različite pozitivne učinke. Kada se u proces uključi ovce, osigurava se da trava i druge biljke u fotonaponskim redovima ne ometaju rad solarnih panela, a takva (najbolja) praksa također podrazumijeva manje štete na solarnim panelima i manje operativne troškove. Kada se vegetacija drži pod kontrolom, solar-

na elektrana postaje prirodni protupožarni prosjek, koji pomaže u sprječavanju širenja požara ako koji izbije u okolnom području. Također dovodi do uštede goriva koje bi inače bilo potrebno za mehaničku košnju te otklanja potrebu za kemijskim herbicidima koji mogu uzrokovati onečišćenje tla i vodnih resursa.

7.7.2 REZULTATI DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA – PREDNOSTI I IZAZOVI

Rezultati koje su dobili Armstrong i suradnici¹²⁴ pokazuju da su redovi fotonaponskih panela uzrokovali sezonske i dnevne varijacije u mikroklimi zraka i tla. Konkretno, tijekom ljeta promatrali su hlađenje i sušenje ispod redova fotonaponskih panela u usporedbi s kontrolnim područjima. Nasuprot tome, tijekom zime nenatkrivena područja bila su hladnija u usporedbi s područjima ispod redova fotonaponskih panela i kontrolnim područjima. Nadalje, dnevne varijacije u temperaturi i vlažnosti tijekom ljeta pod fotonaponskim panelima su se smanjile. Otkriveno je da održavanje mikroklima i vegetacije objašnjava razlike u nadzemnoj biljnoj biomasi i raznolikosti kultura, od kojih su obje bile manje ispod redova fotonaponskih panela. Fotosinteza i neto primarna produkcija u proljeće i zimu također su bile umanjene pod fotonaponskim strukturama, što se objašnjava mjernim podacima vezanim uz mikroklimu, tlo i vegetaciju.

Umjereno zasjenjenje imalo je pozitivan učinak na prinos krmnog bilja kod većine trava i mahunarki, dok je intenzivno zasjenjenje imalo sličan učinak na većinu ispitanih krmiva u usporedbi s uvjetima stalne izloženosti suncu. Travnate kulture otpornije su na zasjenjenje od mahunarki u pogledu prinosa krmiva.

¹²⁴ Armstrong et al., 2020.

Zasebna studija pokazala je da umjereno zasjenjenje ima pozitivan učinak na biljnu masu mnogih biljnih vrsta koje rastu na travnjacima umjerenoj pojasa, s tim da je primjećeno znatno smanjenje rasta samo kada je 90 % prirodne svjetlosti bilo nedostupno.

Nema mnogo istraživanja usmjerena na velike agrosolarne sustave ($> 1,0$ MW) koji uključuju ispašu stoke. To dovodi do velikih praznina u našem znanju jer su diljem svijeta regije s najvećim potencijalom za proizvodnju solarne energije obično upravo one u kojima je ispaša iznimno važna.¹²⁵

Znanstvenicima je pošlo za rukom uzgojiti svježu travu za ispašu u sklopu agrosolarnih eksperimenata. Uočene su znatne razlike u srednjoj temperaturi zraka, relativnoj vlažnosti, brzini vjetra, smjeru vjetra i vlažnosti tla. Površine pod fotonaponskim solarnim panelima zadržavale su veću vlažnost tla tijekom cijelog razdoblja promatranja. Također je zapaženo znatno povećanje biomase u posezoni u područjima pod FN panelima (90 % veća biomasa), dok su područja pod FN panelima znatno učinkovitije raspolagala vodom (328 % učinkovitije).¹²⁶

Područja s ograničenim vodnim resursima imat će najviše koristi od toga jer upravljanje solarnom energijom smanjuje potencijalno isparavanje vode iz tla te posljedičnu potražnju za vodom. Neće svi usjevi biti podložni upravljanju solarnom energijom, a ekonomski aspekti aktivnog upravljanja fotonaponskim panelima iziskuju daljnje istraživanje. Međutim, semiaridni pašnjaci s vlažnim zimama mogli bi biti idealni kandidati za agrosolarne sustave.¹²⁷

¹²⁵ Mamun et al., 2022.

¹²⁶ Adeh et al., 2018.

¹²⁷ Adeh et al., 2018.

Povećane temperature smanjuju vrijeme koje stoka provede u zonama toplinske udobnosti, a toplotno opterećenje kod krava obično se javlja pri temperaturi većoj od 25°C.¹²⁸ Procjenjuje se da toplotno opterećenje mliječnu industriju u Sjedinjenim Državama stoji više od 900 milijuna dolara godišnje zbog gubitaka u proizvodnji.¹²⁹ Sharpe i suradnici¹³⁰ istraživali su učinke solarnog fotonaponskog sustava na ispašu stoke u zasjenjenju. Nisu naišli ni na kakve razlike u pojavnosti muha, proizvodnji mlijeka, proizvodnji masti i proteina ili pojenu između stoke u zasjenjenju i bez zasjenjivanja. Autori su zaključili da bi agrosolari ugrađeni u mljekarske sustave na pašnjacima

¹²⁸ West, 2003.

¹²⁹ St-Pierre et al., 2003.

¹³⁰ Sharpe et al., 2021.

mogli smanjiti intenzitet toplotnog opterećenja kod muznih krava te povećati njihovo blagostanje i učinkovitost uporabe zemljišta.

PRIKLADNOST RAZLIČITIH VRSTA DOMAĆIH ŽIVOTINJA ZA ISPAŠU UNUTAR AGROSOLARNIH POGONA

Vegetacija na području solarnih elektrana može narasti dovoljno visoko da zasjeni same solarne panele i počne ometati proizvodnju električne energije. Košnja i herbicidi mogu riješiti taj problem, ali sve je to izuzetno skupo i može biti štetno za okoliš. Ispaša ovaca pak besplatno je i ekološki prihvatljivo rješenje. Solarni paneli pružaju životinjama mnogo sjenovitih mjesta za odmor tijekom najžešćih dnevnih vrućina. Ovce su najzastupljenija i

Slika 29. Ovce – najčešća i najpogodnija vrsta životinja za ispašu u fotonaponskim elektranama



Izvor: <https://www.thetimes.co.uk/article/the-times-view-on-sheep-and-solar-farms-may-safely-graze-xcjc05bws>; <https://agrovoltaicsolutions.com/>

najprikladnija vrsta životinja za ispašu područja solarnih elektrana, ali moguće su i druge opcije (Slika 29.). Za ispašu je pogodna niska trava koja ne ometa rad solarnih panela, a one su same dovoljno niske da ne zaklanjamaju sunčevu svjetlost u većini redova solarnih panela. Za vrućih, sunčanih dana stoka se tako može skloniti u hlad ispod solarnih panela. Malo je vjerojatno da će oštetiti bilo koji dio infrastrukture. Eventualno bi moglo doći do toga da se ovce češu o stupove i tako aktiviraju dugmad za isključivanje u nuždi, što se može spriječiti zaštitnim kapicama ili pokrovima. Ako se ovce prestraše i krenu u stampeđo, mogu skočiti na solarne panele i oštetiti ih, što se pak može izbjegći podizanjem najnižega dijela konstrukcije. Također je poznato da ovce žvaču izložene žice, tako da žice ne bi trebale biti dostupne životinjama.

Radi sigurnosti nisko postavljenih solarnih panela ne preporučuje se dovođenje koza, krava, konja i svinja za održavanje travnjaka solarnih elektrana. I dok su ovce dosad bile najzastupljenija stoka u jednosmjernoj ulozi održavanja solarnih pašnjaka, novi pristupi upućuju na mogućnost iskorištavanja sunčeve energije kako bi se stoci koja se hrani travom zauzvrat osigurao pristup ispaši na istome mjestu. Novi projekt u Vermontu pokazuje kako održati uporabu zemljišta za poljoprivredu pomoći solarne energije na licu mjesta. Inženjeri su projektirali sustav s panelima uzdignutim više od tla, s 244 cm na najnižoj točki, tako da se stoka može kretati ispod njih (Slika 30.). Agrosolari uvedeni u mljekarske sustave pašnjaka mogu smanjiti intenzitet toplotnog opterećenja kod muznih krava te povećati njihovo blagostanje i učinkovitost uporabe zemljišta.¹³¹

¹³¹ Sharpe et al., 2021.

Slika 30. Krave na ispaši na travnjaku solarne elektrane



Izvor: <https://www.buildinggreen.com/news-analysis/two-one-growing-food-and-solar-energy-together>

7.7.3 STUDIJE SLUČAJA REFERENTNIH PROJEKATA

a. AGROSUNČANA ELEKTRANA KOZANI (GRČKA)

Agrosunčanu elektranu od 204 MW u grčkom gradu Kozani sagradio je najveći grčki pre-rađivač nafte, Hellenic Petroleum (Slika 31.). Konfiguracija te agrosunčane elektrane uključuje 18 agrosolarnih parkova na 437,90 ha i imat će ugrađenu snagu od 204,23 MW. Proizvodit će 350 GWh čiste energije godišnje, što je jednak potrošnji 75.000 kućanstava.¹³² Prema idejnom projektu, ukupno je 559.526 monokristalnih silicijskih solarnih panela postavljeno na čvrste metalne baze koje mogu poduprijeti do 54 solarna panela (2 reda od po 27 panela u okomitom obrascu). Nepokretni potporni sustavi imaju nagib od 25°. Donja

¹³² <https://www.euronews.com/green/2022/04/07/largest-double-sided-solar-farm-in-europe-opens-in-greece-supplying-power-to-75-000-houses>. Pриступljeno: 26. listopada 2022.

strana panela nalazi se na visini od 75 cm iznad tla, dok gornja strana ne prelazi visinu od 2,5 m. Područje na kojem je postavljena agrosunčana elektrana uglavnom će koristiti domaći pastiri za ispašu otprilike 800 ovaca i koza (ponajviše ovaca) i jedan nomadski pastir (koji koristi područje između proljeća i ljeta) koji posjeduje ~ 2000 ovaca.¹³³

b. ELEKTRANE LOS NARANJOS I LAS CORCHAS (ŠPANJOLSKA)

Los Naranjos i Las Corchas, dvije fotonaponske elektrane, smještene su u blizini španjolskih gradova Carmona i La Rinconada (blizu Seville – Slika 32.). Njihov kombinirani kapacitet iznosi 100 MW i zajedno generiraju 202 GWh godišnje, što je ekvivalent godišnjoj potrošnji energije grada poput Carmone.

¹³³ 204,23 MW, agrosunčana elektrana Kozani, Grčka, Non-Technical Summary of Environmental and Social Assessment Report. ENVECO SA. Athens, September 2020.

Slika 31. Agrosunčana elektrana Kozani



Izvor: <https://www.themayor.eu/en/a/view/greece-s-largest-solar-power-plant-on-its-way-to-kozani-6142>

Slika 32. Ovce pod fotonaponskom konstrukcijom



Izvor: <https://www.enelgreenpower.com/our-projects/operating/los-naranjos-and-las-corchas-solar-plants>

Te dvije fotonaponske elektrane sastoje se od 258.120 bifacijalnih fotonaponskih panela koji upijaju sunčevu zračenje s obje strane za optimalnu uporabu. Nadalje, u svrhu njihova rada podignuto je 14 trafostanica i dvije električne trafostanice te je prokopano 45 kilometara podzemnih električnih vodova. U pogone je uloženo ukupno 70 milijuna eura. Gradnja pogona uključivala je ugradnju fotonaponskog sustava za zadovoljavanje energetskih potreba zemljišta, uporabu spremnika za prikupljanje kišnice, učinkovit sustav rasvjete niske potrošnje, odvajanje otpada i uporabu električnog automobila za kretanje diljem pogona.

Pogon u Los Naranjosu pogoduje ovcama koje pasu ispod solarnih panela, kao i pčelama u sklopu revolucionarnog projekta na temelju kojeg se već proizvodi „solarni med“ u fotonaponskom pogonu Las Corchas.

7.7.4 STRUKTURA TRAVNJAKA I STOČARSTVA U HRVATSKOJ

Prema podacima iz baze podataka ARKOD-a (31. prosinca 2021. godine), ukupna površina livada u Republici Hrvatskoj iznosila je 101.633 ha, a pašnjaka 25.313 ha, dok su krški pašnjaci prekrivali površinu od 91.499 ha (Ta-

Tablica 17. Način korištenja poljoprivrednog zemljišta

Livade		Pašnjaci		Krški pašnjaci	
Ukupna površina (ha)	Broj čestica	Ukupna površina (ha)	Broj čestica	Ukupna površina (ha)	Broj čestica
101.632,95	242.376	25.313,13	16.479	91.498,52	56.051

Izvor: Baza podataka ARKOD-a 31. prosinca 2021. godine, <https://www.aprrr.hr/arkod/>

blica 17.). Dakle, ukupan broj travnjaka evidentiranih u sustavu ARKOD iznosi 218.444,6 ha.

Ukupno je 2.212 pojedinačnih poljoprivrednih gospodarstava većih od 1 ha, koja zauzimaju površinu od **22.604,75 ha travnjaka prikladnih za primjenu agrosolara**, a od toga je 313 veće od 10 ha (17.391,56 ha travnjaka). Od te brojke ukupno je 1.018 individualnih poljoprivrednih gospodarstava većih od 1 ha, koja zauzimaju površinu od 16.394,53 ha kontinentalnih i krških pašnjaka, a 217 veće je od 10 ha (14.065,47 ha kontinentalnih i krških pašnjaka).

7.7.5 ZAKLJUČCI I PREPORUKE

Jedna od tri glavne vrste zemljišta s najvećim potencijalom za agrosolare su travnjaci. Najveći uspjeh agrosolarnih sustava predviđa se u semiaridnim i aridnim regijama. Tamo travnjaci često ispaštaju zbog štetnih učinaka jakog sunčeva zračenja i popratnih gubitaka vode. Uzgoj travnjaka pod solarnim panelima doživjet će pravi preokret zahvaljujući uštedi vode zbog smanjenja isparavanja vode iz tla i štetnih učinaka prekomjernog zračenja, dok će se u isto vrijeme povećati gospodarska održivost i omogućiti elektrifikacija ruralnih područja.

S obzirom na očite klimatske promjene koje uzrokuju sve češća i dulja razdoblja visokih temperatura praćena sušom, agrosolari bi mogli potaknuti rast vegetacije travnjaka zbog više vlage u tlu i nižih temperatura ispod solarnih panela. Pritom treba voditi računa o sjetvi biljnih vrsta trave i sitnozrnih mahunarki koje su otpornije na zasjenjenje.

Područja s ograničenim vodnim resursima najvjerojatnije će imati najviše koristi od agrosolara jer upravljanje solarnom energijom smanjuje potencijalno isparavanje vode iz tla i posljedičnu potražnju za vodom. Ipak, neće

sve vrste trava i mahunarki biti podložne uzgoju uz solarnu energiju, a potrebno je i dodatno proučiti ekonomski aspekti aktivnog upravljanja solarnom energijom s fotonaponskim panelima.

Trave koje uspijevaju u toplo doba godine (C_4) ne pokazuju otpornost na zasjenjenje, bez obzira na razdoblje rasta. Nasuprot tome, u Hrvatskoj su od većeg značaja C_3 trave kojima pogoduju hladniji uvjeti (livadna vlasulja, klupčasta oštrica, engleski ljlj, trstikasta vlasulja i mačji repak). One ne bilježe znatno smanjenje prinosa ispod 50-postotnog zasjenjenja. Od svih potonjih kultura jedino klupčasta oštrica i bezosata stoklasa pokazuju relativnu otpornost na zasjenjenje od 80 % (bez statistički značajnog smanjenja prinosa).

Neke od mahunarki pokazale su znatnu otpornost na zasjenjenje, osobito u razdoblju rasta ljeto-jesen, bez većeg smanjenja mase suhe tvari ispod 50-postotnog zasjenjenja (2 mahunarke koje uspijevaju u hladno doba godine: lucerna i bijela djetelina, i jedna mahunarka koja uspijeva u toplo doba godine – *striate lespedeza*).

Sve vrste travnjaka u Republici Hrvatskoj, a posebno krški i kontinentalni pašnjaci, mogu biti prikladne za uzgoj u sklopu agrosunčanih elektrana. **To se posebno odnosi na travnjake veće od 1 ha, koji prekrivaju ukupno 22.604,75 ha površine** (uključujući livade te kontinentalne i krške pašnjake).

Glavni nedostaci agrosolarnih izvora energije proizlaze iz zasjenjenja koje uzrokuju solarni paneli, s obzirom na to da ta zasjenjenja mogu utjecati na produktivnost usjeva u različitoj mjeri. Stoga se izbor mora ograničiti na otpornije biljke, a one koje više ovise o sunčevoj svjetlosti ne bi se uzimalo u obzir. To također sužava i izbor područja na ona na

kojima agrosolari najbolje funkcioniraju: nai-me, u hladnijim područjima – gdje se razine intenziteta sunčeve svjetlosti razlikuju tijekom godine – može se narušiti profitabilnost projekata.

7.8 RIBNJAČARSTVO/PLUTAJUĆE FN ELEKTRANE

7.8.1 UVOD

Koncept plutajućih fotonaponskih elektrana (PFNE) nastao je spajanjem proizvodnje sunčeve energije i vodenih površina. Jedna od prednosti PFNE-a učinkovita je dvojna namjena vode za proizvodnju hrane i energije. Dok solarni paneli iznad vode ili na njezinoj površini osiguravaju električnu energiju, vodeni organizmi koji žive ispod površine vode održiv su izvor hrane.

Fotonaponski sustav koji pluta na vodenoj površini može smanjiti gubitak na vodi tako što će sprječiti isparavanje za 70 do 85 % s obzirom na to da prekriva tu površinu.¹³⁴ Tehnologija plutajućih solara omogućuje proizvodnju električne energije i uzgoj (akvakulturu) na istom području, čime se znatno poboljšava ukupna produktivnost po jedinici površine u usporedbi s konvencionalnom uporabom zemljišta.

Ti sustavi dobro podnose promjenjive razine vode; međutim, obično nisu projektirani za rad na dnu vodnog tijela ako je ono isušeno.¹³⁵

Plutajući solari imaju za cilj održavati parametre kao što su temperatura vode i zraka, raspoloživost svjetlosti, pH vode, otopljeni kisik, sustav napajanja i pritisak grabežljivaca te poboljšati sustav iskorištavanjem sinergije

između vodene površine i FN sustava. Uzgajane vrste imaju različite preduvjete za rast, što potvrđuje potrebu za varijacijom bitnih parametara glede funkcije određene vrste i sustava uzgoja.

Integracija fotonaponske tehnologije i vodenih površina stvara sinergije jer voden uzgoj može imati koristi od učinaka zasjenjenja modula kada su temperature visoke, dok su vrijednosti vezane uz učinkovitost modula istodobno poboljšane zbog blizine okruženja s hladnom vodom.¹³⁶ Sustavi akvakulture odlikuju se vrlo visokim unosom energije, ponajviše zbog njihove potrebe za umjetnom opskrbom kisikom. Proizvodnja električne energije uz pomoć plutajućih, uzdignutih ili drugih oblika FN modula nudi mogućnost zamjene izvora energije temeljenih na fosilnim gorivima bez zauzimanja dodatnog zemljišta. Kako bi se povećala produktivnost sustava plutajućih FN panela, dimenzije i raspored FN modula te ugradnja cijelog sustava iziskuju pomno razmatranje.¹³⁷

Uobičajene prednosti takvih instalacija svode se na smanjenje isparavanja vode iz akumulacija/ribnjaka¹³⁸ i usporen rast algi (zbog umanjene količine sunčeve svjetlosti koja dopire do vodenog tijela)¹³⁹. Uz to, električni prinosi u većini slučajeva bilježe blagi porast, vjerojatno zbog dodatnog hlađenja koje osigurava vodena površina ispod modula, kao što je prikazano u nekim radovima¹⁴⁰ pri ispitivanju FN panela u izravnom kontaktu s vodom.

Glede okoliša i drugih varijabli, moguće je postaviti različite oblike plutajućih fotonaponskih instalacija na površinu vode, kao što su spremnici koji se koriste za navodnjavanje

¹³⁶ Hermann et al., 2022.

¹³⁷ Hermann et al., 2022.

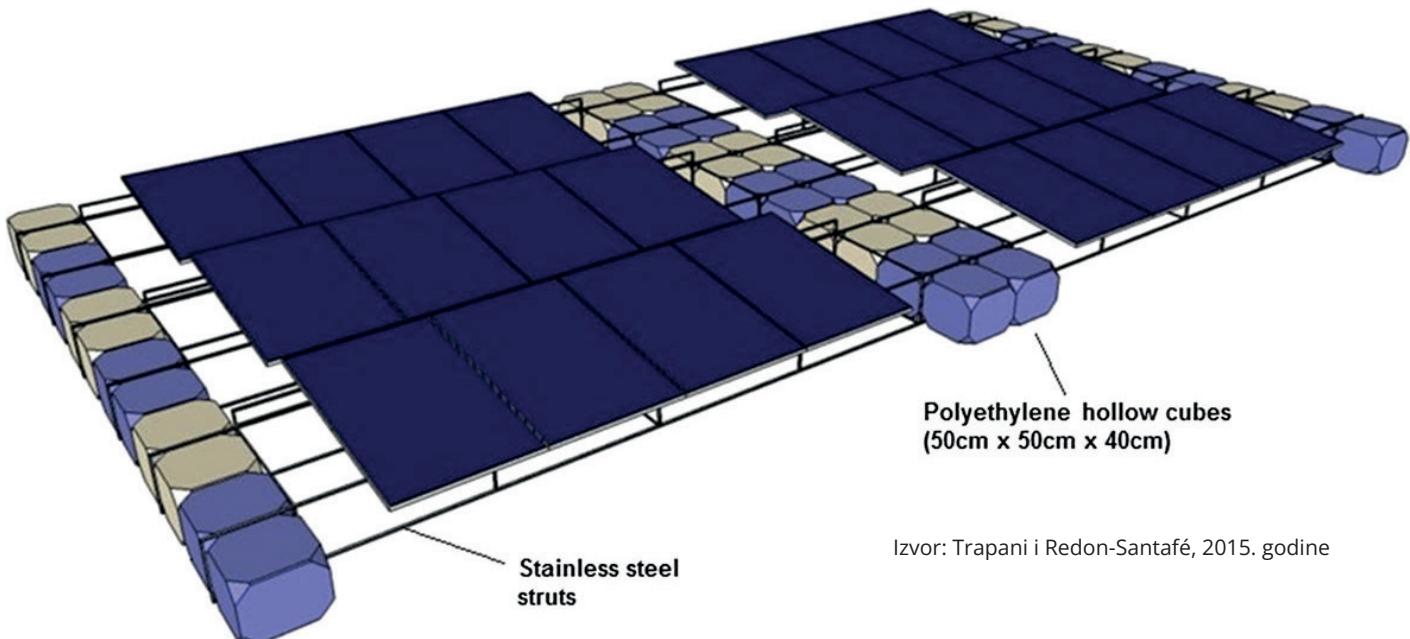
¹³⁸ Ferrer-Gisbert et al., 2013.; Santafé et al., 2014.

¹³⁹ Alam and Ohgaki, 2001.

¹⁴⁰ Bahaidarah et al., 2013.

¹³⁴ Dayoğlu & Türker, 2021.

¹³⁵ Spencer et al., 2019.

Slika 33. Shematski nacrt plutajućih fotonaponskih instalacija u Bubanu, Italija

Izvor: Trapani i Redon-Santafé, 2015. godine

(potaknuto povećanom potražnjom za energijom u modernim sustavima navodnjavanja i poljoprivredi). Također, oni se mogu koristiti i u ribnjacima, kamenolomima i prirodnim jezerima, akumulacijama otpadnih voda, oceanima itd.

Međutim, do danas se malo zna o utjecajima plutajućih fotonaponskih sustava na vodna tijela na koja se postavljaju. Predviđanje promjena u procesima, svojstvima i namjenama vodnog tijela zbog primjene plutajućih fotonaponskih sustava kritična je praznina u znanju koja može rezultirati lošim društvenim izborima i neadekvatnim gospodarenjem vodom.¹⁴¹

Iako je dostupno nekoliko komercijalnih konstrukcija za površinsku ugradnju (Slika 33.), plutajući fotonaponski sustavi u načelu se sastoje od konvencionalnih solarnih modula montiranih na plutačama, koje pružaju uzgon cijelom sustavu dok su pričvršćene na dno vodnog tijela.¹⁴²

¹⁴¹ Armstrong et al., 2020.

¹⁴² Oliveira-Pinto i Stokkermans, 2020.

7.8.2 REZULTAT DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA – PREDNOSTI I IZAZOVI

Provedeno je nekoliko projekata i studija kako bi se potvrdili pozitivni i negativni aspekti u pogledu ekosustava te tehnička i ekonomski izvedivost dvojne namjene u primjeni plutajućih FN panela.¹⁴³ U nastavku donosimo prikaze glavnih rezultata.

RASHLAĐIVANJE

Opće je poznato da učinkovitost FN modula opada s povećanjem temperature. Kada je riječ o plutajućim solarima, pozitivan učinak rashlađivanja može se postići i pomoći vode i povećanjem brzine vjetra. Zahvaljujući učinku rashlađivanja, moguće je povećanje od ~10 - 15 % u izlaznoj snazi plutajućih FN panela u usporedbi s fiksnim solarnim sustavima na tlu¹⁴⁴. Rashlađujući učinak vode na solarne ćelije, koji pogoduje većoj učinkovitosti pretvorbe energije, smatra se jednom od glavnih prednosti plutajućih fotonaponskih sustava.

¹⁴³ Pringle et al. 2017., Fraunhofer, 2021.

¹⁴⁴ Kamuyu et al., 2018.

va.¹⁴⁵ Razmjer tog učinka ovisi o orientaciji i količini kontakta modula s vodom.

SVJETLOST

U slučaju voda izloženih suncu, fotosinteza potiče rast organskih tvari, uključujući i alge. Te alge u načelu nisu poželjne u akumulacijama jer mogu ometati sustave pumpi i filtriranja te iziskuju skupu kemijsku obradu za kontrolu problema. Postavljanjem plutajućih fotonaponskih modula zasjenjuje se vodu i smanjuje fotosintetsku aktivnost. To dovodi do manjeg cvjetanja algi te smanjuje kemijske i operativne troškove.

Plutajući solari osiguravaju zasjenjenje na površini vode ribnjaka, a blokiraju svjetlost upijaju solarni paneli, koji je zatim pretvaraju u iskoristivu energiju. Ako nije kontrolirano, povećanje zasjenjenja smanjuje rast algi, opći biljni svijet i gustoću mikroba, što utječe na cijeli hranidbeni lanac – sve do ribe namijenjene uzgoju.¹⁴⁶

Obično su ribe aktivnije kada su izložene većoj količini svjetlosti, a manje u mraku ili pak obrnuto¹⁴⁷, ali to se može promijeniti pomoću dnevnih promjena čimbenika kao što su temperatura ili kisik¹⁴⁸. Rast vodenih organizama povezan je sa svjetlošću, ali ne vrijede isti parametri za sve organizme jednako jer se vrste razlikuju po uvjetima koji pogoduju njihovu rastu. Intenzitet svjetla je važan za ribe i ličinke, koje se moraju uzbogati u određenom rasponu svjetla, ovisno o razvojnem stadiju i vrsti.¹⁴⁹

Svjetleće diode (LED) mogu se ugraditi na dno pontonskih struktura unutar sustava plutajućih FN panela, a napajanje im pruža fona-

ponski dio sustava u svrhu učinka na foto-period vodenog okoliša. Ta shema moćan je alat za povećanje i daljnju optimizaciju proizvodnje za određene vodene vrste.¹⁵⁰ To treba dodatno ispitati i zatim razmotriti učinke pretvorbe energije. Druga je mogućnost rotiranje ili premještanje strukture po vodnom tijelu u kojem se nalazi. Ta bi radnja ograničila količinu prirodnog zasjenjenja na određeno vodno područje.¹⁵¹ Promjena same pontonske strukture mogla bi se odviti u obliku povećanja udaljenosti između modula od kojih se sastoji objekt. Ta bi promjena omogućila da kontrolirana količina svjetlosti prodire u vodu ispod modula. Taj pristup pak, s druge strane, smanjuje učinkovitost po jedinici površine niza jer je gustoća solarnih modula manja, ali ako površina vode nije ograničenje, to je zanemariv nedostatak.¹⁵²

UPORABA ZEMLJIŠTA I ISPARAVANJE

Fotonapski sustavi koji plutaju na vodi ne zauzimaju nastanjeno kopno i mogu se postaviti u narušenom okolišu te tako smanjiti broj sukoba u vezi s uporabom zemljišta¹⁵³, baš kao i infrastrukture dvojne namjene (poput akumulacija), u kojima se također može smanjiti isparavanje¹⁵⁴. Jedan od najvažnijih sinergijskih učinaka koji proizlazi iz spajanja FN sustava s vodenim površinama je ušteda vode. U akvakulturnim sustavima, koje obilježavaju visoke stope protoka vode, sprječavanje gubitka na vodi velika je prednost – kako s ekonomskoga, tako i s ekološkoga gledišta. Plutajući fotonapski sustavi štede vodu tako što smanjuju isparavanje i osiguravaju pristup vodi u sušnim područjima, dok su u isto vrijeme fleksibilni za uporabu na raznim vodnim tijelima kao što su ribnjaci, spremnici

¹⁴⁵ Skoplaki i Palyvos, 2009.

¹⁴⁶ McKay, 2013.

¹⁴⁷ Boeuf and Le Bail, 1998.

¹⁴⁸ Meseck et al., 2005.; Boeuf i Le Bail, 1998.

¹⁴⁹ Boeuf i Le Bail, 1998.

¹⁵⁰ Pringle et al., 2017.

¹⁵¹ McKay, 2013.

¹⁵² Tsoutsos et al., 2005.

¹⁵³ Sahu et al., 2016.; Lee et al., 2020.; Pouran et al., 2022.

¹⁵⁴ Farfan i Breyer, 2018.; Jäger-Waldau, 2020.

pitke vode itd. Budući da ti sustavi djeluju poput zaštitnoga pokrivača iznad vode, u stanju su smanjiti isparavanje vode do 33 % u slučaju prirodnih jezera i ribnjaka te do 50 % u slučaju umjetnih objekata¹⁵⁵. Neki su autori zamijetili da bi se gubitak vode iz spremnika mogao smanjiti za čak 70 do 85 % pomoću plutajućih fotonaponskih sustava.¹⁵⁶ Smanjenje isparavanja veliko je postignuće, osobito u kontekstu klimatskih promjena zbog kojih su sušna razdoblja sve češća.¹⁵⁷

ODRŽAVANJE

Još jedna prednost povezana s blizinom vode očituje se pri razmatranju učinaka onečišćenja. Kao prvo, čestice s površine modula redovitije se ispiru. Do prljanja površine fotonaponskih modula također može doći i zbog drugih uzroka, kao što su ptičji izmet ili obrastanje.¹⁵⁸ Obrastanje podrazumijeva kolonizaciju organizama poput algi na površinama FN-a, što može utjecati ne samo na module, nego i na sustave za ugradnju i kabele. Prema mišljenju određenih autora¹⁵⁹, jedna od najvećih nepoznanica je interakcija plutajućih fotonaponskih sustava s vodenim organizmima i mogućnost pojave obrastanja. Mehanička opterećenja također bi mogla biti velika zbog povećanih brzina vjetra i valova, posebno tijekom olujnih nevremena.¹⁶⁰ Stabilan sustav pričvršćivanja ključan je za ograničenje bočnih sila¹⁶¹, dok fleksibilna ugradnja FN modula pruža prednost plutanja navalovima te zaštitu sustava od vanjskih sila. Održavanje sustava može se pokazati težim ovisno o lokaciji, npr. kada se rad mora izvoditi iz čamaca ili s pokretnih pontona. Međutim, kada je pristup

FN modulim otežan, može se očekivati manje vandalizma i krađe.¹⁶² S druge strane, plutajući sustavi ne iziskuju tisuće metalnih okvira koji se pričvršćuju na tlo, što znači da se niz panela može brže sastaviti. Osim toga, rastavljanje plutajućeg sustava izvan pogona mnogo je lakše i jeftinije.

DOSTUPNOST MATERIJALA

Zahtjevi za materijale za izradu FN modula vjerojatno će se značajno povećati kako bi se globalno zagrijavanje ograničilo na znatno ispod 2 °C, ali oni su naširoko dostupni, za njih postoje moguće zamjene i mogu se reciklirati.¹⁶³ Glavni materijali izrade FN sustava su silicij, bakar, staklo, aluminij i srebro, pri čemu je silicij najsukupljiji, a staklo najvažnije po masi (70 %). Nijedan od tih materijala ne smatra se kritičnim ili potencijalno nedostatnim.¹⁶⁴

Plutajući fotonapski sustavi kompatibilni su s postojećom hidroenergetskom i električnom infrastrukturom, što ide u prilog diversifikaciji opskrbe energijom i njezinoj otpornosti. Nedostatak politike koja podupire te sustave i planova razvoja koje bi trebale donositi vlaste mogao bi sprječiti održivi rast plutajućih fotonaponskih sustava.¹⁶⁵ Malo je istraživanja o socio-okolišnim utjecajima plutajućih fotonaponskih pogona. Bax i suradnici¹⁶⁶ osvrnuli su se na tri ključna socio-okolišna utjecaja: stvaranje radnih mjesta, nezauzimanje nastanjene kopne te osiguranje i poboljšanje pristupa vodi u područjima siromašnim vodom.

Dodavanje plutajućih modula najvjerojatnije će povećati teškoće u održavanju akvakulturnih sustava, dok vodenim okoliš može usporiti ili poremetiti održavanje FN modula.

¹⁵⁵ Moradiya, 2019.

¹⁵⁶ Pringle et al., 2017.; Dayoğlu & Türker, 2021.

¹⁵⁷ Santafè et al., 2014.

¹⁵⁸ Pringle et al., 2017.

¹⁵⁹ Pringle et al., 2017.

¹⁶⁰ Hermann et al., 2022.

¹⁶¹ Ferrer-Gisbert et al., 2013.

¹⁶² Grupacija Svjetske banke, 2018.

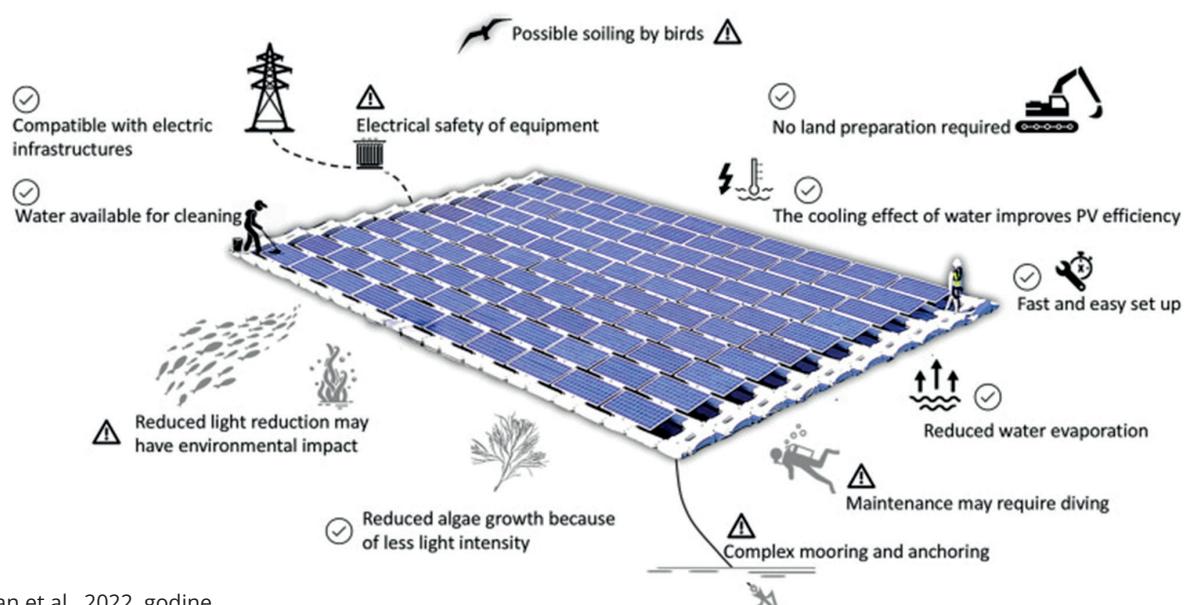
¹⁶³ IPCC, 2022.

¹⁶⁴ IEA, 2020.

¹⁶⁵ Pouran et al., 2022.

¹⁶⁶ Bax et al., 2022.

Slika 34. Prednosti i izazovi plutajućih solarnih panela



Izvor: Pouran et al., 2022. godine

7.8.3 STUDIJE SLUČAJA REFERENTNIH PROJEKATA

a. PROJEKT O'MEGA1 (FRANCUSKA)

Teritorij Francuske obiluje jezerima iz nekadašnjih kamenoloma, kao i akumulacijama vode za razne namjene (voda za piće, navodnjavanje i dr.). Te se lokacije, čija je geografska distribucija na nacionalnoj razini, s jedne strane, relativno homogena, a koje su, s druge strane, često zanemarene ili podcijenjene, mogu dodatno iskoristiti primjenom plutajućih solarnih panela. Najveći europski plutajući solarni niz postavljen je u napušteni kamenolom u Piolencu u jugoistočnoj Francuskoj 2019. godine (Slika 35.). Shema O'MEGA1 od 17 MW koja se sastoji od 47.000 solarnih panela i plutajućih sustava razvijena je i omogućuje godišnju opskrbu električnom energijom dostatnu za 4.733 kućanstva i smanjenje emisije CO₂ od 1.096 tona godišnje.

b. PLUTAJUĆA FOTONAPONSKA ELEKTRANA SIERRA BRAVA (ŠPANJOLSKA)

Pogon je smješten u blizini južne obale aku-

mulacije Sierra Brava, koja se nalazi u Zoriti (Cáceres) u Španjolskoj (Slika 36.). Projektiran za pokrivanje oko 12.000 m², taj plutajući solarni pogon zauzima oko 0,07 % površine akumulacije. Instalacija se sastoji od pet susjednih plutajućih sustava. Svaki sustav ima 600 fotonaponskih modula (ukupno 3.000) s procijenjenim ukupnim kapacitetom vršne snage od 1.125 MWp – čista energija ekvivalentna potrošnji 1.000 kućanstava. Plutajući solarni pogon Sierra Brava služi proučavanju različitih tehnologija i konfiguracije solarnih modula u smislu nagiba, postavljanja i orientacije. Ispituju se i različite plutajuće strukture.

Projekt uključuje mjere zaštite okoliša, kao što su postavljanje znakova na prirodne resurse u području oko akumulacije, plutača za obilježavanje regulatornih plovidbenih područja te kućica za gniježđenje i plutajućih otoka za poticanje gniježđenja određenih vrsta ptica. Važan aspekt projekta je praćenje stanja okoliša, posebice ptičjeg svijeta u tom području, s dvojnim ciljem zaštite ptica i proučavanja njihove interakcije s tom vrstom pogona. Projekt finansijski pokriva Španjolski centar za industrijski tehnološki razvoj (CDTI).

Slika 35. Projekt O'MEGA1 – plutajuća fotonaponska elektrana u Piolencu, Francuska



Izvor: <https://www.lechodusolaire.fr/wp-content/uploads/2019/10/Akuo-21102019>

Slika 36. Plutajuća fotonaponska elektrana Sierra Brava



Izvor: https://www.accionia.com/projects/results/?solution=Energia&area=Photovoltaic&country=SPAIN&_adin=11551547647

7.8.4 STRUKTURA SLATKOVODNE (CIPRINIDNE) AKVAKULTURE U HRVATSKOJ

U Hrvatskoj se ciprinidi tradicionalno uzgajaju u šaranskim ribnjacima, koji se obično prostiru na nekoliko stotina hektara, pri čemu pet šaranskih ribnjaka ima površinu veću od 1.000 ha. Ukupna površina šaranskih ribnjaka u Hrvatskoj (Tablica 18.) trenutačno iznosi 14.081,49 ha, dok je proizvodna površina u 2021. godini iznosila 12.539 ha (Ministarstvo poljoprivrede – NADP, 2022., preliminarni podaci).

Većina šaranskih ribnjaka nalazi se uz veće riječne slivove u nizinskom i kontinentalnom području Republike Hrvatske. Uzgoj ciprinida uglavnom uključuje kontroliran uzgoj šarana (*Cyprinus carpio*) u monokulturi ili polikulturi s drugim vrstama, od kojih su najzastupljeniji amur (*Ctenopharyngodon idella*), sivi glavaš (*Hypophthalmichthys nobilis*), bijeli glavaš (*Hypophthalmichthys molitrix*), som (*Silurus glanis*), smuđ (*Sander lucioperca*), štuka (*Esox*

lucius) i linjak (*Tinca tinca*). Proizvodnja je u naravi većinom poluintenzivna, što znači da se uz prirodnu hranu koja se u ribnjaku produžodi putem bioloških procesa, a čija se proizvodnja stimulira agrotehničkim mjerama (gnojidba i sl.), ribu hrani i dodatnom hranom, najčešće žitaricama (kukuruz, pšenica, raž, ječam). Proizvodni ciklus uzgoja šarana obično traje tri godine (Ministarstvo poljoprivrede, NADP, 2022., preliminarni podaci).

Prema mišljenju određenih autora¹⁶⁷, potrebno je provesti analizu prostornih kapaciteta i uvjeta za korištenje potencijala obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj, razmotriti kriterije za utvrđivanje osjetljivosti područja na energetski potencijal sunca te procijeniti mogućnost gradnje hibridnih fotonaponsko-akvakulturnih sustava. Vrijedi ih uzeti u obzir ponajviše zbog njihovih simbiotskih veza, koje uključuju povećanje učinkovitosti pretvorbe energije zbog rashlađivanja i

¹⁶⁷ Tomšić et al., 2020.

Tablica 18. Registar dozvola za akvakulturu za kopnene vode (samo toplovodne vrste)

Županija	Površina	ha
Bjelovarsko-bilogorska	3.267,03	ha
Grad Zagreb *	1.273,69	ha
Požeško-slavonska/Bjelovarsko-bilogorska	1.274,65	ha
Osječko-baranjska	2.920,31	ha
Karlovačka	391,77	ha
Virovitičko-podravska	981,22	ha
Sisačko-moslavačka	742,14	ha
Brodsko-posavska	3.069,95	ha
Zagreb/Bjelovarsko-bilogorska	117,99	ha
Varaždinska	4,72	ha
Međimurska	5,74	ha
Požeško-slavonska	0,44	ha

*dozvola za hladnovodnu i toplovodnu akvakulturu

Izvor: Ministarstvo poljoprivrede, 2022. godine

Tablica 19. Proizvodnja slatkovodne akvakulture u Hrvatskoj (t) (2017. - 2021.)

Vrsta	2017.	2018.	2019.	2020.	2021.
Šaran	2.039	1.959	2.037	1.691	2.738
Amur	169	141	122	133	266
Bijeli glavaš	73	36	141	161	212
Sivi glavaš	477	301	344	326	414
Som	31	23	20	32	32
Smuđ	9	7	7	6	4
Štuka	12	7	9	2	3
Kalifornijska pastrva	395	336	364,5	379	335,6
Potočna pastrva		34	7,5	12,4	15
Ostale	67	55	48	37	22
UKUPNO (t)	3.272	2.899	3.100	2.779	4.040

Izvor: Ministarstvo poljoprivrede, 2022. godine

čišćenja površina FN modula, smanjenje stope isparavanja vodene površine te povećanja stope rasta riba putem integriranih dizajna s FN crpkama za upravljanje udjelom kisika itd¹⁶⁸.

Šaranski ribnjaci u Hrvatskoj nalaze se u kontinentalnom dijelu zemlje, u kojoj prevladava i kontinentalna klima. Kontinentalna Hrvatska ima umjerenu kontinentalnu klimu i tijekom cijele godine nalazi se u zoni cirkulacije umjerenog pojasa, gdje su atmosferski uvjeti vrlo promjenjivi. Obilježava ih raznolikost vremenskih prilika s čestim i intenzivnim izmjenama tijekom godine, uzrokovanih učestalim izmjenama niskog i visokog tlaka zraka, koje često nalikuju vrtlozima promjera od nekoliko stotina ili pak tisuća kilometara. Klimu kontinentalne Hrvatske modificira i utjecaj Sredozemnog mora, koji je izraženiji u području južno od rijeke Save nego na sjeveru, a slabiji prema istoku.

7.8.5 ZAKLJUČCI I PREPORUKE

Potencijal tehnologije plutajućih fotonaponskih sustava leži u njezinoj fleksibilnosti i

¹⁶⁸ Pringle, et al., 2017.

prilagodljivosti različitim vodnim tijelima¹⁶⁹. Akvakultura je najodrživija kada je integrirana s više vrsta, koje općenito uključuju ribe, rakove, mekušce i kulture morskih algi. Sustav FN modula novi je koncept koji spaja dva područja u kojima su potrebna značajna istraživanja. Kombinacijom akvakulture i proizvodnje električne energije stvaraju se snažne sinergije u smislu oblika očuvanja vode, izravnijeg upravljanja vodenim okolišem s obzirom na fotoperiod i mogućnosti obnove ekosustava.

U Republici Hrvatskoj nije moguće projektirati plutajuće fotonaponske elektrane na područjima s velikom vjerojatnošću poplava, i to kako bi se zaštitilo prirodno plavljenia područja te spriječilo prekid poplavnih tokova, koji bi mogao negativno utjecati na druga područja.

Pri planiranju objekta u sklopu ekološke mreže NATURA 2000, iz perspektive strateške procjene utjecaja na okoliš, potrebno je identificirati utjecaj prostornog plana na okoliš, kumulativne utjecaje na postojeće objekte i

¹⁶⁹ Grupacija Svjetske banke et al., 2018.

način korištenja prostora, uključivo moguće sukobe između različitih interesa, te također uključiti u procjenu povezanu infrastrukturu, kao i sve ostale elemente i radove bitne za funkcioniranje tih objekata.

Kako bi se izbjeglo povećanje uporabe zemljišta, pristup plutajućih fotonaponskih panela nudi rješenje u obliku dvojne namjene zemljišta. Koncept plutajućih solarnih elektrana pruža priliku za razne sinergije, osobito u zemljama s dugim sušnim razdobljima. Posebno je zanimljivo naglo smanjenje gubitka vode zbog nižih stopa isparavanja. Uz odgovarajući sustavni pristup plutajuće FN elektrane mogu pridonijeti održivom korištenju voda i ispuniti zahtjeve povezane s konceptom veze između hrane, vode i energije.

Tehnička izvedivost integracije FN modula u vodene površine dokazana je, ali još uvijek nema dovoljno detaljnih i nepobitnih studija o uzgoju ribe. Potrebna su dodatna istraživanja kako bi se razumjeli učinci izravnog kontakta s pontonskim strukturama i solarnim nizovima na vodenim okolišima.

Ukupna površina šaranskih ribnjaka u Hrvatskoj trenutačno iznosi 14.081,49 ha, dok je proizvodna površina 2021. godine iznosila 12.539 ha (Ministarstvo poljoprivrede – NADP, 2022., preliminarni podaci).

Na temelju te vrijednosti teško je procijeniti kolika je površina raspoloživa za postavljanje plutajućih solarnih panela, i to zbog nekoliko varijabli. Glavni je razlog tome raspon i intenzitet vegetacije (šaš, drvenasta vegetacija i šikare) u pojedinim registriranim vodnim područjima, klasifikacija intenziteta proizvodnje (recirkulacijski akvatični sustavi, uzgojni kavezni i dr.), kao i ograničenja koja proizlaze iz pravnog režima ekološke mreže EU – Natura 2000. Velika uzgajališta šarana smještena su

u kontinentalnom dijelu Republike Hrvatske, uglavnom u područjima velikih riječnih tokova, te su stoga važna za očuvanje biološke raznolikosti.

8. PROCIJENJENI ULAGAČKI POTENCIJALI U AGROSOLARE U HRVATSKOJ

8.1 OPĆA RAZMATRANJA

Zelena ulaganja¹⁷⁰, kao što su ulaganja u agrosolarne sustave, imaju za cilj pridonijeti širenju uporabe obnovljivih izvora energije, stvaranju finansijski održivih modela koji osiguravaju dodatne izvore prihoda za poljoprivrednike ili zemljoposjednike putem prodaje poljoprivrednih proizvoda i energije iz obnovljivih izvora te poboljšanju otpornosti poljoprivrednih sustava na klimatske promjene. Sve u svemu, njihova je uloga osigurati tranziciju gospodarstava koja se pretežno oslanjaju na fosilna goriva i neobnovljive izvore energije sa znatnim emisijama stakleničkih plinova (GHG) u klimatski neutralnija gospodarstva. Usklađivanje ulaganja u zelenu energiju s političkim ciljevima donosi i prilike i izazove vladama različitih zemalja. Usmjeravanjem na ulaganja u održivu energiju gospodarstva mogu smanjiti svoj ugljični otisak i prigrlići čišće izvore

¹⁷⁰ Eyraud et al., 2013.

energije. Međutim, taj prijelaz iziskuje pomno i oprezno planiranje te koordinaciju za učinkovito rješavanje povezanih izazova.

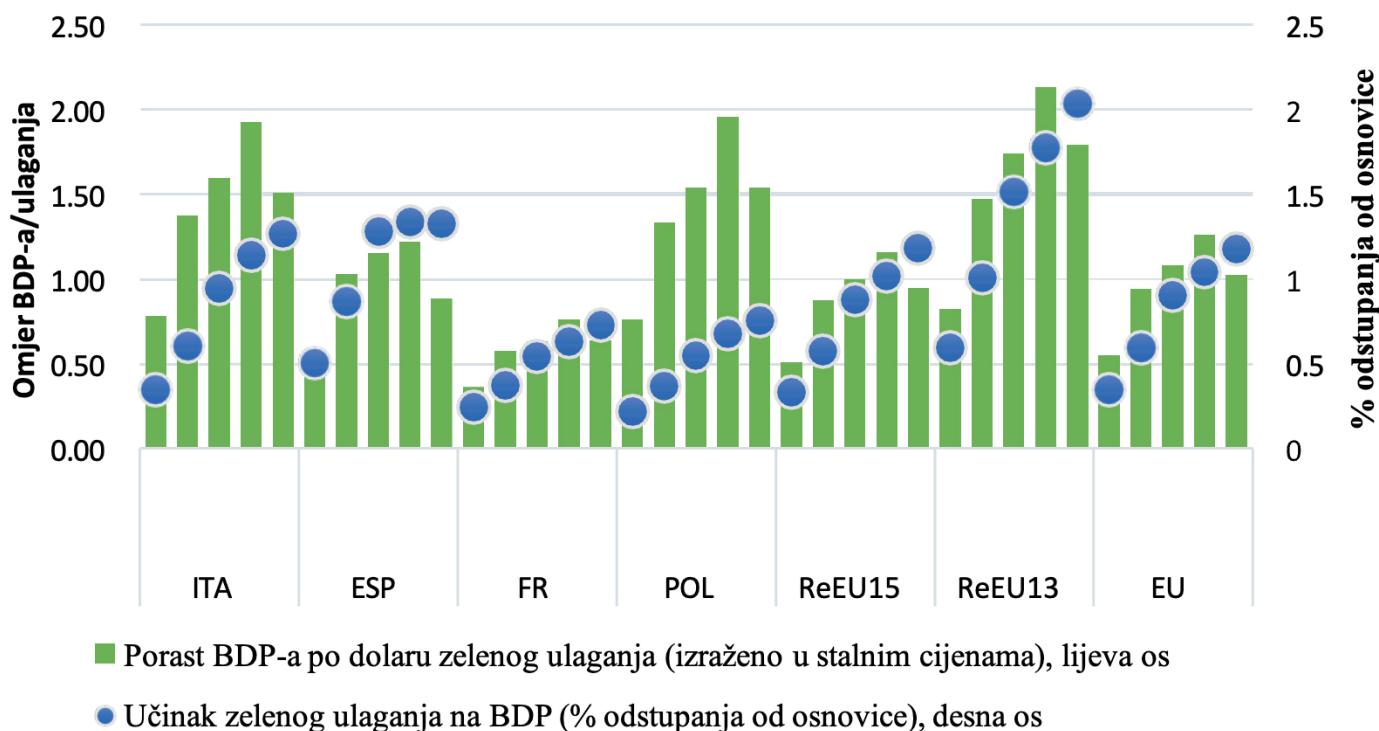
Postoji relativno malo sveobuhvatnih istraživačkih studija koje se bave ekonomskim, društvenim i ekološkim učincima zelenih ulaganja. Međutim, nedavno je objavljena opsežna studija koja koristi model MAGNET CGE¹⁷¹, koji u obzir uzima spomenute utjecaje na razini EU-a. Studija pruža uvid u utjecaj zelenih ulaganja na BDP u državama članicama, kumulativni utjecaj ulaganja u zelenu energiju na rast BDP-a (posebno u sektorima biogospodarstva), ukupne emisije, učinkovitost ušteda emisija u dolarima po toni te učinke na sigurnost opskrbe hranom i energijom, kao i plaće do 2050. godine¹⁷².

Procjena makroekonomskih učinaka dodatnih ulaganja u zelenu energiju (Slika 37.) uk-

¹⁷¹ Modular Applied GeNeral Equilibrium Tool.

¹⁷² Kříšťková et al., 2023.

Slika 37. Utjecaj ulaganja u zelenu energiju na BDP



Izvor: Rezultati modela MAGNET prema Kříšťkovoj i suradnicima, 2023. godine

Ilučuje analizu njihova utjecaja na stopu rasta BDP-a, izraženu u obliku postotka odstupanja od osnovice (pričekano plavom točkom), kao i rast BDP-a po dolaru uloženom u zelenu energiju (pričekano zelenim stupcem).

Rezultati simulacije pokazuju da ulaganja u zelenu energiju imaju pozitivne učinke na BDP (desna os), iako postoje znatne razlike među državama članicama EU-a. Najizraženiji se učinci bilježe u Italiji, Španjolskoj i ostalim zemljama EU-a (članicama skupine EU-13, koje uključuju i Hrvatsku), s predviđenim povećanjem BDP-a od više od 1,2 % do 2050. godine.

8.2 PRETPOSTAVKE ZA PROCJENU KAPITALNIH IZDATAKA

Imajući u vidu analizu predočenu u prethodnom poglavlju, može se zaključiti da agrosolari mogu biti od koristi u različitim granama poljoprivrede, ali raspon i priroda te koristi ovise o specifičnim poljoprivrednim praksama i lokalnim uvjetima. I s ekonomski i s fiziološke perspektive, neke su grane poljoprivrede prikladnije za agrosolarnu integraciju od drugih.

Dakle, prema zaključcima iznesenim u prethodnom poglavlju, poljoprivredne grane u Hrvatskoj za koje se uporaba agrosolara općenito smatra korisnom su **vinogradarstvo, voćarstvo, uzgoj aromatičnoga i ljekovitog bilja, travnjaci i ribnjačarstvo**, dok se zaključuje da ih je za proizvodnju povrća, žitarica, industrijskoga i krmnog bilja iz različitih razloga još uvijek rano smatrati prikladnima za primjenu te da se za te vrste usjeva mogu pokrenuti samo mali znanstveni projekti.

Uz iznesenu preliminarnu analizu prikladnosti svake kulture za primjenu agrosolara,

ključno je uzeti u obzir i povezane kapitalne izdatke (CAPEX) za svaku pojedinu primjenu, kao i smanjen proizvodni kapacitet zbog umanjenog razmaka između modula i/ili panela. Teško je napraviti preciznu procjenu kapitalnih izdataka za svaku specifičnu primjenu agrosolara bez detaljne analize pojedinačnih projekata, ali ipak je moguće izvršiti procjenu relativne promjene CAPEX-a za svaku vrstu na temelju općih razmatranja. Smanjenje potencijalnog kapaciteta (MWp) za svaku primjenu agrosolara u usporedbi s neintegriranim solarnim elektranama također može znatno varirati na temelju čimbenika kao što su raspored solarnih panela, ograničenja korištenja zemljišta, zasjenjenje i učinkovitost solarnih panela. Početna pretpostavka ugrađene snage solarne elektrane u Hrvatskoj iznosi 1 MWp/ha, dok se razina ulaganja u razvoj takvog sustava procjenjuje na 1 milijun eura. Imajući sve to na umu, kao i raspoložive količine površina za pojedine poljoprivredne proizvodnje, potencijalne promjene kapitalnih izdataka, instaliranog kapaciteta i ukupnih potencijalnih ulaganja opisane su u nastavku.

Slijede neka opća razmatranja u pogledu raspoloživih površina za postavljanje agrosolara i očekivanog povećanja kapitalnih izdataka.

1. Vinogradarstvo: ukupno je **12.026,00 ha vinograda većih od 1 ha** prikladno za agrosolare. Kada je riječ o potrebnim kapitalnim izdacima, njihovo povećanje moglo bi se pokazati umjerenim s obzirom na to da vinograđi obično imaju otvorenu strukturu i posljedičnu mogućnost postavljanja solarnih panela između redova vinove loze uz minimalne izmjene. Uvođenjem agrosolara u velike vinograde pruža se mogućnost ugradnje solarnih modula i odgovarajućih nosivih struktura na postojeću uporišnu konstrukciju, čime se smanjuje potrebna

količina materijala. Postotak povećanja može varirati od 10 do 20 %. Pritom potencijalno smanjenje kapaciteta od 10 do 30 % može biti posljedica nedovoljnog razmaka između redova vinove loze, što ograničava raspoloživo područje za postavljanje solarnih panela. Također, osiguravanje odgovarajuće izloženosti vinove loze sunčevoj svjetlosti može smanjiti gustoću rasporeda solarnih panela.

2. Voćarstvo: **25.654,13 ha voćnjaka** prikladno je za agrosolare. Kada je riječ o potrebnim kapitalnim izdacima, njihovo povećanje za voćnjake moglo bi biti veće u usporedbi s vinogradima zbog potrebe za prilagođenijim nosivim strukturama koje su često postavljene više iznad tla te potencijalnog smanjenja gustoće rasporeda solarnih panela. Postotak povećanja kapitalnih izdataka mogao bi se kretati od 15 do 30 %. U vezi s komercijalnim voćnjacima za proizvodnju voća, smanjenje potencijalnog kapaciteta od 20 do 40 % proizlazi iz potrebe za prilagođenijim nosivim strukturama te potencijalnog smanjenja gustoće rasporeda solarnih panela zbog vođenja računa o zasjenjenju i očuvanju optimalne izloženosti voćaka sunčevoj svjetlosti.

3. Aromatično i ljekovito bilje: **u Hrvatskoj je ukupno 6.086 ha površine prekrivene trima najzastupljenijim vrstama nasada aromatičnoga i ljekovitog bilja** (kamila, smilje i lavanda), koju se može smatrati prikladnom za primjenu agrosolara. Kada je riječ o potrebnim kapitalnim izdacima, njihovo povećanje za agrosolarne sustave u nasadima aromatičnoga i ljekovitog bilja moglo bi se pokazati umjerenim ovisno o biljnoj vrsti, uvjetima za rast i dizajnu agrosolara. Neke aromatične i ljekovite biljke u stanju su podnijeti djelomično zasjenjenje, što bi moglo omogućiti integraciju solarnih

panela uz minimalne izmjene postojećeg sustava uzgoja. Međutim, u slučaju bilja kojemu je potrebna puna sunčeva svjetlost, solarne će panele možda biti potrebno postaviti na povišene ili prilagođene nosive strukture kako bi se smanjilo zasjenjivanje, a istodobno zadržali potrebni svjetlosni uvjeti za zdrav rast biljaka. Postotak povećanja kapitalnih izdataka za agrosolarne sustave u nasadima aromatičnoga i ljekovitog bilja može se kretati od 10 do 25 %. Smanjenje kapaciteta od 15 do 35 % u uzgoju aromatičnoga i ljekovitog bilja proizlazi iz različitih potreba za svjetlošću različitih biljnih vrsta, što može iziskivati prilagođene aranžmane solarnih panela ili strukture za održavanje optimalnih uvjeta rasta.

4. Travnjaštvo: **Travnjaci veći od 1 ha prostoru se na 22.604,75 ha površine** (uključujući 16.394,53 ha kontinentalnih i krških pašnjaka većih od 1 ha). Postotak povećanja mogao bi se kretati od 5 od 15 %. Smanjenje potencijalnog kapaciteta od 5 do 20 % za travnjake i pašnjake može biti rezultat potrebe za podizanjem solarnih panela kako bi se omogućilo kontinuiranu ispašu, a promjene postojećeg načina korištenja zemljišta svelo na minimum, zbog čega može doći do smanjenja gustoće rasporeda panela. Vertikalni solarni paneli također bi trebali iziskivati manje složene strukture za ugradnju u usporedbi s tradicionalnim solarnim panelima. Uzimajući u obzir navedene čimbenike, povećanje kapitalnih izdataka za pašnjake s vertikalnim solarnim panelima moglo bi se kretati od 0 do 10 %. Tu se smanjenje potencijalnog kapaciteta od 0 do 10 % može svesti na najmanju moguću mjeru s obzirom na to da taj dizajn smanjuje zasjenjenost pašnjaka i omogućuje lakšu integraciju u postojeći način korištenja zemljišta uz zadržavanje ujednačenije gustoće rasporeda panela.

5. Ribnjačarstvo: prema prije navedenim podacima, ukupno je **12.539,00 ha raspoloživih unutrašnjih vodenih površina koje se koriste za uzgoj slatkovodne rive.**

Kada je riječ o potrebnim kapitalnim izdacima, njihovo povećanje za ribnjake moglo bi biti veće u usporedbi s drugim kategorijama s obzirom na to da se solarni paneli moraju postaviti na plutajuće ili uzdignute strukture iznad vode. U određenim situacijama plutajuće strukture mogu biti isplativije zbog manjih troškova materijala i ugradnje, ali treba uzeti u obzir i druge čimbenike, kao što su sustav za pričvršćivanje, održavanje i trajnost. Sve u svemu, plutajuće solarne elektrane iziskuju dodatno projektiranje i materijale, što dovodi do potencijalnog povećanja od 10 do 40 %. Smanjenje potencijalnog kapaciteta od 20 % za sustave akvakulture proizlazi iz potrebe za ugradnjom solarnih panela na plutajuće ili povišene strukture iznad vode, što može ograničiti gustoću rasporeda panela i potencirati problem zasjenjenja, dok istodobno osigurava minimalno remećenje vodenog okoliša. Međutim, ako je plutajuća solarna elektrana sagrađena slično kao što bi se ustrojilo solarnu elektranu na kopnu te se tako osigura prostorna učinkovitost, potencijalni proizvodni kapacitet može se povećati do 15 % zbog učinka rashlađivanja vode.

8.3 PROCJENA INVESTICIJSKIH POTENCIJALA U AGROSOLARNE PROJEKTE

Za potrebe izračuna ulagačkog potencijala za agrosolarne projekte u Hrvatskoj potrebno je poći od pretpostavke da će ukupna veličina zemljišta (većih od 1 ha) u načelu biti dostupna za primjenu agrosolara za različite vrste poljoprivrednih kultura, prepoznate kao po-

tencijalno prikladne za provedbu agrosolarnih projekata.

Što će točno biti ostvarivo u praksi u idućih 5 do 10 godina, ovisi o različitim čimbenicima, kao što su specifičnosti svake pojedine kulture, geografska i biološka ograničenja u smislu jačine zračenja i pojavnosti zasjenjenja, vrsti reljefa, prosječnoj veličini poljoprivrednoga gospodarstva, pravnim zahtjevima¹⁷³, ekološkim ograničenjima, trenutačnim raspoloživim kapacitetima priključenja na elektroenergetsku mrežu, financijske izvedivosti svakog projekta glede očekivanih kapitalnih izdataka, voljnosti vlasnika zemljišta/zakupaca za uvođenje agrosolara itd.

Budući da je vrlo teško napraviti bilo kakvu preciznu i realističnu procjenu mogućih ulaganja u agrosolare zbog velikog broja nepoznatih čimbenika, za potrebe ovog odlomka predviđen je samo okvirni izračun koji prikazuje koji bi bili mogući instalirani kapaciteti (i potrebni kapitalni izdaci) ako razina primjene agrosolara na cijelokupno raspoloživo zemljište veće od 1 ha za sve odgovarajuće poljoprivredne kulture bude u rasponu između 1 i 5% dodatno diversificirano na tri moguće vrste korištenih FN modula (Tablica 20.). To ne znači da će te brojke zaista i biti dosegnute u praksi ili da će biti ravnomjerno raspoređene za svaku poljoprivrednu kulturu (moguće je da razina ulaganja za neke kulture bude veća od 5 %, a da za neke uopće ne bude interesa investitora).

¹⁷³ Na primjer, temeljem trenutačnih propisa, agrosunčane elektrane moguće je provesti samo na višegodišnjim nasadima upisanim u ARKOD.

Tablica 20. Proizvodnja energije i ulagački potencijali u agrosolare na 1 % raspoloživih zemljišta većih od 1 ha

Vrsta usjeva	Ukupna raspoloživa površina (ha)	Fiksne strukture		Bifacialni moduli		Sustav praćenja	
		Instalirani kapacitet (MWp)	Procijenjena ulaganja (milijuni EUR)	Instalirani kapacitet (MWp)	Procijenjena ulaganja (milijuni EUR)	Instalirani kapacitet (MWp)	Procijenjena ulaganja (milijuni EUR)
1 % raspoloživih zemljišta							
Vinogradarstvo	12.026,00	84,18 – 108,23	92,6 – 129,88	96,81- 124,47	106,49 – 149,36	109,44 – 140,70	120,38 – 168,85
Voćarstvo	25.654,13	153,92 – 205,23	177,01 – 266,80	177,01 – 236,02	203,56 – 306,82	200,10 – 266,80	230,12 – 346,84
Aromatično i ljekovito bilje	6.086,00	45,64 – 54,77	50,21 – 71,21	52,05 – 62,99	57,74 – 81,89	59,34 – 71,21	65,27 – 92,57
Travnjaštvo	22.604,75	180,84 – 214,75	180,84 – 246,96	207,96 – 246,96	207,96 – 284,00	207,96 – 279,17	235,09 – 321,04
Ribnjačarstvo	12.539,00	100,31 – 144,20	110,34 – 201,88	115,36 – 165,83	126,89 – 232,16	187,46 – 130,41	143,45 – 262,44
UKUPNO	78.909,88	564,89 – 727,18	611,00 – 916,73	649,19 – 836,27	702,64 – 1.054,23	791,43 – 888,29	794,31 – 1.191,74
5 % raspoloživih zemljišta							
Vinogradarstvo	12.026,00	420,91 – 541,17	463,00 – 649,40	484,05 – 622,35	532,45 – 746,81	547,18 – 703,52	601,90 – 844,22
Voćarstvo	25.654,13	769,62 – 1.026,17	885,27 – 1.334,01	885,07 – 1.180,09	1.017,83 – 1.534,12	1.000,51 – 1.334,01	1.150,89 – 1.734,22
Aromatično i ljekovito bilje	6.086,00	228,23 – 273,87	251,05 – 356,03	262,46 – 314,95	288,70 – 409,44	296,69 – 356,03	326,36 – 462,84
Travnjaštvo	22.604,75	904,19 – 1.073,73	904,19 – 1.234,78	1.039,82 – 1.234,78	1.039,75 – 1.420,00	1.175,45 – 1.395,84	1.175,45 – 1.605,22
Ribnjačarstvo	12.539,00	501,56 – 720,99	551,72 – 1.009,39	576,79 – 829,14	634,47 – 1.160,80	652,03 – 937,29	717,23 – 1.312,21
UKUPNO	78.909,88	2.824,51 – 3.635,93	3.055,23 – 4.583,61	3.248,19 – 4.181,31	3.513,20 – 5.271,17	3.671,86 – 4.726,69	3.971,83 – 5.958,71

Tablica 20. prikazuje podatke o očekivanoj proizvodnji energije i povezanim finansijskim ulaganjima koji se mogu pribaviti uspostavom agrosolara. Ovdje predočeni izračuni temelje se na prosječnoj produktivnosti površine u Hrvatskoj, koja odgovara približno 1 MWp po hektaru (južno orijentirane fiksne strukture). Ta je vrijednost osnova za naknadne izračune. Ukupni kapacitet određen je množenjem ukupne raspoložive površine, dijela koji se koristi za agrosolare i smanjenje učinkovitosti, kao što je navedeno. Vrijednost od 1 milijun eura po 1 MWp koristi se kao procjena ukupnih potencijalnih ulaganja. Ta je cijena, s obzirom na prije spomenuto predviđeno povećanje cijene, uvećana za određeni postotak i korištena u kombinaciji s potencijalnim kapacitetom. Uz to, navedene su konverzije za bifacialne module (1,15 MWp/ha) i sustave praćenja (1,30 MWp/ha). U skladu s tom metodologijom, ako se 1 % raspoloživoga zemljišta rabi za uvođenje agrosolara, može se instalirati do 900 MWp kapaciteta solarne energije (ovisno o tehnologiji koja se koristi). Na sličan način, ako se postotak poveća na 5 %, može se instalirati do 4.700 MWp kapaciteta solarne energije (ovisno o tehnologiji koja se koristi).

Kao što je spomenuto, razina stvarnih ulaganja u sljedećih 5 do 10 godina ovisit će o svim prethodno navedenim čimbenicima, posebice u vezi s ograničenjem koje proizlazi iz trenutačnog stanja raspoloživoga kapaciteta mreže za distribuciju i prijenos električne energije.

9. ZAVRŠNI ZAKLJUČCI I PREPORUKE

Klimatske promjene očigledno utječu na svakodnevni život, i to putem povećane učestalosti i intenziteta ekstremnih vremenskih prilika (iznimne količine oborina, poplave i bujične poplave, erozije, oluje, suše, toplinski valovi i požari), uzrokujući tako postupne devijacije u okolišu (porast temperature zraka, tla i površine vode, podizanje razine mora, zakiseljavanje mora i širenje suhih područja).

Poljoprivredni sektor posebno je osjetljiv na sveprisutne učinke klimatskih promjena. Očekivane posljedice u poljoprivrednom sektoru obuhvaćaju promjene u razdobljima rasta ratarskih kultura, slabije urode svih vrsta poljoprivrednih kultura i veću ovisnost o vodi. Hrvatska tu nije iznimka s obzirom na to da klimatski podaci pokazuju kako je temperatura zraka na globalnoj razini, pa tako i u Hrvatskoj, porasla u posljednjih nekoliko desetljeća 20. stoljeća, a taj je porast poprimio još veće razmjere tijekom 21. stoljeća.

Agrosunčane elektrane (ASE) bi, bez potrebe zauzimanja dodatnih zemljišta, mogле biti obećavajuće rješenje u svrhu povećanja proizvodnje energije i poljoprivredne produktivnosti. Mnoge studije pokazale su kako je moguće kombinirati fotonaponski (FN) sustav s poljoprivrednom proizvodnjom, čime se omogućuje razvoj agrosolarnih sustava u većim razmjerima, a istodobno štite poljoprivredni usjevi i održavaju prinosi. Mnoga istraživanja pokazuju kako je moguće povećati prinos usjeva pomoći FN sustava s obzirom na to da agrosunčane elektrane stvaraju modificiranu mikroklimu ispod modula tako što mijenjaju temperaturu zraka, relativnu vlažnost, brzinu vjetra, smjer vjetra i vlažnost tla. Uz to, agrosunčane elektrane štite nasade od viška solarne energije i od olujnog nevremena, poput tuče, te utiru put učinkovitijoj uporabi vode, što može pomoći u smanjenju njezine potrošnje.

Najčešća definicija agrosunčanih elektrana stoga uključuje dvojno i sinergijsko korištenje poljoprivrednog zemljišta, pri čemu poljoprivredna proizvodnja mora biti glavna i primarna djelatnost, a ugradnja fotonaponskih sustava na isto poljoprivredno zemljište sekundarna i komplementarna djelatnost koja „služi“ poljoprivrednoj proizvodnji i štiti poljoprivredne kulture od nepovoljnih uvjeta za uzgoj, kao što su prekomjerna sunčeva svjetlost, visoke temperature i jake suše (nedostatak vode).

Agrosolari su kao inovativni koncept tek nedavno prihvaćeni u mnogim dijelovima svijeta. Na razni EU-a usvojena je Strategija EU-a za solarnu energiju koja predviđa agrosolarse projekte kao inovativni model kombiniranog korištenja poljoprivrednog zemljišta, pri čemu fotonaponski sustavi mogu pridonijeti zaštiti poljoprivrednih nasada i stabilizaciji prinsosa, dok poljoprivredna namjena ostaje primarna namjena zemljišta. Kao što to ova studija analizira, isti koncept usvojen je na tržištima različitih zemalja EU-a na kojima su već pokrenute različite vrste agrosolarnih projekata (što uključuje i komercijalne i istraživačke pilot-projekte) za različite vrste poljoprivrednih kultura. Razvoj tržišta agrosolara prati i razvoj različitih tehničkih rješenja koja olakšavaju primjenu agrosolara kod različitih poljoprivrednih kultura. Neke od tih zemalja, što pokazuju primjeri Francuske, Italije i Njemačke, uspostavljaju napredne pravne i institucionalne okvire koji će preciznije regulirati uvjete za daljnju primjenu agrosolara u tim zemljama.

Kada je riječ o situaciji u Hrvatskoj, nakon nedavnih zakonodavnih promjena ustanovljeni su relativno čvrsti pravni temelji za pripremu prvih agrosolarnih (pilot) projekata. Prema postojećoj zakonskoj regulativi, moguće je pokrenuti agrosolarne projekte na poljoprivrednoj zemljištu.

vrednom zemljištu ako su na tom zemljištu uspostavljeni poljoprivredni trajni nasadi i ako su takvi nasadi upisani u evidenciju ARKOD-a. Ako su ispunjeni svi ostali uvjeti, moguće je pribaviti energetsko odobrenje za takve projekte, koje je ključni dokument za poduzimanje svih ostalih koraka u uobičajenom procesu razvoja navedenih projekata. Na početku otvaranja tržišta, može se očekivati da će prevladavati model „zakupa zemljišta“ koji će se uglavnom primjenjivati na poljoprivredna zemljišta u privatnom vlasništvu s obzirom na to da zakupnici zemljišta u državnom vlasništvu ne smiju davati ta zemljišta u podzakup trećim osobama.

Ipak, tržište agrosolara trebalo bi dodatno regulirati na sustavniji i detaljniji način, uređujući različita pitanja koja su specifična upravo za agrosolarne projekte. Osim toga, bit će potrebno pozabaviti se i nekim drugim izazovima za uspješnu provedbu agrosolarnih projekata, kao što su odgovarajuća komunikacija i dobivanje podrške od različitih dionika, posebice poljoprivrednika i njihovih udruga.

Glede poljoprivrednih grana koje bi u Hrvatskoj bile najprikladnije za primjenu agrosolara, detaljnom i sveobuhvatnom analizom ove studije kao takve identificirane su: vinogradarstvo, voćarstvo, uzgoj aromatičnoga i ljekovitog bilja, travnjaštvo i ribnjačarstvo. S druge strane, za povrćarstvo, proizvodnju žitarica, industrijskoga i krmnog bilja zaključeno da je te kulture, zbog različitih razloga, još uvijek rano smatrati prikladnima za agrosolarse projekte te da se u tim slučajevima mogu pokrenuti samo manji, istraživački projekti za poljoprivredne kulture za koje je ovom studijom već ocijenjena određena načelna prikladnost za primjenu agrosolara.

U svrhu izračuna ulagačkog potencijala mogućeg tržišta agrosolara u sljedećih 5 do 10 godi-

na, početna je pretpostavka da će sveukupna količina zemljišta većih od 1 ha biti u načelu dostupna za primjenu agrosolara za poljoprivredne kulture koje su identificirane kao najprikladnije. Prema vrlo općenitim i ilustrativnim izračunima ove studije napravljenima na temelju dostupnih podataka o raspoloživim zemljištima većima od 1 ha s prikladnim poljoprivrednim kulturama, pretpostavlja se da bi se, ako bi se 1 % raspoloživog zemljišta rabilo za postavljanje agrosolara, moglo instalirati do 900 MWp kapaciteta solarne energije. Na sličan način, ako se postotak poveća na 5 %, može se instalirati do 4.700 MWp kapaciteta solarne energije.

Ono što će u praksi biti ostvarivo, ovisit će o različitim čimbenicima kao što su specifičnosti svake kulture, geografska i biološka ograničenja u smislu razine zračenja i zasjenjenja, vrsta terena, prosječna veličina poljoprivrednoga gospodarstva, pravni zahtjevi, ograničenja okoliša, kapacitet priključenja dostupne elektroenergetske mreže, izvedivost svakog projekta u smislu očekivanih kapitalnih troškova, podrška vlasnika zemljišta/zakupnika za primjenu agrosolara itd.

Konačno, na temelju svih prethodno iznesenih činjenica, mogu se iznijeti sljedeće preporuke za razvoj agrosolarnog tržišta u Hrvatskoj:

1. Hrvatska bi trebala uvrstiti agrosolare u postojeće strateške dokumente koji se odnose ili na razvoj poljoprivrednog sektora (Strategija poljoprivrede) ili na proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora (Strategija energetskog razvijatka Republike Hrvatske do 2030. godine s pogledom na 2050. godinu) kako bi se potaknulo provedbu agrosolarnih projekata s naglaskom na mogućim pozitivnim učincima na poljoprivrednu proizvodnju i proizvodnju energije iz obnovljivih izvora.

2. Iako postojeći relativno rascjepkani pravni i institucionalni okvir u načelu omogućuje primjenu prvih agrosolarnih projekata, tržište agrosolara trebalo bi dodatno regulirati na sustavniji i detaljniji način koji bi obuhvatio različita pitanja kao što su obvezujuća pravna definicija agrosolara, moguća ograničenja prihvatljive površine zemljišta pod FN panelima/dopuštena razina smanjenja prinosa, institucionalni i administrativni uvjeti za odobrenje takvih projekata te odgovarajući sustav praćenja kako bi se osigurao nastavak poljoprivredne proizvodnje nakon ugradnje agrosolara.
3. Kako je već navedeno u postojećim propisima, prvi pilot-projekti u domeni agrosolara provodili bi se s višegodišnjim nasadima, točnije, vinovom lozom, maslinama, američkom borovnicom, haskapom, malinom, sibirskim kivijem, marelicom, trešnjama i višnjama. Očekuje se da će aromatične sorte vinove loze pozitivnije reagirati na smanjenu temperaturu i UV zračenje, što će im pomoći da zadrže svoje sortne arome. Jabuka, kruška, borovnica, kivi, breskva, nektarina, dunja i jagoda preporučuju se za agrosolarne projekte ovisno o sorti. Žute i zelene sorte jabuka kao što su Golden Delicious ili Granny Smith imat će koristi od FN panela postavljenih iznad voćnjaka jer će se tako spriječiti promjena njihove boje u crvenu. Također, ribnjaci, travnjaci i aromatično bilje (kamilica, smilje, lavanda) mogu se smatrati prikladnima za provedbu prvih agrosolarnih projekata.
4. Budući da agrosolarne projekte treba proraziti kao agrotehničku mjeru djelomičnog zasjenjenja, bit će potrebno pobrinuti se da budu poduzete sve mjere za sprječavanje negativnih utjecaja na tlo i biljke (gubitak zemljišta, raspoloživost svjetlosti, raspoloživost vode, erozija, prinos itd.).

Agrosolarni sustavi trebaju biti opremljeni sustavom za praćenje koji će mjeriti stanje tla i mikroklimatske uvjete ispod solarnih panela te utjecaj tih uvjeta na poljoprivredne nasade i okoliš. Praćenje poljoprivredne proizvodnje u agrosolarnim sustavima ključno je za prevladavanje mogućih tehničkih izazova u poljoprivrednoj proizvodnji. Agrosolarne projekte trebalo bi pratiti do pet godina nakon ugradnje. Stoga uvođenje jasno određenih normi i najboljih praksi za agrosolare može pomoći da se osigura njihova sigurnost i učinkovitost. To može uključivati izradu tehničkih smjernica za projektiranje, gradnju i rad agrosolarnih sustava.

5. Potrebno je razraditi komunikacijsku strategiju kako bi se svim dionicima, a posebno poljoprivrednicima i poljoprivrednim proizvođačima, pružile objektivne informacije o mogućim prednostima i ograničenjima uvođenja agrosolara. Poticanje suradnje između energetskog i poljoprivrednog sektora može biti od pomoći u promicanju provedbe agrosolarnih projekata.
6. Relevantne državne institucije i znanstvena zajednica trebaju poticati istraživanje agrosolarnih projekata, što bi trebalo uključivati uspostavu odgovarajućih programa financiranja i potpora, promicanje suradnje među istraživačima te međunarodne suradnje.
7. Uspostavljanje programa poticaja putem bespovratnih sredstava i/ili zajamčenih cijena moglo bi se razmotriti u svrhu pružanja specifične finansijske i tehničke potpore poljoprivrednicima i zajednicama za razvoj manjih agrosolarnih projekata.
8. Pružanje tehničke pomoći i osposobljavanje poljoprivrednih proizvođača i dru-

gih dionika može pridonijeti osiguravanju uspješne provedbe i rada agrosolarnih postrojenja. To može uključivati obuku o postavljanju, održavanju i praćenju agrosolarnih projekata.

9. Educiranje javnosti o prednostima agrosolara, organiziranje javnih događaja i demonstracija te isticanje primjera uspješnih projekata može pomoći u podizanju svijesti šire javnosti i za dobivanju podrške za agrosolarne projekte.

10. LITERATURA

- Adeh, E. H.; Selker, J. S.; Higgins, C. W. (2018.): Remarkable Agrivoltaic Influence on Soil Moisture, Micrometeorology and Water-Use Efficiency. PLoS ONE, 13, e0203256.
- Agencija za plaćanja u poljoprivredi, ribarstvu i ruralnom razvoju (APPRRR). Vinogradarska baza podataka (2022.).
- Agovino, M.; Casaccia, M.; Ciommi, M.; Ferrara M.; Marchesano, K. (2018.): Agriculture, climate change and sustainability: The case EU-28. Ecological Indicators. 105 : 525 - 543
- Alam, M. Z. B.; Ohgaki, S. (2001.): Evaluation of UV-radiation and its residual effect for algal growth control. In Advances in Water and Wastewater Treatment Technology, (eds). Matsuo, T, Hanaki, K., Satoh, H. Elsevier, 109 - 117.
- Anwar, M. R.; Liu, D. L.; Macadam, I.; Kelly, G. (2013): Adapting agriculture to climate change: a review. Theor Appl Climatol., 113, 225-245. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0780-1>
- Ardente, F.; Latunussa, C. E. L.; Blengini, G. A.: 20199: Resource efficient recovery of critical and precious metals from waste silicon PV panel recycling. Waste Manag., 91, 156 - 167, <https://doi.org/10.1016/j.waman.2019.04.059>.
- Arenas-Corraliza, M. G.; Rolo, V.; López-Díaz, M. L.; Moreno, G. (2019.): Wheat and barley can increase grain yield in shade through acclimation of physiological and morphological traits in Mediterranean conditions. Scientific reports 9, 9547. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46027-9>.
- Armstrong, A.; Page, T.; Thackeray, S. J.; Hernandez, R. R.; Jones, I. D. (2020.): Integrating environmental understanding into freshwater floatovoltaic deployment using an effects hierarchy and decision trees. Environ. Res. Lett. 15 (2020.) 114055.
- Artru, S.; Garré, S.; Dupraz, C.; Hiel, M-P; Blitz-Frayret, C.; Lassois, L. (2017.): Impact of spatio-temporal shade dynamics on wheat growth and yield, perspectives for tempe- rate agroforestry. Eur J Agron 82 : 60 - 70. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.10.004>.
- Astydama (2022.). Agrivoltaics: an opportunity that brings agriculture and renewable energy together. Available at: <<https://astydama.com/our-blog/agrivoltaics-an-opportunity-that-brings-agriculture-and-renewable-energy-together/>> (Accessed: 18. November 2022.).
- Audsley, E.; Pearn, K. R.; Simota, C.; Cojocaru, G.; Koutsidou, E.; Rousevell, M. D. A.; Trnka, M.; Alexandrov, V. (2006.): What can scenario modelling tell us about future European scale agricultural land use, and what not? Environ Sci Policy, 9(2) : 148 - 162.
- Bahaidarah, H.; Subhan, A.; Gandhidasan, P.; Rehman, S. (2013.): Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions. Energy. 59, 445 - 453.
- Bax, V.; van de Lageweg, W. I.; van den Berg, B.; Hoosemans, R.; Terpstra, T. (2022): Will it float? Exploring the social feasibility of floating solar energy infrastructure in the Netherlands. Energy Research and Social Science. 89. 102569.
- Beck, M.; Bopp, G.; Goetzberger, A.; Obergfell, T.; Reise, C.; Schindeler, S. (2012.): Combining PV and Food Crops to Agrophotovoltaic-Optimization of Orientation and Harvest. In Proceedings of the 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Frankfurt (GE), Germany, 24 - 28 September 2012; 4096 - 4100.
- Bernabucci, U. (2019.): Climate change: impact on livestock and how can we adapt. Anim Front., 9(1) : 3 - 5. doi: 10.1093/af/vfy039.
- Boeuf, G., Le Bail, P.-Y., 1998.: Does light have an influence on fish growth?. Aquaculture 177, 129 - 152. doi:10.1016/S0044-8486(99)00074-5.
- Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich. 2022. Bundesgesetz über den Ausbau von Energie aus erneuerbaren Quellen, BGBl. I Nr. 150/2021.

- Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich. 2022. EAG-Investitionszuschüsseverordnung-Strom, CELEX-Nr.: 32018L2001.
- Cantagallo, J. E.; Medan, D.; Hall, A. J. (2004.): Grain number in sunflower as affected by shading during floret growth, anthesis and grain setting. *Field Crops Research* 85 : 191 - 202. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00160-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00160-6).
- Chae, S. H.; Kim, H. J.; Moon, H. W.; Kim, Y. H.; Ku, K. M. (2022.): Agrivoltaic Systems Enhance Farmers' Profits through Broccoli Visual Quality and Electricity Production without Dramatic Changes in Yield, Antioxidant. Challenges for Agrivoltaics in the International Context, Master's Thesis Maximilian Vorast, 2022.
- Cho, J.; Park, S. M.; Park, A. R.; Lee, O. C.; Nam, G.; Ra, I.-H. (2020.): Application of photovoltaic systems for agriculture: A study on the relationship between power generation and farming for the improvement of photovoltaic applications in agriculture. *Energies* 13, 4815. doi:10.3390/en13184815.
- Cindrić, K.; Telišman Prtenjak, M.; Herceg-Bulić, I.; Mihajlović, D.; Pasarić, Z. (2016.): Analysis of the extraordinary 2011./2012. drought in Croatia. *Theor. Appl. Climatol.* 123 : 503 - 522. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1368-8>.
- Collison, R. F.; Raven, E. C.; Pignon, C. P.; Long, S. P. Light: Not Age, Underlies the Maladaptation of Maize and Miscanthus Photosynthesis to Self-Shading. *Front. Plant Sci.* 2020., 11, 783.
- Dayoğlu, M. A.; Türker, U. (2021.): Digital Transformation for Sustainable Future - Agriculture 4.0 : A review. - *Journal of Agricultural*, 27(4) : 373 – 399.
- Državni zavod za statistiku (2022.) Poljoprivredna proizvodnja 2021.
- Dufour, L.; Metay, A.; Talbot, G.; Dupraz, C. (2013.): Assessing light competition for cereal production in temperate agroforestry systems using experimentation and crop modelling. *J Agro Crop Sci* 199 : 217 - 227. <https://doi.org/10.1111/jac.12008>.
- Dupraz, C.; Marrou, H.; Talbot, G.; Dufour, L.; Nogier, A.; Ferard, Y. (2011.): Combining Solar Photovoltaic Panels and Food Crops for Optimising Land Use: Towards New Agrivoltaic Schemes. *Renew. Energy*, 36, 2725 - 2732.
- Elamri, Y.; Cheviron, B.; Lopez, J.-M.; Dejean, C.; Belaud, G. (2018.): Water Budget and Crop Modelling for Agrivoltaic Systems: Application to Irrigated Lettuces. *Agric. Water Manag.*, 208, 440 - 453.
- Enel Green Power (2022.). Agrivoltaics: Enel Green Power's campaign bears its first fruits. Available at: <https://www.enelgreenpower.com/media/news/2022/06/model-agrivoltaic-results-experimentation>. (Accessed: 25. November 2022.).
- ENVECO SA. 204,23 MW solar park in Kozani Greece Non-Technical Summary of Environmental and Social Assessment Report. Athens, September 2020.
- EU Energy Solar Strategy: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2022%3A221%3A-FIN&qid=1653034500503>
- Europska komisija, Politički okvir za klimu i energiju u razdoblju od 2020. do 2030., COM/2014./015; Europska komisija, Čista energija za sve Evropljane, COM/2016./0860); Europska komisija, Okvirna strategija za otpornu energetsku uniju s politikom o klimatskim promjenama okrenutoj budućnosti, COM/2015./080; Europska komisija, Europski zeleni dogovor, COM (2019.) 640; Direktiva o obnovljivoj energiji, Direktiva (EU) 2018./2001., (RED II).
- Eyraud, L.; Clements, B.; Wane, A.; (2013.): Green investment: Trends and determinants. *Energy Policy*. 60, 852 - 865. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.04.039>.
- Farfan, J.; Breyer, C. (2018.): Combining Floating Solar Photovoltaic Power Plants and Hydropower Reservoirs: A Virtual Battery

- of Great Global Potential. Energy Procedia, 155, 403 - 411, <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2018.11.038>.
- Ferrara, G.; Boselli, M.; Palasciano, M.; Mazzeo, A. (2023.): Effect of shading determined by photovoltaic panels installed above the vines on the performance of cv. Corvina (*Vitis vinifera*, L.). Scientia Horticulturae, 308. doi:10.1016/j.scienta.2022.111595.
- Ferrer-Gisbert, C.; Ferrán-Gozálvez, J. J.; Redón-Santafé, M.; Ferrer-Gisbert, P.; Sánchez-Romero, F. J.; Torregrosa-Soler, J. B. (2013.): A new photovoltaic floating cover system for water reservoirs. Renewable Energy; 60 : 63 - 70.
- Fraunhofer (2021.). Aquaculture Photovoltaics (Aqua-PV). Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. Retrieved in November, 1, 2022. from <https://www.ise.fraunhofer.de/en/business-areas/photovoltaics/photovoltaic-modules-and-power-plants/integratedphotovoltaics/agrovoltaics/aqua-pv.html>.
- Fraunhofer ISE (2016.). "APV-Resola" Project: Pilot AgroPV System Installed at the Organic Farm "Hofgemeinschaft Heggelbach". Fact Sheet. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. September, 2016., Freiburg, Germany.
- Fraunhofer ISE (2020.). Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition. A Guideline for Germany. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. First edition, October 2020., Freiburg, Germany.
- Fraunhofer ISE (2021). ADAPT – Climate Adaptation through Organic Agri-Photovoltaics. Available at: <<https://www.ise.fraunhofer.de/en/research-projects/adapt.html>>, accessed 21 November 2022.
- Fraunhofer ISE (2022.). Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition. A Guideline for Germany. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. Second edition, April 2022., Freiburg, Germany.
- Fresh Plaza (2022.). French farmers are combining large-scale crops with solar panels. Available at: <https://www.freshplaza.com/europe/article/9470561/french-farmers-are-combining-large-scale-crops-with-solar-panels/>. (Accessed: 15. November 2022.)
- Gauffin, H. (2022.): Agrivoltaic Implementation in Greenhouses: A Techno-Economic Analysis of Agrivoltaic Installations for Greenhouses in Sweden.
- Gitay, H.; Brown, S.; Easterling, W.; Jallow, B. (2001.): Ecosystems and their goods and services. In: McCarthy, J. J.; Canziani, O. F.; Leary, N. A.; Dokken, D. J.; White, K. S. (eds.): Climate Change 2001.: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of IPCC, pp.235 - 342. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Gonnella, M.; Serio, F.; Conversa, G.; Santa-maria, P.: Production and nitrate content in lamb's lettuce grown in floating system. Acta Hort. 2004., 644, 61 - 68.
- Gorjian, S.; Campana, P. E. (editors) (2022.): Solar Energy Advancements in Agriculture and Food Production Systems.
- Grgić, I.; Hadelan, L.; Baškarić, L.; Šmidlehner, M.; Zrakić, M. (2016.): Proizvodnja povrća u Republici Hrvatskoj: stanje i mogućnosti. Glasnik zaštite bilja, 39(5), 14 - 22.
- Guerin, T. F. (2019.): Impacts and opportunities from large-scale solar photovoltaic (PV) electricity generation on agricultural production. Environ. Qual. Manag., 28, 7 - 14.
- Hermann, C.; Flemming, D.; Focken, U.; Trommsdorff, M. (2022.): Aquavoltaics: dual use of natural and artificial water bodies for aquaculture and solar power generation. In Solar Energy Advancements in Agriculture and Food Production Systems (eds. Gorjan, S. & Campana, P. E.), Elsevier Inc., 211 - 236. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_3131.
- <https://ec.europa.eu/eurostat/web/agriculture/data/database>.
- <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022DC0221&from=EN>

https://poljoprivreda.gov.hr/UserDocs/Images/dokumenti/poljoprivredna_politika/poljoprivreda_u_brojkama/Hrvatska_poljoprivreda_2016.pdf (accesed on 1. December 2022.).

<https://www.aprrr.hr/arkod/>.

<https://www.enelgreenpower.com/countries/europe/greece/sustainable-construction-site-vamvakies-pv-plant>. Accessed 26. October 2022.

<https://www.enelgreenpower.com/our-projects/operating/vamvakies-solar-farm>. Accessed 26. October 2022.

<https://www.euronews.com/green/2022/04/07/largest-double-sided-solar-farm-in-europe-opens-in-greece-supplying-power-to-75-000-househ>. (Accessed: 26. October 2022.)

<https://www.hops.hr/post-file/35w-5GaQFeKUAAqyym3UXM1/informacija-o-mogucnosti-prikljucenja-na-prijenosnu-mrezu-za-2023-godinu/Informacija%20o%20mogu%C4%87nosti%20priklju%C4%8Denja%20na%20prijenosnu%20mre%C5%BEu%20za%202023.%20godinu.pdf>

<https://www.vitisphere.com/news-91310-first-conclusive-results-on-agrovoltaics-in-france.html> (Accessed: 1. December, 2022.).

Hudelson, T.; Lieth, J. H. (2021): Crop Production in Partial Shade of Solar Photovoltaic Panels on Trackers. AIP Conf. Proc., 2361, 08000.

IEA International Energy Agency (2020). Clean Energy Progress after the COVID-19 Crisis Will Need Reliable Supplies of Critical Minerals-Analysis; IEA: Paris, France.

IPCC (2014.). Climate Change 2014.: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York: Cambridge University Press.

IPCC (2022.). The Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2022. Mitigation of Climate Change. Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate

Change. available at https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_Full_Report.pdf Accessed 27. October 2022.

Jäger-Waldau, A. (2020.): The Untapped Area Potential for Photovoltaic Power in the European Union. 26 Clean Technol. 2020, Vol. 2, Pages 440 - 446, 2, 440 - 446, 27 <https://doi.org/10.3390/CLEANTECHNOL2040027>.

Jia, S-f; Li, C-f; Dong, S-t; Zhang J-w (2011): Effects of shading at different stages after anthesis on maize grain weight and quality at cytology level. Agric Sci China 10 : 58 - 69. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(11\)60307-6](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(11)60307-6).

Jones, G. V.; White M. A.; Cooper O. R.; Storchmann K. (2005.): Climate change and global wine quality. Climatic Change. 73 : 319 – 343.

Kamuyu, W. C. L.; Lim, J. R.; Won, C. S.; Ahn, H. K.: Prediction model of photovoltaic module temperature for power performance of floating PVs. Energies 2018., 11, 447. <https://doi.org/10.3390/en11020447>.

Ketzer, D.; Weinberger, N.; Rösch, C.; Seitz, S. B. (2019.): Land use conflicts between biomass and power production – citizens' participation in the technology development of Agrophotovoltaics. Journal of Responsible Innovation, 7(2), 193 - 2016. <https://doi.org/10.1080/23299460.2019.1647085>.

Kostik, N.; Bobyl, A.; Rud, V.; Salamov, I. (2020., October): The potential of agrivoltaic systems in the conditions of southern regions of Russian Federation. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 578, No. 1, p. 012047). IOP Publishing.

Kříštková., Z. S.; Cui., D. H.; M'Barek, R. et al. (2023.): Economic, social and environmental impacts of green transition investments in a holistic modelling approach, 20 April 2023., PREPRINT (Version 2) available at Research Square <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2199831/v2>.

Lacetera, N. (2018.): Impact of climate change on animal health and welfare. Anim Front., 9(1) : 26 - 31. doi: 10.1093/af/vfy030.

- Latunussa, C. E. L.; Ardente, F.; Blengini, G. A.; Mancini, L. (2016.): Life Cycle Assessment of an innovative recycling process for crystalline silicon photovoltaic panels. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2016.03.020>.
- Laub, M.; Pataczek, L.; Feuerbacher, A.; Zikeli, S.; Högy, P. (2021.): Contrasting yield responses at varying levels of shade suggest different suitability of crops for dual land-use systems. A meta-analysis. *AgriRxiv*, (2021.), 20210479141.
- Lee, N. U.; Grunwald, E.; Rosenlieb, H.; Mirletz, A.; Aznar, R.; Spencer, Cox, S. (2020.): Hybrid floating solar photovoltaics-hydro-power systems: Benefits and global assessment of technical potential. *Renew. Energy*, 162, 1415 - 1427, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.080>.
- Lešić, R.; Borošić, J.; Buturac, I.; Herak-Čustić, M.; Poljak, M.; Romić, D. (2016.): Povrćarstvo. Zrinski, Čakovec.
- Li, F.; Meng, P.; Fu, D.; Wang, B. (2008.): Light Distribution, Photosynthetic Rate and Yield in a Paulownia-Wheat Intercropping System in China. *Agroforestry Systems*. 74(2), 163 - 172.
- Lotze-Campen, H.; H.-J. Schellnhuber (2009.): Climate impacts and adaptation options in agriculture: what we know and what we don't know. *J. Verbr. Lebensm.* 4: 145 - 150.
- Macours, K.; Premand, P.; Vakis, R. (2012.): Transfers, Diversification and Household Risk Strategies. Experimental Evidence with Lessons for Climate Change Adaptation. The World Bank Latin America and the Caribbean Region Poverty, Gender and Equity Unit. Policy Research Working Paper 6053.
- Malu, P. R.; Sharma, U. S.; Pearce, J. M. (2017.): Agrivoltaic potential on grape farms in India. *Sustain. Energy Technol. Assessments* 23, 104 - 110. doi:10.1016/j.seta.2017.08.004.
- Mamun, M. A. A.; Dargusch, P.; Wadley D.; Zulkarnain, N. A.; Aziz A. A. (2022.): "A review of research on agrivoltaic systems". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, vol. 161(C). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112351>.
- Marrou, H.; Dufour, L.; Wery, J. (2013b): How does a shelter of solar panels influence water flows in a soil-crop system? *Eur. J. Agron.* 50, 38 - 51.
- Marrou, H.; Wery, J.; Dufour, L.; Dupraz, C. (2013a): Productivity and Radiation Use Efficiency of Lettuces Grown in the Partial Shade of Photovoltaic Panels. *European Journal of Agronomy* 829 44 : 54 - 66.
- McKay, A., (2013.): FVs: Quantifying the Benefits of a Hydro-Solar Power Fusion Pomona Senior Theses.
- Meseck, S. L.; Alix, J. H.; Wikfors, G. H. (2005.): Photoperiod and light intensity effects on growth and utilization of nutrients by the aquaculture feed microalga, *Tetraselmis chui* (PLY429). *Aquaculture* 246, 393 - 404. doi:10.1016/j.aquaculture.2005.02.034.
- Ministarstvo poljoprivrede (2016.). Hrvatska poljoprivreda 2016. u brojkama.
- Ministarstvo poljoprivrede (2022). Akvakultura. Dostupno na <https://ribarstvo.mps.hr/default.aspx?id=14>, pristupljeno 20. listopada 2022
- Ministarstvo poljoprivrede (2022). Nacionalni plan razvoja poljoprivrede za period 2021-2027. Dostupno na <https://ribarstvo.mps.hr/default.aspx?id=14>. pristupljeno 20. listopada 2022.
- Modular Applied GeNeral Equilibrium Tool (2023.). available at: <https://www.magnet-model.eu/model/>.
- Moradiya, M. A. (2019.): A Guide to Floatovoltaics. AZOCleantech. Available at <https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=846> (Accessed: 29. October 2022.).
- Moriondo, M.; Bindi, M.; Kundzewicz, Z. W.; Kędziora, A.; Szwed, M.; Choryński, A.; Matczak, P.; Radziejewski, M.; McEvoy, D.; Wreford, A. (2010.): Impact and adaptation opportunities for European agriculture in response to climate change and variability, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, published online, doi:10.1007/s11027-010-9219-0.

Next2Sun (2022.). AgriPV system testimonials. <https://next2sun.com/en/testimonials/agri-pv-systems/>.

Nicola, S.; Hoeberechts, J.; Fontana, E.: Ebb-and-flow and floating systems to grow leafy vegetables: A review for rocket, corn salad, garden cress and purslane. In Proceedings of the VIII International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climates: Advances in Soil and Soilless Cultivation under 747, Acta Horticulturae 2006., Agadir, Morocco, 31. August 2007.; pp. 585 - 593.

Oliveira-Pinto, S.; Stokkermans, J. (2020.): Assessment of the potential of different floating solar technologies – Overview and analysis of different case studies. Energy Convers. Manag. 211, 112747. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112747>.

Opačić, N.; Radman, S.; Fabek Uher, S.; Benko, B.; Voća, S.; Šic Žlabur, J. (2022.): Nettle Cultivation Practices-From Open Field to Modern Hydroponics: A Case Study of Specialized Metabolites. Plants, 11(4), 483.

Padilla J.; Toledo, C.; Abad, J. (2022.): Enovoltaics: Symbiotic integration of photovoltaics in vineyards. Front. Energy Res. 10:1007383. doi: 10.3389/fenrg.2022.1007383.

Pascaris, A. S.; Schelly, C.; Burnham, L.; Pearce, J. M. (2021.): Integrating Solar Energy with Agriculture: Industry Perspectives on the Market, Community, and Socio-Political Dimensions of Agrivoltaics. Energy Res. Soc. Sci., 75, 102023.

Pascaris, A. S.; Schelly, C.; Pearce, J. M. (2020.): A First Investigation of Agriculture Sector Perspectives on the Opportunities and Barriers for Agrivoltaics. Agronomy, 10, 1885.

Potenza, E.; Croci, M.; Colauzzi, M.; Amaducci, S. (2022.): Agrivoltaic System and Modelling Simulation: A Case Study of Soybean (*Glycine max L.*) in Italy. Horticulturae, 8(12), 1160.

Pouran, H. M.; Padilha Campos Lopes, M.; Nogueira, T.; Alves Castelo Branco, D.; Sheng, Y., (2022.): Environmental and technical impacts of floating photovoltaic plants as an

emerging clean energy technology. iScience, 25, 11, 105253, <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.105253>.

Pravilnik o agrotehničkim mrežama (Narodne novine, broj: 22/2019.).

Pravilnik o vinogradarstvu (Narodne novine, broj: 81/2022.).

Pravilniku o provedbi izravne potpore poljoprivredi i IAKS mjera ruralnog razvoja za 2023. godinu (Narodne novine, broj: 25/2023.).

Pringle, A. M.; Handler, R. M.; Pearce, J. M. (2017.): Aquovoltaics: synergies for dual use of water area for solar photovoltaic electricity generation and aquaculture. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 80: 572 - 84. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.191>.

Pv magazine (2021.): Solar for hydroponics. Available at: <https://www.pv-magazine.com/2021/12/17/solar-for-hydroponics/>. (Accessed: 14. November 2022.).

Pv magazine (2022.): Mobile agrivoltaic system from the Netherlands. Available at: <<https://www.pv-magazine.com/2022/04/21/mobile-agrivoltaic-system-from-the-netherlands/>>. (Accessed: 15. November 2022.).

Reglobal (2021.): TSE commissions 152 MW solar facility in Marville, France. Available at: <<https://reglobal.co/tse-commissions-a-152-mw-solar-facility-in-marville-france/>>. (Accessed: 12. November 2022.).

Reher, T.; Willockx, B. (2022.): Agrivoltaics: simultaneously harvesting sugar beets and solar energy. International Sugar Journal, (June 2022.), 420 - 420.

Rengasamy, P. (2006): World salinization with emphasis on Australia. J Exp Bot. 57(5) : 1017 – 1023.

Rodriguez, A. (2022.): How to grow grapes in mostly shade, Home Guides, SF Gate. <<http://homeguides.sfgate.com/grow-grapes-mostly-shade-33175.html>>. (Accessed: 1. December, 2022.).

Sahu, A., N.; Yadav, Sudhakar, K. (2016.): Floating photovoltaic power plant: A review. Re-

- new. 36 Sustain. Energy Rev., 66, 815 - 824. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.051>.
- Santafè, M. R.; Ferrer Gisbert, P. S.; Sanchez Romero, F. J.; Torregrosa Soler, J. B.; Ferrán Gozálvez, J. J.; Ferrer Gisbert, C. M. (2014.): Implementation of a photovoltaic floating cover for irrigation reservoirs. J. Clean. Prod. 66, 568 - 570. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.006>.
- Sharpe K. T.; Heins B. J.; Buchanan E. S.; Reese, M. H. (2021.): Evaluation of solar photovoltaic systems to shade cows in a pasture-based dairy herd J. Dairy Sci. 104: 2794 - 2806 <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18821>.
- Skoplaki, E.; Palyvos, J. A. (2009.): On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: a review of efficiency/power correlations. Sol. Energy 83, 614 - 624. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.10.008>.
- Soares, P. M. M.; Lima, D. C. A.; Cardoso, R. M.; Semedo, A. (2016): High resolution projections for the western Iberian coastal low level jet in a changing climate. Clim. Dyn. 49: 1547 - 1566. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3397-8>.
- Solar Power Europe (2021.). Agrisolar Best Practice Guidelines Version 1.0.
- SolarReviews (2022.). Agrivoltaics: how solar and farmland can fight climate change. Available at: <<https://www.solarreviews.com/blog/all-about-agrivoltaics>>. (Accessed: 27. November 2022.).
- Spencer, R. S.; Macknick, J.; Aznar, A.; Warren, A.; Reese, M. O. (2019.): Floating photovoltaic systems: assessing the technical potential of photovoltaic systems on man-made water bodies in the continental United States. Environ. Sci. Technol. 53, 1680 - 1689. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b04735>.
- Statistički ljetopis Republike Hrvatske (2018.), Državni zavod za statistiku, str. 259.
- St-Pierre, N. R.; Cobanov, B.; Schnitkey, G. (2003.): Economic losses from heat stress by US livestock industries. J. Dairy Sci. 86 : E52 - E77. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)74040-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74040-5).
- Sun Agri (2021). <https://sunagri.fr/en/project/nidoleres-estate/> (Accessed: 1. December, 2022.).
- Sun Services Usa (2022.). New Solar Canopy For Agrivoltaics From France. Available at: <<https://unservicesusa.com/new-solar-canopy-for-agrivoltaics-from-france/>>. (Accessed: 12. November 2022.).
- Sylvain Edouard, S.; Combes, D.; Van Iseghem, M.; Ng Wing Tin, M.; Abraham, J.; Escobar-Gutiérrez, A. J. (2023.): Increasing land productivity with agriphotovoltaics: Application to an alfalfa field. Applied Energy, 329. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120207>.
- Taiyangnews (2021.). 3 MW Agrivoltaic Project Commissioned In France. Available at: <https://taiyangnews.info/business/3-mw-agrivoltaic-project-commissioned-in-france/>. (Accessed: 12. November 2022.).
- The World Bank Group, Climate Risk Profile: Croatia (2021.).
- Toledo, C.; 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 2021, 13, 6871.
- Tomšić, Ž.; Stenek, M.; Mikulić, N.; Marčec Popović, V. (2020.): Stručna podloga "Analiza prostornih kapaciteta i uvjeta za korištenje potencijala obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj", Knjiga II., Fakultet elektrotehnike i računarstva (Sveučilište u Zagrebu), EkolInvest, 203 (in Croatian).
- Trapani, K.; Redón Santafé, M. (2015.): A review of floating photovoltaic installations: 2007 - 2013. Prog. Photovolt: Res. Appl., 23: 524 - 532. doi: 10.1002/pip.2466.
- Trommsdorff, M.; Kang, J.; Reise, C.; Schindeler, S.; Bopp, G.; Ehmann, A.; Weselek, A.; Högy, P.; Oberfell, T. (2021.): Combining Food and Energy Production: Design yste Agrivoltaic System Applied in Arable and Vegetable

- Farming in Germany. Renew. Sustain.Energy Rev., 140, 110694.
- Trommsdorff, M.; Sweta Dhal, I.; Ozdemir, O. E.; Ketzer, D.; Weinberger, N.; Rosch, C. (2022.): Agrivoltaics: solar power generation and food production (159 - 209). In: Solar Energy Advancements in Agriculture and Food Production Systems. (Eds: Gorjian, S., Campana, P. E.) 1st Edition, June 17., 2022. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89866-9.00012-2>.
- Tsoutsos, T.; Frantzeskaki, N.; Gekas, V. (2005.): Environmental impacts from the solar energy technologies Energy Policy 33, 289 - 296. doi:10.1016/S0301-4215(03)00241-6
- Turan, N. (2021.): Agrivoltaics and their effects on crops: A review. Journal of Muş Alparslan University Agricultural Production and Technologies. 1 (2) : 39 - 47.
- Uredba o kriterijima za provođenje javnog natječaja za izdavanje energetskog odobrenja i uvjetima izdavanja energetskog odobrenja (Narodne novine, broj: 70/2023.). Uredba o poticanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i visokoučinkovitih kogeneracija (Narodne novine, broj: 70/2023.).
- Vollprecht, J.; Trommsdorff, M.; Hermann, C. (2021.): Legal framework of agrivoltaics in Germany. AIP Conference Proceedings 2361, 020002 (2021.); <https://doi.org/10.1063/5.0055133>. Published online: 28. June 2021.
- Weselek, A.; Bauerle, A.; Zikeli, S.; Lewandowski, I.; Högy, P. (2021.): Effects on Crop Development, Yields and Chemical Composition of Celeriac (*Apium graveolens*, L. var. Rapaceum) Cultivated Underneath an Agrivoltaic System. Agronomy 11,733.
- Weselek, A.; Ehmann, A.; Zikeli, S.; Lewandowski, I.; Schindele, S.; Högy, P. (2019.): Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. A review. Agronomy for Sustainable Development, 39 (4), 1 - 20.
- West, J. W. (2003.): Effects of heat stress on production in dairy cattle. J. Dairy Sci. 86 : 2131 - 2144. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X).
- Willockx, B.; Herteleer, B.; J. Cappelle, J. (2020): Theoretical potential of agrovoltai system sin Europe: a preliminary study with winter wheat. 47th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), Calgary, AB, Canada, 2020., pp. 0996-1001, doi: 10.1109/PVSC45281.2020.9300652.
- World Bank Group (2018.): Where Sun Meets Water: Floating Solar Handbook for Practitioners.
- Xu, Z.; Elomri, A.; Al-Ansari, T.; Kerbache, L.; El Mekkawy, T. (2022.): Decisions on design and planning of solar-assisted hydroponic farms under various subsidy schemes. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 156, 111958.
- Zainol Abidin, M. A.; Mahyuddin, M. N.; Mohd Zainuri, M. A. A. (2021): Solar Photovoltaic Architecture and Agronomic Management in Agrivoltaic System: A Review. Sustainability, 13, 7846. <https://doi.org/10.3390/su13147846>.
- Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o prostornom uređenju (Narodne novine, broj: 67/2023).
- Zakon o poljoprivrednom zemljištu (Narodne novine, broj: 20/18, 115/18, 98/19, 57/22).
- Ziska, L. H.; Runion, G. B. (2007.): Future weed, pest, and diseases problems for plants. In: Newton, P.; Carran, R. A.; Edwards, G. R.; Ni-klaus, P. A. (eds.): Agroecosystems in a changing climate. Taylor & Francis, Boca Raton, FL, USA., pp. 261 - 287.

11. POPIS TABLICA

TABLICA 1. PRIKLADNOST KULTURA ZA UPORABU AGROSOLARA	31
TABLICA 2. MOGUĆNOST SPAJANJA NA PRIJENOSNU MREŽU	47
TABLICA 3. STRUKTURA VINOGRADARSKIH ČESTICA U REPUBLICI HRVATSKOJ	57
TABLICA 4. BROJ VOĆNJAVA PO ŽUPANIJAMA S OBZIROM NA VELIČINU (31. PROSINCA 2022. GODINE)	66
TABLICA 5. UZGOJ MEDITERANSKIH VRSTA VOĆA U JADRANSKOJ PODREGIJI, 2021. GODINE	67
TABLICA 6. UZGOJ MASLINA U JADRANSKOJ POLJOPRIVREDNOJ PODREGIJI, 2021. GODINE	67
TABLICA 7. UZGOJ AROMATIČNOGA I LJEKOVITOG BILJA U HRVATSKOJ, 2021. GODINE	72
TABLICA 8. UZGOJ KAMILICE U HRVATSKOJ, 2021. GODINE	73
TABLICA 9. UZGOJ SMILJA U HRVATSKOJ, 2021. GODINE	74
TABLICA 10. UZGOJ LAVANDE I LAVANDINA U HRVATSKOJ, 2021. GODINE	75
TABLICA 11. UZGOJ POVRĆA U HRVATSKOJ, 2021. GODINE	80
TABLICA 12. UZGOJ RAJČICE U HRVATSKOJ, 2022. GODINE	81
TABLICA 13. UZGOJ PAPRIKE U HRVATSKOJ, 2022. GODINE	82
TABLICA 14. UZGOJ LUBENICA U HRVATSKOJ, 2022. GODINE	83
TABLICA 15. POLJOPRIVREDNE POVРŠINE KOJE SE KORISTE ZA ŽITARICE TE INDUSTRIJSKO I KRMNO BILJE	89
TABLICA 16. BROJ POLJOPRIVREDNIH GOSPODARSTAVA PREMA VRSTI USJEVA, 2020. GODINE	90
TABLICA 17. NAČIN KORIŠTENJA POLJOPRIVREDNOG ZEMLJIŠTA	96
TABLICA 18. REGISTAR DOZVOLA ZA AKVAKULTURU ZA KOPNENE VODE (SAMO TOPLOVODNE VRSTE)	104
TABLICA 19. PROIZVODNJA SLATKOVODNE AKVAKULTURE U HRVATSKOJ (T) (2017. - 2021.)	105
TABLICA 20. PROIZVODNJA ENERGIJE I ULAGAČKI POTENCIJALI U AGROSOLARE NA 1 % RASPOLOŽIVIH ZEMLJIŠTA VEĆIH OD 1 ha	112

12. POPIS SLIKA

SLIKA 1. PRIJEDLOG KATEGORIZACIJE AGROSOLARNIH SUSTAVA	18
SLIKA 2. FOTONAPONSKI MODULI PREKO FOLIJA ZA STAKLENIKE	21
SLIKA 3. ILUSTRACIJA AGROSOLARNOG SUSTAVA U HEGGELBACHU. © AGRISOLAR EUROPE GMBH	23
SLIKA 4. OSNOVNI TEHNIČKI PARAMETRI TEHNOLOGIJE AGROSOLARNOG SUSTAVA	23
SLIKA 5. ŽETVA PŠENICE U POKUSNOJ AGROSOLARNOJ PROIZVODNJI 2018. GODINE	24
SLIKA 6. SKUPLJANJE KRUMPIRA POD FN PANELIMA 2017. GODINE	24
SLIKA 7. VERTIKALNI AGROSOLARNI SUSTAV U AGROSOLARNOM PARKU DONAUESCHINGEN-AASEN, BADEN-WÜRTTEMBERG	26
SLIKA 8. TRAKTOR TIJEKOM KOŠNJE REDOVA IZMEĐU MODULA	27
SLIKA 9. MOBILNI AGROSOLARI	28
SLIKA 10. AGROSOLARI U VOĆNJAKU JABUKA „GALA“ U KRESSBRONNU	28
SLIKA 11. UPORABA ZEMLJIŠTA U REPUBLICI HRVATSKOJ	50
SLIKA 12. POVRŠINE KORIŠTENOGA POLJOPRIVREDNOG ZEMLJIŠTA U REPUBLICI HRVATSKOJ OD 2010. DO 2019. GODINE	51
SLIKA 13. POVRŠINA (ha) I UDIO (%) POLJOPRIVREDNOG ZEMLJIŠTA PO KATEGORIJAMA 2021. GODINE	51
SLIKA 14. UDIO KORIŠTENIH POLJOPRIVREDNIH POVRŠINA U KONTINENTALNOJ I JADRANSKOJ HRVATSKOJ OD 2010. DO 2019. GODINE	52
SLIKA 15. POLJOPRIVREDNO ZEMLJIŠTE OBITELJSKIH GOSPODARSTAVA U HRVATSKOJ 2020. GODINE	53
SLIKA 16. DOMAIN DE NIDOLÈRES	55
SLIKA 17. PRVA PAMETNA AGROSUNČANA ELEKTRANA U ŠPANJOLSKOJ (GUADAMUR, TOLEDO)	56
SLIKA 18. AGROSOLARNI PANELI U NASADU BOBIČASTOG VOĆA	62
SLIKA 19. AGROSOLARI U VOĆNJAKU MALINA U BABBERICHU	63

SLIKA 20. USPOREDNI SATELITSKI PRIKAZ UGRAĐENOG AGROSOLARNOG SUSTAVA HAIDEGG	64
SLIKA 21. RAZLIKE MEĐU VOĆEM S OBZIROM NA NAČIN ZAŠTITE	65
SLIKA 22. FATTORIA SOLARE LA PETROSA	70
SLIKA 23. AGROSUNČANA ELEKTRANA VAMVAKIES	71
SLIKA 24. AGROSOLARNI SUSTAV SAINT-ETIENNE-DU-GRÈS	78
SLIKA 25. PRIMJER HIDROPONSKOG AGROSOLARNOG PROJEKTA	79
SLIKA 26. MONTICELLI D'ONGINA	87
SLIKA 27. RAZVOJ SOLARNIH NADSTREŠNICA TSE-A	88
SLIKA 28. POVRŠINA (ha) I UDIO (%) GLAVNIH USJEVA, 2021. GODINE	89
SLIKA 29. OVCE – NAJČEŠĆA I NAJPOGODNIJA VRSTA ŽIVOTINJA ZA ISPAŠU U FOTONAPONSKIM ELEKTRANAMA	93
SLIKA 30. KRAVE NA ISPAŠI NA TRAVNJAKU SOLARNE ELEKTRANE	94
SLIKA 31. AGROSUNČANA ELEKTRANA KOZANI	95
SLIKA 32. OVCE POD FOTONAPONSKOM KONSTRUKCIJOM	96
SLIKA 33. SHEMATSKI NACRT PLUTAJUĆIH FOTONAPONSKIH INSTALACIJA U BUBANU, ITALIJA	99
SLIKA 34. PREDNOSTI I IZAZOVI PLUTAJUĆIH SOLARNIH PANELA	102
SLIKA 35. PROJEKT O'MEGA1 – PLUTAJUĆA FOTONAPONSKA ELEKTRANA U PIOLENNU, FRANCUSKA	103
SLIKA 36. PLUTAJUĆA FOTONAPONSKA ELEKTRANA SIERRA BRAVA	103
SLIKA 37. UTJECAJ ULAGANJA U ZELENU ENERGIJU NA BDP	108

