

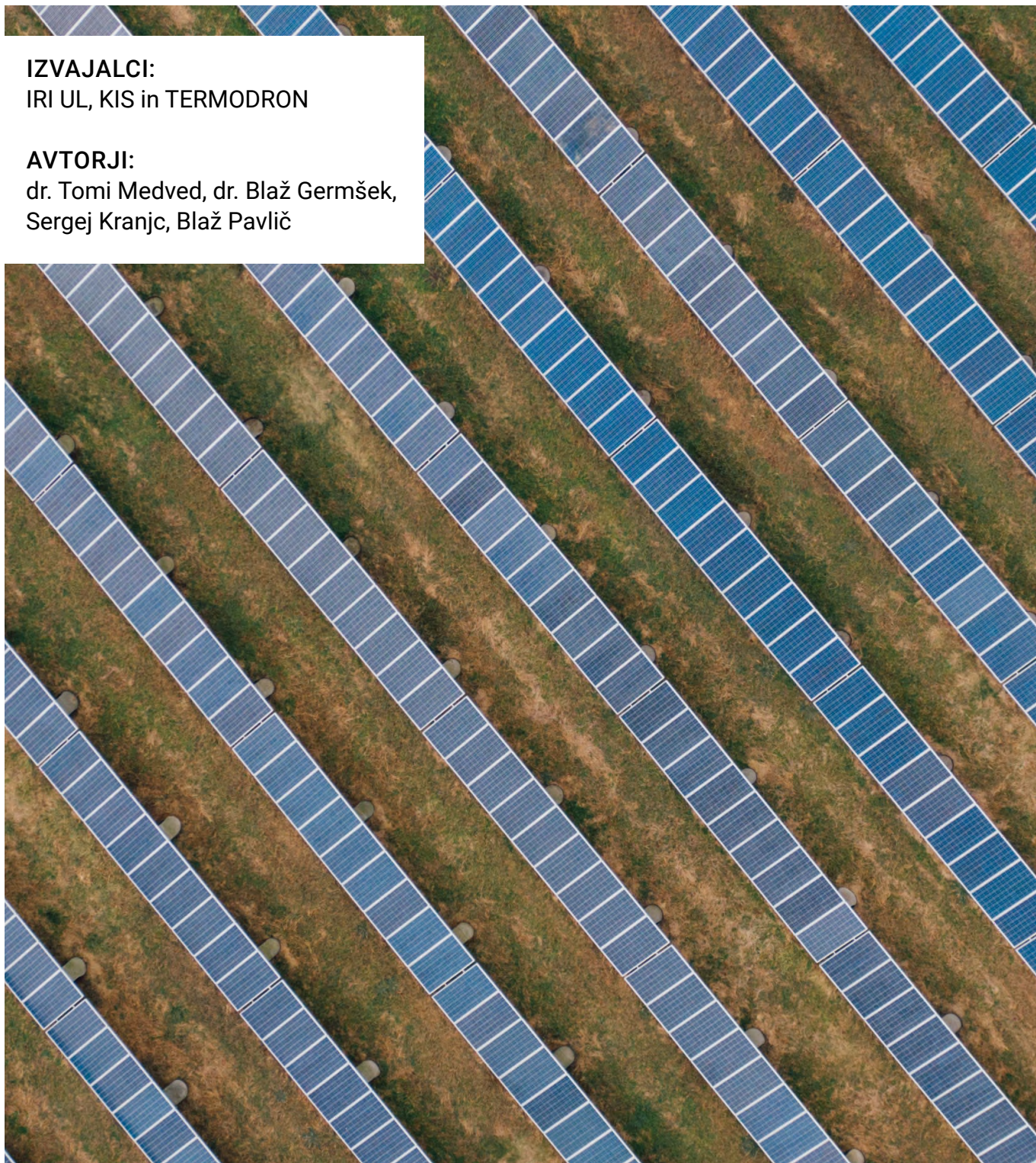
TEHNIČNA DOLOČITEV POSTAVITVE AGROFOTOVOLTAIKE NA KMETIJSKIH ZEMLJIŠČIH

IZVAJALCI:

IRI UL, KIS in TERMODRON

AVTORJI:

dr. Tomi Medved, dr. Blaž Germšek,
Sergej Kranjc, Blaž Pavlič



KAZALO

1	UVOD	7
2	OBLIKE AGROFOTOVOLTAIČNIH SISTEMOV	9
2.1	Delitev AFV sistemov	10
2.2	Odperte zasnove AFV sistemov	11
2.2.1	Tip 1: Dvignjen AFV sistem	11
2.2.2	Tip 2: medvrstni AFV sistem	12
2.2.3	Tip 3: vertikalni AFV sistem	13
2.2.4	Kriteriji in zahteve za odprte tipe AFV sistemov	15
2.3	Zaprta zasnova AFV sistemov	18
2.4	Tip 4: AFV sistem na rastlinjaku	18
3	VPLIVI AGROFOTOVOLTAIKE NA RAST IN OBDELAVO PRIDELKA	19
3.1	Analiza vpliva senčenja na rast koruze s simulacijskim orodjem	19
3.2	Analize vpliva senčenja na realnih pilotnih projektih	20
3.2.1	AFV na japonskem	20
3.2.2	Učinek AFV na rast zelene solate	21
3.2.3	Učinek AFV na rast krompirja	22
3.2.4	Raziskava nemškega podjetja Fraunhofer ISE na projektu APV Resola	23
3.2.5	Povzetek	24
4	PRIMERI DOBRIH PRAKS ZA VSE TIPE AFV SISTEMOV	25
4.1	Tip 1: Dvignjen AFV sistem	25
4.1.1	AFV sistem na nasadu malin	25
4.1.2	AFV sistem nad vinsko trto in nasadom potonike	26
4.1.3	AFV sistem nad nasadom jablan	27
4.2	Tip 3: Vertikalen AFV sistem	28
4.2.1	Sledilni vertikalni AFV sistem	28
4.2.2	Vertikalni AFV sistem na travniku	28
4.3	Tip 4: AFV sistem na rastlinjaku	29
4.3.1	AFV sistem na rastlinjaku namenjenem za gojenje jagod	29
4.4	Druge dobre prakse	30

- 4.4.1 Merilna oprema Senzemo 30
- 4.4.2 Temelji AFV sistemov 30
- 4.4.3 Zaščita stebrov AFV sistemov pred poškodbami zaradi kmetijske mehanizacije 31

5 AGROFOTOVOLTAJIKA V EVROPSKI UNIJI 32

- 5.1 Nemčija 33
- 5.2 Francija 33
- 5.3 Italija 34
- 5.4 Avstrija 36
- 5.5 Zakonodaja v Sloveniji 37

6 PREDLOGI ZA DOPOLNITEV ZAKONODAJE IN PRIPOROČILA 39

- 6.1 Delitev AFV sistemov 39
 - 6.1.1 Tip 1: dvignjen AFV sistem 41
 - 6.1.2 Tip 2: medvrstni AFV sistem 43
 - 6.1.3 Tip 3: vertikalni AFV sistem 43
 - 6.1.4 Tip 4: AFV sistem na rastlinjaku 44
- 6.2 Tehnologije fotovoltaičnih modulov 44
- 6.3 Usmeritev FV modulov in sledilni sistemi 45
- 6.4 Razpoložljivost sočne svetlobe 45
- 6.5 Tipi in materiali za temelje AFV sistema 46
- 6.6 Tehnične specifikacije AFV sistemov 46
 - 6.6.1 Minimalna višina konstrukcije 46
 - 6.6.2 Minimalna obdelovalna površina 47
 - 6.6.3 Odstotek pokritosti površine s FV moduli 47
 - 6.6.4 Referenčno območje 48
- 6.7 Nadzorovanje AFV sistema 48
 - 6.7.1 Meritve fotovoltaične elektrarne 49
 - 6.7.2 Meritve agrarne proizvodnje 49
- 6.8 Zajem vode in namakalni sistemi 50

7 PILOTNI PROJEKT 51

8	OCENA POTENCIALA AGROFOTOVOLTAIKE V SLOVENIJI	52
8.1	Generalna ocena potenciala	52
8.1.1	Rezultati	54
8.2	Ocena potenciala za zemljišča z bonitetno oceno 35 ali manj in izračun glede na trenutno zakonodajo	55
8.2.1	Rezultati	56
8.3	Ocena potenciala za vsa kmetijska izven območji Nature 2000	57
8.3.1	Rezultati	58
8.4	Ocena potenciala za zemljišča z bonitetno oceno 35 ali manj in izračun glede na trenutno zakonodajo brez območji znotraj Nature 2000 ter drugih zavarovanih območji	60
8.4.1	Rezultati	61
8.5	Ocena potenciala za zemljišča izven Nature 2000 ter drugih zavarovanih območji in poplavnih območji	62
8.5.1	Rezultati	62
8.6	Ocena potenciala za kmetijska zemljišča do bonitete 35 izven Nature 2000 ter drugih zavarovanih območji in poplavnih območji	63
8.7	Primerjava potencialov	65
9	POVZETEK	66
10	REFERENCE	67

KAZALO SLIK

Slika 1 Učinkovita izraba tal z uporabo AFV	9
Slika 2 Razdelitev AFV sistemov	10
Slika 3 Skica AFV sistema tipa 1 z visoko konstrukcijo	11
Slika 4 Skica AFV sistema tipa 1 z nizko konstrukcijo	12
Slika 5 Skica AFV sistema tipa 2	12
Slika 6 Skica AFV sistema tipa 3	13
Slika 7 Proizvodnja električne a) poletni čas in b) zimski čas	14
Slika 8 AFV sistem podjetja Agrovoltaico v Italiji [4]	19
Slika 9 Količina produkta za različne scenarije	20
Slika 10 Odstotek senčenja [5]	21
Slika 11 Linijska postavitve FV panelov	22
Slika 12 Karirasta postavitve FV panelov	22
Slika 13 Pilotni AFV sistem APV Resola z označenimi mesti zajema meritev in pridelki	23
Slika 14 Razlika v donosu pridelka v primerjavi z referenčnim območjem	24
Slika 15 AFV sistem na nasadu malin [7]	25
Slika 16 Dinamični AFV sistem podjetja Ombrea, Francija [1]	26
Slika 17 Primerjava potonike na odprtem in pod AFV sistemom [1]	27
Slika 18 AFV sistem nad nasadom jablan [8]	27
Slika 19 AFV sistem podjetja DoppelErnete [9]	28
Slika 20 Vertikalen AFV sistem v Nemčiji [10]	29
Slika 21 AFV sistem na rastlinjaku z nasadom jagod [1]	29
Slika 22 Senzemo merilec zračni parametrov [11]	30
Slika 23 Senzemo merilec temperature zemlje [11]	30
Slika 24 Shema temeljnega vijaka	31
Slika 24 Shema temeljnega vijaka	31
Slika 26 Razdelitev AFV sistemov	39
Slika 27 Skica AFV sistema tipa 1 z visoko konstrukcijo	41
Slika 28 Skica AFV sistema tipa 1 z nizko konstrukcijo	42
Slika 29 Skica AFV sistema tipa 2	43
Slika 30 Skica AFV sistema tipa 3	43
Slika 31 Tloris AFV sistemov	47

Slika 32 Kmetijska zemljišča v Sloveniji	52
Slika 33 Graf ocene potenciala za vsa kmetijska zemljišča	54
Slika 34 Kmetijska zemljišča z bonitetno oceno manj ali enako 35	55
Slika 35 Graf ocene potenciala za kmetijska zemljišča z bonitetno oceno 35 ali manj	56
Slika 36 Območja v Naturi 20000	57
Slika 37 Druga zavarovana območja	58
Slika 38 Grafični prikaz potenciala za vsa kmetijska zemljišča izven Nature 2000	59
Slika 39 Grafični prikaz kmetijskih zemljišč z bonitetno oceno 35 ali manj brez območji znotraj Nature 2000	60
Slika 40 Graf ocene potenciala za kmetijska zemljišča z bonitetno oceno 35 ali manj brez območji znotraj Nature 2000 ter drugih zavarovanih območji	61
Slika 41 Poplavna območja v Sloveniji	62
Slika 42 Prikaz kmetijskih zemljišč do bonitete 35 izven Nature 2000 ter drugih zavarovanih območji in poplavnih območji	63
Slika 43 Graf ocene potenciala za kmetijska zemljišča do bonitete 35, ki so izven zavarovanih območji, Nature 2000 in poplavnih območji	65
Slika 44 Primerjava potencialov	65

KAZALO TABEL

Tabela 1 Proizvodnja električne energije različnih tipov FVE	14
Tabela 2 Primerne rastline za vzgojo pod AFV sistemom	34
Tabela 3 Površine kmetijskih zemljišč	53
Tabela 4 Ocena potenciala za vsa kmetijska zemljišča	54
Tabela 5 Ocena potenciala za kmetijska zemljišča z bonitetno oceno 35 ali manj	56
Tabela 6 Ocena potenciala ob upoštevanju vseh kmetijskih zemljišč izven Nature 2000	58
Tabela 7 Ocena potenciala za kmetijska zemljišča z bonitetno oceno 35 ali manj brez območji znotraj Nature 2000	61
Tabela 8 Ocena potenciala za kmetijska zemljišča izven Nature 2000 in poplavnih območji	62
Tabela 9 Izračun za kmetijska zemljišča do bonitete 35, ki so izven zavarovanih območji, Nature 2000 in poplavnih območji	64

1 UVOD

V zadnjih letih postaja vse bolj pomembno najti nove ukrepe za spopadanje s podnebnimi spremembami in prehodom na obnovljive vire energije (OVE). Svet se sooča z mnogimi izzivi, ki izvirajo iz emisij toplogrednih plinov, nevzdržne porabe energije in izčrpavanja naravnih virov. Posledično se pojavlja vse več globalnega soglasja o potrebi po sprejemu tehnologij OVE za blažitev negativnih učinkov podnebnih sprememb.

Kmetijstvo, ki je pomemben vir emisij toplogrednih plinov in porabnik pomembnih energetskega virov, igra ključno vlogo v boju proti podnebnim spremembam. Klasične kmetijske prakse pa so pogosto energetske intenzivne in imajo škodljive okoljske vplive, kar še poslabšuje izzive, s katerimi se sooča sektor. Za zagotavljanje trajnostne prihodnosti kmetijstva so pridobile veliko pozornost inovativne tehnike, ki vključujejo integracijo proizvodnje obnovljive energije z kmetijskimi praksami.

En pristop, ki združuje kmetijske dejavnosti s proizvodnjo električne energije z uporabo fotovoltaičnih elektrarn (FVE), je agrofotovoltaika (AFV). AFV vključuje namestitev FVE nad kmetijskimi zemljišči, s čimer se isto zemljišče uporablja tako za proizvodnjo energije kot za pridelavo pridelkov. Ta integracija ponuja več potencialnih koristi tako za kmetijski kot tudi za sektor obnovljive energije.

AV predstavlja edinstveno priložnost za optimizacijo rabe zemljišč, saj omogoča soobstoječo proizvodnjo sončne energije in kmetijske pridelave na istem zemljišču. Ob naraščajoči potrebi po zemljiščih za projekte obnovljive energije AFV ponuja rešitev z uporabo obstoječih kmetijskih območij in zmanjšanjem potrebe po dodatnih zemljiščih.

AV ima potencial za izboljšanje kmetijske produktivnosti in trajnosti. Senčenje rastlin s FVE lahko zagotavlja ugodno mikroklimo za pridelke, zmanjšuje izhlapevanje vode, zmanjša temperaturno nihanje in omili erozijo tal zaradi vetra. Poleg tega AFV ščiti pridelke pred ekstremnimi vremenskimi dogodki, kot so toča ali močni nalivi in omogočajo raznovrstnost izbire pridelkov z omogočanjem gojenja vrst, ki prenašajo senčenje.

Cilj študije je podati celovito analizo AV, ki zajemala različne vidike, povezane z njeno tehnično izvedljivostjo in kmetijskimi vplivi. Študija se bo začela z osnovnim pregledom trenutnih tehničnih rešitev za AV, vključno z različnimi oblikami sistemov in pristopi k integraciji. Nadalje se z pregledom trenutne prakse in izkušnj z AFV v različnih državah ter poudarki iz naučenih lekcij in najboljših praks.

Poleg tega študija preučuje vplive AFV na pridelke in rastline ter preučevala parametre, kot so prehod svetlobe, stopnje senčenja in spremembe mikroklimo. S pomočjo podatkov geografskega informacijskega sistema (GIS) je ocenjen teoretični potencial AFV v Sloveniji, pri čemer se upoštevajo sprejemljive vrednosti senčenja in primernost različnih kmetijskih območij za namestitev sončnih naprav.

S celovito analizo ta raziskava prispeva k razumevanju AFV kot obetavne rešitve za izzive, s katerimi se soočata tako kmetijski kot tudi sektor obnovljive energije. S svojimi dragocenimi spoznanji in usmeritvami si prizadeva prispevati k usmerjanju politik, raziskovalcev in deležnikov, ki jih zanima spodbujanje trajnostnih in učinkovitih praks rabe zemljišč, ki vključujejo proizvodnjo obnovljive energije in kmetijstvo.

Študija je bila izdelana za naslednje naročnike:

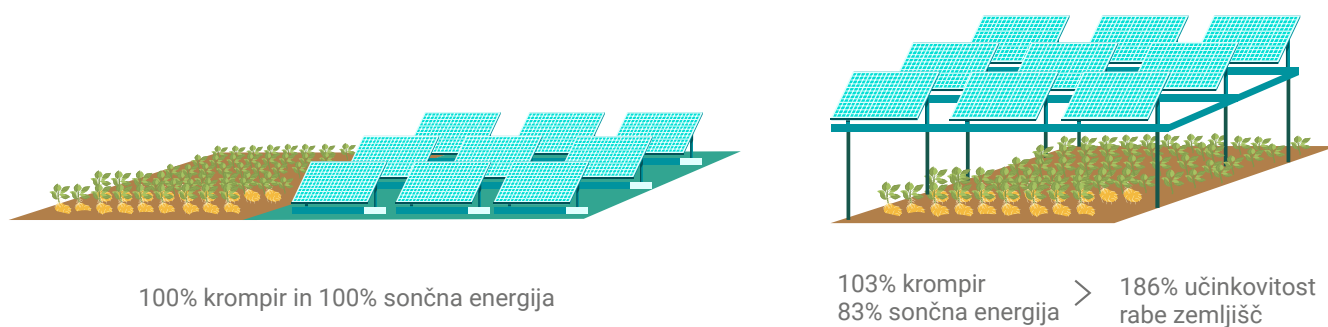
- Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano
- Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo

2 OBLIKE AGROFOTOVOLTAIČNIH SISTEMOV

AFV povezuje kmetijstvo s proizvodnjem električne energije, kar se je razvilo kot inovativen in trajnosten pristop k reševanju izzivov prehranske proizvodnje in proizvodnje obnovljive energije. Integracija FVE s kmetijskimi dejavnostmi, prispevajo k napredku trajnostnega kmetijstva in doseganju okoljskih ciljev.

Ena od osrednjih prednosti AFV je v njenem potencialu za spodbujanje trajnostne prehranske proizvodnje. AFV sistemi z uporabo istega zemljišča za proizvodnjo električne energije in kmetijske proizvodnje, optimizirajo učinkovitost uporabe zemljišča. To odgovorno rabo naravnih virov, kot sta zemlja in voda, je mogoče uskladiti z različnimi okoljskimi cilji, vključno z določbami Evropskega zelenega dogovora, evropske podnebne zakonodaje in direktive o obnovljivi energiji.

Slika 1 Učinkovita izraba tal z uporabo AFV



AFV prispeva k kmetijski odpornosti na neugodne vremenske razmere. Integracija FVE nad kmetijskimi polji zagotavlja senco in zaščito pred prekomerno toploto, pozebo in točo. Zaščita prispeva k stabilnejšemu mikrookolju, kar vodi v manjše deviacije pri količini pridelka in izboljšuje celotno produktivnost in dobičkonosnost kmetijskih dejavnosti. Posledično lahko AFV pomagajo kmetom prilagoditi se spreminjajočim se podnebnim razmeram in okrepiti njihovo kmetijsko odpornost.

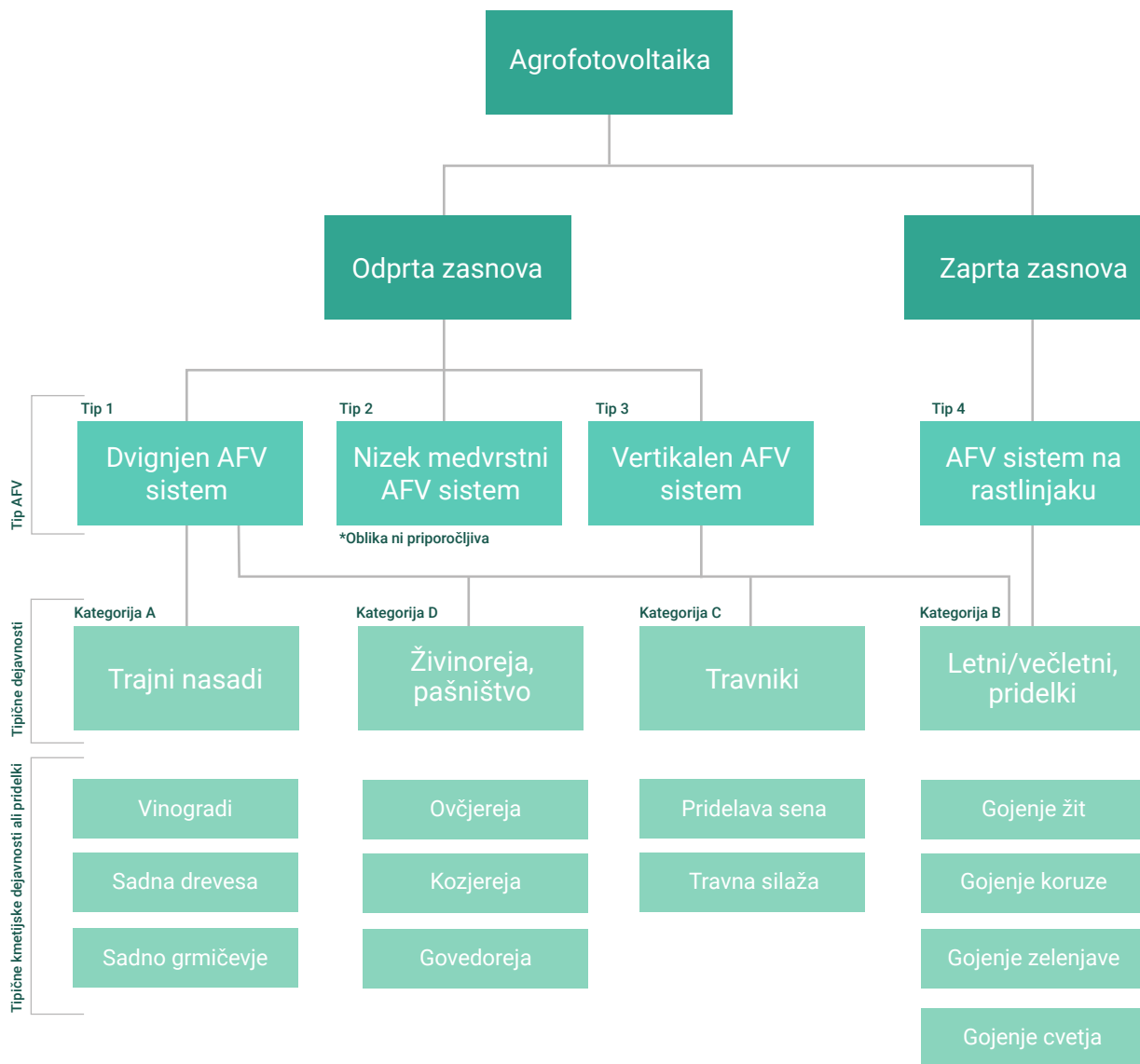
V okviru AFV obstajajo predvsem dve glavni vrsti sistemov: integrirani na različne tipe namenskih konstrukcij ter integrirani na rastlinjake. Vsak tip lahko uporabljajo različne vrste FV modulov in lahko vključujejo mehanizme nagibanja FV modulov za večji izkoristek. Vsaka vrsta sistemov ponuja edinstvene prednosti in zahteve, kar omogoča kmetom, da izberejo najprimernejši pristop glede na njihove specifične potrebe, podnebje in načine obdelovanja zemlje.

V tem poglavju bomo podrobno raziskali podrobnosti obeh vrst AFV sistemov, preučili njihove načelne zasnove, značilnosti delovanja in potencialne aplikacije. Z obsežno raziskavo njihovih prednosti in omejitev si prizadevamo zagotoviti celovito razumevanje raznolikih možnosti in priložnosti, ki jih ponujajo AFV v trajnostnem kmetijstvu.

2.1 DELITEV AFV SISTEMOV

AFV sistemi se razlikujejo po strukturi in možnost izvajanja kmetijskih dejavnosti pod PV moduli, kar prikazuje Slika 2.

Slika 2 Razdelitev AFV sistemov



AFV sistemi se najprej delijo na odprte in zaprte zasnove. Odprte zasnove teh sistemov so FVE nameščene na namenski konstrukciji, ki so prilagojene, da je pod konstrukcijo oziroma ob konstrukciji omogočeno izvajanje kmetijske dejavnosti. Zaprte zasnove AFV sistemov so FVE vgrajene na rastlinjake namenjene za gojenje rastlin. Nadaljnja delitev AFV sistemov loči sisteme glede na obliko konstrukcije:

- tip 1: dvignjen AFV sistem,
- tip 2: medvrstni AFV sistem,
- tip 3: vertikalni AFV sistem,
- tip 4: AFV sistem na rastlinjaku.

Vsaka oblika različno vpliva na rastline pod FV paneli in prinaša določene omejitve pri obdelovanju zemlje. Nadaljnjo razdelitev AFV sistemov klasificiramo glede na kmetijsko dejavnost:

- kategorija A: trajni nasadi in vinogradi
- kategorija B: letni/več letni pridelki (žita, zelenjava, gomoljnice...)
- kategorija C: travniki
- kategorija D: živinoreja, pašništvo

2.2 ODPRTE ZASNOVE AFV SISTEMOV

2.2.1 Tip 1: Dvignjen AFV sistem

Dvignjen AFV sistem omogoča nemoteno obdelavo tal, ščiti rastline pred vremenskimi vplivi in ustvari mikroklimo, ki je potencialno ugodna za rastline pod sistemom.

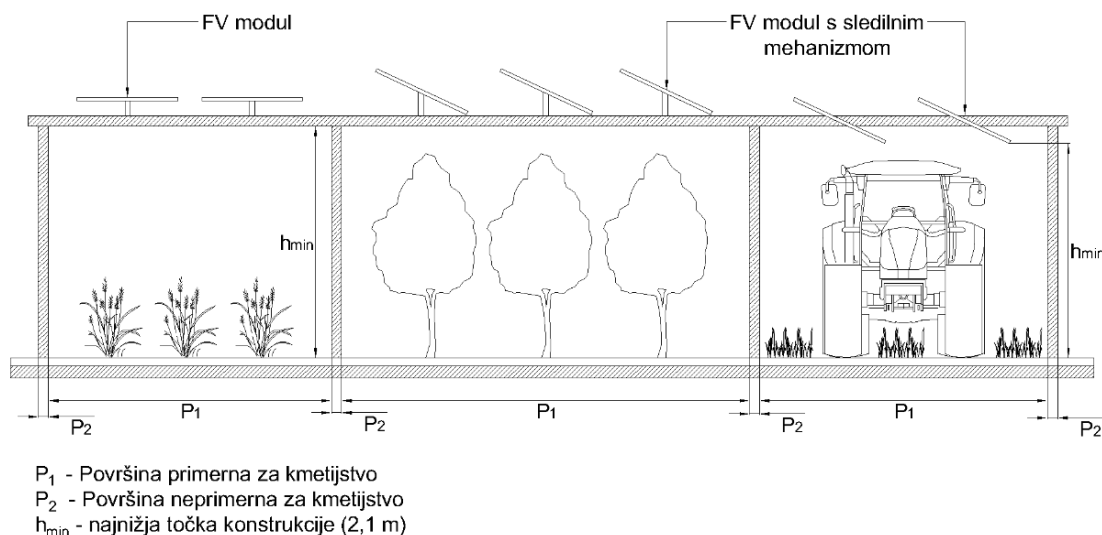
Dvignjen AFV sistem je sestavljen iz visoke konstrukcije, ki ne ovira strojnega obdelovanja zemlje, z nameščenimi FV moduli. FV moduli so lahko pritrjeni na konstrukcijo pod različnimi koti, pozicijami in z različno gostoto. Sistem je primeren za kmetijsko rabo vseh kategorij A in B, C in D.

Sistem lahko omogoča enosmerno ali dvosmerno sledenje modulov, kar optimizira izkoristek FV modulov in omogoča prilagajanje senčenja glede na potrebe rastlin.

Višino konstrukcije je v času načrtovanja potrebno prilagoditi rabi kmetijske površine, da bo omogočala nemoteno in varno strojno obdelovanje ter prehode ljudi in živali. Minimalne višine so:

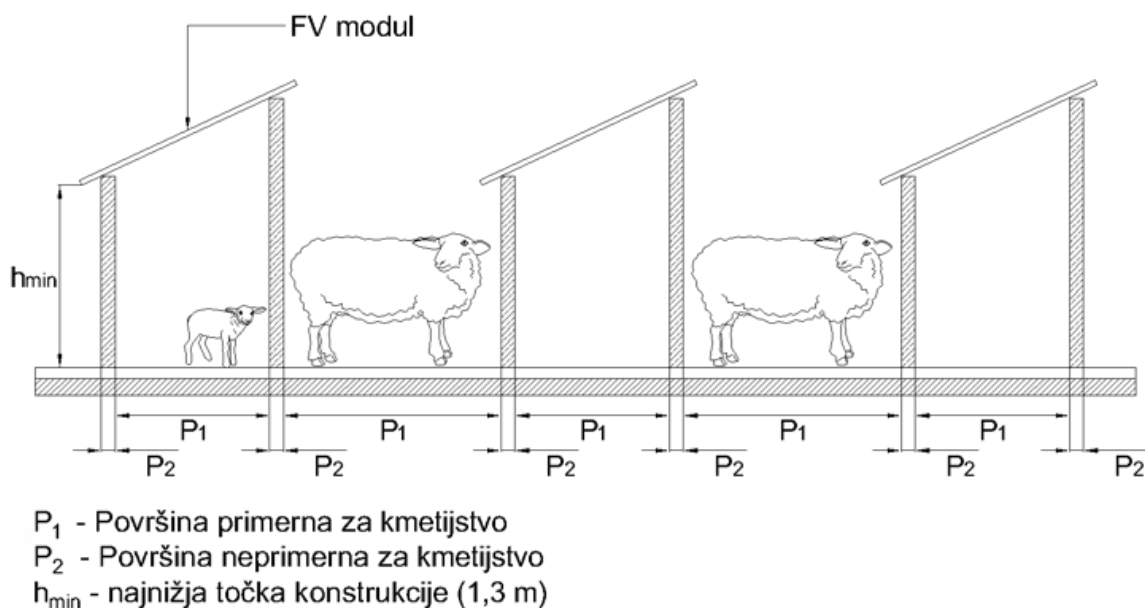
- Višina nad 2,10 m je potrebna za kategorije A in B (možna je tudi postavitve na kategoriji C, vendar je za to bolj primeren tip 3), zato da omogoča nemoteno strojno obdelovanje zemlje in fleksibilnost pri izbiri rastlin.

Slika 3 Skica AFV sistema tipa 1 z visoko konstrukcijo



- Višina nad 1,30 m je primerna za kategorijo D, da omogoča prehod živine pod konstrukcijo.

Slika 4 Skica AFV sistema tipa 1 z nizko konstrukcijo

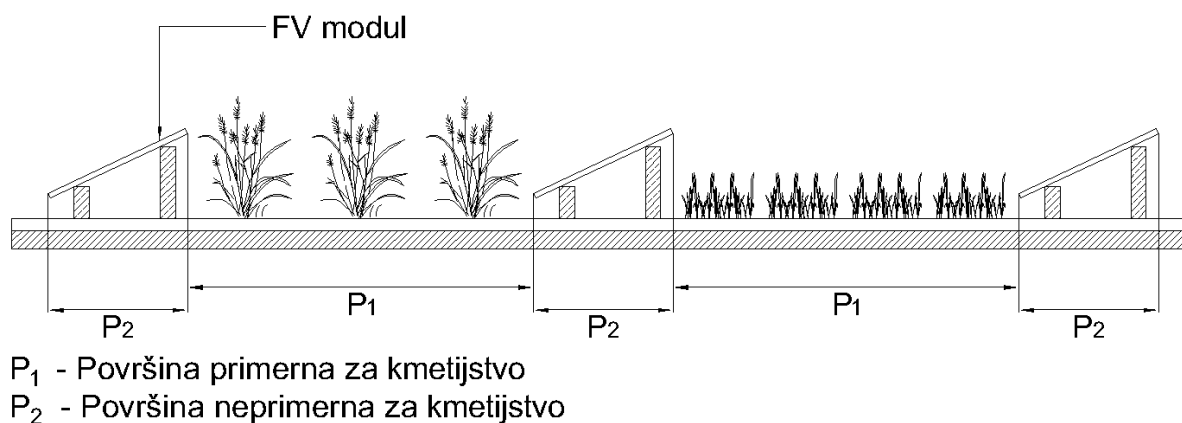


2.2.2 Tip 2: medvrstni AFV sistem

Medvrstni AFV sistem je sestavljen iz FV na nizki konstrukciji, pod katero je onemogočeno obdelovanje zemlje, zato se kmetijske dejavnosti opravljajo med vrstami AFV sistema.

Takšna postavitve ni priporočljiva, saj s tem slabo izkoristimo površino in rastline nimajo koristi senčenja in zaščite, ki jo nudi tip 1.

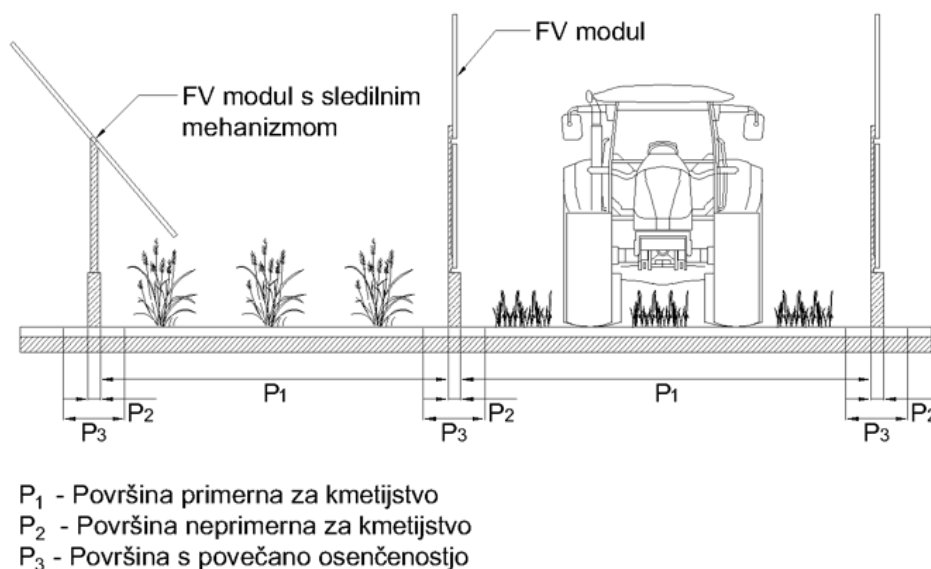
Slika 5 Skica AFV sistema tipa 2



2.2.3 Tip 3: vertikalni AFV sistem

Vertikalni AFV sistem je sestavljen iz pokončne konstrukcije in vertikalno postavljenih sončnih panelov. Prednost takšne postavitve je enostavnejša konstrukcija, kar izboljša donosnost investicije in s pravim razmakom med vrstami ne ovira obdelovanja površine.

Slika 6 Skica AFV sistema tipa 3



FV paneli v vertikalni umeritvi proizvedejo primerljivo količino električne energije v primerjavi z klasično vodoravno postavitvijo in usmeritvijo proti jugu. Priporočljivo je, da se uporabijo bifacialni FV moduli usmerjeni v smeri vzhod-zahod, s tem se izkoristi dopoldansko in popoldansko sonce. Vertikalna postavitve FV modulov je priporočljiva zaradi profila proizvodnje električne energije, saj je proizvodnja višja zjutraj in zvečer, tako je dobro ujema z odjemom električne energije. Še boljša je postavitve FV modulov z enoosnim sledilnim mehanizmom, s tem se proizvodnja električne energije poveča in se lahko prav tako prilagaja glede na odjem ali potrebe rastlin in obdelave zemlje.

Tip 3: vertikalni AFV sistem je primeren za kategorije B, C in D, pri čemer je potrebno upoštevati višino rastlin, da se prepreči prekomerno senčenje panelov. Vrste FVE je priporočljivo na določenih dolžinah prekiniti, da je omogočen nemoten prehod ljudem in živalim.

V fazi načrtovanja je med drugim potrebno določiti razmak med vrstami in višino konstrukcije, pri čemer se upošteva zahteve mehanizacije za obdelovanje zemlje, raba tal in vpliv senčenja med vrstami.

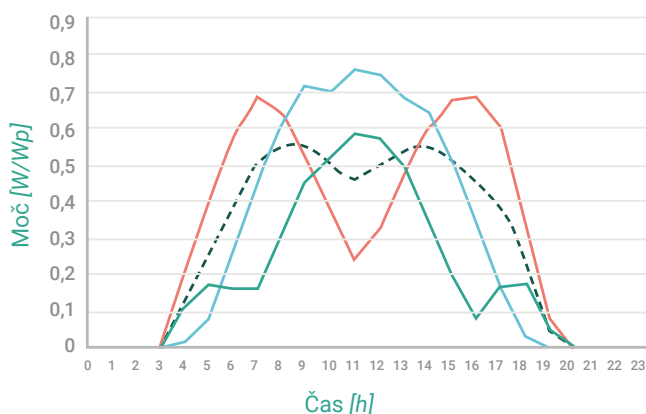
Primerjava proizvodnje med vertikalnimi moduli in moduli pod naklonom

Na Univerzi uporabne znanosti v Leipzigu, so opravili raziskavo proizvodnje električne energije vertikalnih dvostranskih FV modulih in na klasičnih južno orientiranih moduli. Donos električne energije za FVE obrnjeno proti jugu v horizontalnem položaju, je bil izračunan pri naklonu 20°. Donos dvostranske vertikalne FVE je bil izračunan za dva primera, prvi kjer so bili moduli obrnjeni proti vzhodu in zahodu in drugi, kjer so bili moduli obrnjeni proti severu in jugu. [2]

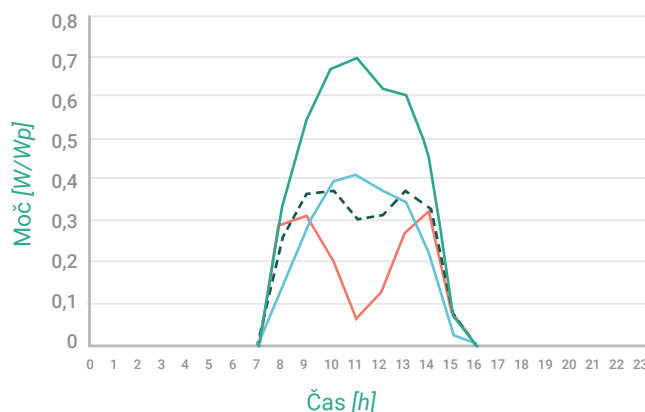
Slika 7 Proizvodnja električne a) poletni čas in b) zimski čas

Usmerjenost modulov

— Jug (horizontalna) — Sever/Jug (vertikalna)
 — Vzhod/Zahod (vertikalna) - - - Kombinacija



a) Poletni čas



b) Zimski čas

Slika 7 prikazuje proizvodnjo električne energije različnih tipov FVE. Iz slike je razvidno, da v poletnem času doseže največjo moč južno orientirana FVE, med tem ko maksimalna moč vzhod/zahod usmeritve ne zaostaja veliko. V zimskem času pride do izraza sever/jug postavitev, ki doseže skoraj 2x večjo moč kot druga dva tipa elektrarn. Prikazana je tudi proizvodnja kombinacije vseh treh elektrarn (25 % Jug, 50 % Vzhod/Zahod, 25 % Sever/Jug). Maksimalna moč tega tipa elektrarne je nižja ima pa prednost, da proizvodnjo električne energije raztegne čez celoten dan.

Tabela 1 Proizvodnja električne energije različnih tipov FVE

Usmeritev FV modulov	Poletni dan [Wh/Wp]	Zimski dan [Wh/Wp]
Jug (horizontalna)	6.3	2.2
Vzhod/Zahod (vertikalna)	7.5	1.7
Sever/Jug (vertikalna)	4.6	4.0
25/50/25 kombinacija	6.6	2.4

Tabela 1 prikazuje primer proizvodnje FVE za en zimski in poletni dan. Razvidno je, da je usmeritev Vzhod/Zahod (vertikalni) v poletnem času zmožna proizvesti več energije kot usmeritev Jug (horizontalni), med tem ko je na zimski dan najbolj donosna v-NS postavitev.

2.2.4 Kriteriji in zahteve za odprte tipe AFV sistemov

Kot navaja nemški standard za AFV sisteme [3] je za zagotovitev nadaljnje rabe površine za kmetijske dejavnosti, pri načrtovanju upoštevati različne kriterije

- Višina konstrukcije

Velikost in višina zaščitnih sistemov Agri-PV naj bi bila prilagojena kmetijski dejavnosti, ki se bo izvajala na zemljišču oziroma v primeru vertikalnih FVE naj bo višina prilagojena optimalnemu izkoristku sončne energije, da se minimizira vpliv senčenja tako med vrstami in rastlinami.

Pri sistemih z živinorejo je bistveno prilagoditi višino konstrukcije izbrani pasmi. Na splošno se izberejo trpežne pasme in so bolj umirjene. Višina konstrukcije naj omogoča dovolj prostora, da se živali varno sprehajajo pod paneli. Poleg tega naj bo zagotovljena dovoljšna višina za ustrezno rast trave.

Kjer se zemlja uporablja za poljedelstvo je potrebno upoštevati način obdelave zemlje, saj konstrukcija ne sme ovirati strojnega obdelovanja. Pri poljih je potrebno upoštevati več rastlinskih vrst, ki so lahko potencialno zasajene v življenjski dobi sočne elektrarne in prilagoditi konstrukcijo tako, da omogoča strojno obdelavo vseh rastlin. V nemškem standardu je zahtevan opis, katere rastlinske vrste bodo uporabljene v prvih treh letih izgradnje APV.

- Nagib in orientacija FV modulov

Idealen nagib in orientacija panelov sta odvisna od kmetijske dejavnosti, velikosti modula, tipičnih vremenskih razmer in profilov smeri vetra na lokaciji projekta.

Dinamični sistemi, ki omogočajo spremembo nagiba panelov, dodajajo dodatno prilagodljivost in prinašajo koristi tako za kmetijske kot tudi za proizvodne dejavnosti električne energije. Vendar pa povečujejo kompleksnost delovanja in stroške namestitve.

Pri načrtovanju je potrebno upoštevati optimalen nagib modulov za proizvodnjo električne energije, nudenje zaščite rastlinam, homogeno porazdelitev padavinske vode in homogeno porazdelitev svetlobe. V zvezi s tem je treba ustrezno upravljati odtekanje vode iz modulov ali zajeti vodo za uporabo v namakanju.

- Tip FV modulov

V času načrtovanja je pomembna izbira tipa modulov. Na trgu je več različnih rešitev za prepustne, dvostranske, nove oblike modulov namenjene za AFV ali klasične enostranske neprepustne module. Tip modula vpliva na izvedbo konstrukcije in senčenje.

- Razdalja med vrstami konstrukcije

Medvrstna razdalja naj bo prilagojena kmetijski dejavnosti, ki se izvaja na lokaciji APV.

Podporni stebri konstrukcije morajo biti na primerni razdalji, da ti ne ovirajo delavcev ali strojne mehanizacije.

● Električna varnost

Eden od ključnih vidikov pri sistemih AFV je preprečevanje mehanskih poškodb kablov sistema, ki jih povzroča kmetijska mehanizacija.

Kabli in kabelske kanale je treba namestiti na varno globino (najmanj en meter), da se prepreči poškodbe, ki jih povzročajo plugi in druge kmetijske naprave.

Dobra praksa vključuje zmanjšanje števila kablov v tleh. Namesto tega naj bodo kabelske poti usmerjene pod strehe modulov ob strani montažne konstrukcije. Poleg zaščite pred mehanskimi poškodbami, to tudi ščiti kable pred neposrednim izpostavljanjem dežju ali soncu, kar podaljšuje življenjsko dobo sistema.

Dodatni elementi vključujejo namestitev zaščitnih elementov za kabelske kanale okoli stebrov sistema.

Pri živinorejski dejavnosti, naj bo višina kablov in priključkov pravilno določena, da se prepreči poškodbe sistemov in živali, bodisi s stikom ali ugrizom. Iz istega razloga se priporočajo zavetišča za električne komponente, kot so nizkotlačni pretvorniki ali priključne omarice.

● Voda

Voda je bistvenega pomena za vsako vrsto kmetijske dejavnosti. Posebno pozornost je treba nameniti zagotavljanju zadostne količine in homogeno razporeditev vode, da se zadovoljijo potrebe kmetijske dejavnosti.

Na splošno je treba zagotoviti enakomerno porazdelitev padavinske vode na pridelke v sistemu APV. To je lahko zagotovljeno naravno, v tem primeru je treba opraviti oceno potreb po vodi pridelka in tipičnih podnebnih razmer na lokaciji. V primeru, ko lokalne podnebne razmere ne izpolnjujejo zahtev po vodi za pridelke, je treba namestiti namakalni sistem.

Pod sončnimi paneli je mogoče namestiti sistem za zajemanje deževnice, da se poveča neodvisnost od vode in zmanjša lokalni pritisk na vodo. To bo še posebej koristno na območjih, kjer je težje namestiti dovod vode ali če kmetijska dejavnost zahteva veliko količino vode. Poleg tega se s tem izognemo pojavu kapljičnega roba in razprševanja tal, kar povzroča erozijo, zmanjša homogeno razporeditev vode in škodi rasti rastlin.

Za optimalno izrabo vode pri uporabi namakalnih sistemov je priporočljiva uporaba pametnih rešitev, kot na primer senzorjev vlažnosti zemlje. S tem optimiziramo potrebno količino vode za rast rastlin in

preprečimo nepotrebno namakanje.

- Vpliv na prst

Odtokanje vode iz modulov lahko povzroči kapljični rob in razprševanje tal. Pri vseh sistemih AFV se lahko uporabljajo sistemi za zbiranje deževnice, prilagojeni pridelkom, razdeljevalniki deževnice ali podobne naprave.

Med samo izgradnjo je potrebno uporabiti ukrepe za zmanjšanje negativnih posledic stiskanja tal in premikanja zemlje. Priporočljiva je namestitvev, ko so tla suha in uporaba posebnih pnevmatik ali premičnih tirnic.

AFV sistemi v kombinaciji s pridelki naj se namestijo izven rastne sezone.

- Temelji in pritrdilna konstrukcija

Za ohranjanje kmetijskih zemljišč morajo biti temelji sistema AFV zasnovani tako, da je sistem v celoti enostavno odstranljiv.

Pri gradnji je treba uporabiti metode, ki zagotavljajo varne temelje preko snemljivih pritrdil v tla ali mehko podlago. V tem smislu se priporoča uporaba metode pilotiranja in se izogibanje uporabi betona ali cementiranju, kadar je to mogoče.

Določena območja ali tla zahtevajo uporabo trdnih in specifičnih temeljev. Pri projektih živinoreje naj se temelji sistema prilagodijo glede na vrste živali na lokaciji projekta. Na primer, pri govedoreji bodo potrebni globlji temelji kot običajno.

2.3 ZAPRTA ZASNOVA AFV SISTEMOV

2.4 TIP 4: AFV SISTEM NA RASTLINJAKU

Strehe rastlinjakov je mogoče izkoristiti za namestitev FVE, kar omogoča proizvodnjo potrebne energije za ogrevanje, hlajenje in upravljanje rastlinjakov. Pri tem je ključno upoštevati minimalen vpliv senčenja, ki ga povzročajo elementi FVE, na donos rastlin.

Uporabijo se lahko klasični FV paneli, ki se namestijo na streho ali so integrirani v konstrukcijo rastlinjaka in nadomestijo klasično strešno konstrukcijo, pri čemer upoštevamo primerno gostoto namestitve. Druga možnost je uporaba konstrukcije z možnostjo sledenja, ki omogoča prilagajanje lokacije in naklona FV modulov, s čimer dosežemo optimalno razmerje med proizvodnjo energije in senčenjem rastlin. Tretja možnost je uporaba prosojnih FV panelov, ki omogočajo prehod svetlobe, medtem ko hkrati proizvajajo električno energijo [1].



3 VPLIVI AGROFOTOVOLTAIKE NA RAST IN OBDELAVO PRIDELKA

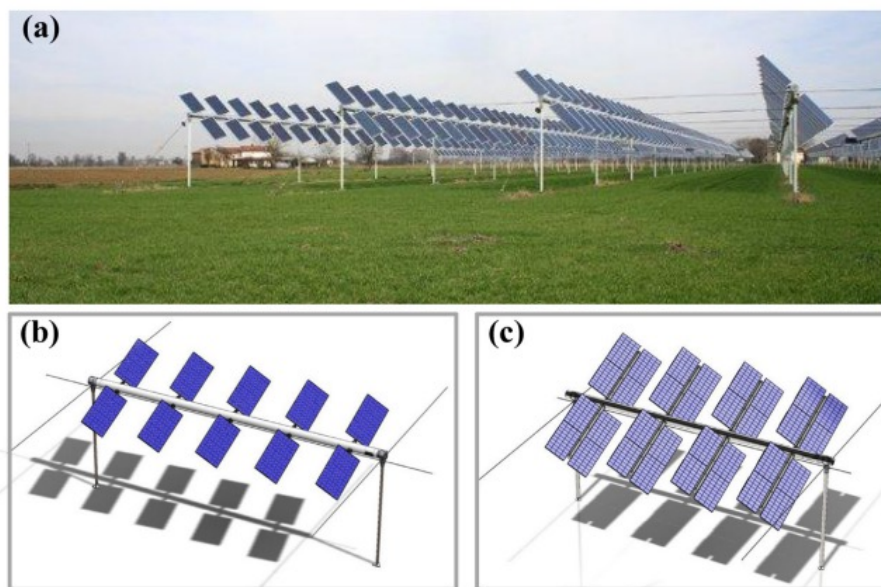
AFV je pridobila veliko pozornosti kot trajnostna rešitev za ustvarjanje obnovljive energije in povečanje pridelka hrane. Vendar je za zagotavljanje trajnostne prihodnosti ključno razumeti celovite učinke AFV na rast rastlin. Zato je pomembno podrobno preučiti vpliv teh sistemov na rast in razvoj rastlin, saj to omogoča optimalno načrtovanje in upravljanje AFV projektov. V tem poglavju bomo predstavili rezultate študij, kjer so bili ocenjeni vplivi AFV na različne vrste rastlin ter analizirani parametri, kot so svetloba, temperatura, vlažnost in mikroklima. Poleg tega bomo predstavili rezultate simulacij, ki nam omogočajo naprednejši vpogled na vpliv AFV sistemov na rast rastlin v različnih okoljskih pogojih. S celovitim razumevanjem teh vplivov lahko prispevamo k izboljšanju načrtovanja in upravljanja AFV ter hkrati zagotovimo trajnostno sožitje med proizvodnjo električne energije in kmetijsko dejavnostjo.

3.1 ANALIZA VPLIVA SENČENJA NA RAST KORUZE S SIMULACIJSKIM ORODJEM

Študija opravljena na Univerzi Cattolica del Sacro Coure v Italiji je razvila platformo, ki omogoča simulacijo rasti koruze in vpliv senčenja za italijanski AFV sistem Agrovoltaico [4].

Študija je analizirala proizvodnjo koruze gojene pod delnim senčenjem AFV sistema Agrovoltaico. Analiza je zajemala različne konfiguracije AFV sistema: statične FV panele in sledilne FV panele, pri čemer ima vsaka konfiguracija dve različni gostoti FV panelov glede na površino zemlje, ki jo pokriva.

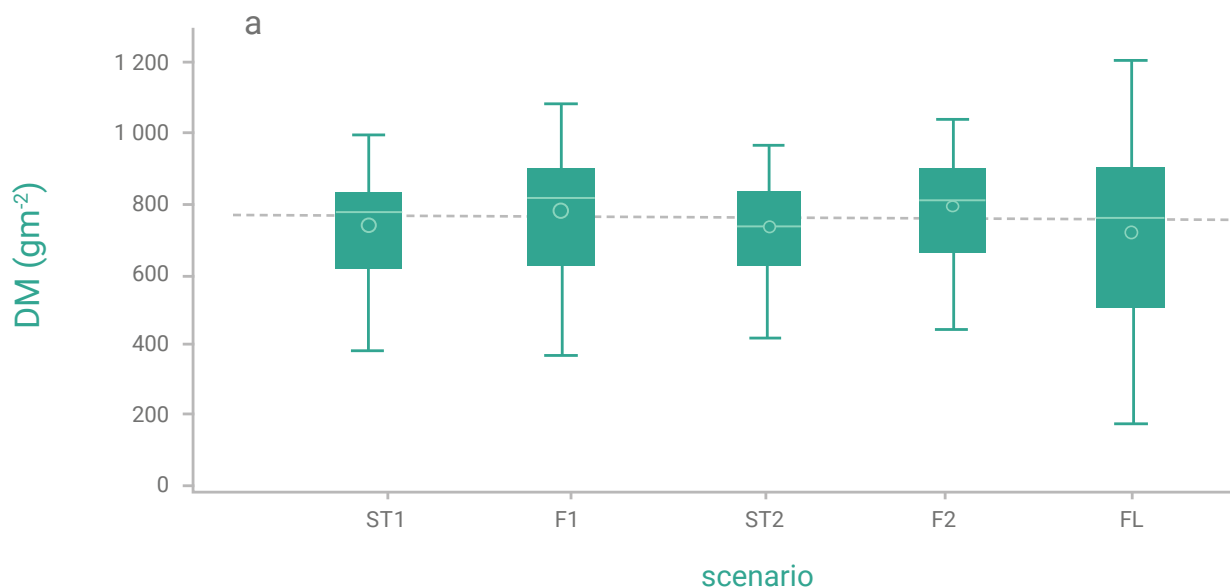
Slika 8 AFV sistem podjetja Agrovoltaico v Italiji [4]



Simulacija je uporabljala vremenske podatke od leta 1987 do leta 2004, ki so bili modificirani z modelom senčenja. Za simulacijo rastlin je bil uporabljen model GECROS.

Glavne ugotovitve so pokazale, da je povprečni donos bil najnižji pri pogojih polne svetlobe (brez senčenja). Zanimivo je, da je najvišja variabilnost med leti prav tako dosežena pri pogojih polne svetlobe, pri čemer je najnižji in najvišji donos opazen leta 1987 in 2004, ko sta bila dosežena $182,2 \text{ g/m}^2$ in $1196,6 \text{ g/m}^2$. V istih dveh letih so bili opazni tudi najnižji in najvišji donosi pri scenarijih z APV, kar kaže, da so v letih 1987 in 2004 ekstremni vzorci vremena povzročili zelo velike variacije donosa.

Slika 9 Količina produkta za različne scenarije



FL – Brez AFV sistema

ST 1 – AFV sistem s sledenjem in manjšo gostoto FV modulov (13 % pokritost tal)

ST 2 – AFV sistem s sledenjem in večjo gostoto FV modulov (36 % pokritost tal)

F1 - AFV sistem s fiksnimi FV moduli in manjšo gostoto FV modulov (13 % pokritost tal)

F2 - AFV sistem fiksnimi FV moduli in večjo gostoto FV modulov (36 % pokritost tal)

Iz grafa je razvidno, da se zmanjša možen maksimalni donos pridelka, vendar se poveča povprečna vrednost pridelka ter zmanjšajo variacije med leti, kar so glavne prednosti AFV sistemov.

Pri analizi z idealnimi pogoji vode je zmanjšanje sončnega obsevanja vedno negativno vplivalo na donos pridelka, z zmanjšanjem od 1% do 35%. Pri zmernem senčenju (20-35% zmanjšanje sevanja) pa so bili donosi zrnja pri AFV precej blizu tistim, doseženim pri pogojih polne svetlobe.

3.2 ANALIZE VPLIVA SENČENJA NA REALNIH PILOTNIH PROJEKTIH

V tujih državah že več let potekajo raziskave na realnih AFV sistemih, kjer analizirajo njihov vpliv na donos pridelka. V podpoglavju so predstavljene raziskave vpliva AFV na donos različnih rastlin.

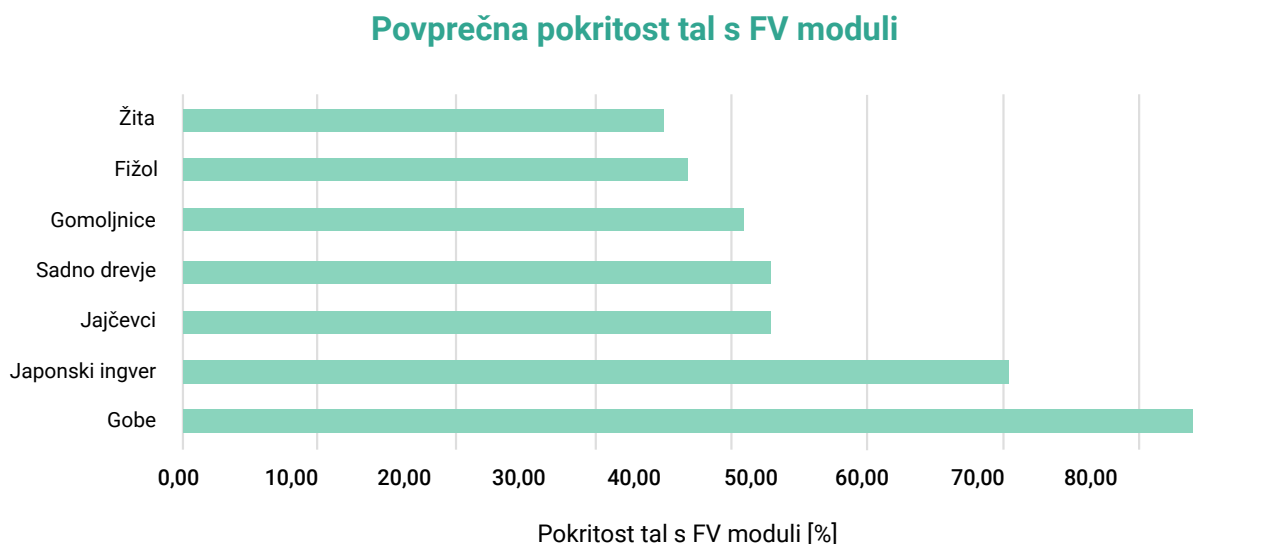
3.2.1 AFV na japonskem

Japonska z AFV sistemi pričela že leta 2004 in ima do danes že več kot 2000 FVE na kmetijskih površinah,

ki pokrivajo 560 hektarjev. Večina AFV sistemov je manjših od 0.1 ha, nekaj pa jih je tudi večjih od 1 ha, kar je posledica tipičnih velikosti kmetij na Japonskem saj jih je več kot polovica manjših od 1 ha [5].

Pod AFV sistemi na Japonskem gojijo veliko različnih rastlin. Med najpogostejšimi so zelenjave, okrasne rastline, sadna drevja in grmičevje, riž, različne vrste čajevca ter gobe.

Slika 10 Odstotek senčenja [5]



Gostota FV modulov je prilagojena rastlinam, ki so gojene pod AFV sistemom. Na japonskem so sistemi zasnovani z odstotkom senčenja od 30 do 70 %, pri čemer so najbolj senčene površine kjer pridelujejo glive in ingver saj te vrste bolje uspevajo v zelo senčnih področjih. Okoli 40 % senčenja je nad sadnim drevjem in grmičevjem, gomoljnicah in jajčevcih. Najnižja stopnja senčenja je na rastlinah kot so fižol in pšenica saj ti zahtevajo največ sočnega obsevanja.

3.2.2 Učinek AFV na rast zelene solate

Francoski nacionalni raziskovalni inštitut, ki se ukvarja s področji kmetijstva in okoljskih znanosti je leta 2010 in 2011 opravil raziskavo vpliva senčenja AFV sistema na rast zelene solate. Pri študiji so uporabili več vrst solate, 2 različni gostoti AFV sistema (polna pokritost in polovična pokritost) in kontrolno površino brez AFV sistema. V letu 2010 so solato posejali v poletnem času, leta 2011 pa v pomladnem času.

Za analizo rasti solate so opravljali meritve velikosti listov in teže na tedenskih intervalih. Prav tako so merili količino svetlobe na nivoju rastlin pod AFV sistemom in na območju brez senčenja.

Glavne ugotovitve raziskave so pokazale:

1. Količina proizvedenega produkta: poletni pridelek 2010 bil zmanjšan na 58%, pri polovičnem senčenju je bil donos pridelka 81%. Pomladanska letina 2011 je bila boljša, saj je dosegla 79% pridelka v polnem senčenju in 99% pri polovičnem senčenju. To kaže, da je bil pridelek manj prizadet, ko je bila senčnost zmerna.

2. Izkoristek sončne obsevanosti: Iz meritev sončnega obsevanja je bilo ugotovljeno, da so bile senčene rastline bolj učinkovite pri izrabi svetlobe, ki so jo imele na voljo, kot kontrolne rastline brez senčenja. Razlike v svetlobnih pogojih med vrstami v istem AFV sistemu niso pomembno vplivale na pridelek solate v primerjavi z razlikami med senčenimi tretmaji.
3. Različne sorte solate so pokazale različno stopnjo tolerantnosti do senčenja. Ena izmed vrst je imela celo višji pridelek v delno senčenem območju, kot v ne senčenem območju.

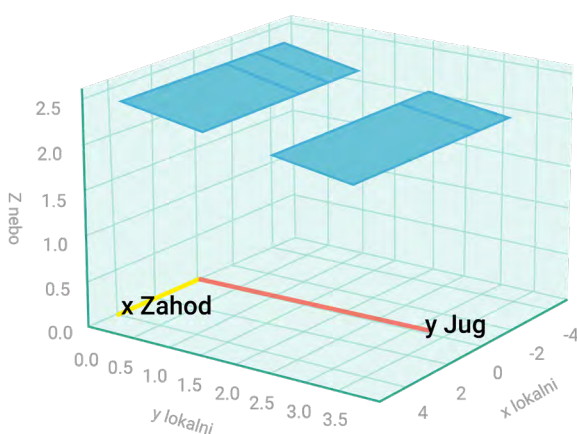
Skupno gledano je študija zaključila, da je bila razpoložljivost svetlobe glavni omejujoči dejavnik za rast solat, in da so bile rastline gojene blizu svojega potenciala v popolnem soncu. Popolno senčenje je znatno zmanjšalo pridelek, medtem ko je polovično senčenje imelo manjši vpliv. Študija je tudi opazila, da so lahko solatne rastline učinkovito proizvajale biomaso tudi v zmanjšanih svetlobnih pogojih.

3.2.3 Učinek AFV na rast krompirja

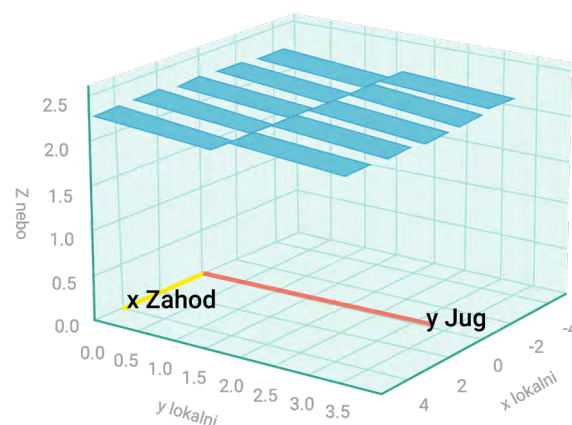
Fakulteta za inženirstvo in tehnologijo na univerzi Leuven je opravila raziskavo vpliva AFV sistema na rast krompirja. V prvem delu raziskave so s pomočjo simulacij želeli ugotoviti, kakšna postavitev FV panelov omogoča najbolj homogeno razporeditev sončne svetlobe pod AFV sistemom. Homogena sončna obsevanost prispeva k enakomerni rasti rastlin, kar omogoča žetev celotnega polna ob enem času [6].

Na podlagi rezultatov simulacij, so ugotovili, da je karirasta postavitev bolj ugodna s strani homogene razporeditve svetlobe, kot pa klasična postavitev panelov v linijo.

Slika 11 Linijska postavitev FV panelov



Slika 12 Karirasta postavitev FV panelov



Slika 11 prikazuje linijsko postavitev FV panelov. V raziskavi je bilo ugotovljeno, da ta postavitev močno senči tla. Slika 12 prikazuje alternativno postavitev FV panelov v karirasti obliki, pri kateri je bilo ugotovljeno da je razporeditev svetlobe bolj homogena in točka najmanjše osvetlitve se izboljša za 15 % v primerjavi z linijsko postavitvijo.

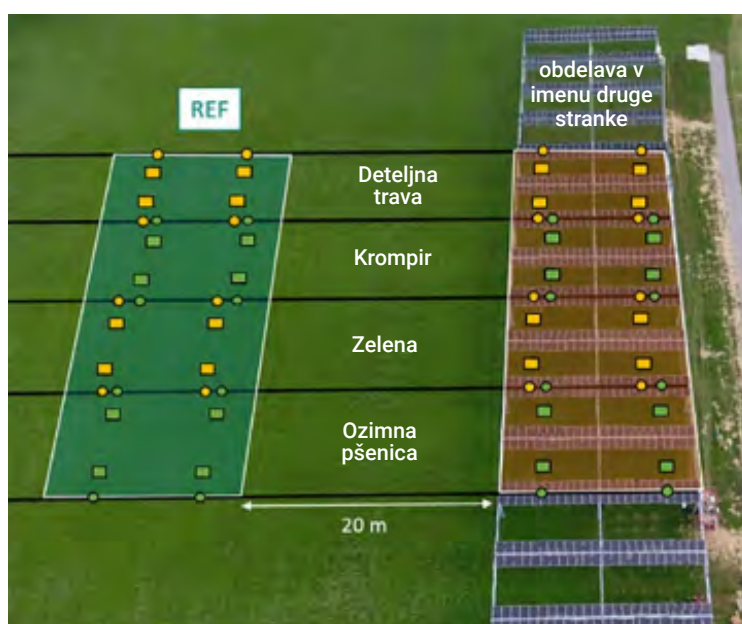
Na podlagi znanja pridobljenega iz simulacij, so v Belgiji postavili AFV sistem za raziskovalne namene, kjer so s pomočjo senzorjev za zaznavanje fotosintetično aktivnega sončnega sevanja (photosynthetically active

radiation - PAR) ter senzorjev vlage in temperature. Ugotovili so, da se simulacijski model sklada z realnim sočnim obsevanjem. Temperatura ob sončnem dnevu je bila pod AFV sistemom nižja od okolice, med tem ko je vlaga ostala enaka, kar je verjetno posledica manjšega izhlapevanja vode iz tal zaradi senčenja. Ob primerjavi rastlin pod AFV sistemom in rastlinami brez senčenja, je bilo ugotovljeno, da so listi na rastlinah pod AFV sistemom večji, kar je verjetno posledica senčenja. Kar potrjuje rezultate prejšnje raziskave, da se rastline v senčenem področju prilagodijo, da bolje izkoristijo sončno svetlobo, ki jim je na voljo.

3.2.4 Raziskava nemškega podjetja Fraunhofer ISE na projektu APV Resola

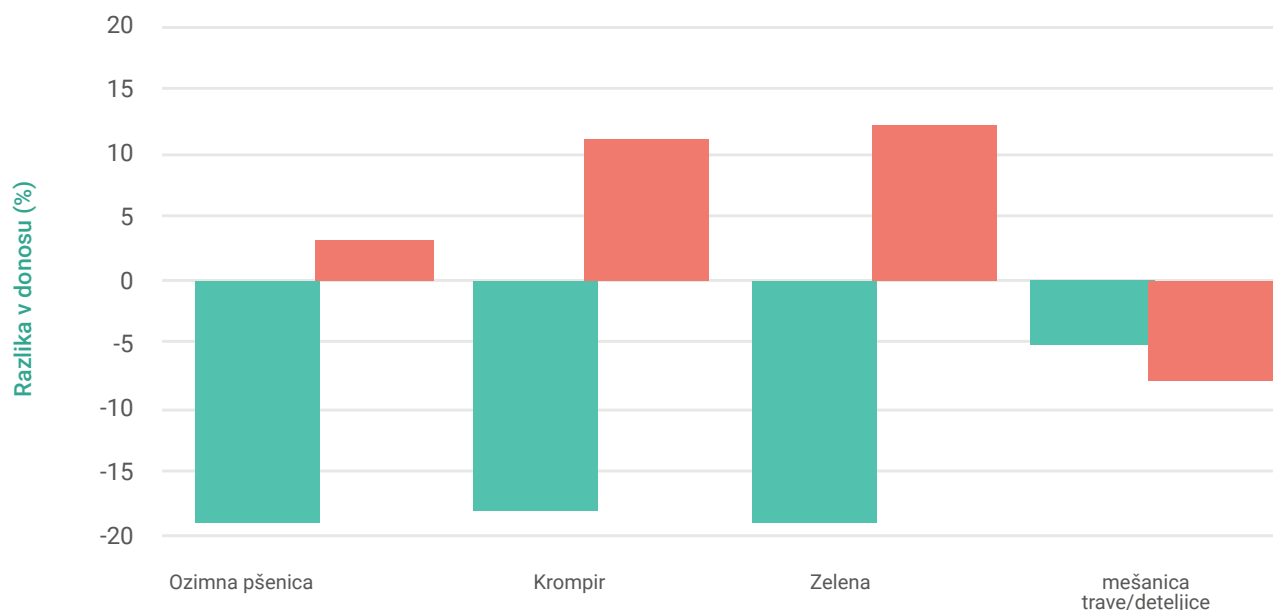
Nemško podjetje Fraunhofer ISE (Institute for Solar Energy Systems) je leta 2015 pričelo s pilotnim projektom APV Resola v okviru katerega so postavili AFV sistem tip 1. Raziskovalci so zbrali podatke o razvoju pridelka, donosu pridelka in mikroklimatskih razmerah, tako pod AFV sistemom kot na referenčni parceli brez FV modulov. Slika 13 prikazuje lokacije zajema meritev (okrogle oznake), lokacije zajema vzorcev (kvadratne oznake) in pridelke. Pilotno lokacijo so razdelili na 4 območje kjer so gojili travo z deteljo, krompir, zeleno in zimsko pšenico.

Slika 13 Pilotni AFV sistem APV Resola z označenimi mesti zajema meritev in pridelki



Merilni podatki so pokazali, da je fotosintetično aktivno sončno sevanje pod AFV sistemom približno 30 % nižje kot na referenčni parceli. Poleg sončnega sevanja je AFV sistem predvsem vplival na temperaturo tal in porazdelitev padavin. Temperatura tal pod AFV sistemom je bila nižja kot na referenčni parceli spomladi in poleti, temperatura zraka pa je bila enaka. Leto 2018 je bilo sušno, takrat so zaznali višjo vlažnost zemlje pod AFV sistemom.

Slika 14 Razlika v donosu pridelka v primerjavi z referenčnim območjem



Slika 14 Prikazuje donos različnih poljščin za leto 2017 in 2018. Leto 2017 so zaznali med 18 in 19 % upad pridelka pri pšenici, krompirju in zeleni, pri donosu trave z deteljo pa samo 5,3 % upad. Leto 2018 je bilo sušno, pšenica, krompir in špinača so proizvedli višje donose kot referenčna parcela brez FV modulov.

3.2.5 Povzetek

Raziskave s področja vpliva senčenja AFV sistemov na rastline so omejene. Kljub temu lahko iz podatkov ki so nam na voljo sklepamo, da je glavni razlog za zmanjšanje letine pod AFV sistemom zmanjšanje sončne svetlobe, ki doseže rastline, zato je ta parameter izredno pomemben, da ga upoštevamo pri načrtovanju AFV sistema in izbiri rastlin. Zmanjšanje količine sončne svetlobe pa ima pozitiven vpliv na vlažnost zemlje in temperaturo pod sistemom. Zaradi tega lahko pričakujemo večji donos rastlin pod AFV sistemom v primerjavi z rastlinami na prostem v sušnih letih.

Zmanjšanje sončne svetlobe ne vpliva enako na vse rastline, zato bi bila koristna raziskava z izvedbo pilotnega projekta AFV sistemov, kjer bi lahko razvili smernice, kako AFV sistem vpliva na različne vrste rastlin.

4 PRIMERI DOBRIH PRAKS ZA VSE TIPE AFV SISTEMOV

V tujini so AFV sistemi že bolj uveljavljeni, kot v Sloveniji, zato so bile v nadaljevanju pregledane dobre prakse tovrstnih sistemov.

4.1 TIP 1: DVIGNJEN AFV SISTEM

4.1.1 AFV sistem na nasadu malin

Podjetje BayWa skupaj z Univerzo Wageningen preučujeta vpliv AFV sistema na proizvodnjo malin.

AFV sistem v kraju Babberich, je BayWa zgradila v sodelovanju s svojo nizozemsko podružnico GroenLeven. Inštalirana moč sistema znaša 2,7 MWp in sestoji iz 10.250 sončnih modulov na 3,2 hektarja nasada malin.

Slika 15 AFV sistem na nasadu malin [7]



Za ta projekt je BayWa razvil polprosojni tip sončnega modula, ki prepušča dovolj svetlobe za rast malin, obenem pa jih ščiti pred ekstremnimi vremenskimi razmerami, toča, močno deževje in neposredna sončna svetloba, za kar so pred tem uporabljali tunele iz zaščitnih folij, katere je bilo potrebno menjati vsakih 6 let.

Vpliv sončnih modulov na druge vrste jagod, kot so ribez, borovnice, robide ali jagode, se preučuje v okviru štirih dodatnih AFV projektov. Klimo pod sončnimi moduli spremljajo senzorji, prav tako pa spremljajo zdravje rastlin in rast sadja.

BayWa prav tako sodeluje s pridelovalci jabolk in hrušk pri razvoju dodatnih pilotnih projektov. Cilj je še bolj spodbujati uporabo AgriPV v Evropi in dokazati, da takšne inovacije prispevajo k izboljšanju kakovosti sadja, zmanjšanju izhlapevanja vode ter zmanjšanju stroškov pridelave sadja.

4.1.2 AFV sistem nad vinsko trto in nasadom potonike

Ombrea je Francosko podjetje, ki na trgu ponuja dinamičen AFV sistem s katerim lahko nadzorujejo pogoje rastja rastlin.

AFV sistem nad vinsko trto

Leta 2019 so v kraju Rians postavili pilotni AFV sistem nad trtami.

Slika 16 Dinamični AFV sistem podjetja Ombrea, Francija [1]



Trenutne raziskave so pokazale pozitivne vplive na razmere pod AFV sistemom. V območju senčenja je bil zaznan pozitiven vpliv na klimo. 51 % manj časa je bila temperatura nad 35°C, posledično je bila nižja tudi temperatura zemlje. Sistem senčenja je uspel za 66 % zmanjšati periode s pretirano sončno svetlobo, ki lahko poškoduje rastline. S senčenjem se je prav tako zmanjšala potreba po vodi za 32 %.

Zaznan je bil pozitiven vpliv na rast rastlin, saj so potrebovale manj vode, obenem so zaznali boljše in daljše obdobje rastja rastlin. Razlika v končnem produktu vina (v barvi in okusu) ni bilo zaznati.

AFV sistem nad nasadom potonike

Podjetje Ombrea ima prav tako AFV sistem nad nasadom potonike, kjer že 4 leta zajemajo podatke o temperaturi zraka in zemlje, fotosintezno aktivnem sončnem sevanju in vlagi. Nasad je bil opremljen z namakalnim sistemom. Poleg meritev so skozi leta spremljali količino pridelka in kvaliteto rastlin.

Meritve klimatskih razmer pod AFV sistemom so pokazale, da so temperature pozimi nižje, kar pripomore k zimskemu mirovanju rastlin. Prav tako je bila temperatura v toplejših mesecih večino časa nižja za največ 6°C od okolice. Skrajšani so bili vročinski valovi za 34 % časa. Zmanjšan je bil negativen vpliv zaradi pretirane sončne svetlobe, ki lahko poškoduje rastline.

Slika 17 Primerjava potonike na odprtem in pod AFV sistemom [1]

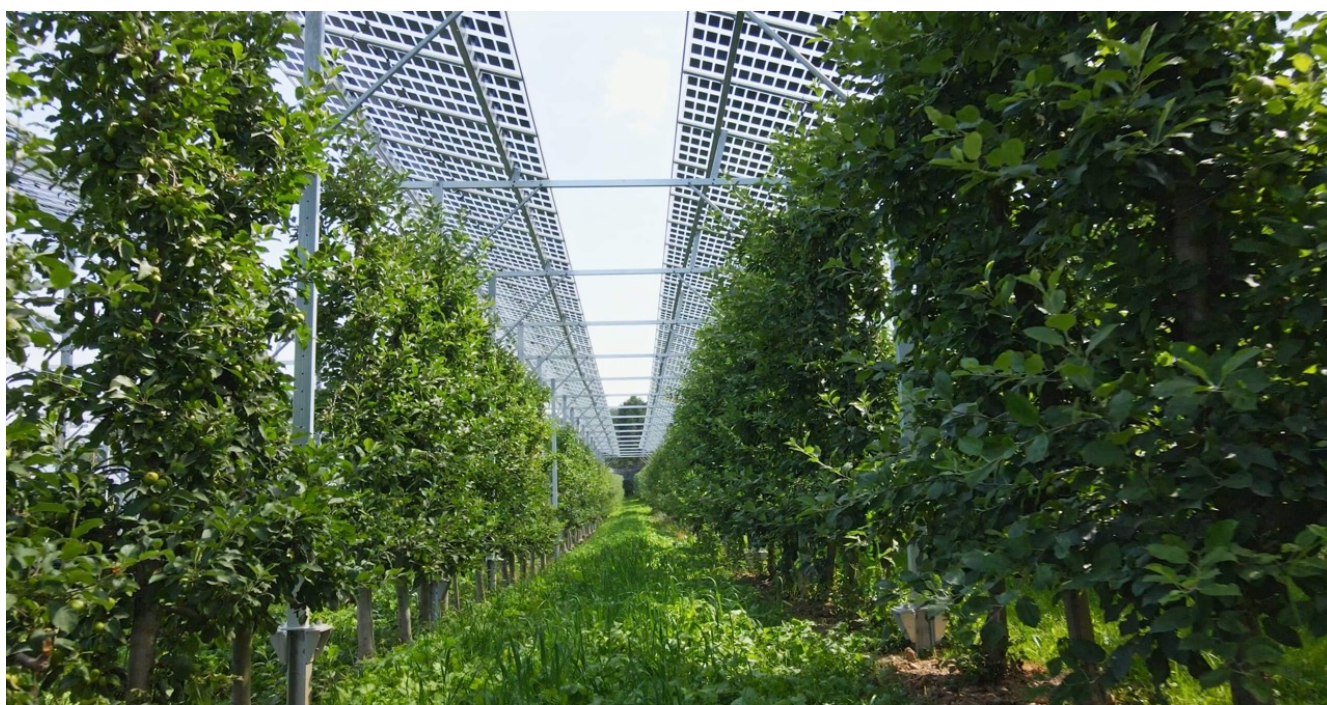


Rastline pod AFV sistemom so v primerjavi z rastlinami na odprtem potrebovale 27 % manj vode in so bile manj poškodovane od pretiranega sončnega obsevanja (Slika 17). Količina produkta se je povečala za 17 %.

4.1.3 AFV sistem nad nasadom jablan

Avstrijsko podjetje ECOwind je v bližini Gradca postavilo AFV sistem nad nasadom jablan. AFV sistem z inštalirano močjo 340 kWp se razteza na površini 2775 kvadratnih metrov. Za zagotavljanje zadostne sončne obsevanosti jablan so uporabili FV module z 49 % prosojnostjo.

Slika 18 AFV sistem nad nasadom jablan [8]



Podjetje poroča, da je z AFV sistemom uspelo izboljšati pogoje za pridelavo jabolk. Zaznali so nižjo temperaturo ter povišana vlažnost zemlje. Moduli prav tako ščitijo jablane pred premočnim sončnim obsevanjem in točo. Zaradi teh prednosti so lahko zmanjšali uporabo pesticidov, prav tako ne potrebujejo več zaščite pred točo, ki je bila izvedena iz manj vzdržnih materialov, ki so jih po nekaj letih uporabe morali zamenjati.

4.2 TIP 3: VERTIKALEN AFV SISTEM

4.2.1 Sledilni vertikalni AFV sistem

Podjetje DoppelErnete je leta 2019 razvilo AFV sistem s funkcijo sledenja soncu in maksimalno močjo 1,85 MWp. Sončni paneli so nameščeni na nizki konstrukciji s sledilnim sistemom v eni osi. Pri izgradnji je bil cilj ohraniti čim več površine za poljedelstvo. 90 % površine pod AFV sistemom je uporabne za poljedelstvo, posledično je doprinos poljščin v letih z dovolj dežja nekoliko nižji, med tem ko je doprinos v sušnih letih višji v primerjavi s polji brez AFV sistema.

Slika 19 AFV sistem podjetja DoppelErnete [9]



Sledilni sistem elektrarne omogoča odmik FV panelov, tako da ne motijo obdelovanja polja. S tem se lahko uporablja mehanizacija brez potrebnih sprememb ali kompromisov.

4.2.2 Vertikalni AFV sistem na travniku

V Nemčiji v kraju Saarland so leta 2018 postavili vertikalni AFV sistem imenovan Eppelborn-Dirmingen solarni park. AFV sistem z inštalirano močjo 4.1 MWp se razteza na površini 14 hektarjev. Uporabljeni so bifacialni moduli z usmeritvijo vzod-zahod in z razmakom med vrstami 10 metrov.

Slika 20 Vertikalen AFV sistem v Nemčiji [10]



Postavitev vrst na razdaljo 10 metrov omogoča strojno košnjo trave, ki se uporablja za proizvodnjo sena in silažne krme.

4.3 TIP 4: AFV SISTEM NA RASTLINJAKU

4.3.1 AFV sistem na rastlinjaku namenjenem za gojenje jagod

Leta 2018 je podjetje Amarenco v Franciji zgradilo 2 MWp AFV sistem na rastlinjaku. Celotni AFV sistem se razteza na površini 1,1 hektarja. Z vgradnjo AFV sistema poročajo za 20 do 30 % zmanjšanje potrebne količine vode za pridelovanje jagod zaradi manjšega izhlapevanja. Količina pridelka je primerljiva z gojenjem Jagod na prostem z razliko, da pridelek v rastlinjaku z AFV sistemom hitreje dozori in omogoča daljšo obdobje obiranja sadja.

Slika 21 AFV sistem na rastlinjaku z nasadom jagod [1]



Zaradi umestitve AFV sistema na že obstoječe rastlinjake je bila umestitev v prostor enostavna brez negativnega mnenja lokalne skupnosti.

4.4 DRUGE DOBRE PRAKSE

4.4.1 Merilna oprema Senszemo

Podjetje Senszemo je razvilo IoT naprave za namene zajemov meritev v kmetijstvu. Sistem omogoča povezavo vseh merilnih naprav v oblak in predstavitev podatkov na uporabniku enostaven način na enem mestu.

Podjetje ponuja naprave za merjenje temperature zraka in zemlje, vlage zraka in zemlje, količino padavin, hitrost in smer vetra in vlažnost listov rastlin. Z zajemom meritev omogočajo optimalno namakanje rastlin, kar zmanjša porabo vode za do 30 %. Poleg tega lahko kmetje hitreje pridobijo podatke od nevarnih stanjih, kot na primer pozebo in jih s tem preprečijo. Poleg tega je tudi zmanjšana potreba po ročnem pregledovanju rastlin.

Slika 22 Senszemo merilec zračni parametrov [11]



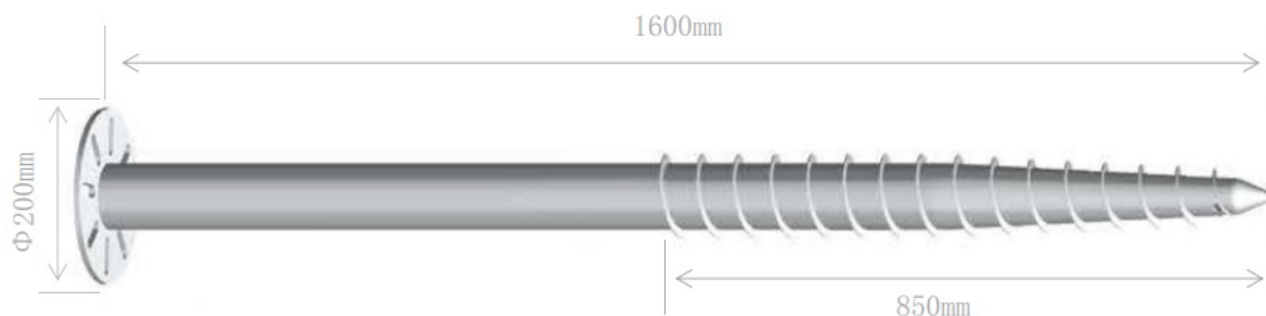
Slika 23 Senszemo merilec temperature zemlje [11]



4.4.2 Temelji AFV sistemov

Temelji AFV sistemov morajo biti točkovni in enostavno odstranljivi. Zaradi tega niso priporočljivi betonski temelji, saj so težje odstranljivi. Na Japonskem, kjer so AFV sistemi že bolj uveljavljeni se uporabljajo za stebre veliki jekleni vijaki. Ti vijaki omogočajo enostavno sidranje temeljev, z minimalnim vplivom na prst in so enostavno odstranljivi.

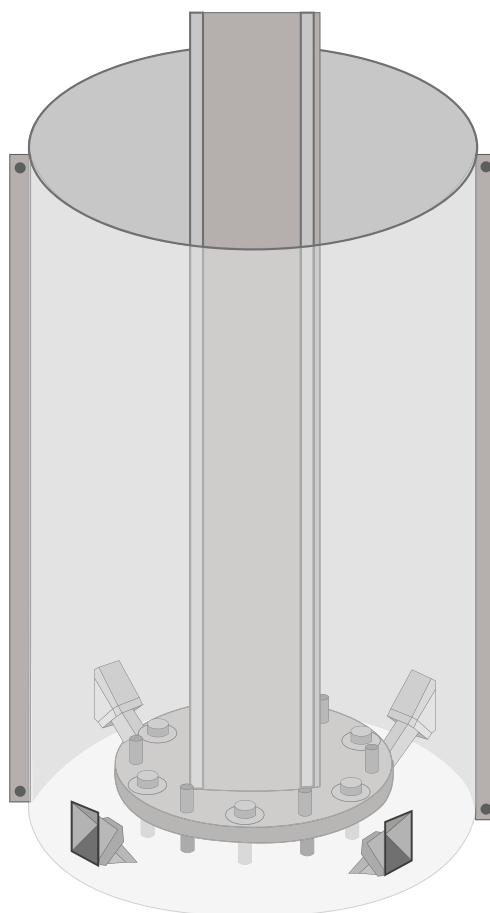
Slika 24 Shema temeljnega vijaka



4.4.3 Zaščita stebrov AFV sistemov pred poškodbami zaradi kmetijske mehanizacije

Zaradi uporabe strojne mehanizacije je možnost poškodbe nosilnih stebrov AFV sistemov. V ta namen so v okviru projekta APV-Resola namestili zaščite stebrov, kot prikazuje Slika 25.

Slika 24 Shema temeljnega vijaka



5 AGROFOTOVOLTAJKA V EVROPSKI UNIJI

Na ravni EU so v zadnjih nekaj letih sprejeti različni strateški in zakonodajni dokumenti z namenom zmanjševanja emisij CO₂ ter s tem spodbujanja uporabe različnih projektov OVE (obnovljivih virov energije). Še posebej je to izstopalo leta 2022, ko je Evropska komisija predstavila načrt REPowerEU kot odziv na neravnovesje na globalnem energetske trgu, ki ga je povzročila ruska invazija na Ukrajino. Ukrepov znotraj načrta REPowerEU je namenjeno varčevanju z energijo, diverzifikaciji oskrbe z energijo in pospešenemu uvajanju obnovljivih virov energije z namenom zamenjave fosilnih goriv v gospodinjstvih, industriji in proizvodnji električne energije. Pod okriljem tega načrta je Evropska komisija sprejela EU Strategijo za sončno energijo, ki predvideva večnamensko uporabo prostora kot enega izmed inovativnih načinov za dodatno izvedbo sončnih (FV) projektov. Glede na ta dokument lahko večnamenska uporaba prostora pomaga omiliti omejitve zemljišč, povezane s konkurenco za prostor, vključno z varstvom okolja, kmetijstvom in varno oskrbo s hrano.

Konkretno, pod določenimi pogoji se lahko zemljišče, namenjeno kmetovanju, kombinira s proizvodnjo sončne energije v t.i. agrosolarnih elektrarnah oziroma AFV sistemih. Po mnenju tega dokumenta lahko obe dejavnosti vzpostavi sinergijo, kjer lahko FV sistemi prispevajo k zaščiti pridelkov in stabilizaciji pridelka, medtem ko kmetijstvo ostaja glavna uporaba zemljišča. Države članice bi morale razmisliti o spodbudah za razvoj AFV sistemov pri oblikovanju svojih nacionalnih strateških načrtov za skupno kmetijsko politiko, kot tudi svojih okvirih za podporo sončni energiji (na primer z integracijo AFV sistema v razpise za obnovljive vire energije). Pravila o državnih pomočeh v kmetijskem sektorju dovoljujejo subvencije za investicije v trajnostno energijo. Z uporabo plavajočih solarnih elektrarn rešitev je možno tudi izkoriščanje vodnih površin za proizvodnjo sončne energije. Plavajoči FV paneli zmanjšujejo izhlapevanje vode in se lahko povežejo z električnimi sistemi jezov, s čimer povečujejo skupno proizvodnjo energije, čeprav se vpliv na vodno biocenozo še vedno preučuje.

Evropska Komisija bo za države članice razvila smernice za spodbujanje razvoja inovativnih oblik uporabe sončne energije, navedenih v tej strategiji. Za izpolnitev te obveznosti je Komisija naročila študijo, ki bo raziskala potencialne in specifične ovire za te oblike inovativne uporabe sončne energije ter identificirala primere dobrih praks med državami članicami. Raziskavo bo izvajal konzorcij, ki ga sestavljajo Trinomics, Enerdata, Schoenherr, Fraunhofer ISE in DNV. Ta raziskava bo služila kot osnova za smernice, katerih objava je pričakovana v prvem četrtletju leta 2024. Že danes je jasno, da se bo na ravni EU tudi v prihodnje podpiralo postavitve AFV projektov v obliki dvojne uporabe kmetijskih zemljišč, in da se lahko kmalu pričakujejo konkretne smernice o tem, kako pristopiti k takim projektom.

Na ravni EU so v zadnjih nekaj letih sprejeli različne vrste strateških in zakonodajnih dokumentov z namenom zmanjšanja emisij CO₂ in posledičnega spodbujanja uporabe različnih projektov OVE. To je bilo še posebej izrazito leta 2022, ko je Evropska komisija predstavila načrt REPowerEU kot svoj odziv na neravnovesje na globalnem energetske trgu, ki ga je povzročila ruska invazija na Ukrajino. Ukrepi v okviru načrta REPowerEU stremijo

Ker je tema AFV relativno nova in kompleksna, je eno od ključnih vprašanj: kako pravno definirati te projekte, kako urejati njihov razvoj ter različne tehnične in postopkovne zahteve za njihovo vzpostavitev, izvedbo in morebitno spremljanje? V nadaljevanju bodo predstavljeni strateški in pravni modeli za AFV v nekaterih državah EU.

V večina EU držav ima praviloma enotno definicijo AFV sistemov. S to definicijo se poudarja potreba po dvojni in sinergijski uporabi kmetijskih zemljišč, pri čemer je treba kmetijsko pridelavo ohranjati kot primarno dejavnost. Definicija agrofotovoltaike je običajno del zakonodaje, ki ureja energetska vprašanja, medtem ko so specifične podrobnosti (kakšna je največja površina, ki je lahko pokrita z AFV, kakšno je lahko največje zmanjšanje pridelka, kakšni so možni modeli in tehnične rešitve itd.) zajete v posebnih smernicah. Kar zadeva izkušnje držav EU z AFV projekti, obstajajo različne prakse glede pravnega okvira, vrste in velikosti projektov, modelov financiranja itd., kar bo podrobneje obravnavano v spodnjem tekstu tega poglavja.

5.1 NEMČIJA

V Nemčiji AFV ni bila izrecno opredeljena v pravnem okviru do leta 2021, ko je bila sprejeta sprememba zakona EEG (Erneuerbare Energien-Gesetz). Ta zakonodaja je uvedla segment za inovativne projekte, vključno s solarnimi sistemi na kmetijskih zemljiščih, ki omogočajo hkratno gojenje kmetijskih rastlin. Za AFV sisteme je treba upoštevati specifikacije DIN SPEC 91434. V skladu s tem standardom se od AFV sistemov pričakuje, da zemljišče pod njimi ostane primerno za proizvodnjo hrane in upošteva določene zahteve glede razporeditve svetlobe.

Leta 2023 je bil Zakon EEG ponovno revidiran, kar je AFV prepoznalo kot samostojno kategorijo in ne več kot inovativni projekt. Uredba o neposrednih plačilih Skupne kmetijske politike (CAP) določa, da AFV ne sme zmanjšati uporabnega kmetijskega zemljišča za več kot 15 % in da je 85 % kmetijskega zemljišča primerno za financiranje s subvencijami.

Za nadaljnjo standardizacijo AFV je leta 2021 konzorcij 15 organizacij v Nemčiji sestavil standard DIN SPEC 91434. Ta dokument jasno razlikuje med AFV in običajnimi nizko nameščenimi FVE, določa zahteve za kmetijsko primarnost, načrtovanje, delovanje in sledenje ter merilne kazalnike za testiranje kakovosti. Poseben poudarek je na prilagoditvi intenzivnosti in razporeditvi svetlobe glede na potrebe rastlinskih kultur.

5.2 FRANCIJA

Razvoj AFV v Franciji se je začel v zgodnjih 2000-ih z eksperimenti na malih rastlinjakih. Od takrat je sektor doživel opazno rast. Junija 2021 so se prominentna francoska energetska podjetja združila in oblikovala France Agrivoltaisme, ki predstavlja prvo svetovno združenje, namenjeno sektorju AFV. Leta 2018 je Ministrstvo za ekološki prehod in solidarnost skupaj z Uradom za obnovljive vire energije in generalnim direktoratom za energijo in podnebje uvedlo pravni okvir za projekte AFV. V tem okviru so bili

projekti ocenjeni glede na njihovo sinergijo s kmetijsko uporabo.

Poleg tega je ADEME, francoska agencija za okoljsko tranzicijo, nedavno izdala smernice, ki podrobno opredeljujejo, kaj pomeni, da je FVE opredeljen kot AFV sistem. Po teh smernicah se takšen sistem ne sme bistveno poslabšati kmetijske proizvodnje ali povzročiti izgube dohodka kmetije in mora nuditi določene storitve, kot so prilagajanje podnebnim spremembam, zaščita pridelkov, izboljšanje dobrobiti živali in druge specifične kmetijske storitve.

Februarja 2023 je Senat potrdil zakonodajo, ki opredeljuje razmerje med kmetijstvom in FVE. V skladu z zakonom se AFV sistemi definirajo kot objekti, ki kombinirajo proizvodnjo električne energije iz sončne svetlobe in kmetijsko proizvodnjo. Da bi se objekt štel za AFV, mora izpolnjevati določene kriterije, ki podpirajo kmetijsko proizvodnjo, kot so izboljšanje kmetijskega potenciala, boj proti učinkom podnebnih sprememb in izboljšanje dobrobiti živali. Zakon prav tako predvideva sankcije za tiste projekte, ki bi lahko negativno vplivali na kmetijsko proizvodnjo.

5.3 ITALIJA

Italija je v okviru Nacionalnega načrta za okrevanje in odpornost (PNRR) pridobila obsežna sredstva za razvoj AFV projektov v sklopu Evropskega načrta za okrevanje EU - Next Generation EU (NGEU). Cilj je povečanje proizvodnje električne energije iz AFV za 5 % do leta 2026. Ministrstvo za varstvo okolja in energetska varnost je leta 2022 objavilo Smernice za AFV sisteme, ki so bile sprejete kot odziv na zakon iz aprila 2022. Ta zakon poenostavlja postopke odobritve za gradnjo AFV sistemov na določenih območjih, pri čemer se pogoji lahko razlikujejo od regije do regije. Glede na navedene smernice, ki temeljijo na izkušnjah iz drugih držav, se kmetijske kulture razvrščajo glede na njihovo primernost za uporabo pod AFV sistemom (Tabela 2).

Tabela 2 Primerne rastline za vzgojo pod AFV sistemom

Primernost	Rastline
Zelo primerne (5)	krompir, hmelj, špinača, zelena solata, bob
Povprečno primerne (4)	čebula, grah, kumare, bučke
Dobro primerne (3)	rž, ječmen, oves, zelje, oljna repica, grašič, šparglji
Slabo primerne (2)	cvetača, sladkorna pesa, rdeča pesa
Neprimerne (1)	pšenica, pira, koruza, sadno drevje, sončnica

Smernice definirajo AFV sistem kot agrosolarni sistem in ponujajo tri osnovne definicije agrosolarne energije:

- Agrosolarni sistem: fotovoltaični sistem, ki omogoča kontinuirano kmetijsko in živinorejsko dejavnost na mestu namestitve.
- Napredna agrosolarna elektrarna: sistem, ki vključuje inovativne rešitve, dvignjene module in sledilne sisteme za optimizacijo kmetijskih in energetskih aktivnosti.
- Napredni agrosolarni sistem: združuje kmetijsko in energetsko dejavnost z namenom optimizacije proizvodnje obeh podsistemov.

Smernice določajo, da morajo AFV sistemi izpolnjevati naslednjih pet zahtev:

- A. AFV sistem mora biti zasnovan in zagnan na način, ki je primeren za sprejemanje prostorske konfiguracije in ustreznih tehnoloških rešitev, ki omogočajo integracijo kmetijske dejavnosti in proizvodnje električne energije ter povečujejo proizvodni potencial obeh podsistemov;
- B. AFV sistem mora zagotavljati sinergijsko proizvodnjo električne energije in kmetijskih proizvodov ter ne sme ogroziti neprekinjenosti kmetijske in živinorejske dejavnosti;
- C. AFV sistem mora sprejeti inovativne integrirane rešitve z moduli, dvignjenimi od tal, z namenom optimizacije tako energetskih kot tudi kmetijskih zmogljivosti AFV sistema;
- D. AFV sistem mora biti opremljen z sledilnim sistemom, katerega cilj je preverjanje vpliva na pridelke, varčevanje z vodo, kmetijska produktivnost različnih kultur in neprekinjenost kmetijskih dejavnosti, ki jih izvajajo ustrezna kmetijska gospodarstva;
- E. AFV sistem mora biti opremljen s sledilnim sistemom, ki poleg izpolnjevanja zahteve D omogoča tudi preverjanje obnove rodovitnosti tal, mikroklima in odpornosti na podnebne spremembe.

Zahteve A in B sta nujni, da se FVE, zgrajena na kmetijskem območju, lahko uvrsti pod pojem »agrosolarna elektrarna«, zahteve A, B, C in D pa so potrebne za usklajitev z definicijo »napredne agrosolarne elektrarne«. Vsi navedeni zahtevi so predpogoj za dostop do spodbud iz PNRR-a. Poleg tega mora v okviru zahteve A vsaj 70 % površine uporabljati za kmetijsko dejavnost, delež skupne površine.

5.4 AVSTRIJA

Avstrijsko zakonodajo za spodbujanje uporabe obnovljivih virov energije, vključno z AFV, ureja Zvezni zakon o distribuciji energije iz obnovljivih virov. Ta zakon poudarja integracijo FVE z obstoječimi kmetijskimi sistemi, kar rezultira v kmetijskih površinah, ki združujejo proizvodnjo električne energije in kmetijsko proizvodnjo.

Dodatne določbe glede financiranja in investicijske podpore za razvoj teh sistemov so navedene v Uredbi Zveznega ministrstva za zaščito podnebja iz leta 2022. Ta uredba določa, da se subvencije ne zmanjšajo za 25 %, če je AFV sistem nameščen na kmetijskih zemljiščih, kjer je primarni namen proizvodnja rastlinskih ali živalskih izdelkov in sekundarni namen proizvodnja električne energije. Ključno je, da FV moduli zavzemajo celotno površino, medtem ko kmetijska dejavnost zaseda vsaj 75 % te površine.

Za pridobitev subvencij morajo biti izpolnjeni določeni predpogoji, med drugim:

- Možnost razstavljanja sistema brez ostankov in obveznost vračanja tal v izvirno stanje, če se AFV sistem poškoduje ali uniči.
- Minimalna višina 80 cm med tlemi in spodnjim robom modulov ter razdalja vsaj dva metra med vrstami modulov, razen pri inovativnih AFV sistemih.

Uredba prav tako navaja, da mora vsak, ki postavlja AFV na kmetijsko zemljišče, upoštevati vsaj pet od osmih okoljevarstvenih ukrepov.

1. ohranjanje obstoječih biotopskih struktur;
2. v primeru ograde, ozelenitev ograde z rastlinami lokalnega izvora, primernimi za lokacijo;
3. oblikovanje živih mej ali grmovnic lokalnega izvora, primernih za lokacijo;
4. namestitev pomožnih naprav za gneždenje ptic, netopirjev in žuželk;
5. oblikovanje cvetočih pasov z mešanicami semen v skladu s posebnimi pogoji lokacije;
6. obdelava površine z izmenično košnjo z višino najmanj deset centimetrov;
7. upravljanje površine z največ dvema košnjama letno, in sicer z višino najmanj deset centimetrov; paša površine brez strojne košnje;
8. ozelenitev območja z regionalnimi mešanicami semen, ki vključujejo najmanj 15 rastlinskih vrst in avtohtono floro.

Glede na vse 4 predstavljene primer predlagamo, da bi bilo treba podobno definicijo AFV uvesti tudi v Sloveniji (verjetno v enega od energetskih zakonov). Zakonsko zavezujoče podrobnosti glede možnih zakonskih omejitev in administrativnih pogojev za uporabo AFV bi morale biti del zakonodaje, medtem ko bi vse druge podrobnosti glede možnih modelov, tehničnih pogojev in specifikacij (ki zahtevajo bolj fleksibilen pristop) morale biti zajete v ustreznih smernicah in priročnikih za katere bi nujno rabili pilotni projekt postavitve AFV, kjer bi na interdisciplinaren način svoje raziskave, meritve in preskušanje izvajalo več pristojnih inštitucij (KIS, FE, FKBPV itd.).

5.5 ZAKONODAJA V SLOVENIJI

Zakon o uvajanju naprav za proizvodnjo električne energije iz obnovljivih virov energije, ki je stopil v veljavo 3.8.2023 omogoča postavitev AFV sistemov na določena kmetijska zemljišča.

Zakon omogoča izgradnjo FVE vključno s tehnično opremo, potrebno za njihovo delovanje, napravami za shranjevanje energije in priključki na omrežje, na kmetijskih zemljiščih z omejitvijo, da ta ne vpliva na obseg kmetijske proizvodnje.

Izgradnja FVE je dovoljena na kmetijskem zemljišču, ki je glede na evidenco dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč uvrščeno med kmetijsko zemljišče v zaraščanju ne glede na višino bonitete kmetijskega zemljišča. Pred postavitvijo AFV je potrebno prijaviti spremembo dejanske rabe v trajni travnik. Druga možnost je izgradnja AFV na kmetijskem zemljišču z bonitetno oceno 35 točk ali manj.

Zakon zahteva točkovne temelje za konstrukcijo AFV, ki zasedajo manj kot 6 % površine, ki jo zaseda AFV elektrarna. Konstrukcija mora biti izvedena tako, da omogoča obdelovanje zemljišča s kmetijskimi stroji, orodji in mehanizacijo potrebno za obdelavo trajnega travnika.

Zakon omogoča postavitev baterijskega hranilnika električne energije (BHEE), ob predpostavki, da čim manj ovira rabo zemljišča in da se izvedejo zaščitni ukrepi proti morebitnemu onesnaževanju okolja. Predlagana je postavitev na robu zemljišča oziroma ob obstoječih cestnih povezavah.

Zakon prav tako omogoča postavitev AFV sistema na kmetijska zemljišča z dejansko rabo njive ali trajnega nasada. V tem primeru je postopek pridobivanja soglasja kompleksnejši in v času pisanja študije še nedefiniran, saj zakon predpisuje, da mora investitor upoštevati podrobnejša pravila za postavitev in delovanje AFV sistema, ki jih izda minister, pristojen za energijo, v soglasju z ministrom, pristojnim za kmetijstvo. Ker je zakon stopil v veljavo pred kratkim, v času pisanja študije ta navodila še ne obstajajo.

5.5.1 Priprava zakonodaje za pilotne projekte

Za namene pametne umestitve AFV sistemov nad kmetijskimi zemljišči z višjo boniteto, ki je naslednji korak pri razvoju agrofotovoltaike v Sloveniji, zakon omogoča izvedbo pilotnih projektov na katerem koli kmetijskem zemljišču. Naročnik projekta mora biti ministrstvo, pristojno za energijo, ministrstvo, pristojno za kmetijstvo, oziroma ministrstvo, pristojno za znanost in inovacije, ter naročniki katerih namen je preučevanje sočasne proizvodnje električne energije z izrabo sončne energije in kmetijsko pridelavo ter

zagotavljanje strokovnih podlag za pripravo predpisov.

Investitor pilotnega projekta mora seznaniti ministrstvo, pristojno za kmetijstvo, z idejno zasnovo projekta ter ga seznanja s potekom projekta ter mu predloži vse ugotovitve in podatke, ki izhajajo iz izvajanja projekta.

Soglasje za postavitev AFV sistema investitor pridobi na podlagi vloge za izdajo soglasja, ki ga posreduje na ministrstvo, pristojno za kmetijstvo. Vloga mora vsebovati opis sistema s katerim izkazuje izpolnjevanje pogojev iz zakona, na podlagi katerega se ministrstvo, pristojno za kmetijstvo odloči ali so izpolnjeni pogoji za odobritev soglasja.

Ob primeru odstranitve AFV sistema se mora zemljišče vrniti v prvotno stanje, kakršno je bilo pred postavitvijo AFV sistema.

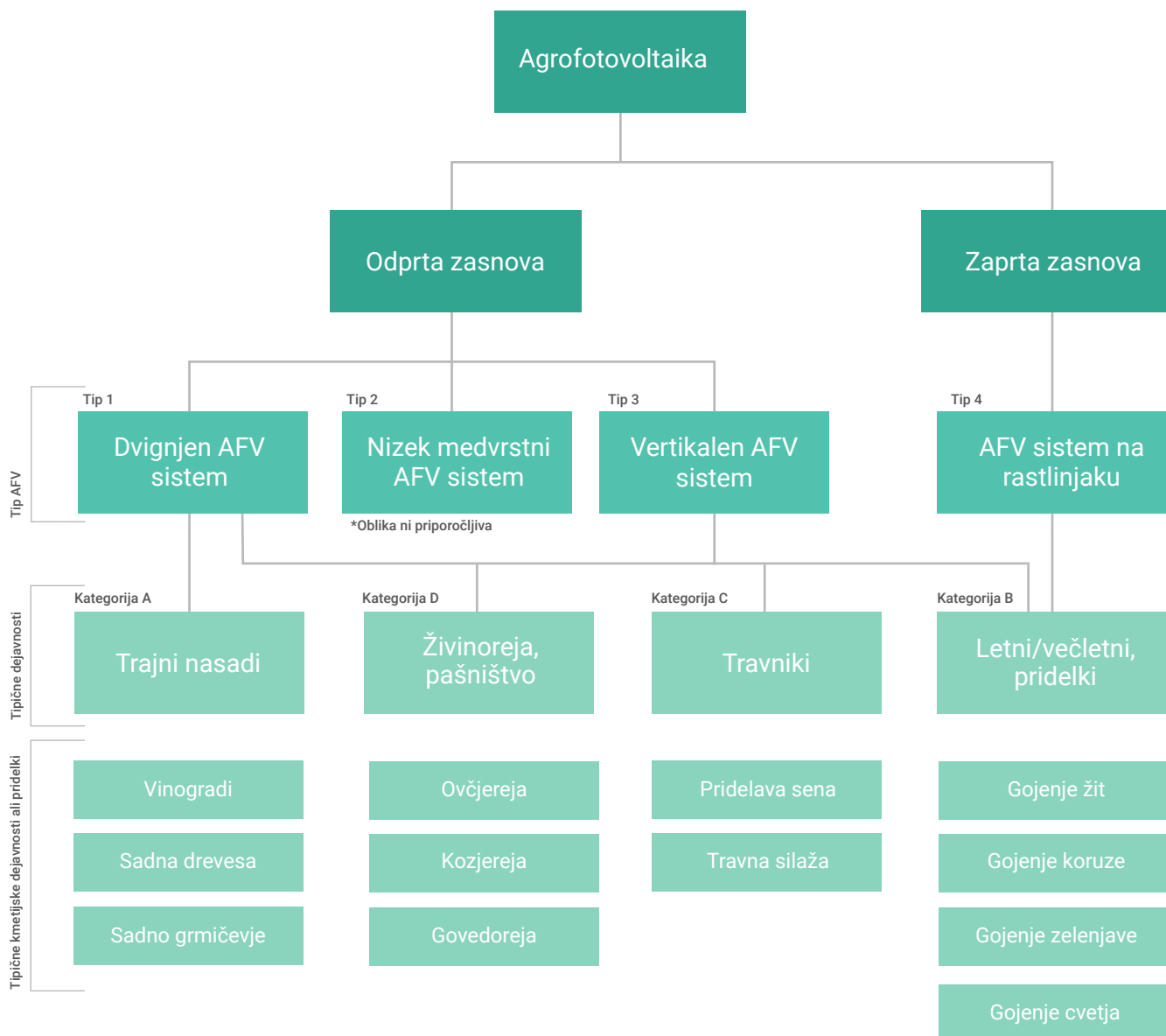
6 PREDLOGI ZA DOPOLNITEV ZAKONODAJE IN PRIPOROČILA

Za preudarno gospodarjenje s kmetijskim zemljiščem v kombinaciji z AFV sistemom je potrebno podrobno načrtovanje in podrobno obravnavo za vsak posamezen projekt. V ta namen so v nadaljevanju spisana priporočila in predlogi za dopolnitev zakonodaje umeščanja AFV sistemov v prostor.

6.1 DELITEV AFV SISTEMOV

AFV sistemi se razlikujejo po strukturi in možnost izvajanja kmetijskih dejavnosti pod PV moduli, predlaga se razdelitev AFV sistemov, kot je bilo to opisano že v začetku dokumenta in kar ponovno prikazuje Slika 26.

Slika 26 Razdelitev AFV sistemov



Predlagana je razdelitev AFV sistemov na 4 različne tipe:

- tip 1: dvignjen AFV sistem,
- tip 2: medvrstni AFV sistem,
- tip 3: vertikalni AFV sistem ,
- tip 4: AFV sistem na rastlinjaku.

Vsaka oblika različno vpliva na rastline pod FV moduli in prinaša določene omejitve pri obdelovanju zemlje. Nadaljnjo razdelitev AFV sistemov klasificiramo glede na kmetijsko dejavnost:

- kategorija A: trajni nasadi in vinogradi
- kategorija B: letni/več letni pridelki (žita, zelenjava, gomoljnice...)
- kategorija C: travniki
- kategorija D: živinoreja, pašništvo

6.1.1 Tip 1: dvignjen AFV sistem

Dvignjen AFV sistem omogoča nemoteno obdelavo tal, ščiti rastline pred vremenskimi vplivi in ustvari mikroklimo, ki je potencialno ugodna za rastline pod sistemom.

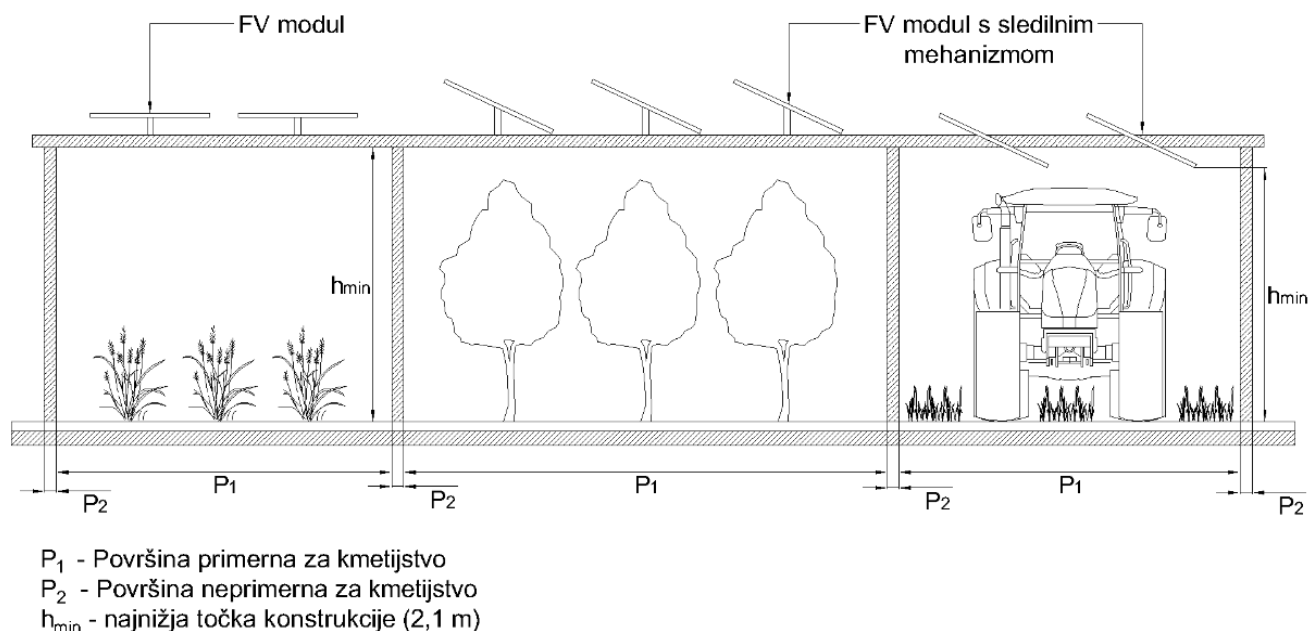
Dvignjen AFV sistem je sestavljen iz visoke konstrukcije, ki ne ovira strojnega obdelovanja zemlje, z nameščenimi FV moduli. FV moduli so lahko pritrjeni na konstrukcijo pod različnimi koti, pozicijami in z različno gostoto. Sistem je najbolj primeren za kmetijsko rabo vseh kategorij A in B, C in D.

Sistem lahko omogoča enosmerno ali dvosmerno sledenje modulov, kar optimizira izkoristek FV modulov in omogoča prilagajanje senčenja glede na potrebe rastlin.

Višino konstrukcije je v času načrtovanja potrebno prilagoditi rabi kmetijske površine, da bo omogočala nemoteno in varno strojno obdelovanje ter prehode ljudi in živali. Minimalne višine so:

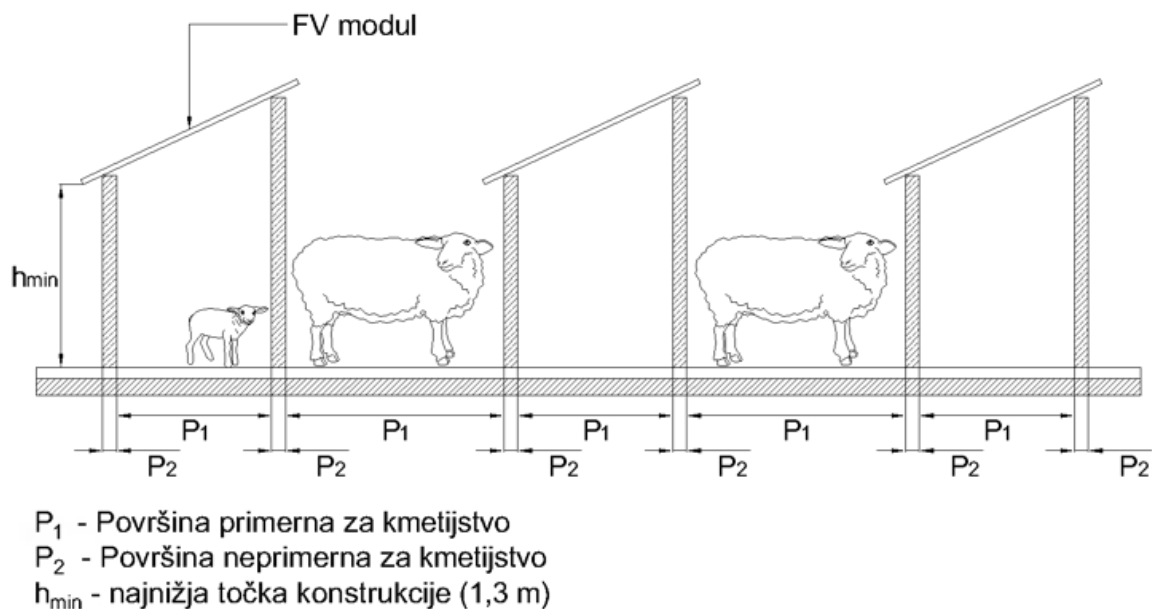
- Višina nad 2,10 m je potrebna za kategorije A in B (možna je tudi postavitve na kategoriji C, vendar je za to bolj primeren tip 3), zato da omogoča nemoteno strojno obdelovanje zemlje in fleksibilnost pri izbiri rastlin.

Slika 27 Skica AFV sistema tipa 1 z visoko konstrukcijo



- Višina nad 1,30 m je primerna za kategorijo D, da omogoča prehod živine pod konstrukcijo.

Slika 28 Skica AFV sistema tipa 1 z nizko konstrukcijo



Pri načrtovanju višine konstrukcije je potrebno predvideti rastline, ki bodo kultivirane pod AFV sistemom, npr. za gojenje drevesnih vrst višina 2,10 m ni zadostna za nemoteno rast rastlin. Pri rabi tal za namene pašništva je potrebno prilagoditi višino glede na predvidene živali, npr. pri kozjereji se je izkazalo, da je potrebno višino prilagoditi tako, da imajo živali onemogočen dostop na zgornjo stran modulov, kar lahko ogroža tako AFV sistem, kot živali.

FV panele je mogoče namestiti na enosmerno ali dvosmerno sledilno napravo, kar poveča izkoristek proizvodnje električne energije in omogoča prilagodljivo senčenje in ščitenje rastlin s spreminjanjem položaja modulov. Pri tem je potrebno poudariti, da se s tem poveča strošek investicije in vzdrževanja, kar je potrebno upoštevati pri donosnosti elektrarne.

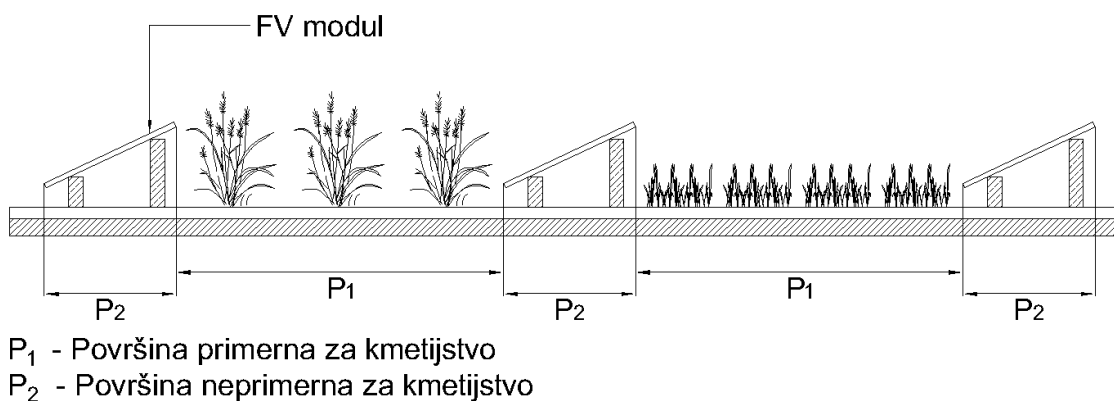
Za tip 1: dvignjen AFV sistem AFV sistem se ocenjuje od 400 do 800 kWp moči na hektar površine. Moč je odvisna od gostote razporeditve FV modulov. Gostota pa je odvisna od rastlin, ki se gojijo pod AFV sistemom.

6.1.2 Tip 2: medvrstni AFV sistem

Medvrstni AFV sistem je sestavljen iz FV na nizki konstrukciji, pod katero je onemogočeno obdelovanje zemlje, zato se kmetijske dejavnosti opravljajo med vrstami AFV sistema.

Takšna postavitve ni priporočljiva, saj s tem slabo izkoristimo površino in rastline nimajo koristi senčenja in zaštite, ki jo nudi tip 1.

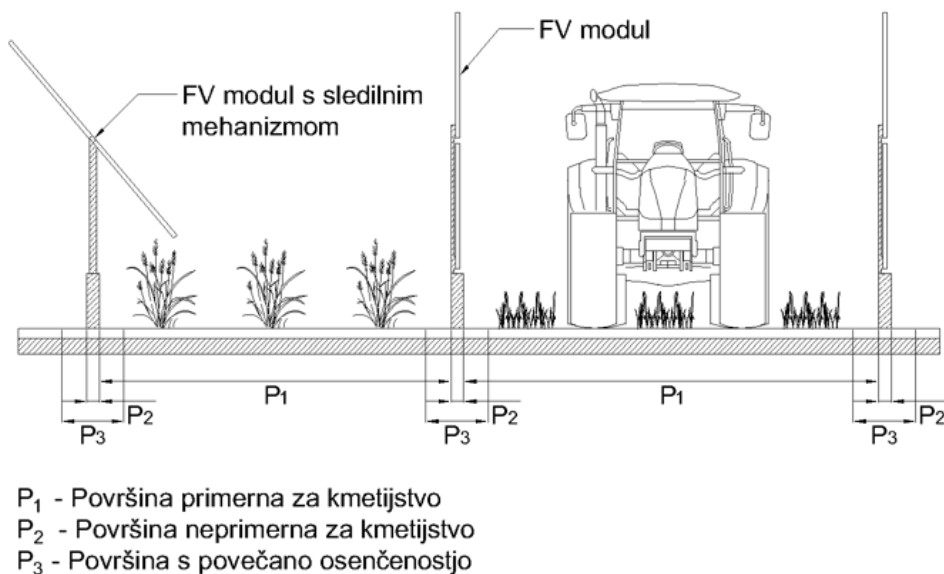
Slika 29 Skica AFV sistema tipa 2



6.1.3 Tip 3: vertikalni AFV sistem

Vertikalni AFV sistem je sestavljen iz pokončne konstrukcije in vertikalno postavljenih sončnih panelov. Prednost takšne postavitve je enostavnejša konstrukcija, kar izboljša donosnost investicije in s pravim razmakom med vrstami ne ovira obdelovanja površine.

Slika 30 Skica AFV sistema tipa 3



FV paneli v vertikalni umeritvi proizvedejo primerljivo količino električne energije v primerjavi z klasično vodoravno postavitvijo in usmeritvijo proti jugu. Priporočljivo je, da se uporabijo bifacialni FV moduli usmerjeni v smeri vzhod-zahod, s tem se izkoristi dopoldansko in popoldansko sonce. Vertikalna postavitve FV modulov je priporočljiva zaradi profila proizvodnje električne energije, saj je proizvodnja višja zjutraj in zvečer, tako je dobro ujema z odjemom električne energije. Še boljša je postavitve FV modulov z enoosnim sledilnim mehanizmom, s tem se proizvodnja električne energije poveča in se lahko prav tako prilagaja glede na odjem ali potrebe rastlin in obdelave zemlje.

Tip 3: vertikalni AFV sistem je primeren za kategorije B, C in D, pri čemer je potrebno upoštevati višino rastlin, da se prepreči prekomerno senčenje panelov. Vrste FVE je priporočljivo na določenih dolžinah prekiniti, da je omogočen nemoten prehod ljudem in živalim.

V fazi načrtovanja je med drugim potrebno določiti razmak med vrstami in višino konstrukcije, pri čemer se upošteva zahteve mehanizacije za obdelovanje zemlje, raba tal in vpliv senčenja med vrstami.

Za tip 3: vertikalni AFV sistem se ocenjuje maksimalna moč 470 kWp na hektar površine. Pri tem se upošteva, da so vrste na razmaku 10 metrov in z višino 2,4 metra.

6.1.4 Tip 4: AFV sistem na rastlinjaku

Strehe rastlinjakov je mogoče izkoristiti za namestitev FVE, kar omogoča proizvodnjo potrebne energije za ogrevanje, hlajenje in upravljanje rastlinjakov. Pri tem je ključno upoštevati vpliv senčenja, ki ga povzročajo elementi FVE, na donos rastlin.

Uporabijo se lahko klasični FV paneli, ki se namestijo na streho ali so integrirani v konstrukcijo rastlinjaka in nadomestijo klasično strešno konstrukcijo, pri čemer je potrebno upoštevati primerno gostoto namestitve. Druga možnost je uporaba konstrukcije z možnostjo sledenja, ki omogoča prilagajanje lokacije in naklona FV modulov, s čimer dosežemo optimalno razmerje med proizvodnjo energije in senčenjem rastlin. Tretja možnost je uporaba prosojnih FV panelov, ki omogočajo prehod svetlobe, medtem ko hkrati proizvajajo električno energijo.

Na podlagi že obstoječih AFV sistemov na rastlinjakih se ocenjuje maksimalna moč 1 MWp na hektar površine.

6.2 TEHNOLOGIJE FOTOVOLTAIČNIH MODULOV

Fotovoltaični (FV) moduli uporabni za agrofotovoltaiko so enaki, kot se uporabljajo na že uveljavljenih oblikah fotovoltaičnih elektrarn (FVE) (npr. na strehah stavb). Poleg klasičnih oblik se priporoča uporaba bifacialnih FV modulov, ki so sposobni proizvajati električno energijo z osvetljevanjem katerekoli strani modula in izrabe odbite svetlobe. Ker so moduli AFV sistemov dvignjeni od tal, je odbite svetlobe v večini

primerov dovolj, da se priporoča uporaba bifacialnih modulov.

Druga priporočena oblika modula je modul z določeno prosojnostjo. To je navadno doseženo s tem, da so celice znotraj modula razmaknjene. Moduli takšne oblike imajo manjšo moč na kvadratni meter, vendar s tem izboljšamo homogenost sočne svetlobe, ki doseže rastline. S tem se izognemo močno osenčenih točk na polju.

6.3 USMERITEV FV MODULOV IN SLEDILNI SISTEMI

Usmeritev fiksnih FV modulov je za Slovenijo najbolj primerna obrnitev proti jugu z naklonom od 20° do 25° stopinj. Tako FVE proizvede največ električne energije v poletnih mesecih. Druga možnost je vertikalna postavitve modulov proti vzhodu oziroma zahodu (priporočljiva uporaba bifacialnih modulov).

Sledilni mehanizmi so lahko izvedeni z eno ali dvema osema orientacije. To omogoča optimalno orientacijo FV modulov tekom leta in posameznega dneva. S tem se izkoristi čim več sončne svetlobe, ki je na voljo. Enosni sledilni mehanizmi lahko proizvedejo od 20 do 25 % več električne energije od fiksnih, dvoosni mehanizmi pa omogočajo do 30 % večje proizvodnje energije.

Sledilni mehanizmi prav tako omogočajo odmik FV modulov ob času strojnega obdelovanja, zato so lahko določene konstrukcije s sledilnim mehanizmom nižje. Sledilni mehanizem se lahko prilagodi potrebam rastlin in namesto optimalne usmeritve za proizvodnjo energije se prilagodi usmeritev za optimalno sončno obsevanje rastlin in modulov. Poleg tega lahko s spreminjanjem pozicije modulov bolje ščitimo rastline pred vremenskimi vplivi (premočno sonce, toča, veter...)

Sledilni mehanizem poveča samo kompleksnost AFV sistema, kar pomeni višje stroške investicije in višje stroške vzdrževanja ter slabšo zanesljivost, kar lahko kljub večji proizvodnji energije vpliva na donosnost investicije.

6.4 RAZPOLOŽLJIVOST SOČNE SVETLOBE

Razpoložljivost in homogenost sončne svetlobe na tleh je pomemben parameter, ki ga je potrebno upoštevati pri načrtovanju AFV sistema. Količina potrebne sončne svetlobe je odvisna od rastlin, ki so načrtovane, da se bodo gojile pod AFV sistemom. Za doseganje zadostne količine sončne svetlobe se prilagodi razmak med moduli oziroma vrstami modulov.

Za izračun površine senčenja tal se predlaga, da se konstrukcija upošteva kot popolno senčenje, med tem ko se za FV module količina senčenja (prosojnosti) prilagodi glede na tip modula in način montaže (sledilni sistem ali nepremična konstrukcija).

Za AFV sistem tip 1: dvignjen AFV sistem so raziskave pokazale, da je možno doseči bolj homogeno sončno

obsevanost s karirasto razporeditvijo FV modulov.

Za AFV sistem tip 3, je potrebno upoštevati senčna območja ob vrstah in na podlagi tega prilagoditi razdalje med vrstami, da imajo rastline dovolj sončne svetlobe. Slika 30 prikazuje senčna območja, ki so označena s P3. Ta so širine vsaj 0,5 m in se priporoča, da se ne obravnavajo kot površina primerna za kmetijstvo.

6.5 TIPI IN MATERIALI ZA TEMELJE AFV SISTEMA

Temelji AFV sistema morajo biti načrtovani tako, da imajo čim manjši vpliv na tla in sposobnost obdelovanja tal. V ta namen se priporoča uporaba točkovnih temeljev, ki niso betonski. Kjer podlaga to omogoča se predlaga uporabo jeklenih temeljnih vijakov, saj minimalno vplivajo na zemljo ob postavitvi sistema, ne ovirajo kmetijskega obdelovanja površine in so enostavno odstranljivi.

Odsvetuje se izvedbe kableske napeljave pod zemljo, saj lahko ta ovira kmetijske dejavnosti na zemlji. Priporoča je namestitev kabelskih povezav na kableske police nameščene na konstrukcijo AFV sistema. V primeru, da to ni mogoče se predlaga napeljava pod zemljo na globino najmanj 1 meter.

6.6 TEHNIČNE SPECIFIKACIJE AFV SISTEMOV

AFV sistemi morajo zadostiti osnovnim tehničnim zahtevam za kmetijsko proizvodnjo in proizvodnjo električne energije.

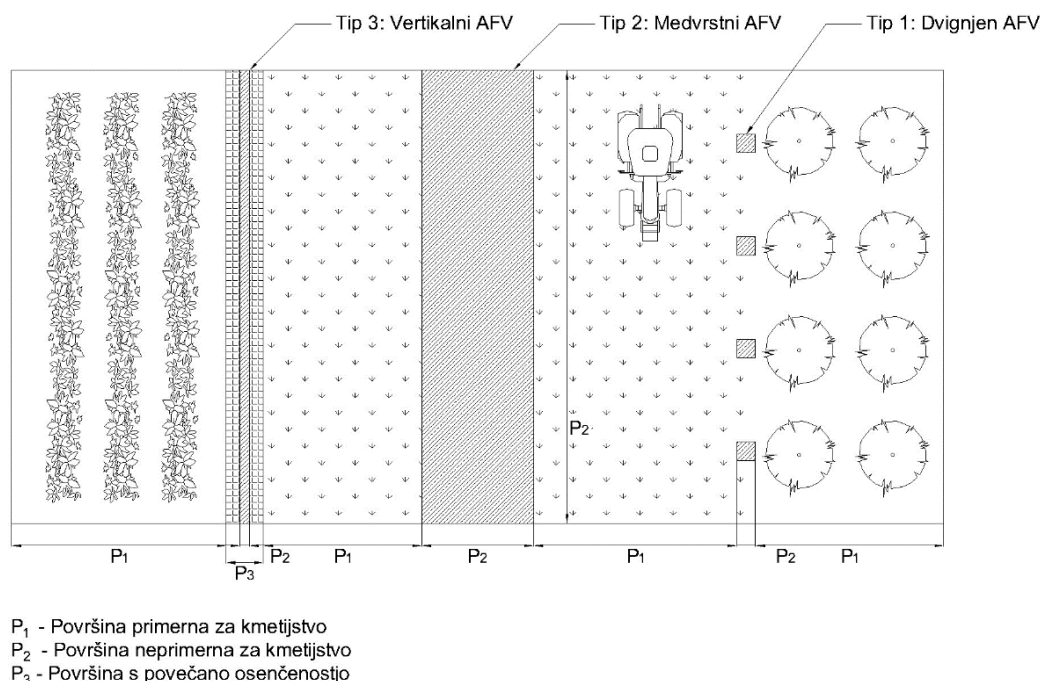
6.6.1 Minimalna višina konstrukcije

Oddaljenost od tal je tehnična zahteva za AFV sistem tip 1. Predlaga se minimalna višina 2,1 metra, pri čemer se ta višina zviša, glede na potrebe agrarnih dejavnosti in rastlin. Za namene kategorije D (živinoreja), je minimalna višina 1,3 metra, pri čemer se ta višina lahko zviša glede na potrebe živali in agrarne dejavnosti. Površina, kjer je AFV sistem višji oziroma enako visok kot minimalna višina, se šteje kot površina za agrarne dejavnosti.

6.6.2 Minimalna obdelovalna površina

S postavitvijo AFV sistemov se za agrarne dejavnosti uporablja površina, kjer je obdelava tal neovirana, te površine so prikazuje Slika 31 in so označene s P1. Ostali del površine je zaseden s konstrukcijo AFV sistema (temelji, stebri, deli konstrukcije nižje od minimalne višine) in na teh delih površine agrarna dejavnost ni mogoča, te površine so označene s P2 in P3 (zaradi prekomernega senčenja). Razvidno je, da najmanjšo površino zaradi visoke konstrukcije zaseda tip 1, med tem ko največjo zaseda tip 2, zato ta oblika ni priporočljiva.

Slika 31 Tloris AFV sistemov



Parameter minimalne površine je potreben za zagotavljanje nadaljnje obdelave zemlje pod AFV sistemom. Predlaga se, da je za postavitev AFV sistema potrebno ohraniti vsaj 80 % površine za agrarne namene.

6.6.3 Odstotek pokritosti površine s FV moduli

Za zagotavljanje kompatibilnosti med rastlinami in AFV sistemom, je potrebno zagotoviti dovolj sončnega obsevanja tal pod moduli. V ta namen se predlaga za tip 1, 2 in 3 parameter razmerje pokritosti tal (RPT) s PV moduli, ki opisuje, kolikšna je površina modulov glede na celotno površino AFV sistema.

- RPT – razmerje pokritosti tal
- S_{PV} – površina modulov
- S_{AFV} – površina, ki jo zaseda AFV sistem (površina med skrajnimi točkami sistema)

$$RPT = \frac{S_{PV}}{S_{AFV}} \cdot 100$$

S_{PV} se določi na podlagi tehnične dokumentacije FV modulov in se sešteje celotna površina modulov. S_{AFV} se določi v fazi načrtovanja in se upošteva celotna površina, ki jo zaseda konstrukcija AFV sistema.

Predlaga se, da je RPT največ 40 %, v primeru rastlin, ki potrebujejo več svetlobe je potrebna manj gosta postavitev FV modulov. Za boljšo določitev RPT je potreben pilotni projekt, ki bo analiziral vpliv AFV sistemov na rast različnih rastlin.

V primerih, kjer se uporabi transparentne (prosojne) module se to upošteva pri izračunu RPT. Transparentnost (prosojnost) se določi na podlagi tehničnih podatkov FV modulov.

$$RPT = \frac{S_{PV} \cdot (1 - \text{transp.})}{S_{AFV}} \cdot 100$$

- RPT – razmerje pokritosti tal
- S_{PV} – površina modulov
- transp. – prosojnost FV modulov
- S_{AFV} – površina, ki jo zaseda AFV sistem (površina med skrajnimi točkami sistema)

6.6.4 Referenčno območje

Zaradi novosti AFV sistemov na ozemlju Slovenije je njihov vpliv še dokaj nepoznan in izkušenj z njimi je malo. Zaradi tega, se priporoča v prvih letih od postavitve uporabljati referenčno območje z vsaj 1000 m² obdelovalne površine za kategorije A, B in C, saj se s tem lahko bolje primerja uspešnost rastja AFV sistema in se ta po morebitni potrebi prilagodi.

6.7 NADZOROVANJE AFV SISTEMA

Raziskave so pokazale, da AFV sistemi omogočajo boljše izkoriščanje vode za rastline, saj FVE preprečuje izhlapevanje vode. Poleg tega ščiti rastline pred vročinskimi vali, točo in sušo. Zaradi rastlin se poveča izkoristek FVE, saj so FV moduli bolj hlajeni in manj zaprašeni, kar je pogost problem pri talno nameščenih FVE. Rastline prav tako odbijajo več svetlobe kar dodatno poveča proizvodnjo FVE, še posebej pri bifacialnih modulih.

Za boljšo spoznavnost AFV sistema, je potrebno nadzorovati in meriti različne parametre, ki jih lahko delimo na meritve FVE in meritve agrarne proizvodnje.

Merilne naprave morajo samodejno pošiljati meritve na poenoteno platformo, kjer je možno rezultate

analizirati, shraniti, vizualizirati...

Priporoča se, da v primeru subvencioniranja AFV sistemov, je pogoj za pridobitev subvencije vključitev celostne merilne instrumentarije za agrarno proizvodnjo. S tem bi se pridobilo koristne podatke, na podlagi katerih se lahko oblikuje nadaljnja priporočila za postavitev AFV sistemov, na podlagi izkušenj.

6.7.1 MERITVE FOTOVOLTAIČNE ELEKTRARNE

Meritve proizvodnje električne energije so potrebne za osnovno delovanje FVE elektrarne. Poleg tega se meritve lahko uporabljajo za boljše razumevanje delovanja celotnega AFV sistema, z agrarno dejavnostno in proizvodnjo električne energije. Merilni sistem FVE omogoča:

- Meritve proizvedene električne energije,
- Napovedovanje proizvodnje električne energije,
- Ocenjevanje vremenskega vpliva na proizvodnjo električne energije
- Predhodna napoved napak v sistemu in spremljanje učinkovitosti sistema

Poleg meritev proizvedene električne energije so priporočene druge merilne naprave, saj je trenutno na razpolago malo meritev za AFV sisteme in zato je poznavanje vplivov AFV sistema omejeno. Priporočeni dodatni merilni parametri so

- hitrost in smer vetra,
- temperature na različnih višinah,
- meritev sončne obsevanosti (odbite in direktne svetlobe),
- meritev orientacije sistema.

6.7.2 MERITVE AGRARNE PROIZVODNJE

Za zagotavljanje optimalnih razmer rastlinam pod AFV sistemom je priporočljiva namestitev merilnih naprav. S pametnim merilnim sistemom je mogoče natančneje napovedati potrebe namakanja in gnojenja tal. S tem se zmanjša količina porabljene vode za namakanje. Za dobro spoznavnost se priporoča meritev naslednjih parametrov:

- temperaturo ozračja na različnih višinah,
- vlažnost ozračja,

- hitrost vetra,
- temperaturo zemlje,
- pH zemlje,
- vlažnost zemlje,
- pretok vode v namakalnem sistemu,
- sončno obsevanost.

6.8 ZAJEM VODE IN NAMAKALNI SISTEMI

Za možnost uporabe površine za kmetijske dejavnosti je potrebno zagotoviti enakomerno porazdelitev padavinske vode na rastline pod sistemom AFV. To je lahko zagotovljeno z naravnimi padavinami, v tem primeru je treba opraviti oceno potreb po vodi pridelka in tipičnih podnebnih razmer na lokaciji. Za boljši izkoristek vode in posledično manjšo porabo se priporoča namestitev namakalnega sistema po celotni površini, ki je namenjena za kmetijsko dejavnost.

Pod sončnimi paneli se priporoča namestitev sistema za zajemanje deževnice. S tem se poveča neodvisnost od padavin in zmanjša porabo vode iz lokalnih virov. To je še posebej koristno na območjih, kjer je težje namestiti dovod vode ali če kmetijska dejavnost zahteva večje količine vode. Poleg tega se s tem izognemo pojavu kapljičnega roba in razprševanja zemlje, kar povzroča erozijo, zmanjša homogeno razporeditev vode

7 PILOTNI PROJEKT

V času globalnih izzivov, s katerimi se sooča Slovenija, od okoljskih sprememb do tehnološke transformacije, je bistveno, da država razume in prilagodi svoje strategije za obvladovanje teh sprememb. Pilotni raziskovalni projekti so ključnega pomena pri prepoznavanju, kako se najboljše odzvati na te izzive in optimizirati rezultate za slovensko prebivalstvo.

AFV sistemi v slovenskem okolju so novost in so za Slovenijo nepoznani. V ta namen se priporoča postavitve pilotnega AFV sistema, kjer se konstruirajo AFV sistemi tip 1: dvignjen AFV sistem (visoki in nizki), tip 3: vertikalni AFV sistem in tip 4 AFV sistem na rastlinjaku. Pilotni AFV sistem bi bilo potrebno upravljati več let, s tem bi se pridobilo vredne izkušnje in izmerjene podatke, na podlagi katerih se lahko v prihodnosti prilagodi priporočila in zakonodajo za postavitve AFV sistemov. Cilj pilotnega projekta je optimizirati proizvodnjo kmetijskih pridelkov in električne energije.

Za tip 1: dvignjen AFV sistem se predlaga, da se postavi visoka konstrukcija na rabi tal kategorije A in B ter nizka konstrukcija na rabi tal kategorije D. AFV sistem se opremi z zajemom vode, namakalnim sistemom in celostnim merilnim sistemom. Za tip 3: vertikalni AFV sistem se predlaga, da se postavi na rabi tal C. Za vse rabe tal se priporoča uporaba referenčnega območja, ki naj bo opremljeno z namakalnim in merilnim sistemom agrarne proizvodnje.

Pilotni projekt bi pridobljene izkušnje in podatke delil z javnostjo, kar bi omogočalo boljše sprejemanje AFV sistemov javnosti in spodbudilo zanimanje za investicije. Vsekakor pa je veliko več razlogov zakaj je nujno, da država Slovenija podpre idejo o izvedbi pilotnega projekta AFV. Kot vemo iz izkušenj je pred širšo implementacijo določenih rešitev ali politik nujno preveriti njihovo učinkovitost v manjšem, kontroliranem okolju. Pilotni projekti omogočajo razumevanje potencialnih stroškov, slabosti in koristi določene pobude. Slovenija je država, ki leži na določenem geografskem področju sveta, kar pomeni, da imamo kot država in skupnost svoje edinstvene lastnosti. Pilotni projekt AFV bo pomagal prilagoditi globalne rešitve lokalnim potrebam. Iz izkušenj s pilotnimi projekti vemo, da tovrstni projekti lahko služijo tudi kot platforma za vključevanje lokalne skupnosti, zbiranje povratnih informacij in gradnjo zaupanja med deležniki.

8 OCENA POTENCIALA AGROFOTOVOLTAIKE V SLOVENIJI

V nadaljevanju je bila opravljena analiza potenciala AFV v Sloveniji, glede na GIS podatke o površinah kmetijskih zemljišč v Sloveniji. Podatki so bili pridobljeni od Agencije Republike Slovenije za okolje [12], Geodetske oprave Republike Slovenije [13] in Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano [14]. Opravile so se analize za različne oblike AFV sistemov z upoštevanjem primernih kmetijskih zemljišč za določen AFV sistem.

8.1 GENERALNA OCENA POTENCIALA

V prvem delu raziskave so se za potencial upoštevala vsa kmetijska zemljišča primerna za AFV sisteme, brez upoštevanja bonitetnih ocen ali zavarovanih območji. Slika 32 prikazuje kmetijska zemljišča v Sloveniji.

Slika 32 Kmetijska zemljišča v Sloveniji

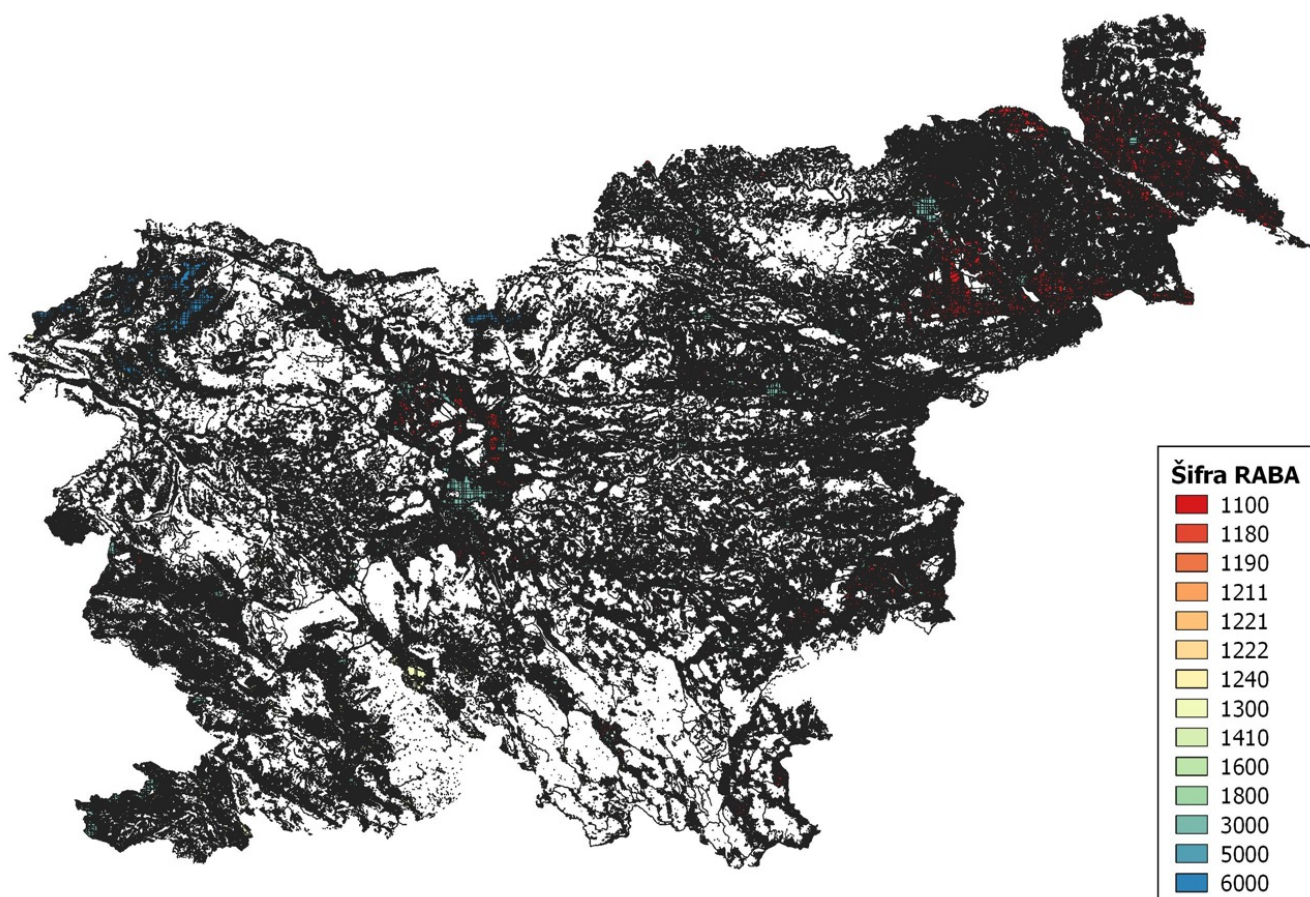


Tabela 3 prikazuje razporeditev kmetijskih zemljišč po dejanski rabi, s številom parcel in skupne površine.

Tabela 3 Površine kmetijskih zemljišč

Skupina dejanske rabe	Šifra dejanske rabe	Število parcel	Skupna površina (ha)
Njiva	1100	244.796	178.693
Trajne rastline na njivskih površinah	1180	1.252	378
Rastlinjak	1190	4.161	196
Vinograd	1211	47.813	16.428
Intenzivni sadovnjak	1221	8.387	4.512
Ekstenzivni oz, travniški sadovnjak	1222	104.730	28.042
Ostali trajni nasadi	1240	6.089	405
Trajni travnik	1300	339.096	344.251
Kmetijsko zemljišče v zaraščanju	1410	167.600	23.971
Neobdelano kmetijsko zemljišče	1600	150.325	16.908
Kmetijsko zemljišče, poraslo z gozdnim drevjem	1800	23.056	10.587
Pozidano in sorodno zemljišče	3000	188.643	114.757
Suho, odprto zemljišče s posebnim rastlinskim pokrovom	5000	15.283	18.020
Odprto zemljišče brez ali z nepomembnim rastlinskim pokrovom	6000	3.972	12.545

Pri oceni so se upoštevale površine glede na dejansko rabo:

- Tip 1: Njiva, Trajne rastline na njivskih površinah, Vinograd, Intenzivni sadovnjak, ekstenzivni oziroma travniški sadovnjak, ostali trajni nasadi
- Tip 3: Trajni travnik, kmetijsko zemljišče v zaraščanju, neobdelano kmetijsko zemljišče
- Tip 4: Rastlinjaki

Ostala kmetijska zemljišča s šifro dejanske rabe 3000, 5000 in 6000 se v oceni za potencial AFV sistemov niso upoštevala, saj niso primerna za kmetijske dejavnosti. Kljub temu pa imajo ta zemljišča potencial za postavitev FVE.

Za ocene potenciala se uporablja različna moč na hektar glede na tip AFV sistema:

	Tip 1	Tip 3	Tip 4
Ocenjena maksimalna moč na hektar površine [kWp/ha]	800	470	1000

Maksimalne moči so bile ocenjene na podlagi:

- Tip 1: dvignjen AFV sistem– razmerje pokritosti tal (RPT) je 40 %
- Tip 3: vertikalni AFV sistem– vrste razmaknjene na 10 m in višine 2,4 m
- Tip 4: AFV sistem na rastlinjaku– glede na že postavljene AFV sisteme na rastlinjaki

8.1.1 Rezultati

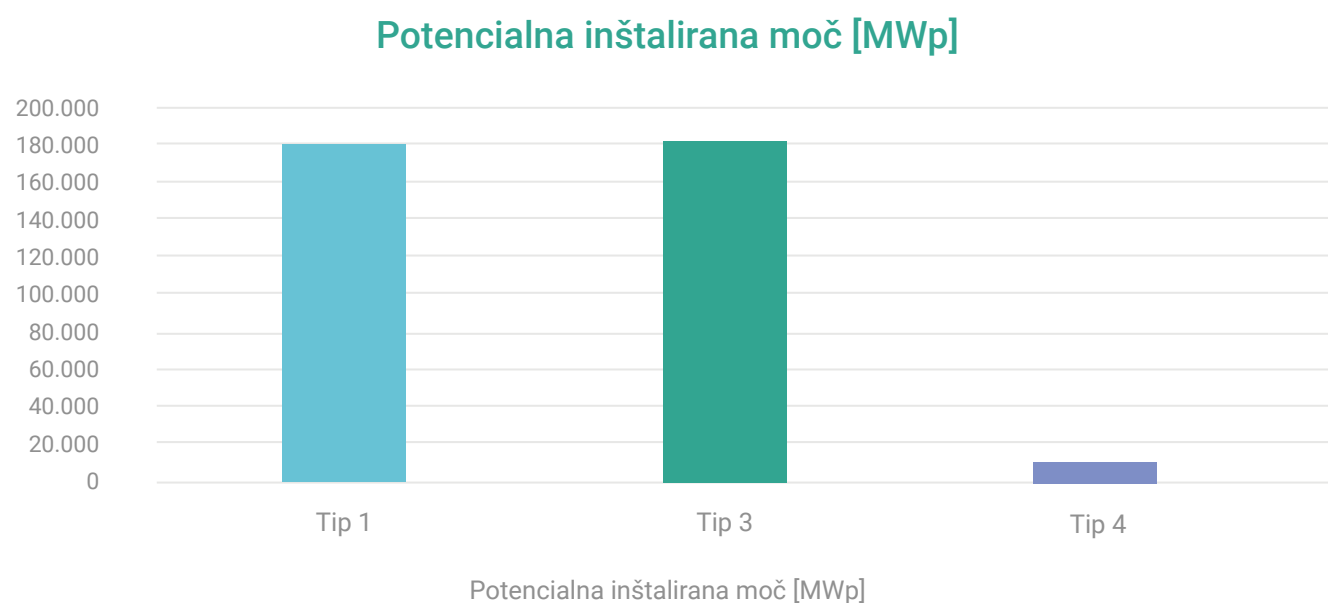
V prvem delu raziskave so bili opravljeni izračuni potenciala za vsa kmetijska zemljišča brez omejitev. Tabela 4 prikazuje količino kmetijskih površin primernih za različne tipe elektrarn in izračunan potencial.

Tabela 4 Ocena potenciala za vsa kmetijska zemljišča

	Tip 1	Tip 3	Tip 4	Skupni potencial [MWp]
Število parcel	413.067	657.021	4.161	363.974
Skupna površina [ha]	228.458	385.130	196	
Potencialna inštalirana moč [MWp]	182.767	181.011	196	

Slika 33 prikazuje izračunan potencial za posamezne tipe AFV sistemov za vsa kmetijska zemljišča.

Slika 33 Graf ocene potenciala za vsa kmetijska zemljišča



Iz grafa na Slika 33 je razvidno, da je potenciala za tip 1: dvignjen AFV sistem in tip 3: vertikalni AFV sistem približno enako, kljub temu, da je za tip 3: vertikalni AFV sistem maksimalna moč na hektar manjša. Potenciala za tip 4: AFV sistem na rastlinjaku je najmanj, saj vključuje samo parcele z rastlinjakom, ki jih v Sloveniji ni veliko. Skupni potencial znaša 364 GWp. Z izkoristkom samo 3 % potenciala oziroma 18.000 hektarjev, se ocenjuje, da bi se proizvedla letna količina porabljene električne energije v Sloveniji.

8.2 OCENA POTENCIALA ZA ZEMLJIŠČA Z BONITETNO OCENO 35 ALI MANJ IN IZRAČUN GLEDE NA TRENUTNO ZAKONODAJO

V nadaljevanju je bila opravljena študija potenciala za kmetijska zemljišča z bonitetno oceno 35 ali manj. Poleg tega je bil opravljen izračun glede na trenutni zakon, ki dovoljuje postavitve AFV sistema na trajne travnike z bonitetno oceno nižjo ali enako 35 točk in na vsa kmetijska zemljišča v zaraščanju. Slika 34 prikazuje kmetijska zemljišča, ki ustrezajo trenutnim kriterijem. Opazimo, da je največ parcel, ki ne ustrezajo trenutnim kriterijem v osrednji Sloveniji, Podravski regiji, Pomurski regiji in na Dolenjskem ter na območju Vipavske doline.

Slika 34 Kmetijska zemljišča z bonitetno oceno manj ali enako 35



8.2.1 Rezultati

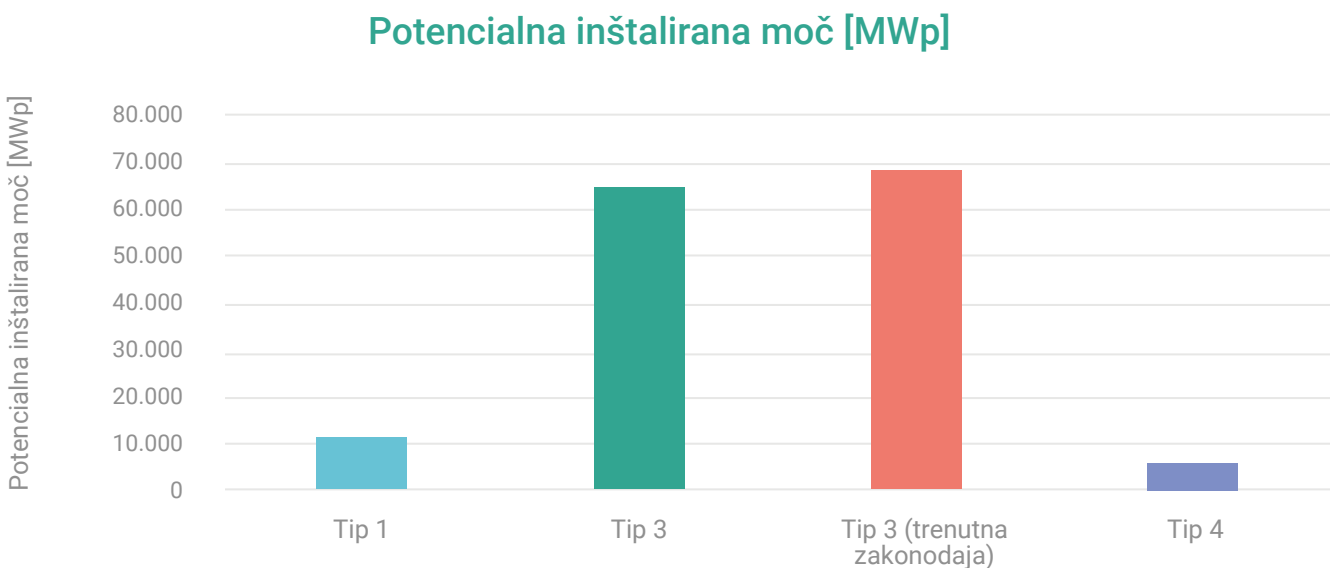
Tabela 5 prikazuje oceno potenciala za kmetijska zemljišča z bonitetno oceno 35 ali manj in oceno po trenutni zakonodaji.

Tabela 5 Ocena potenciala za kmetijska zemljišča z bonitetno oceno 35 ali manj

	Tip 1	Tip 3	Tip 4	Skupni potencial [MWp]	Tip 3 (trenutna zakonodaja)
Skupna površina [ha]	13.499	134.972	7	74.243	145.005
Potencialna inštalirana moč [MWp]	10.799	63.437	7		68.152

Slika 35 prikazuje izračunan potencial za posamezne tipe AFV sistemov kmetijska zemljišča z bonitetno oceno 35 ali manj in potencial po trenutni zakonodaji.

Slika 35 Graf ocene potenciala za kmetijska zemljišča z bonitetno oceno 35 ali manj



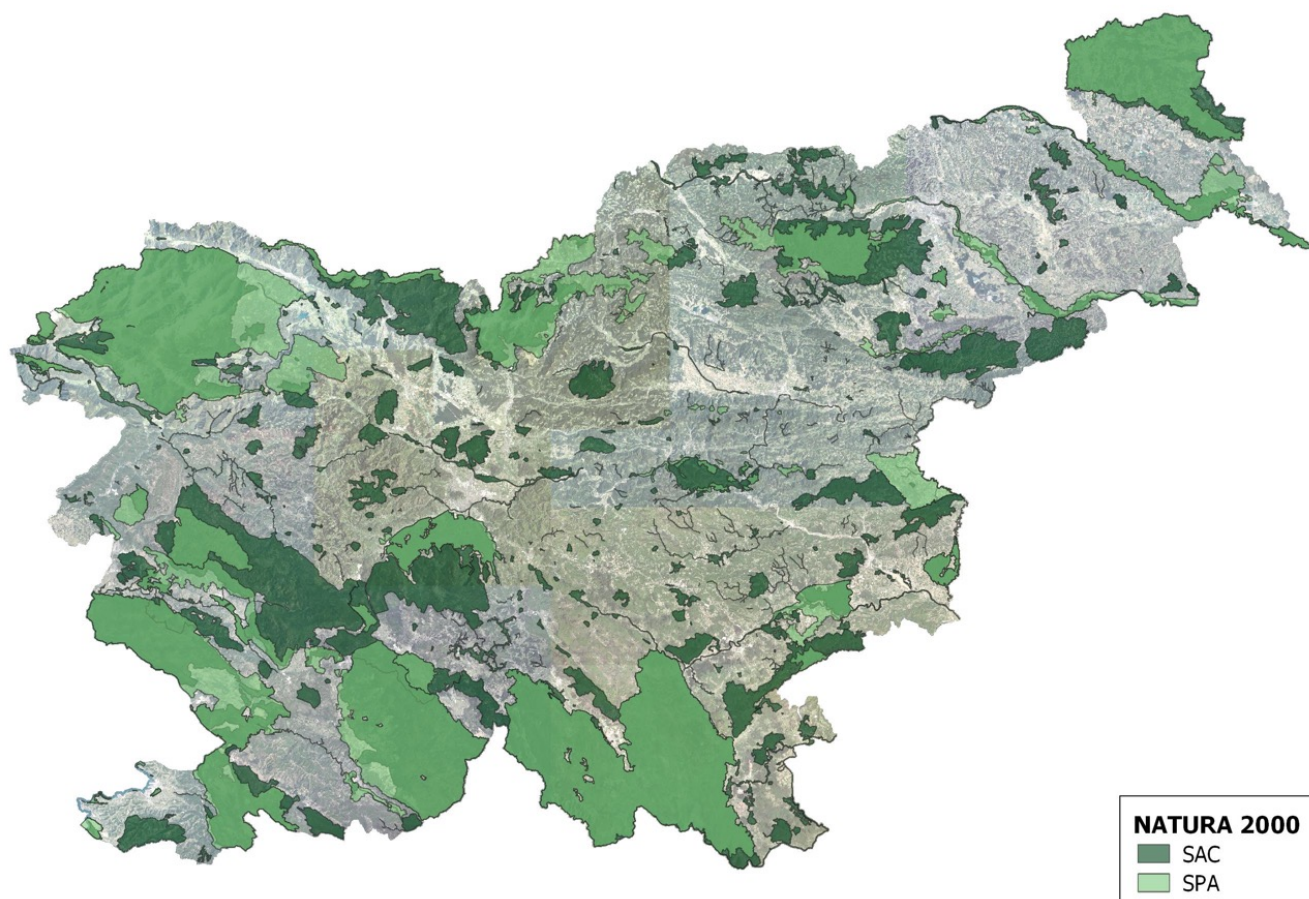
Kmetijskih zemljišč, ki so primerna za tip 1: dvignjen AFV sistem in z bonitetno oceno manj kot 35 je le 6 %, kljub temu je skupnega potenciala z upoštevanjem vseh tipov AFV 74 GWp. Ob upoštevanju trenutne zakonodaje se potencial ocenjuje na 68 GWp.

Slovenija ima cilj do leta 2030 proizvesti 43,3 % električne energije iz obnovljivih virov. V letu 2021, je bilo iz obnovljivih virov proizvedene 35 % električne energije [15]. Za doseg ciljev s sončnimi elektrarnami od isti porabi, bi morali inštalirati približno 0,99 GWp FVE. Z izkoriščanjem AFV sistemov bi po trenutni zakonodaji bilo potrebno izkoristiti le 1,5 % površin oziroma 2175 hektarjev (travniki z bonitetno oceno manj ali enako 35 točk in kmetijska zemljišča v zaraščanju), za doseg cilja.

8.3 OCENA POTENCIALA ZA VSA KMETIJSKA IZVEN OBMOČJI NATURE 2000

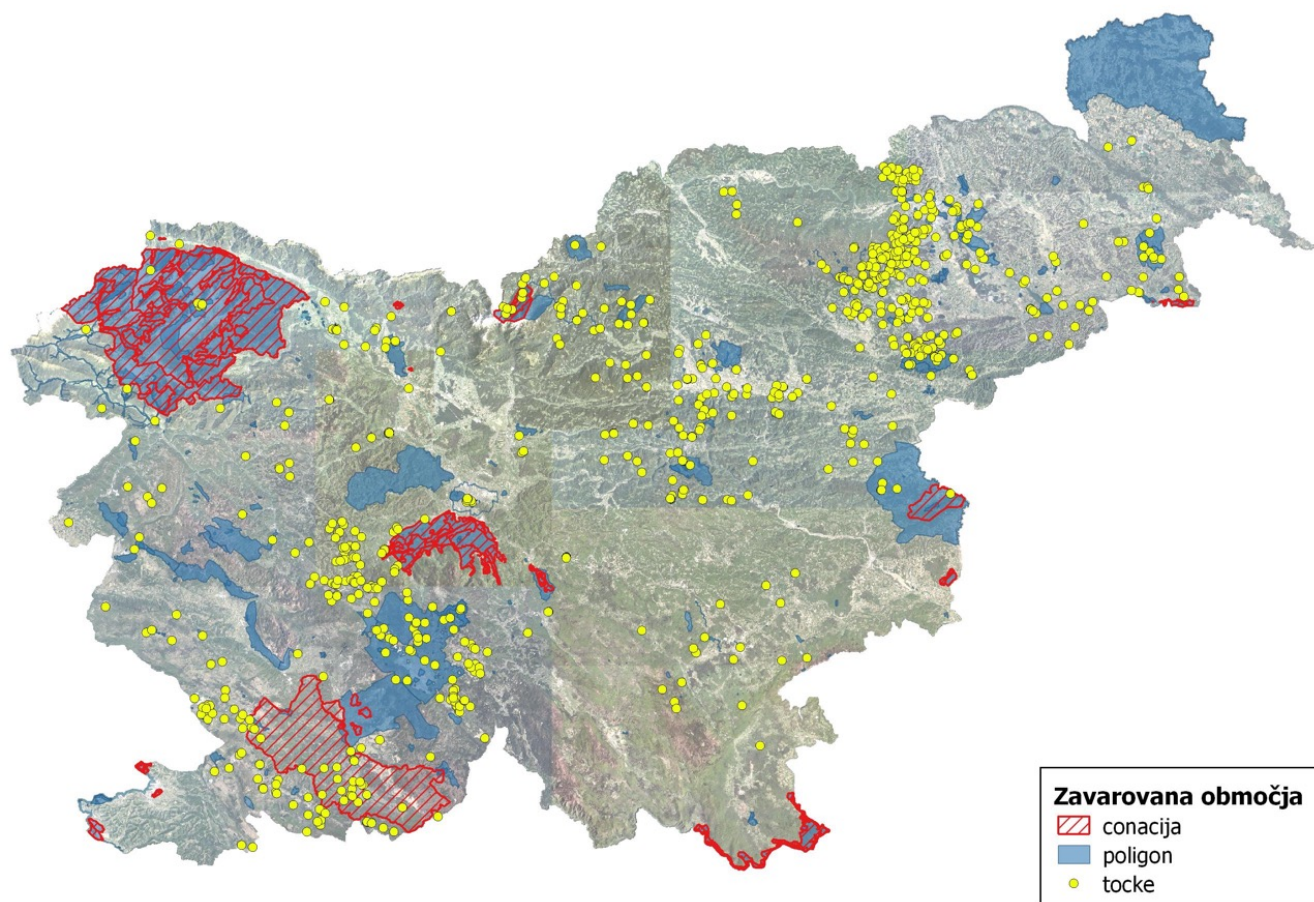
Naslednja študija je obravnavala vsa kmetijska zemljišča v Sloveniji, razen tista, ki so znotraj zaščitenih območji Nature 2000. Slika 36 prikazuje območja, ki spadajo pod Naturo 2000 v Sloveniji.

Slika 36 Območja v Naturi 20000



Slika 37 prikazuje druga zavarovana območja v Sloveniji, ki so bila upoštevana pri izračunu.

Slika 37 Druga zavarovana območja



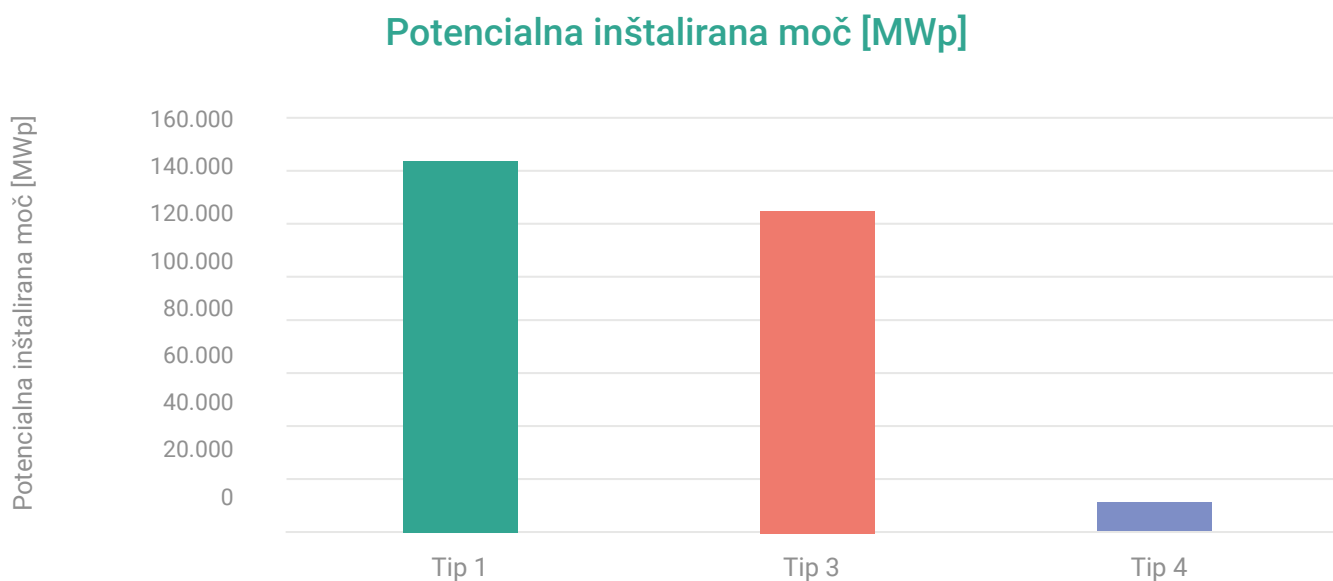
8.3.1 Rezultati

Tabela 6 prikazuje izračunane vrednosti potenciala AFV sistemov ob upoštevanju vseh kmetijskih zemljišč, ki so izven Nature 2000

Tabela 6 Ocena potenciala ob upoštevanju vseh kmetijskih zemljišč izven Nature 2000

	Tip 1	Tip 3	Tip 4	Skupni potencial [MWp]
Število parcel	413.067	657.021	4.161	268.542
Skupna površina [ha]	180.368	263.985	174	
Potencialna inštalirana moč [MWp]	144.295	124.073	174	

Slika 38 Grafični prikaz potenciala za vsa kmetijska zemljišča izven Nature 2000



Slika 38 je razvidno, da je potenciala izven zavarovanih območji še zmeraj veliko. V primerjavi z izračunom za vsa kmetijska zemljišča, je potenciala za 26,2 % manj. V primerjavi z izračunom ob upoštevanju kmetijskih zemljišč z boniteto do 35, pa je potencial večji za 326 %. Torej, v primeru, da bi zakonodaja puščala postavitev AFV sistemov na vsa kmetijska zemljišča izven zavarovanih območji, bi z izkoristkom 1250 hektarjev (ob upoštevanju 0.8 MWp na hektar površine, oziroma ocenjeno moč tipa 1: dvignjen AFV sistem) oziroma 0,4 % površin dosegli cilje o proizvodnji električne energije iz OVE.

8.4 OCENA POTENCIALA ZA ZEMLJIŠČA Z BONITETNO OCENO 35 ALI MANJ IN IZRAČUN GLEDE NA TRENUTNO ZAKONODAJO BREZ OBMOČJI ZNOTRAJ NATURE 2000 TER DRUGIH ZAVAROVANIH OBMOČJI

V nadaljevanju je bila opravljena enaka študija z upoštevanjem kmetijskih zemljišč z bonitetno oceno manj od 35, ki so izven območji Nature 2000 ter drugih zavarovanih območji. Slika 39 prikazuje površine ki ustrezajo kriterijem v tokratnem izračunu. Poleg tega je bila opravljen še izračun po trenutni zakonodaji za območja izven zavarovanih območji

Slika 39 Grafični prikaz kmetijskih zemljišč z bonitetno oceno 35 ali manj brez območji znotraj Nature 2000



8.4.1 Rezultati

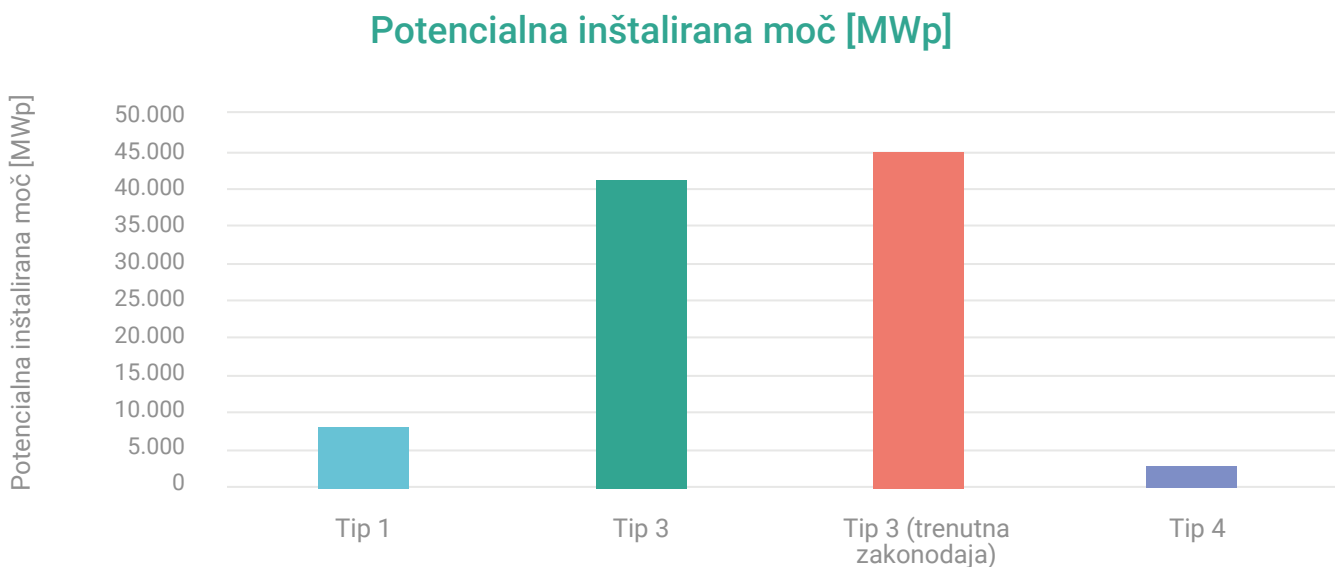
Tabela 7 prikazuje oceno potenciala za kmetijska zemljišča z bonitetno oceno 35 ali manj brez območji znotraj Nature 2000 ter drugih zavarovanih območji in oceno po trenutni zakonodaji prav tako brez območji znotraj Nature 2000.

Tabela 7 Ocena potenciala za kmetijska zemljišča z bonitetno oceno 35 ali manj brez območji znotraj Nature 2000

	Tip 1	Tip 3	Tip 4	Skupni potencial [MWp]	Tip 3 (trenutna zakonodaja)
Skupna površina [ha]	10.606	88.550	6	50.110	96.360
Potencialna inštalirana moč [MWp]	8.485	41.619	6		45.289

Pri upoštevanju zavarovanih območji se skupni potencial zmanjša za 32,5 % v primerjavi z prejšnjim izračunom. Ob upoštevanju trenutne zakonodaje pa se potencial zmanjša za 33,5 %. Največ zavarovanih območji z bonitetno oceno manj kot 35 je travnikov in kmetijskih zemljišč v zaraščanju.

Slika 40 Graf ocene potenciala za kmetijska zemljišča z bonitetno oceno 35 ali manj brez območji znotraj Nature 2000 ter drugih zavarovanih območji

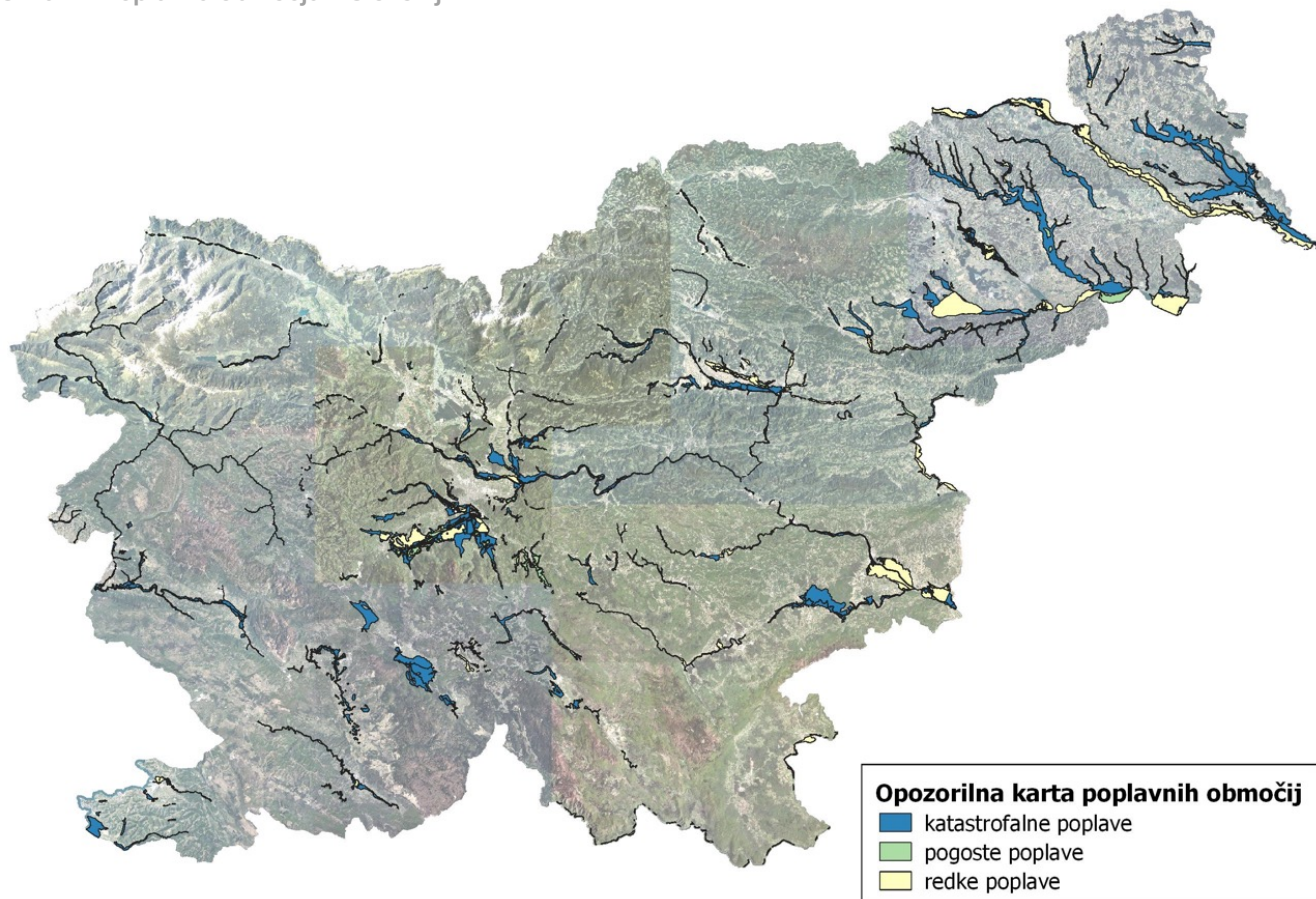


Slika 40 prikazuje graf izračunov ob upoštevanju zaščitene območji. Razporeditev potenciala po tipih elektrarn ostaja podobna, kot v prejšnjem primeru. Za dosego ciljev Slovenije o proizvodnji električne energije iz obnovljivih virov do leta 2030, bi morali za AFV sisteme nameniti 4,8 % zemljišč oziroma 2175 hektarjev izven Nature 2000 ter drugih zavarovanih območji, ob upoštevanju trenutne zakonodaji (travniki z bonitetno oceno nižjo od 35 in kmetijska zemljišča v zaraščanju).

8.5 OCENA POTENCIALA ZA ZEMLJIŠČA IZVEN NATURE 2000 TER DRUGIH ZAVAROVANIH OBMOČJI IN POPLAVNIH OBMOČJI

Zaradi obsežnih avgustovskih poplav v letu 2023, se boljše zavedamo, da je gradnja znotraj poplavnih območji nevarna. Zato je bila v naslednjem delu opravljena analiza za kmetijska zemljišča izven Nature 2000 ter drugih zavarovanih območji in poplavnih območji. Slika 41 prikazuje poplavna območja v Sloveniji.

Slika 41 Poplavna območja v Sloveniji



8.5.1 Rezultati

Tabela 8 prikazuje oceno potenciala za kmetijska zemljišča izven Nature 2000 in poplavnih območji.

Tabela 8 Ocena potenciala za kmetijska zemljišča izven Nature 2000 in poplavnih območji

	Tip 1	Tip 3	Tip 4	Skupni potencial [MWp]
Skupna površina [ha]	157.645	250.636	155	244.070
Potencialna inštalirana moč [MWp]	126.116	117.799	155	

Iz rezultatov je razvidno, da se ob upoštevanju poplavnih območji potencial zmanjša za 9,1 %. Kljub temu, je potenciala 244-krat več, kot pa ga je potrebnega za uresničenje ciljev o proizvodnji električne energije iz OVE.

8.6 OCENA POTENCIALA ZA KMETIJSKA ZEMLJIŠČA DO BONITETE 35 IZVEN NATURE 2000 TER DRUGIH ZAVAROVANIH OBMOČJI IN POPLAVNIH OBMOČJI

V zadnjem izračunu so bila upoštevana kmetijska zemljišča do bonitete 35, ki so izven zavarovanih območji, Nature 2000 in poplavnih območji. Slika 42 prikazuje kmetijska zemljišča, ki ustrezajo trenutnim kriterijem.

Slika 42 Prikaz kmetijskih zemljišč do bonitete 35 izven Nature 2000 ter drugih zavarovanih območji in poplavnih območji

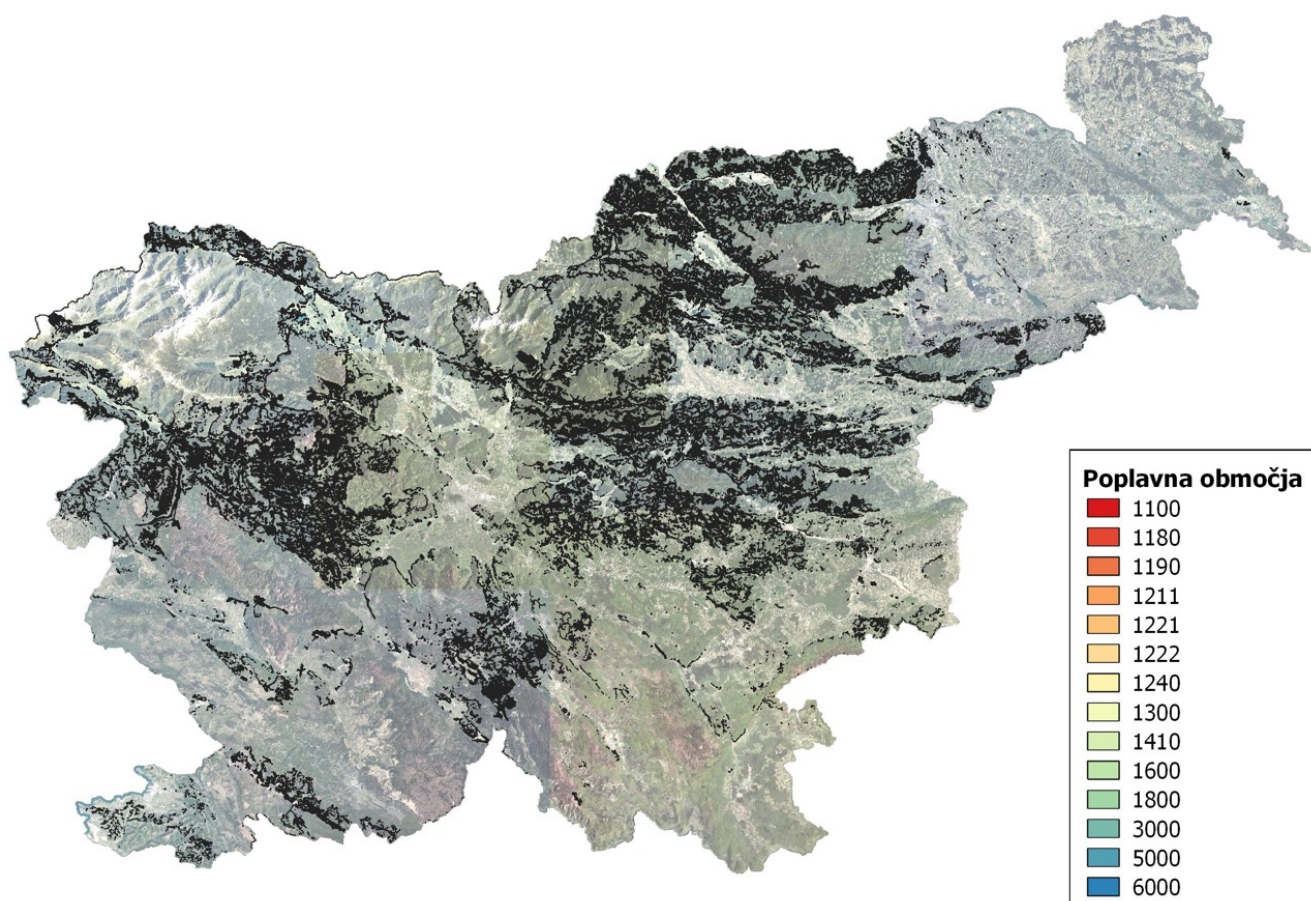
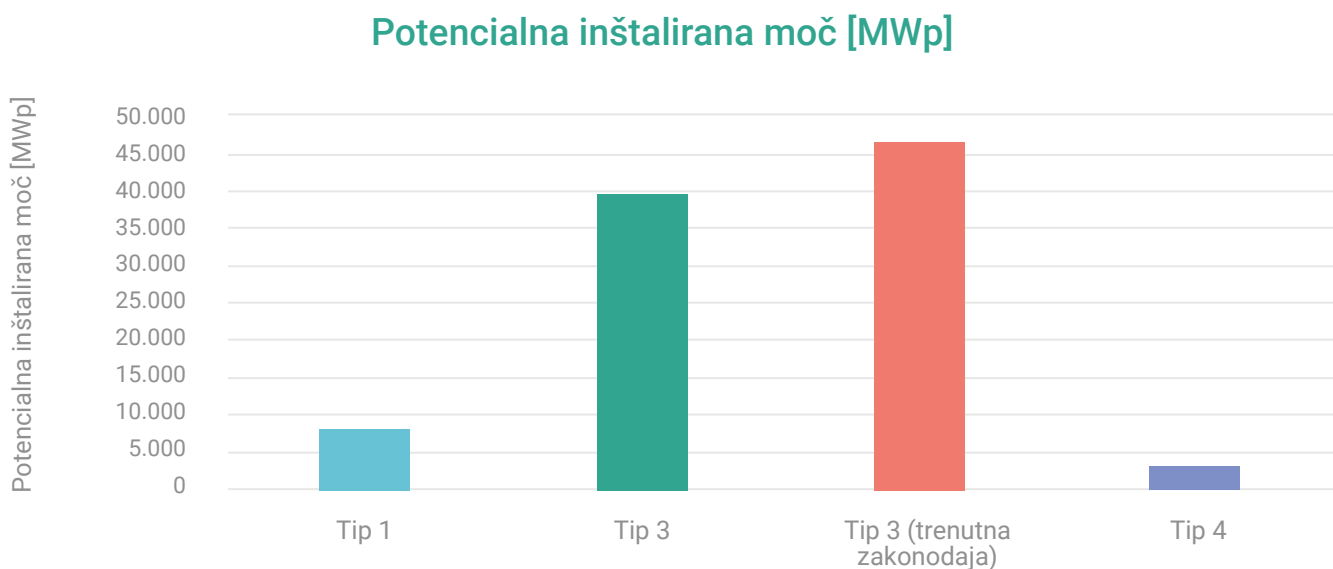


Tabela 9 Izračun za kmetijska zemljišča do bonitete 35, ki so izven zavarovanih območji, Nature 2000 in poplavnih območji

	Tip 1	Tip 3	Tip 4	Skupni potencial [MWp]	Tip 3 (trenutna zakonodaja)
Skupna površina [ha]	10.337	83.423	6	47.481	98.657
Potencialna inštalirana moč [MWp]	8.269	39.209	3		46.369

Tabela 9 prikazuje rezultate izračunov iz katerih je razvidno, da so v poplavnih območjih kmetijska zemljišča predvsem travniki in površine v zaraščanju. V primerjavi z izračunom, kjer se je upoštevala boniteta do 35 in zavarovana območja, je potencial manjši za približno 2.500 MWp. Glede na to da je celotnega potenciala pri trenutnih omejitvah 47.481 MWp, ta razlika nima znatnega vpliva. Potencial za tip 1: dvignjen AFV sistem in tip 4: AFV na rastlinjaku, se ni bistveno spremenil.

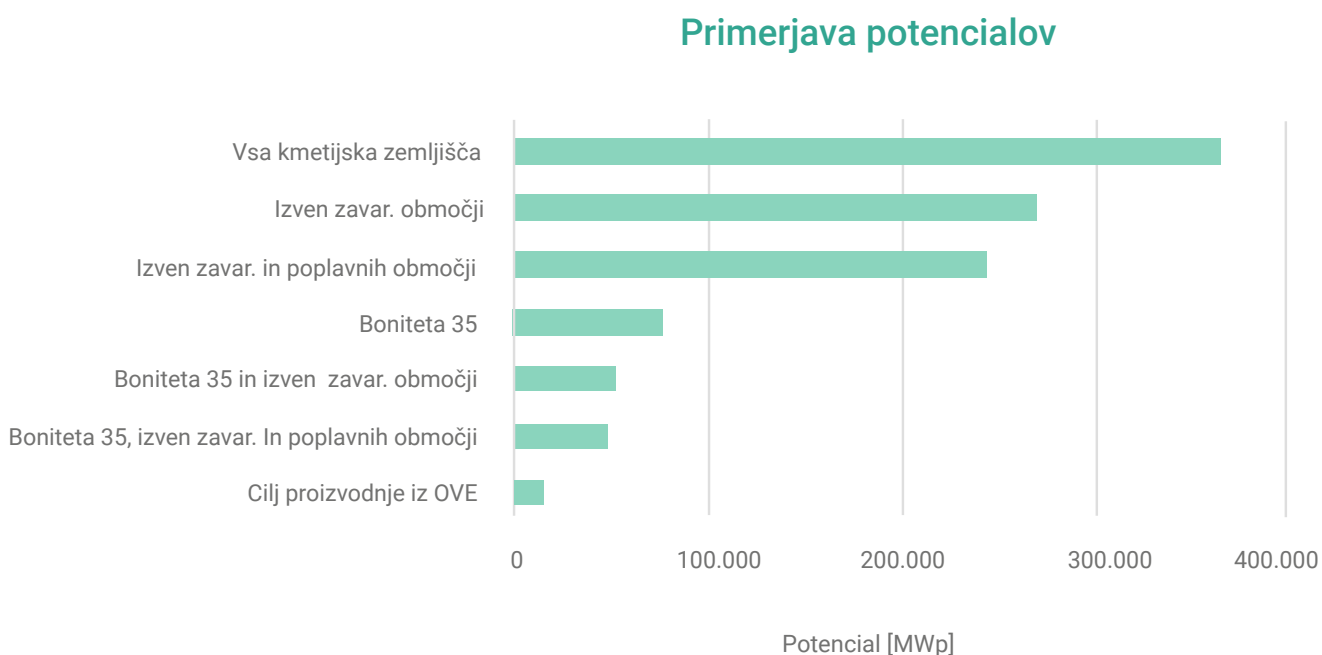
Slika 43 Graf ocene potenciala za kmetijska zemljišča do bonitete 35, ki so izven zavarovanih območji, Nature 2000 in poplavnih območji



8.7 PRIMERJAVA POTENCIALOV

Slika 44 Prikaže primerjavo potencialov ob različnih omejitvah. V zadnjem stolpcu je prikazana ocena potrebne inštalirane moči za doseg ciljev o proizvodnji električne energije iz OVE do leta 2030 ob uporabi AFV sistemov. Razvidno je, da je tudi ob najstrožjih omejitvah potenciala, po trenutnem izračunu, dovolj za doseg ciljev.

Slika 44 Primerjava potencialov



9 POVZETEK

Vse hitreje podnebne spremembe so kmetijstvo postavile v stanje negotovosti in ranljivosti. Z višanjem povprečne temperature zraka, nepredvidljivostjo vremenskih vzorcev in vse pogostejšimi ekstremnimi vremenskimi dogodki se kmetijski sektor sooča z novimi in zahtevnimi izzivi. Te spremembe neposredno vplivajo na pridelek, zdravje živine in na splošno stabilnost proizvodnje hrane. V tem kontekstu se AFV sistemi pojavljajo kot obetavna rešitev, ki ne ponuja le možnosti za proizvodnjo čiste energije, ampak tudi sredstva za izboljšanje odpornosti kmetijstva pred podnebnimi izzivi.

AFV sistemi predstavljajo rešitev za izzive, ki jih povzročajo podnebne spremembe. Z združitvijo proizvodnje električne energije s kmetijstvom, sistemi omilijo okoljske vplive tradicionalnih virov električne energije in hkrati prinašajo vrsto koristi za kmetovalce. Senčenje, ki ga nudijo FV moduli, lahko ščitijo rastline pred vročino, zmanjšuje izhlapevanje vode in ohranja stabilno mikroklimo. Poleg tega lahko rastline varujejo pred ekstremnimi vremenskimi dogodki, kot so toča, močni nalivi in intenzivno sončno svetlobo. Zaščita, ki jo nudijo AFV sistemi lahko povečajo pridelek predvsem v letih z nadpovprečnimi temperaturami in sušo.

Dvojna raba zemljišča za proizvodnjo električne energije in kmetijskih pridelkov predstavlja potencial za optimizacijo rabe zemljišča. AFV sistemi lahko ponudijo rešitev za naraščajočo potrebo po zemljiščih za projekte OVE in omogočijo izkoriščanje obstoječih kmetijskih površin. Ta integracija kmetijstva in proizvodnje električne energije je v skladu z širšimi cilji Evropske unije, ki spodbujajo trajnostne energetske prakse in zmanjšujejo emisije toplogrednih plinov. Zaradi tega so AFV sistemi postali vse bolj privlačna tema znotraj Evropske unije, pri čemer potekajo priprave za spodbujanje njihove širše uporabe z dopolnitvami zakonodaj v posameznih državah, prav tako v Sloveniji.

V študiji, je potencial za AFV sisteme v Sloveniji izračunan na podlagi podatkov o kmetijskih zemljiščih, zaščitениh območjih in poplavnih območjih. Pri tem se je potrebno zavedati, da s takšnim izračunom ne upoštevamo ekonomske upravičenosti investicije za določena zemljišča. Za boljšo oceno bi bilo potrebno upoštevati razdalje od kmetijskih zemljišč do najbližje možne priključne točke v omrežje, usmerjenost zemljišča, strmino zemljišča, razgibanost terena in najmanjša potrebno velikost zemljišča, kar lahko znatno vpliva na višino začetne investicije.

Potrebno se je zavedati, da so učinki AFV sistemov zelo odvisni od specifičnih podnebnih pogojev območja, na katerem so postavljeni. Zaradi tega je naslednji logični korak postavitev pilotnega projekta, ki lahko služi kot praktični eksperiment in zagotovi boljši vpogled v izvedljivost in prilagodljivost AFV sistemov raznolikim podnebnim razmeram v Sloveniji. Pilotni projekt ne bo le izboljšal razumevanja potencialnih koristi, ampak bo prispeval k razvoju boljše zakonodaje in smernic za širše uveljavljanje AFV sistemov. To je ključni mejnik na poti k trajnostnemu kmetijstvu in proizvodnji čiste energije. Ko se svet spopada s nujno potrebo po spopadanju s podnebnimi spremembami, AFV sistemi ob pravilni izvedbi ponujajo bolj odporno, trajnostno in okolju prijazno prihodnost kmetijstva v Sloveniji in širše.

10 REFERENCE

- [1] W. H. Eva Vandest, Agrisolar: Best Practice Guidelines. 2023. [Na spletu]. Dostopno na: https://api.solarpowereurope.org/uploads/1523_SPE_Agrisolar_report_02_db69f1fcd6.pdf
- [2] S. Reker, J. Schneider, in C. Gerhards, „Integration of vertical solar power plants into a future German energy system“, Smart Energy, let. 7, str. 100083, avg. 2022, doi: 10.1016/j.segy.2022.100083.
- [3] „DIN SPEC 91434:2021-05, Agri-Photovoltaik-Anlagen - Anforderungen an die landwirtschaftliche Hauptnutzung“, Beuth Verlag GmbH. doi: 10.31030/3257526.
- [4] S. Amaducci, X. Yin, in M. Colauzzi, „Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production“, Applied Energy, let. 220, str. 545–561, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.081>.
- [5] M. Tajima in T. Iida, „Evolution of agrivoltaic farms in Japan“, predstavljeno na AGRIVOLTAICS 2020 CONFERENCE: Launching Agrivoltaics World-wide, Perpignan, France, Online, 2021, str. 030002. doi: 10.1063/5.0054674.
- [6] B. Willockx, B. Herteleer, in J. Cappelle, Combining photovoltaic modules and food crops: first agrovoltaic prototype in Belgium, let. 18. 2020. doi: 10.24084/repqj18.291.
- [7] „BayWa r.e. grows AgriPV across the Netherlands“. Pridobljeno: 10. julij 2023. [Na spletu]. Dostopno na: <https://www.baywa-re.co.kr/en/company/news/news-detail/baywa-re-grows-agripv-across-the-netherlands>
- [8] „Agri-PV system in Haidegg | Ecwind“. Pridobljeno: 26. september 2023. [Na spletu]. Dostopno na: <https://www.ecowind.at/references/agri-pv-anlage-in-haidegg/?lang=en>
- [9] „DoppelErnte | Die Agri-PV Experten“. Pridobljeno: 17. avgust 2023. [Na spletu]. Dostopno na: <https://www.doppelernte.de/>
- [10] Photovoltaik, „Next2Sun weiht den ersten senkrecht stehenden Solarpark ein“. Pridobljeno: 26. september 2023. [Na spletu]. Dostopno na: <https://www.photovoltaik.eu/landwirtschaft/next2sun-weiht-den-ersten-senkrecht-stehenden-solarpark-ein>
- [11] „Agri“, Senzemo. Pridobljeno: 29. september 2023. [Na spletu]. Dostopno na: <https://senzemo.com/agri/>
- [12] „Geoportal ARSO“. Pridobljeno: 6. oktober 2023. [Na spletu]. Dostopno na: <https://gis.arso.gov.si/geoportal/catalog/main/home.page>
- [13] „Ministrstvo za okolje in prostor, Geodetska uprava republike slovenije“. Pridobljeno: 6. oktober 2023. [Na spletu]. Dostopno na: <https://ipi.eprostor.gov.si/auth/>
- [14] „MKGP - Portal“. Pridobljeno: 6. oktober 2023. [Na spletu]. Dostopno na: <https://rkg.gov.si/vstop/>
- [15] „Proizvodnja električne energije iz obnovljivih virov energije | Okoljski kazalci“. Pridobljeno: 20. september 2023. [Na spletu]. Dostopno na: <https://kazalci.arso.gov.si/sl/content/proizvodnja-elektricne-energije-iz-obnovljivih-virov-energije-3>
- [16] F. Ise, „Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition“.
- [17] R. Aroca-Delgado, J. Pérez-Alonso, Á. J. Callejon-Ferre, in B. Velázquez-Martí, „Compatibility between Crops and Solar Panels: An Overview from Shading Systems“, Sustainability, let. 10, str.

743, mar. 2018, doi: 10.3390/su10030743.

- [18] I.-I. informacijskih znanosti Maribor, „Sočasna proizvodnja električne energije in hrane - Agrofotovoltaika; Simultaneous electricity and food production - Agrivoltaics :: COBISS+“. Pridobljeno: 6. julij 2023. [Na spletu]. Dostopno na: <https://plus.cobiss.net/cobiss/si/sl/bib/141295363>
- [19] „csm_BayWa_r.e._AgriPV_fruit_farm_Albers_1_skaliert_cddd1df9a2.jpg(500×286)“. Pridobljeno: 10. julij 2023. [Na spletu]. Dostopno na: https://www.baywa-re.co.kr/fileadmin/_processed_/c/6/csm_BayWa_r.e._AgriPV_fruit_farm_Albers_1_skaliert_cddd1df9a2.jpg
- [20] S. Zainali idr., „Direct and diffuse shading factors modelling for the most representative agrivoltaic system layouts“, Applied Energy, let. 339, str. 120981, jun. 2023, doi: 10.1016/j.apenergy.2023.120981.
- [21] „Agri-PV-Anlage Haidegg | Ecowind“. Pridobljeno: 26. september 2023. [Na spletu]. Dostopno na: <https://www.ecowind.at/unternehmen/referenzen/agri-pv-anlage-haidegg/>