



## ИЗПОЛЗВАНЕ НА АГРОФОТОВОЛТАИЦИ – ФОТОВОЛТАИЦИТЕ И СЕЛСКОТО СТОПАНСТВО В СЪВМЕСТНО СЪЖИТЕЛСТВО

### Резюме

През последните години употребата на агрофотоволтаиците започва да се среща все по-често в целия свят. Но какво представляват те? Най-бързият отговор е, че те дават възможност земята да се използва едновременно за селско стопанство и за фотоволтаично (PV) производство на електроенергия. По-често срещан вариант е отглеждането на земеделски култури под поставените волтаици. Друга възможност е комбинацията от волтаици и паша на селскостопански животни в конвенционални фотоволтаични ферми, което е често срещано в Северна Америка. Проведени проучвания показват потенциал за увеличаване на реколтата и ефективността на панелите, което прави агроволтаиците привлекателна възможност за фермерите и предприемачите на солари. Но дали в действителност е така? За да се отговори на този въпрос са необходими редица задълбочени проучвания в сферата на растениевъдството и животновъдството, използващи волтаични системи, за да може еднозначно да се потвърди или отхвърли употребата им.

### I. Въведение

Агрофотоволтаичната практика е концепция, възникнала през 1980 г. (Goetzberger A. et al., 1982). Тя се определя като концепция за земеползване, която съчетава производството на слънчева енергия и селскостопанските дейности, които се практикуват в рамките на инсталацията за фотоволтаично поле, като и двете са силно зависими от слънчевата светлина (Thompson E. P. et al, 2020). Агрофотоволтаиците (AB) имат няколко имена, които варират в зависимост от региона и приложението, като например „двойна употреба“, „съвместно разполагане“ „агро-PV“, „агросоларна“, „слънчево споделяне“, „благоприятна за опрашителите слънчева светлина“ и т.н. (Macknick J. et al., 2022). Всъщност това е симбиотична връзка, при която и двете дейности (земеползване и производство на слънчева енергия) взаимодействат пряко и се възползват от това съвместно ползване (Hernandez R. R. et al., 2019). Тази практика води до синергии чрез оптимизиране на потенциала, предлаган от двете производствени системи (Weselek A. et al., 2019), особено в агролесовъдните системи (Schindele S. et al., 2020).

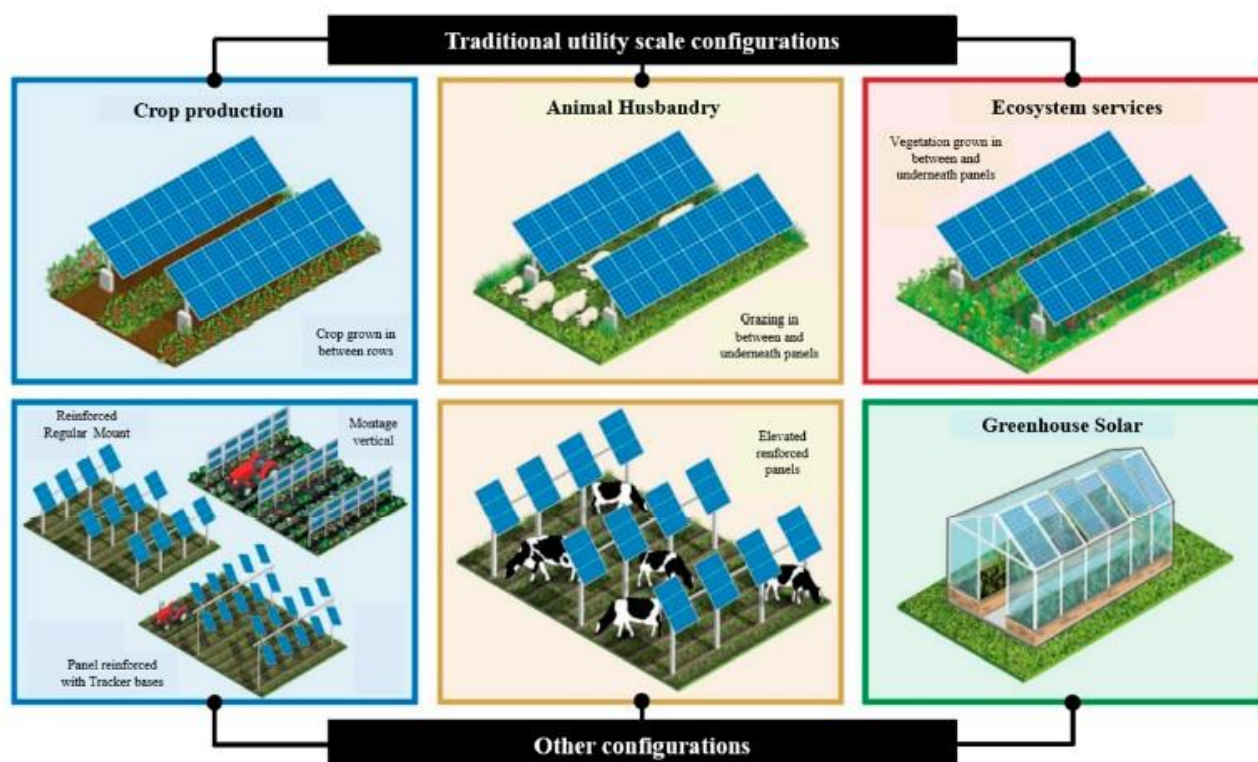
Агроволтаичните системи могат да се прилагат по различни начини в зависимост от дейностите, извършвани от населението в даден район (фигура 1).

Агроволтаиците представляват комбинация от производство на енергия със

- i) селскостопанско производство на полето или
- ii) селскостопанско производство в оранжерии или отглеждане на животни, или
- iii) предоставяне на екосистемни услуги чрез управление на растителността или
- iv) комбиниране на различни селскостопански практики (Macknick J. et al., 2022).

През последните десетилетия необходимостта от преход към възобновяеми енергийни източници набира скорост в условията на нарастващата климатична криза и изчерпването на изкопаемите горива. Потреблението на електроенергия е нараснало от 11 000 TWh през 1990 г. на 26 000 TWh през 2022 г., а търсенето на електроенергия се очаква да нарасне с 9% между 2023 г. и 2025 г. ([International Energy Agency, 2022](#)). Неутралността по отношение на климата до 2050 г. е основната цел на Зеления пакт на ЕС ([Kazak T., 2022](#); [Ossewaarde M. and R. Ossewaarde-Lowtoo, 2020](#)), така че този преход към производство на чиста енергия е необходим. За да достигне 70% производство на енергия от възобновяеми източници до 2030 г., Европа трябва да произвежда допълнителни 48 GW от слънчеви панели ([European Commission, 2023](#)), което не може да бъде постигнато само чрез фотоволтаични инсталации на покрива. Използването на земята за производство на фотоволтаична енергия е чувствителна тема: налице е конкуренция за земя и конфликт между производството на храни и производството на енергия ([Capellan-Perez I. et al., 2017](#)).

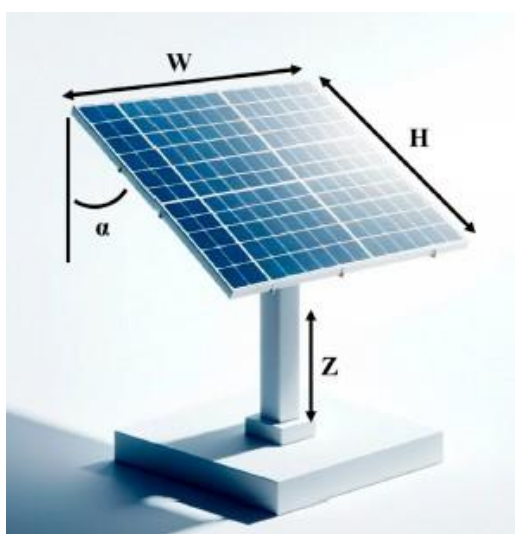
Агрофотоволтаичната технология играе важна роля за укрепването на връзката вода-енергия-храна ([Toledo C., 2023](#)), като се има предвид нарастващата бъдеща нужда от енергия и производство на храни за населението ([Chamara R. and C. Beneragama, 2020](#)). Едно от ограниченията за развитието на фотоволтаичните системи е засилената конкуренция за земя поради големия прираст на населението и нарастващото търсене на храни ([Al-Mamun M. A. et al., 2022](#)). Земните ресурси са ограничени, а нуждата от енергия и храна нараства, което води до засилен конкуренция за земя между тях. В отговор на тази нарастваща конкуренция агрофотоволтаичните са замислени така, че двете дейности да бъдат балансирани ([Nonhebel S., 2005](#)). Поради двойната си употреба се очаква агрофотоволтаичните да смекчат конкуренцията за пространство и да предложат възможност за инсталиране на големи фотоволтаични системи, като същевременно земята бъде достъпна за производство на храни ([Majumdar D. and M. J. Pasqualetti, 2017](#)). В такъв случай основната функция на земеделските земи е производство на селскостопански култури, докато производството от фотоволтаични панели е вторично използване ([DIN SPEC, 2022](#)).



Фигура 1: Различни видове агрофотоволтаични системи

Няма ясна конкретика относно проектирането на АВ система със съвместно отглеждане на растения, обикновено това е система, при която културите са между панелите, или непосредствено под тях, в оранжерийни инсталации, под формата на дъги, или конструкции, които са поставени над културите на полето, или между редовете (Cuppari R. I. et al., 2024). С други думи, слънчевите панели споделят земята с културите (обработваеми или дървесни), но също така често и със селскостопански животни. Следователно системите за АВ включват всички видове агролесовъдни практики.

При проектирането на агроvoltaичната система е важно първо да се вземе предвид видът на културата и нейните изисквания за осветление (Magarelli A. et al., 2024), реакцията ѝ към сянката, нивата на напояване и параметрите, свързани с евапотранспирацията<sup>1</sup> и запазването на температурата и влажността, както и вида на добитъка, който трябва да бъде включен, както и неговите изисквания за температура и сянка. От друга страна, видът на инсталацията и характеристиките на панелите също трябва да се вземат предвид: повърхността, ъгълът на наклона и височината по отношение на земята (фигура 2). Тези характеристики ще повлияят на ефективността на панела ( $\eta$ ), т.е. съотношението между генерираната мощност и падащото лъчение. В допълнение към горепосочените параметри има и други фактори, които влияят на  $\eta$ : например, повишаването на температурата на панела има отрицателен ефект върху добива на енергия, както и върху повърхността на панела и влошаването на панела.



**Фигура 2:** Схематичен изглед на характеристиките, които трябва да се имат предвид при инсталиране на слънчев панел за подобряване на ефективността на събиране на слънчева енергия: площ, т.е. ширина (W) x височина (H); ъгълът на монтаж ( $\alpha$ ); и височината на монтаж (Z). Това също така позволява регулиране на количеството сянка, която културите ще получат

Височината на панелите по отношение на земята дава възможност системите да се класифицират в два вида (Nagashima A., 2005): от една страна, има наземно поставени панели, а от друга изнесени на голяма височина АВ системи (S-AV), при които фотоволтаичните панели са монтирани над обработваемата земя на определена височина (над 2.10 m). Наземните са монтирани на по-ниска височина, а културите се отглеждат между редовете на слънчевите панели.

Изнесените на високо АВ системи се срещат по-често (Sekiyama T. et al., 2019) и обхващат инсталирането на слънчеви панели в оранжерии и агролесовъдни системи (с настаняването на животни), като много от тях позволяват преминаването на превозни средства

<sup>1</sup> Евапотранспирацията е процес на изпаряване на вода от земната повърхност (почва, водоеми) и транспирация (изпаряване на вода през листата на растенията), която се комбинира в едно общо понятие. Този процес е важен показател за движението на вода между земната повърхност и атмосферата и се измерва в милиметри (mm), подобно на валежите.

и животни под инсталациите ([Gorjian S. et al., 2022](#)). Издигнати структури са използвани при отглеждането на целина, картофи, пшеница, фуражна детелина, грозде и царевица, тъй като тези култури нямат особени изисквания относно разстоянието между тях и позволяват по-гъсто засяване ([Weselek A. et al., 2021](#); [Amaducci S. et al., 2018](#); [Ferrara G. et al., 2023](#)). Тези системи могат да бъдат проектирани със специфично засенчване, но имат недостатъка да бъдат по-обемни, скъпи и трудни за конструиране.

Системите, инсталирани на ниска височина между редовете на културите, имат по-малко покритие на земята и обикновено се изграждат вертикално (или под много нисък ъгъл). Ако са добре планирани, те позволяват преминаването на машини, могат да се комбинират с култури, които нямат много възискателни изисквания към светлината и често са по-евтини за инсталиране. Основният проблем е, че те не са толкова ефективни при улавянето на слънчевата енергия (тъй като обикновено са разположени вертикално).

В допълнение към класифицирането на тези системи според височината, те могат да бъдат класифицирани и според селскостопанската дейност: градинарство, отглеждане на полски култури и пасища за овце ([Andrew A. C. et al., 2021](#)) или млекодайки крави ([Sharpe K. T. et al., 2021](#)).

## **II. Екологични, икономически и социални ползи от агрофотоволтаични системи**

Агрофотоволтаичните системи са свързани с редица ползи: имат положително въздействие върху околната среда, свързаните с тях икономически и социални предимства и могат да допринесат за подобряване на производителността и ефективността на земята.

### **1. Въздействие върху околната среда**

Системите за АВ предлагат множество ползи за околната среда, главно поради способността им да оптимизират използването на природните ресурси и да подобряват климатичната устойчивост на селскостопанските екосистеми – по-специално в много горещите климатични условия и сухите и полусухите региони. Прилагането на АВ води до значително намаляване на нуждите от напояване и ерозия (вода и вятър) ([Vidotto L. C., 2024](#)) и може да задържа повече вода през лятото ([Mouhib E. et al., 2024](#)). В зависимост от нивото на засенчване, това може да спести до 29% вода ([Marrou H. et al., 2013](#)) и освен това да намали температурата под панела ([Uchanski M. et al., 2023](#)). Тези системи потенциално могат да послужат за създаването на устойчиви на изменението на климата екосистеми чрез защита на почвата, културите и животните от слънчева радиация и екстремни метеорологични явления като суша, слана, градушка, проливни дъждове и топлинни вълни ([Fraunhofer ISE Agrivoltaics, 2022](#)). Също така могат да имат положително въздействие върху производството на определени култури, тъй като е доказано, че липсата на светлина често е придружена от увеличаване на площта на листата, за да се оптимизира използването на светлина. Намалената интензивност на слънчевата светлина и по-ниските температури под панелите могат да благоприятстват растежа на устойчивите на сянка растения, като насърчават биологичното разнообразие на културите и осигуряват местообитания за полезни насекоми и диви животни ([Van de Ven D. J. et al., 2021](#)).

## 2. Икономическо и социално въздействие

На икономическо и социално равнище агроволтаичните системи могат да бъдат много полезни за селските общности – за диверсификация на доходите, подобряване на достъпа до електроенергия и постигане на по-голяма икономическа стабилност (Valle B. et al., 2017). Допринасят за въвеждането на нови източници на доходи за земеделските стопанства и подпомагат икономиката на селскостопанския сектор (Weselek A. et al., 2019). Агроволтаичните системи могат да спомогнат за възстановяване на намаляващата площ на обработваемата земя и за поддържане на производството на храни в условия на прираст на населението в световен мащаб (Jain P et al., 2021) и в райони, където земеделската земя е изоставена, също така могат да допринесат за намаляване на средствата, използвани за напояване или почистване на панелите (Burney J. et al., 2010). От една страна, водата, използвана за поддържане на ефективността на панелите, може да се използва за напояване на култури, а от друга страна, агроволтаичните системи могат да осигурят необходимата енергия за поддържане на помпени и напоителни системи. Това е особено важно в районите с недостиг на електроенергия, където надеждното електрозахранване е от съществено значение за поддържането на селскостопанската производителност. Проектирането на фотоволтаични панели може да улесни контрола на водоемите, като служи за канали за разпространение или съхранение на дъждовна вода, което е особено полезно в региони с променливи модели на валежи, като например мусонния климат в Индия, където валежите са концентрирани между юни и септември, с два сухи периода между тях (Dinesh H. and J. M. Pearce, 2016).

## 3. Селскостопански и енергийни добиви

Добивът на култури е силно зависим от самия вид на културата, местоположението, степента на засенчване на панелите и специфичните климатични условия през годината. При различни проучвания е установено, че при някои растителни култури се наблюдава увеличение на продукцията, макар и при различен процент на засенчване (напр. марули отглеждани в Южна Испания при 22% засенчване). За същата култура, но в Гърция при 20% засенчване се отчита незначително увеличение на теглото. Проведено проучване в Монпелие, Франция, показва противоположни резултати, особено при използването на твърде много сянка (около 50%). Когато процентът на засенчване е около 30% не се наблюдава драстично намаляване на добивите (Marrou H. et al., 2013a). При друго проучване с домати, Barron-Gafford G. A. et al., 2019, констатира увеличение на продукцията при използване на соларни панели, докато Cossu M. et al., 2014, провеждат същото проучване (използвайки същия сорт домати) в оранжерия чрез покриване на част от покрива и стените със слънчеви панели и наблюдават намаляване на добива.

При проведен опит от Andrew A. C. et al., 2021, изследващ отглежданите овце в агроволтаична система не установяват разлика в развитието на агнета в АВ, в сравнение с контролната група и няма разлики в поведението на животните. При друго проучване, но с крави също не са установени разлики в производството и качеството на млякото, но са констатирани разлики в активността на животните. Пиковата активност на кравите е намалена в много горещи дни, тъй като животните се подслоняват под панелите на сянка (Heins B. J. et al., 2022).

В Косово и Австрия овцете се пускат между фотоволтаиците да пасат, като по този начин изпасват тревата навсякъде между панелите, докато с машина е трудно да бъде окосена

тревата. Овцете в Австрия, които са местна порода, позната под името Юра<sup>2</sup> са пуснати от април до октомври между панелите. Овцете допринасят за възстановяването на дивата природа, като осигуряват естествена тор и носят семена и цветен прашец във вълната си. От своя страна, панелите – които са разположени по-високо от земята осигуряват на животните сянка от слънцето и защита от дъжда (снимки 1 и 2). В двете стада не са правени проучвания относно влиянието върху продуктивността на овцете.



©Reuters/Valdrin Xhemaj



©Maxsolar

**Снимки 1 и 2:** Овце в Косово и в Австрия от породата Юра пасат сред фотоволтаични полета

Проучване, проведено от компанията EMM Consulting (предлагаща екологични услуги) и агробизнес групата Elders Rural Services по проект „Wellington“ наблюдава 1 700 мериносови овце, отглеждани в близост до гр. Дабо, Австралия. По проект фермата е разположена върху 320 хектара пасищна земеделска земя с 1 700 броя мериносови овце. Проучването (което е само вътрешно, без да е публикувано официално в научно реферирано списание) е направило сравнение на вълната между овцете, пасящи сред слънчевите панели, сравнявайки я с тази на овце пасящи на традиционни пасища в продължение на 3 години. Резултатите показват, че съвместното използване на слънчева енергия и паша на овце не оказва негативно влияние върху производството на вълна, като дори някои параметри показват подобрене в качеството на вълната, въпреки че убедителните ползи изискват по-нататъшни дългосрочни измервания според екипа провел проучването. Според тях всякаво количество дъжд е полезно, като качеството на вълната се е увеличило значително, вероятно поради променливите валежи и овцете могат да преминат до шест пъти годишно от обилна трева към суха и сено. Проучванията са показали, че руното на овцете е с около 20% по-добро от това на контролната група овце, пасящи на традиционни пасища по параметрите растеж на вълната, тегло и дебелина на влакното в микрони ( $\mu\text{m}$ )<sup>3</sup>.

При изграждането на агрофотоволтаици е необходимо да се обърне специално внимание на птиците и малките бозайници и влечуги, които обикновено се заравят в земята. Малките ровещи влечуги и бозайници са уязвими към потенциални инциденти, дължащи се на евентуални сблъсъци с поставените панели. Същото се отнася и за много видове прелетни птици. Не е изключена хипотезата голяма част от прелетните птици да са привлечени от

<sup>2</sup> Местна порода овце, отглеждана за месо и вълна, кръстоска между породите Фрутиген, Юра, Ру де Бан, Заанен и Симентал. Позната все още под името „черно-кафява планинска овца“. Среща се освен в Австрия, и в Швейцария, Италия и Германия.

<sup>3</sup> Дебелината на вълнените влакна се измерва в микрони, като колкото по-малък е диаметърът на влакното, толкова е по-фина вълната.

фотоволтаичните слънчеви панели и да се ударят в тях, защото приличат на големи водни обекти (т. нар. „ефект на езерото“). Потенциална опасност може да има и за някои от водните видове – напр. мидите, които са чувствителни към промените в качеството на водата, което може да настъпи следствие на поставянето на агрофотоволтаици в близост до водни басейни ([Solar Impacts on Wildlife and Ecosystems: Request for Information Response Summary, 2021](#)).

### III. Разпространение и използване на агрофотоволтаичните системи по света

Агрофотоволтаичните системи се прилагат с различна степен на успех в различни части на света, като първата схема за подпомагане на такива технологии стартира в Япония през 2012 г., след което и в други държави в Европа, Америка и Азия, и по-ограничено в Африка.

**Азия:** През 2021 г. Китай е страната с най-високо производство на енергия от такива системи, по-голяма част от тях свързана с производството и на годжи бери, като се очаква през следващите години производството на енергия чрез соларни панели да се увеличи още повече, но в комбинация с оранжерии. В Япония около 2 000 АВ системи са били инсталирани до 2021 г. ([Tajima M. and T. Iida, 2021](#)). В Корея има **специфични регулации относно поставянето на агрофотоволтаици върху земеделска земя, тъй като корейският Закон за земеделска земя забранява всяко използване на земеделска земя, с цел различна от селскостопанската дейност.**

**Америка:** В САЩ вече има проекти от този вид както на експериментални парцели, така и на търговско равнище, а в тази страна производството на фотоволтаична енергия в животновъдните стопанства (с паша на овце) е приоритетно, с цел улеснение на опрашването ([Boyd M., 2023](#)). През 2017 г. в Чили е открит първия проект в Латинска Америка, който има за цел да осигури сянка за защита на растенията от слънцето и дехидратацията. Този проект показва положителни резултати както по отношение на селскостопанската производителност, така и по отношение на производството на енергия ([Fraunhofer ISE Agrivoltaics, 2022](#)). В Бразилия са инсталирани и редица иновативни АВ системи, като една от тях съчетава производството на енергия с производството на зеленчуци, риба в аквариуми и пилета ([Martinez M., 2022](#)). Резултатът от една такава система, използваща аквапоника е производството на 17 вида зеленчуци, два животински протеина (от риба и пилета) за училищна консумация и разсад за повторно залесяване на умбу<sup>4</sup> в Каатинга.

**Африка:** В литературата не се откриват много данни за агрофотоволтаици на територията на Африка. Малкото, за които са правени проучвания, са с цел сянка и задържане на влага за растенията (събиране на дъждовната вода) за да се оптимизира използването на водата и да се подобри селскостопанското производство при условия на недостиг на вода и се касаят за Кения, Уганда и Танзания ([Gorjian S. et al., 2022](#)).

**Австралия:** По-рядко се срещат системи, включващи отглеждането на растения. След 2015 г. преобладават системите за паша, комбинирани с фотоволтаични системи. До 2020 г. в Австралия е имало най-малко 13 големи соларни ферми, на които пасат овце ([Soto-Gómez, D., 2024](#)).

**Европа:** Във Франция се наблюдава увеличение на компаниите свързани с изграждането на агрофотоволтаици, тъй като те са подкрепени от френското правителство.

---

<sup>4</sup> Вид бразилска слива, която расте в Каатинга (биом в Североизточна Бразилия, характерен със своя полупустинен климат и специфична растителност)

Към 2024 г. в държавата има около 200 такива действащи проекти, а други са във фаза на планиране (Soto-Gomez D., 2024). Такива проекти включват отглеждането на ябълкови дървета при различни нива на засенчване в южната част на Франция и се наблюдава намаляване на нуждите от напояване, както и защитата от измръзване (Nagashima A., 2005). Германското правителство има за цел да увеличи производството на слънчева енергия и следователно насърчава подобни инициативи (Fraunhofer ISE Agrivoltaics, 2022). В Италия са проведени експерименти с АВ системите и е установено, че са подходящи за отглеждането на маслинови (Ciocia A. et al., 2022) и гроздови (Ferrara G. et al., 2023) култури. Това заключение важи и за други средиземноморски райони, като Испания (Mouhib E. et al., 2024). Авторите Cuppari R. I. and al., 2024, оценяват предимствата на поставените АВ в маслинови масиви на юг от полуострова, където се отглеждат различни сортове маслини. В Белгия, предвид малката площ и земеделските полета, тези системи имат голям потенциал както за захарно цвекло, така и за пшенични култури (Reher T. et al., 2024). Проектът „Иновативни слънчеви практики, интегрирани със селските икономики и екосистеми“ (InSPIRE) е в ход в Обединеното кралство от 2015 г., като подпомага изследванията на АВ, анализирайки повече от 25 пилотни проекта в цялата страна (Macknick J. et al., 2022).

#### IV. Заключение

Агрофотоволтаичните системи съчетават производството на слънчева енергия със земеделие. Тази неочаквана синергия между отглежданите растения/животни и слънчеви панели показва, че природата и технологиите не е нужно да се конкурират – те могат да си сътрудничат. В условията на затоплящ се климат съвместното използване на агроволтаични системи и отглеждане на животни е възможно да допринесе за опазване на водните ресурси, подобряване на биоразнообразието и увеличаване на продукцията от отглежданите животни (вълна, мляко и др.). При отглеждане на земеделски култури се използва алгоритъм, който да прецени нуждите на растенията от вода и слънчева светлина, и съответно да регулира ъгъла на слънчевите панели. Микроклиматът, създаден от слънчевите панели, осигурява на растенията, растящи под тях, необходимата нужда от вода, а енергията, произведена от панелите, може да се използва от земеделските производители за напояване или други нужди в стопанството. По този начин се оптимизира земеползването, без да се увреждат екосистемите.

Този тип системи могат да осигурят нов източник на доходи за земеделските стопани, да помогнат за постигането на устойчиво производство на енергия в районите, които попадат извън обхвата на електропреносната мрежа и да осигуряват независимост от електроразпределителни дружества.

Въпреки че през последните 5 години проучванията по темата са се увеличили, все още има необходимост от допълнителни данни и проучвания за това как влияят АВ системи в различни области – например:

- евентуални последствия за почвата, както и
- какви ще са последствията за нея след евентуално демонтиране на панелите;
- какви гаранции има за запазване на основното предназначение на земята при изграждането на агрофотоволтаици.

Има необходимост от още проучвания и в стопанствата, отглеждащи по-голямо разнообразие от култури в различни географски райони; по-широк спектър от видове животни

в сектор животновъдство (включване на различни видове животни); наблюдения върху продуктивността и поведението на животните; напредък в технологиите, моделирането и интегрирането на практики за опазване на околната среда.

Оказва се, че темпът на развитие на фотоволтаиците изпреварва скоростта, с която могат да бъдат проучени въздействията и ползите от тях, да бъдат разработени стратегии за смекчаване на последиците и да бъдат въведени регулаторни изисквания.

Необходимо е да се разширят проучванията при по-голям набор отглеждани видове животни в АВ системи, като се изследва взаимодействието между животните, фуража и слънчевите панели (Sturchio, M.A. et al., 2024). Информацията по отношение на ефектите от засенчването върху топлинния стрес и възможния му принос за подобряване на животновъдството е съвсем ограничена. Най-добрите добиви обикновено се получават чрез подбор на видове животни и растения, които са най-добре адаптирани към условия на отглеждане на сянка, температура и влажност, които фотоволтаични системи могат да им осигурят. Освен това тези системи стават все по-ефективни чрез иновации в инсталациите както при проектирането, така и при адаптирането им към всеки детайл в зависимост от мястото на инсталиране, с различни модули в зависимост от нуждите на културата, както и чрез иновативни слънчеви панели, използвайки прозрачни панели, двуфазни панели или системи, които използват изкуствен интелект за проследяване на слънцето и максималното използване на пряка светлина. В повечето случаи АВ системи не променят фундаментално основната технология на отглеждане на животните или растения. Някои изискват незначителни адаптации, като например регулиране на напоителни системи или селекция на културите, за да се приведе в съответствие със засенчването, осигурявано от слънчевите панели. Тези корекции са необходими, за да се оптимизира съвместното съществуване между произвежданата енергия и растенията, но не представляват радикално отклонение от традиционните селскостопански практики.

Все още по-голяма част от проучванията за АВ включват предимно горски плодове и почти са пропуснати многогодишните култури, въпреки че те могат да бъдат по-обещаващи, поради по-ниската им чувствителност към сянка, в сравнение със зеленчуците и зърнените култури (Widmer J. et al., 2024; Magarelli A. et al., 2024). Агроволтаичните системи са ефективни за намаляване на потреблението на вода (до 40%), могат да помогнат за поддържането на умерени температури на културите (охлаждане на културите с до 8.9° C през деня) и значително да подобрят ефективността на слънчевите панели (до 1% годишно). Дългосрочните проучвания ще са от полза за оценка на ефективността на различните сортове култури и за определяне кои от тях са по-адаптивни.

В случаите, когато земята не е подходяща за производство на земеделска продукция има възможност да се използва за друг вид производство. За да стане ясно това е необходимо да се обърне внимание на състоянието на почвата – да се изследва въглерода в нея, опазването на биологичното разнообразие, съхранението на вода и др. От решаващо значение е например да се проучи въздействието на АВ върху поведението на насекомите, които играят ролята на опрашители (Toledo C. et al., 2021). Също така оказват ли влияние и как (ако оказват влияние) върху благосъстоянието на животните, топлинния стрес и още редица фактори. От друга страна е необходимо да се проучат как се отразяват температурните колебания и влажността под панелите. Следва да се обърне внимание и на начина, по който културите или добитъкът влияят на панелите, особено на материалите и тяхната трайност.

Въпреки многобройните си предимства, АВ системи са изправени пред редица предизвикателства, включително необходимостта от адаптиране на дизайна на системата към различни агрономически и климатични условия с цел оптимизиране както на селското стопанство, така и на производството на енергия. В Европа, например е от съществено значение да се насочи вниманието върху оптимизирането на интегрирането на АВ системи в интензивните селскостопански ландшафи и проучването на потенциала на системите за мултикултурно отглеждане. В Африка, научните изследвания биха могли да дадат приоритет на подобряването на ефективността при използването на водата и повишаването на устойчивостта спрямо изменението на климата. В Азия, особено в гъсто населените страни, акцентът би могъл да бъде поставен върху постигането на максимална ефективност на земеползването и интегрирането на АВ системи със съществуващите селскостопански практики. Междувременно в Северна и Южна Америка проучванията биха могли да изследват икономическата жизнеспособност на широкомащабните АВ системи и тяхната роля в подкрепа на устойчивото развитие в селските райони.

Въпросите, свързани с експлоатацията на електрическото оборудване, например гарантирането на безопасността и надеждността на инсталациите в различни среди, трябва да бъдат внимателно разгледани. За да се спази принципът на кръговата икономика е необходимо да се извършат проучвания на въздействието върху околната среда, които обхващат целия цикъл на АВ системи и възможностите за рециклиране на панелите и структурите. Може да се помисли в насока стандартизация на панелите. От друга страна, първоначалните инвестиции за инсталирането им са високи, в съчетание с липсата на разбиране и приемане от страна на общностите, в които ще бъдат разположени, както и недостатъчни знания и подходящи програми за обучение могат да се окажат губеща инвестиция.

Агрофотоволтаиците съвсем не са решение за всички проблеми, свързани с опазването на земеделските земи или развитието на слънчевата енергия. Те могат да се разглеждат като потенциален инструмент за постигане на климатични цели, подпомагане на земеделските производители чрез запазване на земеделската земя в производство и подпомагане на икономиките на селските общности. От съществено значение е също така да се разработят политики и регулаторни рамки, които да подкрепят тяхното разширяване, включително икономически стимули, субсидии и гарантирани тарифи за произведената енергия. Включването на съвременни технологии, като дистанционно наблюдение и инструменти за геопространствен анализ ще подобри моделирането и оптимизацията на тези системи.

**В България съгласно Закона за опазване на земеделските земи, земеделските земи са основно национално богатство и се използват само за земеделски цели<sup>5</sup> и не е разрешена промяна на предназначението на земеделски земи за неземеделски нужди, в това число и на обекти за производство на енергия от възобновяеми източници<sup>6</sup> и на този етап няма изградени агрофотоволтаични системи.**

*Изготвеният от ЦОРХВ обзор представлява систематизирана научна информация, базирана на достъпната научна литература в интернет пространството, целящ само и единствено да предостави информация в областта на използването на агрофотоволтаиците в света.*

<sup>5</sup> Закон за опазване на земеделските земи (обн. ДВ, бр. 35 от 1996 г., посл. изм. ДВ, бр. 37 от 2 май 2025 г. и доп. ДВ, бр. 43 от 27 май 2025 г.)

<sup>6</sup> Решение №3 от 23.04.2025 на Конституционен съд, Република България; <https://www.constcourt.bg/bg/act-10093>

## Исползвана литература:

- Al-Mamun, M.A.; Dargusch, P.; Wadley, D.; Zulkarnain, N.A.; Aziz, A.A. A review of research on agrivoltaic systems. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2022, 161, 112351.
- Amaducci, S.; Yin, X.; Colauzzi, M. Agrivoltaic Systems to Optimise Land Use for Electric Energy Production. *Appl. Energy* 2018, 220, 545–561.
- Andrew, A.C.; Higgins, C.W.; Smallman, M.A.; Graham, M.; Ates, S. Herbage Yield, Lamb Growth and Foraging Behavior in Agrivoltaic Production System. *Front. Sustain. Food Syst.* 2021, 5, 659175.
- Barron-Gafford, G.A.; Pavao-Zuckerman, M.A.; Minor, R.L.; Sutter, L.F.; Barnett-Moreno, I.; Blackett, D.T.; Thompson, M.; Dimond, K.; Gerlak, A.K.; Nabhan, G.P.; et al. Agrivoltaics Provide Mutual Benefits across the Food–Energy–Water Nexus in Drylands. *Nat. Sustain.* 2019, 2, 848–855.
- Boyd, M. The Potential of Agrivoltaics for the US Solar Industry, Farmers and Communities; Solar Energy Technologies Office: Washington, DC, USA, 2023.
- Burney, J.; Woltering, L.; Burke, M.; Naylor, R.; Pasternak, D. Solar-Powered Drip Irrigation Enhances Food Security in the Sudano-Sahel. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 2010, 107, 1848–1853.
- Capellán-Pérez, I.; de Castro, C.; Arto, I. Assessing Vulnerabilities and Limits in the Transition to Renewable Energies: Land Requirements under 100% Solar Energy Scenarios. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2017, 77, 760–782.
- Chamara, R.; Beneragama, C. Agrivoltaic systems and its potential to optimize agricultural land use for energy production in Sri Lanka: A Review. *J. Sol. Energy Res. (JSER)* 2020, 5, 417–431.
- Ciocia, A.; Enescu, D.; Amato, A.; Malgaroli, G.; Polacco, R.; Amico, F.; Spertino, F. Agrivoltaic System: A Case Study of PV Production and Olive Cultivation in Southern Italy. In *Proceedings of the 2022 57th International Universities Power Engineering Conference: Big Data and Smart Grids, UPEC 2022-Proceedings, Istanbul, Turkey, 30 August–2 September 2022*.
- Cossu, M.; Murgia, L.; Ledda, L.; Deligios, P.A.; Sirigu, A.; Chessa, F.; Pazzona, A. Solar Radiation Distribution inside a Greenhouse with South-Oriented Photovoltaic Roofs and Effects on Crop Productivity. *Appl. Energy* 2014, 133, 89–100.
- Cuppari, R.I.; Branscomb, A.; Graham, M.; Negash, F.; Smith, A.K.; Proctor, K.; Rupp, D.; Tilahun Ayalew, A.; Getaneh Tilaye, G.; Higgins, C.W.; et al. Agrivoltaics: Synergies and Trade-Offs in Achieving the Sustainable Development Goals at the Global and Local Scale. *Appl. Energy* 2024, 362, 122970.
- DIN SPEC 91434:2021-05; Agri-Photovoltaic Systems-Requirements for Primary Agricultural Use. Institute for Standardization: Berlin, Germany, 2022.
- Dinesh, H.; Pearce, J.M. The Potential of Agrivoltaic Systems. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2016, 54, 299–308.
- European Commission. Factsheet: Revision of the EU Electricity Market Design; European Commission: Brussels, Belgium, 2023.
- Ferrara, G.; Boselli, M.; Palasciano, M.; Mazzeo, A. Effect of Shading Determined by Photovoltaic Panels Installed above the Vines on the Performance of Cv. Corvina (*Vitis vinifera* L.). *Sci. Hortic.* 2023, 308, 111595.

Fraunhofer ISE Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition-Fraunhofer ISE. Fraunhofer Inst. Sol. Energy Syst. ISE 2022, 1–80. Available online: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/agrivoltaics-opportunities-foragriculture-and-the-energy-transition.html> (accessed on 13 August 2024)

Goetzberger, A.; Zastrow, A. On the Coexistence of Solar- Energy Conversion and Plant Cultivation. *Int. J. Sol. Energy* 1982, 1, 55–69.

Gorjian, S.; Bousi, E.; Özdemir, Ö.E.; Trommsdorff, M.; Kumar, N.M.; Anand, A.; Kant, K.; Chopra, S.S. Progress and Challenges of Crop Production and Electricity Generation in Agrivoltaic Systems Using Semi-Transparent Photovoltaic Technology. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2022, 158, 112126

Heins, B.J.; Sharpe, K.T.; Buchanan, E.S.; Reese, M.H. Agrivoltaics to Shade Cows in a Pasture-Based Dairy System. In *Proceedings of the AIP Conference Proceedings*; AIP Publishing: Melville, NY, USA, 2022; Volume 2635

Hernandez, R.R.; Armstrong, A.; Burney, J.; Ryan, G.; Moore-O’Leary, K.; Diédhiou, I.; Grodsky, S.M.; Saul-Gershenz, L.; Davis, R.; Macknick, J.; et al. Techno–ecological synergies of solar energy for global sustainability. *Nat. Sustain.* 2019, 2, 560–568.

International Energy Agency. *Outlook for Electricity–World Energy Outlook–Analysis*; IEA: Paris, France, 2022.

Jain, P.; Raina, G.; Sinha, S.; Malik, P.; Mathur, S. Agrovoltatics: Step towards Sustainable Energy-Food Combination. *Bioresour. Technol. Rep.* 2021, 15, 100766.

Kazak, T. European Green Deal. *Yearb. Law. Dep.* 2022, 9, 304–315.

Macknick, J.; Hartmann, H.; Barron-Gafford, G.; Beatty, B.; Burton, R.; Choi, C.S.; Matthew, D.; Davis, R.; Figueroa, J.; Garrett, A.; et al. The 5 Cs of Agrivoltaic Success Factors in the United States: Lessons From the InSPIRE Research Study; National Renewable Energy Laboratory: Golden, CO, USA, 2022; NREL/TP-6A20-83566. Available online: <https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/83566.pdf> (accessed on 3 November 2022).

Magarelli, A.; Mazzeo, A.; Ferrara, G. Fruit Crop Species with Agrivoltaic Systems: A Critical Review. *Agronomy* 2024, 14, 722.

Majumdar, D.; Pasqualetti, M.J. Dual use of agricultural land: Introducing ‘agrivoltaics’ in Phoenix Metropolitan Statistical Area, USA. *Landsc. Urban Plan.* 2017, 170, 150–168.

Marrou, H.; Dufour, L.; Wery, J. How Does a Shelter of Solar Panels Influence Water Flows in a Soil–Crop System? *Eur. J. Agron.* 2013, 50, 38–51.

Marrou, H.; Wery, J.; Dufour, L.; Dupraz, C. Productivity and Radiation Use Efficiency of Lettuces Grown in the Partial Shade of Photovoltaic Panels. *Eur. J. Agron.* 2013, 44, 54–66.

Martinez, M. Sistema Que Combina Produção de Comida e Energia Solar Pode Ajudar Famílias No Semiárido. *Mongabay*. 2022. Available online: <https://brasil.mongabay.com/2022/06/sistema-que-combina-producao-de-comida-e-energia-solar-podeajudar-familias-no-semiarido/> (accessed on 12 August 2024).

Mouhib, E.; Fernández-Solas, Á.; Pérez-Higueras, P.J.; Fernández-Ocaña, A.M.; Micheli, L.; Almonacid, F.; Fernández, E.F. Enhancing Land Use: Integrating Bifacial PV and Olive Trees in Agrivoltaic Systems. *Appl. Energy* 2024, 359, 122660.

Nagashima, A. Sunlight Power Generation System. Japan Patent No. 2005-277038, 6 October 2005.

Nonhebel, S. Renewable energy and food supply: Will there be enough land? *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2005, 9, 191–201.

Ossewaarde, M.; Ossewaarde-Lowtoot, R. The EU's Green Deal: A Third Alternative to Green Growth and Degrowth? *Sustainability* 2020, 12, 9825.

Reher, T.; Lavaert, C.; Willockx, B.; Huyghe, Y.; Bisschop, J.; Martens, J.A.; Diels, J.; Cappelle, J.; Van de Poel, B. Potential of Sugar Beet (*Beta vulgaris*) and Wheat (*Triticum aestivum*) Production in Vertical Bifacial, Tracked, or Elevated Agrivoltaic Systems in Belgium. *Appl. Energy* 2024, 359, 122679

Schindele, S.; Trommsdorff, M.; Schlaak, A.; Obergfell, T.; Bopp, G.; Reise, C.; Braun, C.; Weselek, A.; Bauerle, A.; Högy, P.; et al. Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications. *Appl. Energ.* 2020, 265, 114737.

Sekiyama, T.; Nagashima, A. Solar Sharing for Both Food and Clean Energy Production: Performance of Agrivoltaic Systems for Corn, a Typical Shade-Intolerant Crop. *Environments* 2019, 6, 65.

Sharpe, K.T.; Heins, B.J.; Buchanan, E.S.; Reese, M.H. Evaluation of Solar Photovoltaic Systems to Shade Cows in a Pasture-Based Dairy Herd. *J. Dairy. Sci.* 2021, 104, 2794–2806.

Soto-Gómez, D. Integration of Crops, Livestock, and Solar Panels: A Review of Agrivoltaic Systems. *Agronomy* 2024, 14, 1824. <https://doi.org/10.3390/agronomy14081824>

Sturchio, M.A.; Kannenberg, S.A.; Knapp, A.K. Agrivoltaic Arrays Can Maintain Semi-Arid Grassland Productivity and Extend the Seasonality of Forage Quality. *Appl. Energy* 2024, 356, 122418.

Tajima, M.; Iida, T. Evolution of Agrivoltaic Farms in Japan. In *Proceedings of the AIP Conference Proceedings*; AIP Publishing: Melville, NY, USA, 2021; Volume 2361.

Thompson, E.P.; Bombelli, E.L.; Shubham, S.; Watson, H.; Everard, A.; D'Ardes, A.; Schievano, A.; Bocchi, S.; Zand, N.; Howe, C.J.; et al. Tinted Semi-Transparent Solar Panels Allow Concurrent Production of Crops and Electricity on the Same Cropland. *Adv. Energy Mater.* 2020, 10, 2001189

Toledo, C.; Scognamiglio, A. Agrivoltaic Systems Design and Assessment: A Critical Review, and a Descriptive Model towards a Sustainable Landscape Vision (Three-Dimensional Agrivoltaic Patterns). *Sustainability* 2021, 13, 6871. *Processes* 2023, 11, 948 24 of 27

Uchanski, M.; Hickey, T.; Boussetot, J.; Barth, K.L. Characterization of Agrivoltaic Crop Environment Conditions Using Opaque and Thin-Film Semi-Transparent Modules. *Energy* 2023, 16, 3012.

U.S. Department of Energy - Solar Impacts on Wildlife and Ecosystems: Request for Information Response Summary, November 2021; DE-FOA-0002583  
<https://www.energy.gov/sites/default/files/2021-11/Solar%20Impacts%20on%20Wildlife%20and%20Ecosystems%20Request%20for%20Information%20Summary.pdf>

Valle, B.; Simonneau, T.; Sourd, F.; Pechier, P.; Hamard, P.; Frisson, T.; Ryckewaert, M.; Christophe, A. Increasing the Total Productivity of a Land by Combining Mobile Photovoltaic Panels and Food Crops. *Appl. Energy* 2017, 206, 1495–1507

Van de Ven, D.J.; Capellan-Peréz, I.; Arto, I.; Cazcarro, I.; de Castro, C.; Patel, P.; Gonzalez-Eguino, M. The Potential Land Requirements and Related Land Use Change Emissions of Solar Energy. *Sci. Rep.* 2021, 11, 2907.

Vidotto, L.C.; Schneider, K.; Morato, R.W.; do Nascimento, L.R.; Rüther, R. An Evaluation of the Potential of Agrivoltaic Systems in Brazil. *Appl. Energy* 2024, 360, 122782.

Widmer, J.; Christ, B.; Grenz, J.; Norgrove, L. Agrivoltaics, a Promising New Tool for Electricity and Food Production: A Systematic Review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2024, 192, 114277.

Weselek, A.; Bauerle, A.; Zikeli, S.; Lewandowski, I.; Högy, P. Effects on Crop Development, Yields and Chemical Composition of Celeriac (*Apium graveolens* L. Var. *Rapaceum*) Cultivated underneath an Agrivoltaic System. *Agronomy* 2021, 11, 733.

Weselek, A.; Ehmann, A.; Zikeli, S.; Lewandowski, I.; Schindele, S.; Högy, P. Agrophotovoltaic systems: Applications, challenges, and opportunities. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 2019, 39, 35.

## ИЗГОТВИЛ:

зооинж. д-р Надежда Луканова, онс

Дирекция „Оценка на риска по хранителната верига“, ЦОРХВ

24.09.2025 г.