

FRI-10.326-1-EEEE-09

ANALYSIS OF THE APPLICATIONS OF PHOTOVOLTAIC INSTALLATIONS IN CROP PRODUCTION⁹

Kamen Simeonov

Department of Electrical Power Engineering,
University of Ruse “Angel Kanchev”
E-mail: kamen@solarmd.co.za

Assoc. Prof. Boris Evstatiev, DSc.

Department of Electronics
University of Ruse “Angel Kanchev”
E-mail: bevstatiev@uni-ruse.bg

Assist. Prof. Katerina Gabrovska-Evstatieva, PhD

Department of Computer Science,
University of Ruse “Angel Kanchev”
E-mail: kgg@ami.uni-ruse.bg

Prof. Nicola Mihailov, PhD

Department of Electrical Power Engineering,
University of Ruse “Angel Kanchev”
E-mail: mihailov@uni-ruse.bg

***Abstract:** The application of renewable energy sources is an important priority for the European union. The agricultural sector has great potential to increase its efficiency by integrating photovoltaic modules in the different technological processes. This study analyzes the available options for application of PV energy in the crop production sector. Previous studies have shown that a number of technological processes could be provided with renewable energy, such as lighting, heating, ventilation and irrigation. The area of their application varies from closed growing, such as in greenhouses and hydroponic systems, to open field growing. Some studies suggest the PV modules to be used as a source of shadows, while others to install them vertically and use them as a fence. This study analyzes the pros and cons of the different applications.*

***Keywords:** photovoltaic energy, crop production, technological processes*

ВЪВЕДЕНИЕ

Енергията от фотоволтаични източници (ФВИ) има редица предимства, които я правят особено подходяща за посрещане на днешните енергийни предизвикателства. Политиките на ЕС (2023) в областта на енергията от възобновяеми източници спомогнаха за значително намаляване на разходите за ФВИ през последното десетилетие, като ги превърнаха в един от най-бързо развиващите се технологии в енергийния сектор. Съществуват редица ползи от това, като създаването на работни места, нови стопански модели стартиращи предприятия и др.

Един от секторите с голям потенциал за прилагане на енергия от възобновяеми енергийни източници (ВЕИ) е земеделието и по-специално растениевъдството. Много от селскостопанските терени се намират в отдалечени райони без достъп до електроенергия, което значително намалява потенциала за тяхното ефективно използване. Съществуващите изследвания по темата показват, че осигуряване на енергия от ВЕИ в някои ситуации може да увеличи добива на селскостопанска продукция с над 50-60% (Evstatiev et al, 2019).

⁹ Докладът е представен в секция Електротехника, електроника и автоматика на 27 октомври 2023 с оригинално заглавие на български език: АНАЛИЗ НА ПРИЛОЖЕНИЕТО НА ФОТОВОЛТАИЧНИ ИНСТАЛАЦИИ В РАСТЕНИЕВЪДСТВОТО

Целта на настоящето изследване е да се анализира състоянието на проблема, възможностите за приложение на ФВИ в растениевъдството, както и директните и индиректни ползи.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Основни консуматори на електроенергия в растениевъдството

В растениевъдството съществуват редица технологични процеси, които имат нужда от електроенергия. Те са част от съоръжения, като:

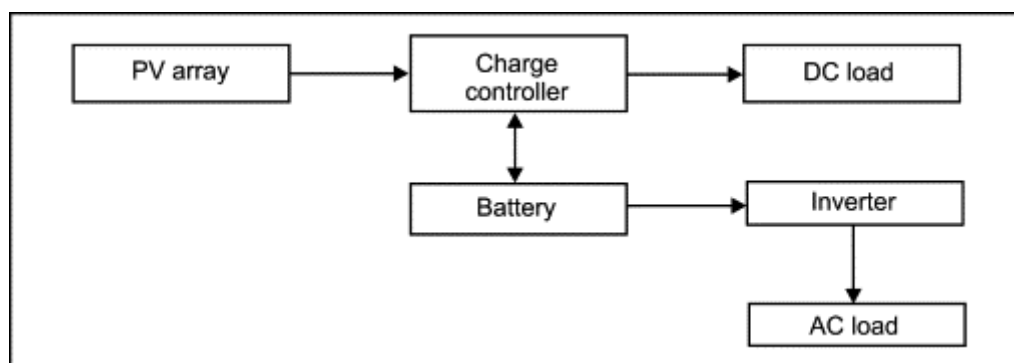
- Помпените инсталации и системи за напояване (Verma et al, 2021), в които помпи изпомпват вода и/или създават определено налягане. Инсталираната мощност на такива машини в едно стопанство може да бъде доста значителна и да надхвърля 100-200 kW;
- Парниците и хидропонни инсталации, включващи редица технологични процеси, които имат нужда от електроенергия, като вентилационни системи, осветителни системи, системи за мониторинг и управление и др. (Revathi et al, 2021; Kuijpers et al, 2021; Cherif et al, 2023; Benyezza et al, 2023);
- Помещения за сушене и съхранение на продукцията (Jain, 2005; Gabrovska-Evstatieva et al, 2019), които поддържат определени параметри на микроклимата (температура, относителна влажност и др.);
- Електрически транспортни средства (Redpath et al, 2011), които навлизат все по-масово в сферата на растениевъдството.
- и др.

Всички горепосочени технологични процеси могат да бъдат енергоосигурени с ФВИ, като конкретната полза във всяка конкретна ситуация следва да бъде оценена както по отношение на директните, така и по отношение на индиректните ползи.

Основни класификации на фотоволтаичните източници в сектор растениевъдство

Автономните фотоволтаични системи са проектирани да работят независимо от електрическата мрежа и обикновено са оразмерени, за да захранват определени постояннотокови и/или променливотокови електрически товари. Тези инсталации могат да се осигуряват само с фотоволтаични източници или да се използват и други източници на енергия, като ветрогенератори, дизел генератори и др., което вече се нарича хибридна система.

В най-опростения случай автономната фотоволтаична система се използва за директно захранване на постояннотокови товари. Тъй като при тази ситуация отсъстват устройства за съхранение на енергия (батерии), този тип системи работят само когато се генерира достатъчна мощност от фотоволтаичните модули. По правило такива инсталации са подходящи единствено за непретенциозен товар, като например вентилационни вентилатори, циркулационни помпи за отопление на вода и пр. (Xie et al, 2022). В по-общия случай една автономна система може да включва също така батерия, а при необходимост от захранване на променливотокови товари – инвертор (фиг. 1).



Фиг. 1 Схема на автономна фотоволтаична инсталация (Xie et al, 2022)

В селското стопанство могат да се разграничат два типа ФВИ, в зависимост от начина им на инсталиране:

- Вертикални Агро-Фотоволтаични Инсталации (фиг. 2а) - фотоволтаичните панели са поставени вертикално, за да се използва по-малко земя, но също така да предоставя сянка и защита на растенията под тях. Тази конфигурация може да се използва в градски ферми и вертикални парници (Bruhwylер et al, 2023; Campana et al, 2021);
- Хоризонтални агро-фотоволтаични инсталации (фиг. 2б) - чрез тях се осигурява сянка на посевите, което може да е от полза за някои видове селскостопански култури (Wang & Sueyoshi, 2017). Тази конфигурация се използва също така и при парници и хидропонни инсталации (Torrente et al, 2024).



Фиг. 2. Примери за вертикални (Campana et al, 2021) и хоризонтални (Torrente et al, 2024) агро-фотоволтаични инсталации

Анализ на ползите от приложение на ФВИ в растениевъдството

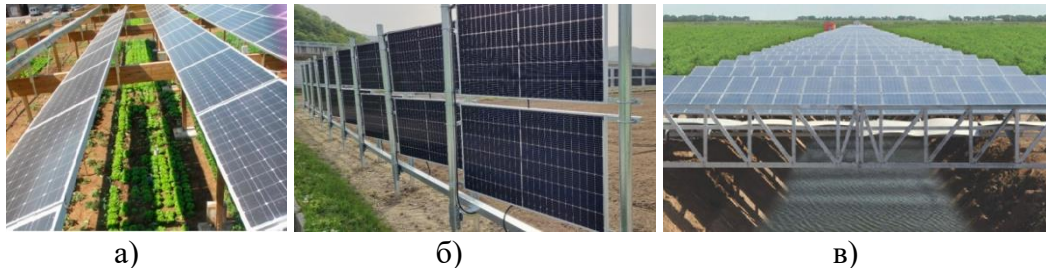
При използването на фотоволтаични инсталации в растениевъдството могат да възникнат два типа ползи:

- енергоосигуряване на технологични процеси в земеделието;
- допълнителни непреки агротехнически ползи.

В този раздел се разглеждат някои примери за приложение на ФВИ, като се анализират директните и индиректните ползи от тях:

- ФВИ за захранване на помпени и напоителни системи – основната полза в случая е потенциалното осигуряване на вода в отдалечени райони, където такава не е налична или осигуряване на подпочвена/речна вода на по-ниска себестойност (Evstatiev et al, 2019).
- ФВИ за захранване на технологични процеси в складове, сушилни, парници и хидропонни инсталации – основната полза е възможността за изграждане на такива съоръжения на места без директен достъп до електропреносната мрежа, което би могло значително да намали началната инвестиция. Съществуващите изследвания показват, че има смисъл да се комбинират различни съоръжения, чиито товарни графици се допълват (Gabrovska-Evstatieva et al., 2019).
- Хоризонтални ФВИ за осигуряване на частична сянка - съществуват редица изследвания, в които един и същ терен се ползва едновременно за земеделска продукция и за добив на енергия от фотоволтаични източници (фиг. 3а). Така например, в (Zhao et al, 2021) се анализира приложението на полупрозрачни фотоволтаични модули с цел увеличаване на земеделската продукция. Известни са и примери за изграждане на хоризонтални ФВИ върху водни повърхности, което позволява да не се хаби земеделска площ, от една страна, а от друга – да се намали количеството изпарявана вода (фиг. 3в) (Saurenergy, n.d.);

- Вертикални ФВИ, използвани като ограда върху земеделски площи – използват се огради с ориентация изток-запад, реализирани с двустранни панели (фиг. 3б). По този начин не се хаби земеделска площ, като същевременно се осигурява енергоосигуряването на различни технологични процеси (Yousuf et al, 2022);
- Осигуряване на засенчвания за селскостопанска техника – в случая основната роля на ФВИ отново е да захрани определен технологичен процес, но спомагателната им роля е да осигурят затворена площ за трактори и др. машини.



Фиг. 3. Примери за приложение на фотоволтаични съоръжения с цел засенчване на селскостопанска продукция (Toledo & Scognamiglio, 2021), като ограда (Yousuf et al, 2022) и се цел засенчване на водни съоръжения (Saurenergy, n.d.)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящото изследване са анализирани текущите тенденции за приложение на фотоволтаични източници в селското стопанство и по-конкретно в растениевъдството. Разгледани са основните консуматори на електрическа енергия в сектора, които се различават както по отношение на осигуряваните технологични процеси, така и по отношение на консумираната мощност. От направения анализ може да се направи извод, че в растениевъдството съществуват редица потребители на електрическа енергия, които могат да бъдат захранвани с фотоволтаична енергия. Осигуряването на електроенергия от ВЕИ в райони без достъп до електропреносната мрежа би могло да повиши значително добива на селскостопанска продукция.

След това е извършена класификация на използваните в растениевъдството автономни ФВИ, като са разделени на такива с ниски и с високи изисквания към осигуряването на конкретен товаров график. Класифицирани са също така в категориите хоризонтални и вертикални, в зависимост от начина на инсталиране на фотоволтаичните модули. Най-накрая са разгледани различни примери за приложение на ФВИ в селското стопанство, като са идентифицирани преките и непреките ползи от тях. Потенциалните ползи от използването на фотоволтаична енергия в растениевъдството са: намаляване на оперативните разходи, устойчивост и намаляване на емисиите на въглероден диоксид, независимост от енергийни колебания, използване на необработваема земеделска земя, издръжливост и надеждност.

По-нататъшното разработване и усъвършенстване на агриволтаичните системи е от ключово значение за повишаване конкурентоспособността на растениевъдството, като същевременно полага основите на устойчиви политики в секторите енергетика, земеделие и развитие на селските райони.

REFERENCES

Benyezza, H., Bouhedda, M., Kara, R., & Rebouh, S. (2023). *Smart platform based on IoT and WSN for monitoring and control of a greenhouse in the context of precision agriculture*. Internet of Things, 23, 100830, <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100830>.

Bruhwyler, R., Sánchez, H., Meza, C., Lebeau, F., Brunet, P., Dabadie, G., Dittmann, S., Gottschalg, R., & Negroni, J. J. (2023). *Vertical agrivoltaics and its potential for electricity*

production and agricultural water demand: A case study in the area of Chanco, Chile. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 60, 103425, <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103425>.

Campana, P. E., Stridh, B., Amaducci, S., & Colauzzi, M. (2021). *Optimisation of vertically mounted agrivoltaic systems*. Journal of Cleaner Production, 325(20), 129091, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129091>.

Cherif, D., Ayed, R., Skouri, S., Bouadila, S., Lazaar, M., & Guizani, A. (2023). *Enhancing crop yield in hydroponic greenhouses: Integrating latent heat storage and forced ventilation systems for improved thermal stratification*. Thermal Science and Engineering Progress, 45, 102163, <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2023.102163>.

European Union. (2023). Energy politics – common principles. URL: https://www.europarl.europa.eu/erpl-app-public/factsheets/pdf/bg/FTU_2.4.7.pdf (accessed on 22.10.2023).

Evstatiev, B., Gabrovska-Evstatieva, K., Trifonov, D., & Mihailov, N. (2019). *Solar Energy Potential to Power the Irrigation of Orchards in Bulgaria*. 47th Symposium "Actual Tasks on Agricultural Engineering", Opatija, Croatia, 213-221.

Gabrovska-Evstatieva, K., Evstatiev, B., Trifonov, D., & Mihailov, N. (2019). *Autonomous Powering of an Orchard Irrigation System and Fruit Storage*. 47th Symposium "Actual Tasks on Agricultural Engineering", Opatija, Croatia, 203-211.

Jain, D. (2005). *Modeling the system performance of multi-tray crop drying using an inclined multi-pass solar air heater with in-built thermal storage*. Journal of Food Engineering, 71(1), 44-54, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.10.016>.

Kuijpers, W., Katzin, D., van Mourik, S., Antunes, D. J., Hemming, S., & van de Molengraft, M. J. G. (2021). *Lighting systems and strategies compared in an optimally controlled greenhouse*. Biosystems Engineering, 202, 195-216, <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.12.006>.

Redpath, D., McIlveen-Wright, D., Kattakayam, T., Hewitt, N. J., Karlowski, J., & Bardi, U. (2011). *Battery powered electric vehicles charged via solar photovoltaic arrays developed for light agricultural duties in remote hilly areas in the Southern Mediterranean region*. Journal of Cleaner Production, 19(17–18), 2034-2048, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.07.015>.

Revathi, S., Sivakumaran, N., & Radhakrishnan, T.K. (2021). *Design of solar-powered forced ventilation system and energy-efficient thermal comfort operation of greenhouse*. Materials Today: Proceedings, 46(19), 9893-9900, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.409>.

Saurenergy. (n.d.) SSCL has tendered for setting up 25 MW solar plants on the Upper Tanga Canal Stretches passing through the Shivamogga City in Karnataka on DBFOT Basis. URL: <https://www.saurenergy.com/solar-energy-news/tender-issued-for-25-mw-canal-top-solar-plants-in-karnataka> (accessed on 25.10.2023).

Toledo, C., & Scognamiglio, A. (2021). *Agrivoltaic Systems Design and Assessment: A Critical Review, and a Descriptive Model towards a Sustainable Landscape Vision (Three-Dimensional Agrivoltaic Patterns)*. Sustainability, 13, 6871. <https://doi.org/10.3390/su13126871>.

Torrente, C. J., Reca, J., López-Luque, R., Martínez, J., & Casares, F. J. (2024). *Simulation model to analyze the spatial distribution of solar radiation in agrivoltaic Mediterranean greenhouses and its effect on crop water needs*, Applied Energy, 353, 122050, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122050>.

Verma, S., Mishra, S., Chowdhury, S., Gaur, A., Mohapatra, S., Soni, A., & Verma, P. (2021). *Solar PV powered water pumping system – A review*, Materials Today: Proceedings, 46(11), 5601-5606, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.434>.

Wang, D. D., & Sueyoshi, T. (2017). *Assessment of large commercial rooftop photovoltaic system installations: Evidence from California*, Applied Energy, 188, 45-55, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.11.076>.

Xie, J., Li, Y.-Z., Yang, L., Sun, Y., & Yuan, M. (2022). *A review of the recent progress of stand-alone photovoltaic-battery hybrid energy systems in space and on the ground*. *Journal of Energy Storage*, 55, 105735, <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105735>.

Yousuf, H., Koo, L., & Cho, Y. H. (2022). *A Review on the Agri-voltaic and Fence PV System*. *Current Photovoltaic Research*, 10(4) 116-120, <https://doi.org/10.21218/CPR.2022.10.4.116>.

Zhao, Y., Zhu, Y., Cheng, H.-W., Zheng, R., Meng, D., & Yang, Y. (2021). *A review on semitransparent solar cells for agricultural application*. *Materials Today Energy*, 22, 100852, <https://doi.org/10.1016/j.mtener.2021.100852>.