

Razvoj kmetijske rabe na območju fotovoltaične elektrarne D3 ob pretočni akumulaciji HE Brežice

Jože PODGORŠEK^{1,2}

Received August 23, 2023; accepted November 29, 2023.
Delo je prispelo 23. avgusta 2023, sprejeto 29. novembra 2023

The development of agricultural use in the area of the photovoltaic power plant D3 next to the flow accumulation of the HE Brežice

Abstract: Agrovoltaics as a method of dual use of agricultural land is the subject of many researches and projects of scientific research institutions and investors. The company Hidroelektrarne na Spodnji Savi, d.o.o. wants to develop the concept of agricultural use of agricultural land between and under the existing panels of the solar power plant. The solar power plant is located in the municipality of Brežice, the plots of land are in the cadastral municipality of Krška vas. The total area suitable for the development of agricultural use, on which the solar power plant is located, is 8.8 hectares. Through a case study, we reviewed the theoretical starting points for planning agricultural production in the area of the existing solar power plant. Through our study, we selected suitable species and varieties of plants that would be suitable for cultivation in this area. For the long-term financial sustainability of agricultural production, the study also checked the expected costs and revenues for the agricultural land use plan. Based on the case study, we conclude that this area could also be used for plant production, such as the production of asparagus, currants and raspberries. At the end of the research project, we proposed that in the future photovoltaics should be planned together with agricultural use, since there are significantly more possibilities for the dual use of agricultural land with the simultaneous planning of energy and agriculture.

Key words: agrovoltaics, dual use of agricultural land, flow accumulation of HE Brežice, photosynthesis light saturation point

Razvoj kmetijske rabe na območju fotovoltaične elektrarne D3 ob pretočni akumulaciji HE Brežice

Izvleček: Agrovoltaika kot način dvojne rabe kmetijskih zemljišč je predmet številnih raziskav in projektov znanstveno raziskovalnih inštitucij in investorjev. Podjetje Hidroelektrarne na Spodnji Savi, d.o.o. želi na obstoječi deponiji s postavljenimi sončnimi elektrarnami ob pretočni akumulaciji hidroelektrarne v Brežicah razviti koncept kmetijske rabe kmetijskih zemljišč med in pod obstoječimi paneli fotovoltaične elektrarne. Sončna elektrarna je postavljena v občini Brežice, parcele so v k.o. Krška vas. Celotna površina, primerna za razvoj kmetijske rabe, na kateri v večjem delu stoji sončna elektrarna, je 8,8 hektarjev. S študijem primera smo pregledali teoretična izhodišča za načrtovanje kmetijske pridelave na območju obstoječe sončne elektrarne. S študijo smo izbrali primerne vrste in sorte rastlin, ki bi bile primerne za pridelavo na tem območju. Za dolgoročno finančno vzdržnost kmetijske pridelave smo v študiji preverili tudi pričakovane stroške in prihodke za načrtovano kmetijsko rabo zemljišč. Na podlagi študije primera ugotavljamo, da bi to površino lahko uporabili tudi za rastlinsko pridelavo, kot je pridelovanje špargljev, ribeza in malin. Ob zaključku raziskovalne naloge smo predlagali, da se v bodoče načrtuje fotovoltaika skupaj s kmetijsko rabo, saj je možnosti za dvojno rabo kmetijskih zemljišč ob sočasnem načrtovanju energetike s kmetijstvom bistveno več.

Ključne besede: agrovoltaika, dvojna raba kmetijskih zemljišč, pretočna akumulacija HE Brežice, svetlobna saturacijska točka fotosinteze

¹ Visoka šola za upravljanje podeželja Grm Novo mesto, Novo mesto, Slovenija

² Korespondenčni avtor, e-mail: joze.podgorsek@grm-nm.si

1 UVOD

Republika Slovenija se je v strateških dokumentih zavežala povečati delež obnovljivih virov energije v strukturi pridobljene energije. Obnovljive vire energije podpirata dve ključni strategiji, kot sta Nacionalni energetski in podnebni načrt (NEPN) (Ministrstvo za infrastrukturo, 2022) in Strateški načrt Skupne kmetijske politike (SN SKP) (Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, 2022). NEPN med drugim predvideva vsaj 27 % obnovljivih virov energije v bruto končni rabi energije. Prav tako predvideva do leta 2030 zmanjšanje emisij toplogrednih plinov v sektorju kmetijstvo za 1 % glede na leto 2005. Enako tudi SN SKP naslavlja obnovljive vire energije kot pomemben korak k zmanjšanju emisij toplogrednih plinov na področju kmetijstva in gozdarstva. Poleg vezave CO₂ intenzivno naslavlja investicije za pridobivanje energije iz obnovljivih virov, med drugimi tudi iz sonca. V tem delu se sklicuje na NEPN in v ključnih delih, povezanih z energetiko, povzema njegovo strategijo. Po drugi strani pa SN SKP izrazito poudarja zaščito proizvodnega potenciala kmetijskih zemljišč za pridelovanje hrane.

Številne raziskovalne inštitucije v Evropi in Svetu so pričele z intenzivnim raziskovanjem kombinirane rabe kmetijskih zemljišč za namene pridelovanja hrane in pridobivanja električne energije iz sonca. Nastaja nova skupna raba kmetijskih zemljišč, agrovoltaika. Številni raziskovalci že raziskujejo to novo tehnološko področje in spremljajo možnosti za razvoj agrovoltaike na kmetijskih zemljiščih. Predvsem iščejo priložnosti in prednosti za oba načina rabe kmetijskih zemljišč. Tako ¹Gorjian s sod. (2022) ugotavlja, da implementacija agrovoltaike izjemno hitro narašča. Trenutno se za proizvodnjo električne energije še vedno postavljajo klasični neprosojni paneli. Takšni so postavljeni tudi na proučevani fotovoltaični elektrarni D3 ob pretočni akumulaciji HE Brežice. Pri tem tipu agrovoltaike je največja, kritična omejitev za rastlinsko pridelavo pod paneli senčenje, kar v svojih raziskavah navajajo tudi drugi raziskovalci (Trommsdorff s sod., 2022; Takashi in Nagashima, 2019; Tani s sod., 2014; Herbert, 2018). Zato se v raziskavah vse bolj uporabljajo delno prosojni paneli, zasnovani na podlagi kristalnega silicija, tankoplastnih panelov, luminiscentnih solarnih koncentradorjev in panelov z na sončno sevanje občutljivim barvilom. Rezultati poskusov kažejo, da so delno prosojni paneli, zasnovani na podlagi kristalnega silicija, najbolj razširjeni v raziskovalnih projektih. Ti moduli imajo namreč v primerjavi z ostalimi številne prednosti, kot so nizki stroški, velika stabilnost in odpornost na vremenske vplive ter velika učinkovitost. Z razvojem novih tehnologij zlasti pri tankoplastnih panelih, ki uporabljajo tehnologijo organskih panelov ali pa-

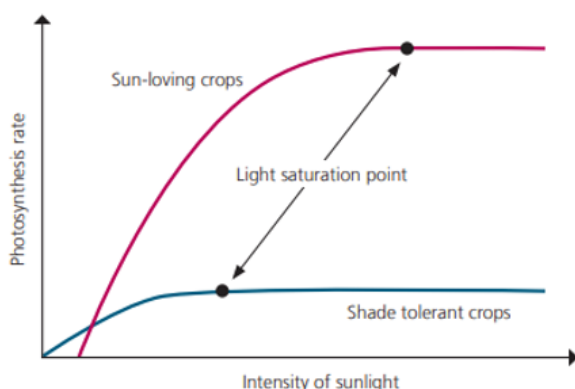
nelov z na svetlobo občutljivim barvilom, se povečujejo možnosti agrovoltaike, saj ti paneli prepuščajo fotosintetsko aktivno sončno sevanje, ostali spekter svetlobe pa se uporabi za proizvodnjo električne energije. Nekatere študije dokazujejo povečanje ekonomske vrednosti kmetij z uvajanjem agrovoltaike.

Harshavardhan s sod. (2016) ocenjuje, da postavitve sončnih elektrarn v kombinaciji z rastlinsko proizvodnjo z na senčenje tolerantnimi vrstami poveča ekonomsko vrednost kmetij za preko 30 %. Še več, nekateri raziskovalci (²Gorjian s sod., 2022) vidijo priložnosti agrovoltaike tudi v lastni proizvodnji elektrike za potrebe električnih kmetijskih strojev in sodobne opreme, vključno z roboti v kmetijstvu. Kot navajajo raziskovalci, sta pred nami dva glavna izziva, ki trenutno zavirata široko uporabo sodobnih električnih kmetijskih strojev. To sta visoki začetni stroški v povezavi s postavitvijo sončne elektrarne in pomanjkljivosti v tehnologijah za shranjevanje električne energije.

Poleg pridobivanja električne energije pravilno načrtovana in rastlinski pridelavi prilagojena agrovoltaika tudi izboljšuje nekatere razmere za rast gojenih rastlin v tej kombinaciji. Trommsdorff s sod. (2022) navaja prednosti agrovoltaike za gojene rastline, kot so zmanjšanje potreb po namakanju za 20 % v sušnih obdobjih, možnost zbiranja vode za potrebe namakanja, zmanjševanje vetrne erozije, uporaba konstrukcije fotovoltaike za zaščitne mreže ali folijo in optimizacija razpoložljive svetlobe za gojene rastline. Raziskovalci navajajo tudi prednosti za proizvodnjo električne energije zaradi povečanja učinkovitosti fotovoltaičnih modulov zaradi konvekcijskega hlajenja in povečanje učinkovitosti bifacialnih panelov, ki uporabljajo osvetlitev za proizvodnjo elektrike na obeh straneh, saj je večja razdalja med paneli, tlemi in sosednjimi vrstami panelov.

Za določitev vrst rastlin, ki bi uspešno uspevale v tej kombinaciji dvojne rabe kmetijskih zemljišč, je potrebno upoštevati svetlobno saturacijsko točko fotosinteze posameznih rastlin. Optimizacijo fotosinteze in nadzorni model je možno vzpostaviti ravno na podlagi te lastnosti rastlin (Xin s sod., 2019). Svetlobna saturacijska točka fotosinteze kaže na vpliv spreminjanja jakosti fotosintetsko aktivnega sevanja na učinkovitost fotosinteze. Nekatere rastlinske vrste namreč dosežejo za njih značilen največji učinek fotosinteze pri manjši jakosti svetlobe kot druge rastlinske vrste (Trommsdorff s sod., 2022). Princip svetlobne saturacijske fotosinteze točke pri rastlinah, ki so ali niso tolerantne na senčenje, je prikazan na sliki 1.

Nekatere rastlinske vrste imajo svetlobno saturacijsko točko blizu 1.000 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ ali celo pod 1.000 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$, spet druge bistveno višje. In višja, kot je svetlobna saturacijska točka, večjo jakost fotosintetsko aktivnega



Slika 1: Svetlobna saturacijska točka fotosinteze pri različni intenzivnosti sončnega sevanja in stopnja fotosinteze (Thrommsdorff s sod., 2022)

Figure 1: Light saturation point of photosynthesis at different intensities of solar radiation and photosynthesis rate (Thrommsdorff et al., 2022)

sevanja potrebujejo te vrste. Saturacijske točke fotosinteze nekaterih rastlinskih vrst so navedene v preglednici 1.

Številni raziskovalci (Thrommsdorff s sod., 2022; Takashi in Nagashima, 2019; Tani s sod., 2014; Herbert, 2018) navajajo vpliv agrovoltaike na kmetijsko proizvodnjo. Sončni paneli senčijo površino pod sabo. Intenzivnost senčenja je v veliki meri odvisna od načina postavitve panelov. Pravilno načrtovana agrovoltaika je zasnovana tako, da kolikor je mogoče čim manj ovira kmetijsko pridelavo, zato so običajno sončnimi paneli visoko nad rastlinami. Pri takšnih postavitvah pride do razpršenega difuznega sevanja fotosintetsko aktivnega sevanja, kar omogoča rastlinsko pridelavo neposredno pod sončnimi paneli. Glede na postavitve sončnih panelov je potrebno za rastlinsko pridelavo načrtovati tudi ustrezno namakanje. Ne glede na to so v običajnih letih brez temperaturnih ekstremov pridelki gojenih rastlin pod sončnimi paneli nekoliko manjši kot pri vzgoji brez kombinacije s sončnimi paneli. Pri 30 do 35 % senčenju zaradi sončnih panelov so pridelki manjši za okoli 10 % pri solati, 30 % pri brokoliju, 20 % pri ozimni pšenici, 15 % pri krompirju, 20 % pri zeleni. V letih, ko je bilo poletje nadpovprečno toplo s temperaturnimi ekstremi blizu 40 °C pa so bili pridelki pri pridelavi pod sončnimi paneli celo večji. Tako so bili pridelki večji pri zeleni za okoli 12 %, krompirju za okoli 11 %, vinski trti za okoli 25 %, koruzi okoli 5 %, brokoliju okoli 40 %, papriki 40 %. Stallknecht E. J. s sod. (2023) navaja, da je za kvaliteten pridelek tržne pridelave bazilike zadosten že indeks dnevne svetlobe malo nad 12 mol m⁻² dan⁻¹, kar se doseže z uporabo selektivnih modulov fotovoltaične elektrarne. Podatki teh raziskovalcev kažejo tudi, da pa je pridelek

paradižnika manjši že pri minimalnem zmanjšanju fotosintetsko aktivnega sevanja.

2 MATERIALI IN METODE

Agrovoltaika postaja zanimiva tudi za nekatere investitorje v Sloveniji. Eden od resnih investorjev se pojavlja podjetje Hidroelektrarne na Spodnji Savi, d.o.o. z vizijo po razvoju kmetijske rabe na območju fotovoltaične elektrarne D3 ob pretočni akumulaciji HE Brežice. Za preverjanje potenciala kmetijske rabe smo uporabili metodo študije primera. Tako smo na konkretnem primeru preverili potencial in investicijsko vrednotili razvoj kmetijske rabe.

2.1 OBMOČJE RAZISKAVE

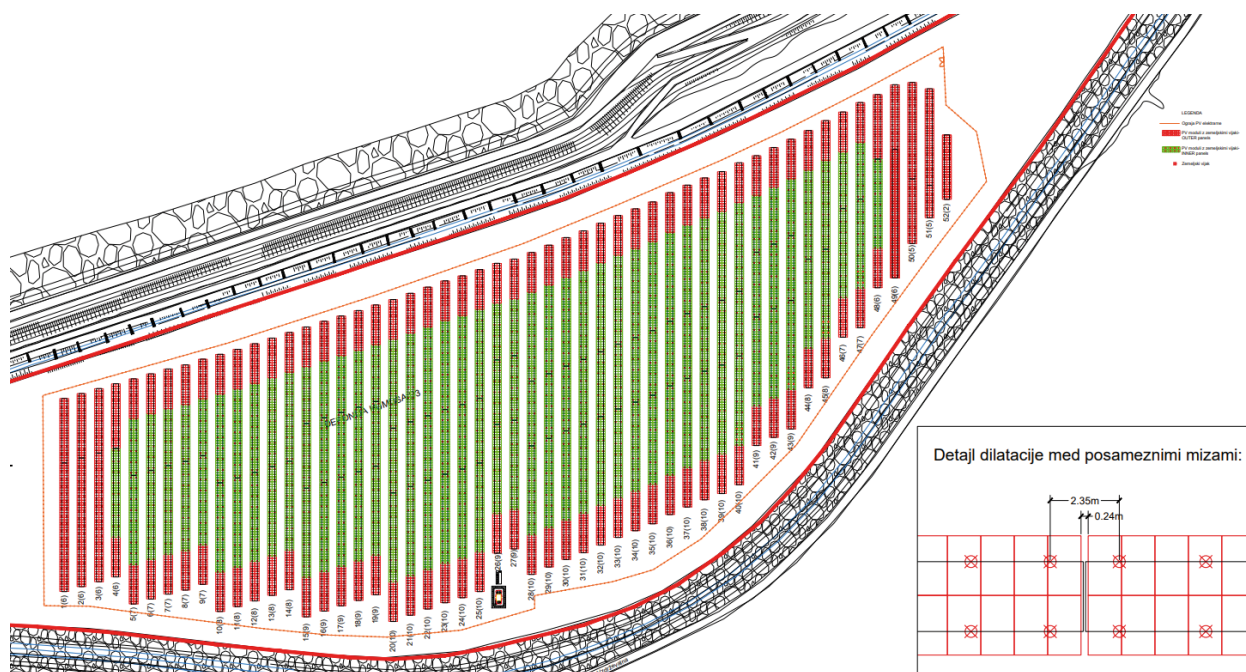
Fotovoltaična elektrarna D3 ob pretočni akumulaciji HE Brežice leži v občini Brežice, k.o. Krška vas na parcelah 6741, 6676/2, 6746, 6749, 6784, 6779, 6321/2, 6775, 6790, 6770, 6331/2, 6680, 6752, 6766, 6763, 6755. Velikost celotne parcele je okoli 88.000 m². Na tej parceli so v smeri vzhod-zahod postavljeni klasični neprosojni fotovoltaični moduli. Postavitev fotovoltaične elektrarne D3 je predstavljena na sliki 2.

Kmetijsko pridelavo naj bi umestili med posamezne linije fotovoltaičnih panelov glede na natančen načrt postavitve modulov, razmakov med njimi in višinami fotovoltaičnih panelov. Prav tako smo upoštevali višino

Preglednica 1: Svetlobne saturacijske točke fotosinteze nekaterih rastlinskih vrst (Thrommsdorff s sod., 2022; Hidaka s sod., 2023)

Table 1: Light saturation points of photosynthesis of certain crop species (Thrommsdorff et al., 2022; Hidaka et al., 2023)

Rastlinska vrsta	Svetlobna saturacijska točka (μmol s ⁻¹ m ⁻²)
Paradižnik	1985
Kumare	1421
Jajčevci	1682
Zelje	1324
Cvetača	1095
Solata	857
Špinača	889
Jagode	800 – 1200
Borovnice	600 – 800
Jagodičevje	700 – 1000
Šparglji	900 – 1100



Slika 2: Postavitev fotovoltaičnih modulov na fotovoltaični elektrarni D3 ob pretočni akumulaciji HE Brežice (HESS, 2023)

Figure 2: Installation of photovoltaic modules on the photovoltaic power plant D3 next to flow accumulation of HE Brežice (HESS, 2023)

rastlin predlagane rastlinske pridelave. Rastlinsko pridelavo smo umeščali z vidika minimalnega senčenja fotovoltaičnih panelov glede na razvojno fazo rastlin in višino sonca v posameznih mesecih leta.

2.2 KONCEPT POSTAVLJENE FOTOVOLTAIČNE ELEKTRARNE D3

Fotovoltaični moduli fotovoltaične elektrarne D3 ob pretočni akumulaciji HE Brežice so postavljeni v 52 vrst v smeri vzhod – zahod, s čimer se doseže največja učinkovitost pridobivanja sončne energije iz sonca, saj so posamezni paneli orientirani proti jugu. Dolžine posameznih vrst fotovoltaičnih modulov so od 30 m do 150 m. Postavitev modulov glede na osončenost je predstavljena na sliki 3.

Paneli fotovoltaične elektrarne so postavljeni na predhodno pripravljeno konstrukcijo. Konstrukcija je zasnovana po nizih, ki se lahko poljubno sestavljajo v različne dolžine posamezne linije, glede na prostorske možnosti. Konstrukcija za 1 niz je zasnovana tako, da se nanjo lahko postavi 17 panelov v dveh vrstah, skupno 34 panelov. Konstrukcija niza je sestavljena iz 5 okvirjev na razdalji 4,15 m, medsebojno povezanih z vzdolžnimi nosilci, na katere se pritrjujejo moduli. Konstrukcija je postavljena pod naklonom 30°. Višina okvirjev je določena tako, da je spodnji rob panelov 1 m od temelja oziroma

1,1 m od tal. Podrobnejši podatki konstrukcije so predstavljeni na sliki 4.

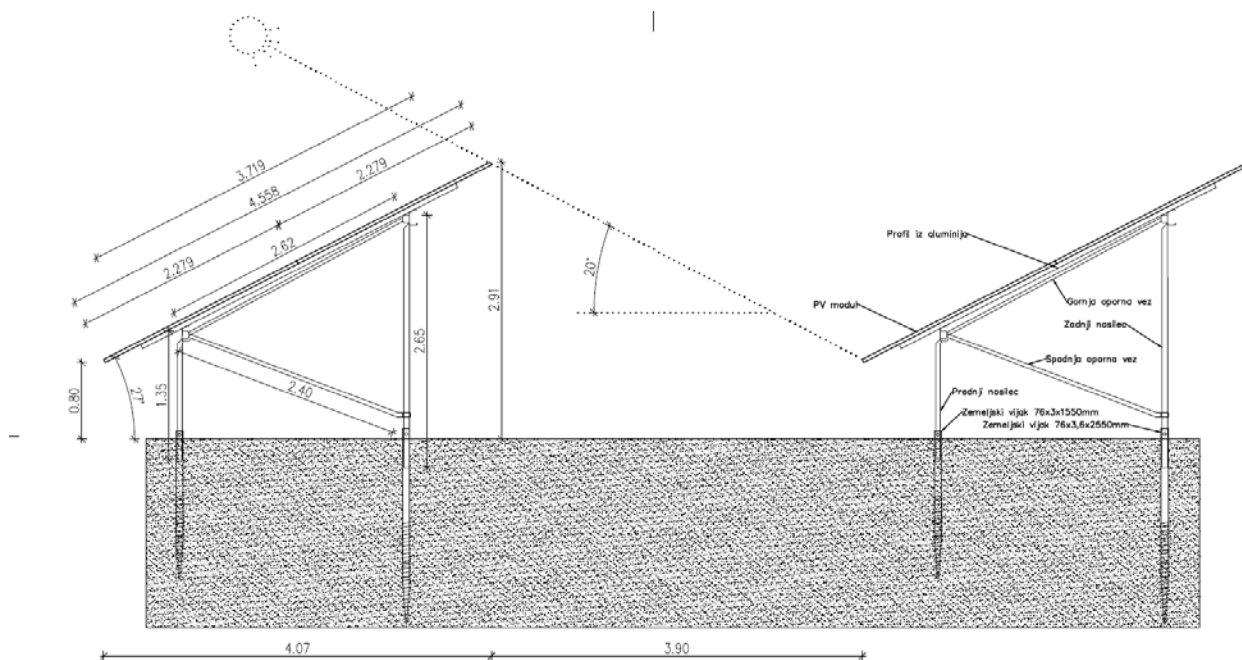
V študiji smo pripravili načrt kmetijske rabe prostora med posameznimi vrstami panelov.

2.3 METODA IZBIRE PRIMERNE KMETIJSKE RABE

Poseben izziv v raziskavi je bila izbira primerne kmetijske rabe na lokaciji že postavljene fotovoltaične elektrarne D3 ob pretočni akumulaciji HE Brežice. Investitorji na že postavljeni in delujoči elektrarni želijo vzpostaviti kmetijsko rabo zemljišč predvsem okoli samih panelov, v primeru reje manjših živali pa tudi pod paneli. Glede na dejstvo, da je elektrarna že postavljena, smo v študiji primera morali kmetijsko rabo povsem prilagoditi obstoječemu stanju. Zato smo pri načrtovanju kmetijske rabe sladili usmeritvi investitorja, da kmetijska raba ne sme senčiti ali kako drugače ovirati delovanje fotovoltaične elektrarne. Prav tako smo upoštevali dejstvo, da investitor želi izvajati ekološko pridelavo hrane in da želi kombinirati rejo živali z rastlinsko pridelavo.

Izbir rastlin smo naredili na podlagi sledečih parametrov:

- primernost rastlin za gojenje pri manj močni svetlobi (nižja svetlobna saturacijska točka fotosinteze),



Slika 3: Postavitev fotovoltaičnih modulov na fotovoltaični elektrarni D3 ob pretočni akumulaciji HE Brežice (HESS, 2023)

Figure 3: Installation of photovoltaic modules on the photovoltaic power plant D3 next to flow accumulation of HE Brežice (HESS, 2023)



Slika 4: Podrobnejša predstavitev načrta konstrukcije za montažo panelov fotovoltaične elektrarne D3 (HESS, 2023)

Figure 4: Detailed presentation of the construction plan for the installation of D3 photovoltaic power plant panels (HESS, 2023)

- habitus rastline v polni rodnosti, ki ne sme senčiti fotovoltaične elektrarne,
- možnost ekološke pridelave,
- želje lastnika fotovoltaične elektrarne.

Pri izboru primernih živalskih vrst pa smo upoštevali sledeče parametre:

- višina živali,
- agresivnost živali,
- sposobnost živali za pašo,
- uporabnost gnoja za gnojenje ekološke pridelave rastlin,
- želje lastnika fotovoltaične elektrarne.

V nadaljevanju smo naredili podrobnejšo analizo po principu študije primera zgolj za predlagano rastlinsko pridelavo, rejo živali v analizo nismo vključili.

2.4 METODA EKONOMSKE ANALIZE

Za investitorja smo pripravili tudi kratko ekonomsko analizo načrtovane rastlinske pridelave. Osredotočili smo se predvsem na investicijski strošek, izračunali predviden letni donos in potrebo po delovni sili za vzdrževanje v enem letu polne rodnosti zasnovane rastlinske pridelave. Investicijske stroške smo ocenili glede na potrebne materiale za postavitev rastlinske pridelave in aktualne cene na trgu, na podlagi prejetih ponudb v letu 2023. Predviden donos smo izračunali glede na pričakovani pridelek in aktualne cene na trgu v sezoni 2023. Podatke o potrebnem času za vzdrževanje rastlinske pridelave pa smo črpali iz Kataloga kalkulacij za načrtovanje gospodarjenja na kmetijah v Sloveniji (Jerič s sod., 2001).

3 REZULTATI IN DISKUSIJA

Na podlagi parametrov izbire rastlinskih vrst smo se odločili za sledeče rastlinske vrste:

- maline (*Rubus idaeus* L.),
- ribez (*Ribes*),
- šparglji (*Asparagus officinalis* L.).

Na obstoječi fotovoltaični elektrarni D3 smo predlagali sledečo razporeditev posameznih rastlinskih vrst, kar prikazuje tudi slika 5:

- od vrste 15 do vrste 28: pridelovanje malin,
- od vrste 28 do vrste 40: pridelovanje ribeza,
- od vrste 40 do vrste 52: pridelovanje špargljev.

Na površini fotovoltaične elektrarne D3 od vrste 1 do vrste 15 smo predvideli rejo kokoši nesnic oziroma drobnice z namenom pridobivanja ekološkega gnoja za gnojenje predlagane rastlinske pridelave. Rejo živali v študijo nismo vključili, zato je tudi nismo podrobneje analizirali.

3.1 POTREBNA OPREMA ZA VZPOSTAVITEV KMETIJSKE RABE ZEMLJIŠČ

3.1.1 Maline

Za pridelovanje malin smo predlagali površino od vrste 15 do vrste 28 fotovoltaičnih panelov. Glede na načrtovano višino malin v času obiranja smo predlagali eno vrsto malin v medvrstni prostor fotovoltaičnih modulov s sajenjem čim bližje najvišjemu delu fotovoltaičnih modulov. Priporočena sadilna razdalja v vrsti je pri malinah 40 cm, zato je za predlagano površino potrebnih 6.300 sadik.

Za pridelovanje malin predlagamo sorte, ki omogočajo ekološko pridelavo in imajo manjši habitus, torej ne senčijo panelov fotovoltaične elektrarne. Predlagali smo sledeče sorte: Clarita, Enrosadira in Polka.

Za namakanje malin smo predlagali kapljično namakanje. Za postavitev kapljičnega namakanja predlagane površine malin so potrebni sledeči materiali:

- kapljična cev: 1.900 m,
- gibka cev za sekundarni razvod namakanja: 105 m,
- priključne spojke: 13 kosov.

Maline se sadijo na grebene, ki jih je potrebno prekriti s tkanino proti razvoju plevela. Predlagali smo tkanino teže 100 g m⁻², širine 1,25 m. Potrebno je okoli 1.900 dolžinskih metrov te tkanine.

Za pripravo opore predlaganega nasada malin se potrebujejo sledeči materiali:

- betonski stebri 7 x 7,5 cm, višine 2,8 m: 450 kosov
- kovinska sidra, 0,85 m x 130 mm: 80 kosov
- napenjalna žica 2,5 mm: 100 kg.

Po postavitvi nasada malin bo potrebno postaviti še oporo za prekrivanje malin s folijo v času rodnosti, pri čemer se priporoča uporaba obstoječe konstrukcije elektrarne kot pomemben konstrukcijski element.

3.1.2 Ribez

Za pridelovanje ribeza smo predlagali površino od vrste 28 do vrste 40 fotovoltaičnih panelov. Glede na načrtovano višino grmov smo predlagali eno vrsto ribeza v medvrstni prostor fotovoltaičnih panelov. Priporočena sadilna razdalja v vrsti je 1 m, zato je za predlagano površino potrebnih 1.800 sadik.

Izbor sort ribeza je temeljil na možnosti ekološke pridelave in višini posameznih grmov z vidika morebitnega senčenja panelov fotovoltaične elektrarne. Predlagamo sledeče sorte ribeza: Jonkher van Tets in Rovada (rdeči ribez) ter Ben Nevis in Titania (črni ribez).

Tudi ribez se namaka kapljično. Za postavitev kapljičnega namakanja predlagane površine ribeza so potrebni sledeči materiali:

- kapljična cev: 1.900 m,
- gibka cev za sekundarni razvod namakanja: 105 m,
- priključne spojke: 12 kosov.

Ribez se sadi v vrste, ki jih je potrebno prekriti s tkanino proti razvoju plevela. Predlagali smo tkanino teže 100 g m⁻², širine 1,25 m. Potrebno je okoli 1.800 dolžinskih metrov te tkanine.

3.1.3 Šparglji

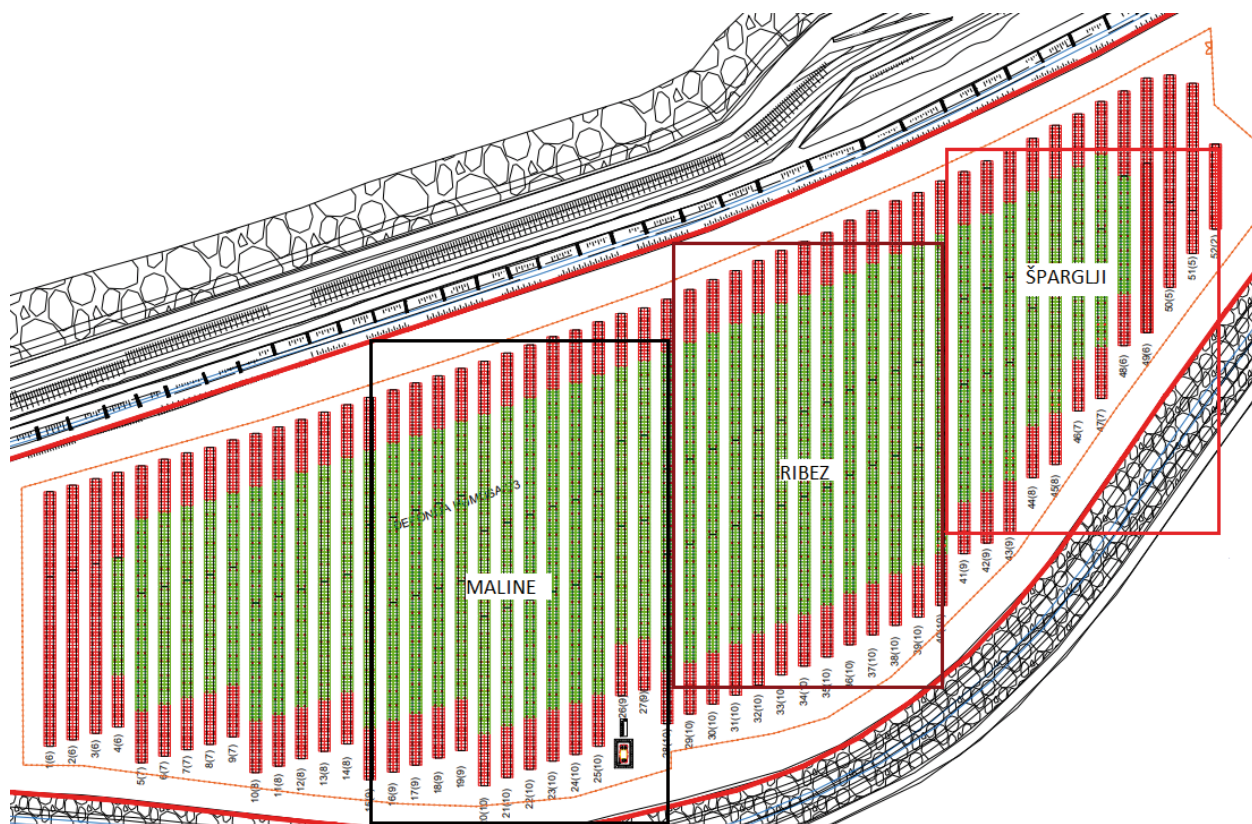
Za pridelovanje špargljev smo predlagali površino od vrste 40 do vrste 52 fotovoltaičnih panelov. Priporočena sadilna razdalja v vrsti je 30 cm, za načrtovano površino je potrebnih 4.350 sadik. Glede na načrtovano višino zelenja po končanju pobiranja špargljev predlagamo eno vrsto špargljev v medvrstni prostor fotovoltaičnih panelov.

Pri izboru sort špargljev smo sledili izhodišču, da bo pridelava potekala na ekološki način in prilagojenosti sort na težja zemljišča. Predlagamo sledeče sorte: Eros, Marte in Giove.

Šparglje je priporočljivo namakati. Za pripravo kapljičnega namakanja predlagane površine špargljev so potrebni sledeči materiali:

- kapljična cev: 1.500 m,
- gibka cev za sekundarni razvod namakanja: 115 m,
- priključne spojke: 12 kosov.

Material, ki je potreben za zasnovo predlagane rastlinske pridelave po posamezni rastlinski vrsti predstavljamo v preglednici 2.



Slika 5: Razporeditev izbranih rastlinskih vrst na obstoječi fotovoltaični elektrarni D3
Figure 5: Distribution of selected crop species at the existing photovoltaic power plant D3

3.2 OKVIRNI STROŠKI VZPOSTAVITVE IN POTREBA PO DELOVNI SILI

3.2.1 Maline

Ocenjena vrednost sadik in materiala za postavitve nasada malin iz preglednice 3 je po prejetih ponudbah iz marca 2023 okoli 14.000 EUR (brez DDV).

Za napravo predlaganega nasada malin se ocenjuje porabo okoli 400 delovnih ur. Za spravilo pridelka in vzdrževanje nasada pa okoli 2.500 ur letno. Izrazita delovna konica je v času spravila pridelka. Samo za spravilo pridelka se predvideva porabo okoli 2.200 ur časa, kar pomeni okoli 3,1 FTE v času od sredine junija do konca oktobra (Jerič s sod., 2001). Pri bruto urni postavki 6,92 EUR (Odredba o uskladitvi najnižje bruto urne postavke za opravljeno začasno ali občasno delo v kmetijstvu, 2023) je ocenjen strošek dela 20.068 EUR.

Pričakovan pridelek malin na predlagani površini je

okoli 14.000 kg. Pri prodajni ceni 5,00 EUR kg⁻¹ je pričakovan prihodek 70.000 EUR.

3.2.2 Ribez

Ocenjena vrednost sadik in materiala za postavitve nasada ribeza iz preglednice 3 je po prejetih ponudbah iz marca 2023 okoli 6.500 EUR (brez DDV).

Za napravo predlaganega nasada ribeza se ocenjuje porabo okoli 100 delovnih ur. Za spravilo pridelka in vzdrževanje nasada pa okoli 1.200 ur letno. Izrazita delovna konica je v času spravila pridelka (koniec junija do začetka avgusta) (Jerič s sod. 2001). Samo za spravilo pridelka ocenjujemo porabo okoli 1.000 ur časa, kar pomeni okoli 3,8 FTE v času od konca junija do začetka avgusta. Pri bruto urni postavki 6,92 EUR (Odredba o uskladitvi najnižje bruto urne postavke za opravljeno začasno ali

Preglednica 2: Vrste in količine potrebnega materiala za zasnovno predlagane rastlinske pridelave na fotovoltaični elektrarni D3
Table 2: Types and quantities of material needed for the design of the proposed crop production at the D3 photovoltaic power plant

Material	Rastlinska vrsta		
	Maline	Ribez	Šparglji
število sadik (kos)	6.300	1.800	4.350
kapljična cev (m)	1.900	1.900	1.500
gibka cev - sekundarni razvod namakanja (m)	105	105	115
priključne spojke (kos)	13	12	12
tkanina (m)	1.900	1.800	
betonski stebri (kos)	450		
kovinska sidra (kos)	80		
napenjalna žica (kg)	100		

občasno delo v kmetijstvu, 2023) je ocenjen strošek dela 8.996 EUR.

Pričakovan pridelek ribeza na predlagani površini je okoli 7.000 kg. Pri prodajni ceni 4,00 EUR kg⁻¹ je pričakovan prihodek 28.000 EUR.

3.2.3 Šparglji

Ocenjena vrednost sadik in materiala za postavitve nasada špargljev iz preglednice 3 je po prejetih ponudbah iz marca 2023 okoli 3.600 EUR (brez DDV).

Za napravo predlaganega nasada špargljev se ocenjuje porabo okoli 120 delovnih ur. Za spravilo pridelka in vzdrževanje nasada pa okoli 600 ur letno (Jerič s sod., 2001). Izrazita delovna konica je v času spravila pridelka, ki v času polne rodnosti traja 8 tednov (prvo leto spravila

pobiramo poganjke 3 tedne in drugo leto 5 tednov). Za spravilo pridelka ocenjujemo porabo okoli 550 ur časa, kar pomeni 1,5 FTE v času obiranja. Pri bruto urni postavki 6,92 EUR (Odredba o uskladitvi najnižje bruto urne postavke za opravljeno začasno ali občasno delo v kmetijstvu, 2023) je ocenjen strošek dela 4.982 EUR.

Pričakovan pridelek špargljev v času polne rodnosti je na predlagani površini okoli 2.400 kg špargljev. Pri prodajni ceni 5,00 EUR kg⁻¹ je pričakovan prihodek 12.000 EUR.

Predvideni stroški zasnove predlagane rastlinske pridelave na fotovoltaični elektrarni D3 in stroški enega leta vzdrževanja nasada, vključno z obiranjem, ter predviden pridelek in prihodek v polnem letu rodnosti so po posameznih rastlinskih vrstah predstavljeni v preglednici 3.

Preglednica 3: Predvideni stroški in prihodki za postavitve in vzdrževanje nasada v enem letu polne rodnosti po posameznih rastlinskih vrstah predlagane rastlinske pridelave na fotovoltaični elektrarni D3

Table 3: Estimated costs and revenues for the installation and maintenance of the plantation in one year of full fertility by crop species of the proposed crop production at photovoltaic power plant D3

	Rastlinska vrsta		
	Maline	Ribez	Šparglji
Predvideni stroški			
material iz preglednice 2 (EUR)	14.000	6.500	3.600
delo za postavitve nasada (ure)	400	100	120
delo za postavitve nasada (EUR)	2.768	692	830
delo za vzdrževanje in obiranje (ure)	2.500	1.200	600
delo za vzdrževanje in obiranje (EUR)	17.300	8.304	4.152
Predviden prihodek			
pričakovan pridelek (kg)	14.000	7.000	2.400
pričakovana prodajna cena (EUR/kg)	5,00 €	4,00 €	5,00 €
pričakovan prihodek	70.000,00 €	28.000,00 €	12.000,00 €

3.3 DISKUSIJA

Študija primera, ki smo jo izvedli na konkretnem primeru, kaže na potencialno možnost rastlinske pridelave na območju Fotovoltaične elektrarne D3 ob pretočni akumulaciji Brežice. Pri načrtovanju rastlinske pridelave smo se povsem prilagodili obstoječi fotovoltaični elektrarni, ki je že postavljena. Paneli so postavljeni na primernih razdaljah in se ne senčijo med sabo. Prav tako razdalje med paneli omogočajo nekatere vrste rastlinske pridelave. Pri tem gojene rastline ne senčijo panelov.

Zasnova nasada malin in ribeza je predvidena z zastirno folijo, ki preprečuje rast in razvoj plevelov in hkrati omogoča vsakoletno obnavljanje nasada z novimi poganjki. Zastirna folija je široka 1,25 m, kar pomeni, da bo pokrivala le grebene, kjer bodo rastle predlagane kulture. Ostali del površine bo zatravljen (trenutno je celotna površina zatravljena). Zato bo potrebno stalno vzdrževanje travne površine. Glede na prostorsko stisko glede na sajene rastline med dvema vrstama panelov bo traktorsko mulčenje trave onemogočeno, zato bo potrebna košnja z manjšo samohodno kosilnico.

Načrtovana rastlinska pridelava okoli panelov fotovoltaične elektrarne bo omogočala stalen dostop do elektrarne. Rastlinska pridelava ne bo posegala v komunikacijske in logistične poti, ki so potrebne za vzdrževanje in spremljanje fotovoltaične elektrarne. Prav tako bo v vsakem trenutku omogočen dostop do katerega koli panela oziroma električne napeljave v primeru potrebe po odpravi okvar na katerem koli delu fotovoltaične elektrarne.

Investitor fotovoltaične elektrarne D3 ob pretočni akumulaciji HE Brežice je študijo naročil z namenom, da se po metodi študije primera ugotovijo realne možnosti za kmetijsko pridelavo na lokaciji fotovoltaične elektrarne. Investitorji naj se ne bi ukvarjali s kmetijsko pridelavo, temveč bodo študijo uporabili za potencialnega najemnika zemljišč. Zainteresiran pridelovalec bo lahko na podlagi študije dokaj predvidljivo zasnoval rastlinsko pridelavo na podlagi pogodbenega razmerja. Glede na ekonomske izračune, ki sicer ne vključujejo potrebne strojne opreme in stroškov za pripravo pridelka za trg (pakirnice, hladilnice, embalaža ipd.) predlagamo, da se pogodbeno razmerje sklepa za čas amortizacijske dobe posamezne rastlinske vrste in konstrukcije pri postavitvi nasada malin, vsekakor pa ne krajši od 10 let.

4 SKLEPI

Študija primera na primeru fotovoltaične elektrarne D3 je pokazala, da je rastlinska pridelava mogoča in eko-

nomsko zanimiva. Stroški zasnove rastlinske pridelave so ocenjeni na 24.100 EUR. Za zasnovo rastlinske pridelave je potrebnih 620 delovnih ur, zato je strošek dela za zasnovo rastlinske pridelave ocenjen na 4.290 EUR. Torej je skupen strošek zasnove rastlinske pridelave ocenjen na 28.390 EUR.

Rastlinska pridelava zahteva vsakoletno oskrbo in spravilo pridelka. Ocenjujemo, da je v enem letu polne rodnosti zasnovane rastlinske pridelave za ta dela skupaj potrebnih 4.300 delovnih ur, kar predstavlja strošek dela v višini 29.756 EUR. Največ dela je potrebnega za spravilo pridelka. Za nemoteno opravljanje dela in redno oskrbo rastlinske pridelave je letno potrebnih okoli 550 delovnih ur, medtem ko je za spravila pridelka letno potrebnih okoli 3.750 ur. Predlagamo, da se za pokrivanje tega izrazito sezonskega dela najame sezonska delovna sila za opravljanje začasnega dela v kmetijstvu.

Predvideni prihodki od predlagane rastlinske pridelave so v skupni vrednosti 110.000 EUR. Zato ocenjujemo, da je vrednost rastlinske pridelave ekonomsko zanimiva. Prav tako ocenjujemo, da razlika med ocenjenimi stroški in prihodki omogoča izvajanje vseh tehnoloških ukrepov, ki jih ekološko pridelovanje zahteva, ter opreme in embalažo za spravilo pridelka.

Za še učinkovitejšo rabo zemljišč za kmetijsko rabo je potrebno skupno načrtovanje fotovoltaike s kmetijsko pridelavo. Pri tem je potrebno uskladiti višino, na kateri se postavljajo paneli fotovoltaične elektrarne glede načrtovane kmetijske rabe zemljišč in tip panelov, ki zagotavljajo zadostno prepustnost fotosintetsko aktivnega sevanja za zmanjševanje vpliva senčenja na višino in kvaliteto pridelka.

Raziskava po metodi študije primera, ki smo jo izvedli na konkretni lokaciji fotovoltaične elektrarne D3 ob pretočni akumulaciji HE Brežice je ena prvih takšnih raziskav v Sloveniji. Rezultati raziskave, ki nakazujejo na možnost rastlinske pridelave na obstoječi fotovoltaični elektrarni, bodo v nadaljevanju lahko podlaga za načrtovanje novih fotovoltaičnih elektrarn, kjer bi se z boljšim načrtovanjem prostor še bolje izkoristil za rastlinsko pridelavo. Kot smo že omenili, študija nakazuje na priložnosti pri sočasnem načrtovanju rastlinske pridelave in fotovoltaične elektrarne, pri čemer se vidik kmetijske rabe in vidik energetske rabe prostora prilagajata drug drugemu s ciljem optimizacije obeh načinov rabe.

Študija nakazuje priložnost za optimizacijo rabe kmetijskih površin. Z vidika razvoja dvojne rabe prostora bo potrebno uskladiti zakonodajo na način, da bodo dvojne rabe kmetijskih zemljišč dopustne in izvedljive. Trenutna zakonodaja omejuje investicije v dvojno rabo kmetijskih zemljišč, ki so po namenski rabi kmetijska zemljišča.

Navedena dejstva nam nakazujejo, da bodo za bo-

doče urejanje agrovoltaike v Sloveniji potrebne dodatne študije in raziskave z namenom optimizacije dvojne rabe kmetijskih zemljišč. Na podlagi pridobljenih rezultatov bo zakonodajalec lahko pripravil zakonodajni okvir, ki bo omogočal investicije. Z vidika kmetijskih gospodarstev je agrovoltaika lahko priložnost za povečanje prihodkov in s tem stabilizacijo delovnih mest, kar bo utrdilo kmetijska gospodarstva in jim povečalo odpornost ob vremenskih, tržnih ali drugih odmikih v kmetijski pridelavi.

5 VIRI

- Gorjian S., Bousi E., Ozdemir O. E., Trommsdorff M., Kumar N. M., Anand A., Kant K., Chopra S. S. (2022). Progress and Challenges of Crop Production and Electricity Generation in Agrivoltaic Systems Using Semi-transparent Photovoltaic Technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 158, New York: Pergamon. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112126>
- Gorjian S., Ebadi H., Trommsdorff M., Sharon H., Demant M., Schindele S. (2021). The advent of modern solar-powered electric agricultural machinery: A solution for sustainable farm operations. *Journal of Cleaner Production*, 292. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126030>
- Harshvardhan D., Joshua P. (2016). The potential of agrivoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 299–308. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.024>
- Herbert S. J. (2018). Yield comparisons. *UMass farm NREL Co-Location Project 2016-17*.
- HESS (2023). *Načrt fotovoltaične elektrarne D3 ob pretočni akumulaciji HE Brežice*, Interno gradivo.
- Hidaka K., Dan K., Imamura H., Miyoshi Y., Takayama T., Sameshima K., Kitano M., Okimura M. (2023). Effect of supplemental lighting from different light sources in growth and yield of strawberry, *Environmental Control Biology*, 51(1), 41–47. <https://doi.org/10.2525/ecb.51.41>
- Jerič D., Caf A., Jamnik S., Kocijančič M., Leskovar S., Oblak O., Simončič D., Simončič J., Sotlar M., Strniša T., Pajntar N., Šinko M. (2001). *Katalog kalkulacij za načrtovanje gospodarjenja na kmetijah v Sloveniji*, Slovenj Gradec, Kmetijska založba.
- Ministrstvo za infrastrukturo (2022). *Nacionalni energetski in podnebni načrt*. Pridobljeno s <https://www.gov.si/zbirke/projekti-in-programi/nacionalni-energetski-in-podnebni-na crt/>, 27. 12. 2022.
- Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. (2022). *Strateški načrt Skupne kmetijske politike*. Pridobljeno s <https://skp.si/skupna-kmetijska-politika-2023-2027>, 27. 12. 2022.
- Odredba o uskladitvi najnižje bruto urne postavke za opravljeno začasno ali občasno delo v kmetijstvu (2023). *Uradni list RS*, 34/23.
- Stallknecht E. J., Herrera C. K., Yang C., King I., Sharkey T. D., Lunt R. R., Runkle E. S. (2023). Designing plant-transparent agrivoltaics. *Scientific report*, 13, 1903. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28484-5>
- Takashi S., Nagashima A. (2019). Solar sharing for both food and clean energy production: performance of agrivoltaic systems for corn, a typical shade-intolerant crop. *Environments*, 6, 65. <https://doi.org/10.3390/environments6060065>
- Tani A., Shiina S., Nakashima K., Hayashi M. (2014) Improvement in lettuce growth by light diffusion under solar panels. *Agricultural Meteorology*, 70, 139–49. <https://doi.org/10.2480/agrm.70-14-00005>
- Trommsdorff M., Dhak I.S., Ozdemir O.E., Ketzer D., Weinberger N., Rosch C. (2022). Agrivoltaics: solar power generation and food production. *Science Direct; Solar Energy Advancements in Agriculture and Food Production Systems*, 159–210. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89866-9.00012-2>
- Trommsdorff M., Gruber S., Keinadt T., Hopf M., Hermann C., Schonberger F., Hopy P., Zikeli S., Ehmann A., Weselek A., Bodmer U., Rosch C., Ketzer D., Weinberger N., Schindele S., Vollprecht J. (2022). *Agrivoltaics: Opportunities for Agri-culture and the Energy Transition*. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany, 72 str.
- Xin P., Li B., Zhang H., Hu J. (2019). Optimization and control use of the light environment for greenhouse crop production, *Scientific Reports*, 9, 8650. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44980-z>