

Agro-fotonaponski sistemi kao sinergija poljoprivredne i proizvodnje električne energije

Agro-Photovoltaic Systems as a Synergy of Agricultural and Electricity Production

Goran Rimac^{*}, Ilija Batas Bjelić^{**}

^{*} Pokrajinski sekretarijat za energetiku, građevinarstvo i saobraćaj, Novi Sad

^{**} Institut tehničkih nauka SANU, Beograd

Rezime - Imajući u vidu pogoršavanje uslova za poljoprivrednu proizvodnju usled klimatskih promena, sve je više činilaca koji opravdavaju primenu agro-fotonaponskih (Engl. *agrivoltaic*) sistema. Ovi sistemi omogućavaju inovativno, efikasno i isplativo rešenje za istovremeno odvijanje održive poljoprivredne proizvodnje i proizvodnje obnovljive energije. Sem toga, povećavaju iskorišćenost zemljišta sinergijom poljoprivredne infrastrukture sa fotonaponskom, što ruralne zajednice čini konkurentnijim i održivijim. Na ovaj način farmeri imaju priliku da razviju nov izvor prihoda bez napuštanja poljoprivredne proizvodnje.

Instalirani direktno iznad poljoprivrednih kultura, solarni paneli štite biljke od prekomerne osunčanosti, toplote, održavaju vlažnost zemljišta, štite od grada i mraza i omogućavaju stabilan prinos uz istovremenu proizvodnju električne energije.

Benefiti koje pruža primena agro-fotonaponskih sistema se mogu povećati zahvaljujući digitalnim rešenjima koja se prilagođavaju potrebama useva optimizovanjem nivoa senčenja ili vlažnosti zemljišta u odnosu na proizvodnju električne energije. Solarna energija se može iskoristiti za pogon pumpi za navodnjavanje zamenjujući dizel generatore, kao i za procese prerade poljoprivrednih proizvoda, odnosno napajanje opreme i voznog parka na imanjima. Individualni poljoprivredni proizvođači kao i zadruge mogu imati koristi od primene ovih sistema s obzirom da dosadašnja iskustva govore o povećanju prihoda farmi od preko 30%. Tehnička i ekonomska izvodljivost ovih projekata je dokazana u mnogim zemljama, a nedostatak odgovarajućeg regulatornog okvira je verovatno najveća prepreka za iskoristivost njihovih potencijala. Investicije u ove projekte su veće u poređenju sa konvencionalnim fotonaponskim sistemima postavljenim na zemlji, pa je u ovom momentu potrebno osmisliti i primeniti određene mere podrške do postizanja pozitivnih ekonomskih efekata u Republici Srbiji (AP Vojvodini). Uzimajući u obzir klimatske prilike na području Srbije (AP Vojvodine), kao i kulture koje se uzgajaju, potrebno je ispitati mogućnost primene ovih sistema prvenstveno kod povrtarskih i voćarskih kultura.

Ključne reči - agro-fotonaponski sistemi, poljoprivredna proizvodnja, proizvodnja električne energije

Abstract - Having in mind the deteriorating conditions for agricultural production due to climate change, there are more and more factors that justify the use of agro-photovoltaic or agrivoltaic systems. The systems offer an innovative, efficient and cost-effective solution for the simultaneous development of sustainable agricultural production and renewable energy production. Besides, they increase land use by synergizing agricultural infrastructure with photovoltaics, making rural communities more competitive and sustainable. In this way, farmers have the opportunity to develop a new source of income without leaving agricultural production.

Installed directly above agricultural crops, solar panels protect plants from excessive sunlight, heat, maintain soil moisture, protect from hail and frost, enabling a stable yield with the simultaneous production of electricity.

The benefits of using APV systems can be increased thanks to digital solutions being adapted to crop needs by optimizing the level of shading or soil moisture in relation to electricity production. Solar energy can be used to drive irrigation pumps, thus replacing diesel generators, as well as for the purpose of processing agricultural products and powering equipment and rolling stock on farms. Individual farmers as well as cooperatives can benefit from the application of these systems, given that the experience so far shows an increase in farm income of over 30%. The technical and economic feasibility of APV projects has been proven in many countries, and the lack of an appropriate regulatory framework is probably the biggest obstacle for their potential to be realized. Investments in these projects are higher compared to conventional photovoltaic systems installed on the ground so, at this moment, it is necessary to design and implement certain support measures to achieve positive economic effects in the Republic of Serbia (AP Vojvodina).

Taking into account the climatic conditions in the territory of Serbia (AP Vojvodina), as well as the crops that are grown, it is necessary to examine the possibility of applying these systems primarily to vegetable and fruit crops.

Index Terms - Agri-fotovoltaic systems, Agricultural production, Electricity production

I UVOD

Usled društveno-ekonomskog razvoja, tj. razvoja infrastrukture, industrijskih postrojenja, stambenog fonda, kao i degradacije zemljišta, nastavljena je tendencija ka daljem smanjivanju površina pod obradivim zemljištem. Istovremeno, rastuća potreba za postavljanjem fotonaponskih sistema na zemlji u cilju zadovoljenja globalnih energetske potreba dovodi do povećane konkurencije oko načina korišćenja zemljišta, što dovodi do ekonomskih, ekoloških i socijalnih konflikata. Jedan od pristupa u rešavanju izazova u pogledu održivog korišćenja zemljišta je uvođenje integrisanih prehrambeno-energetskih sistema pod imenom agro-fotonaponskih (APV) (engl. *agrivoltaic*) sistema, koji omogućavaju istovremeno obavljanje poljoprivredne proizvodnje i proizvodnje električne energije na istoj parceli.

Koncept agro-fotonaponskog sistema inicijalno su uveli Goetzberger i Zastrow 1982. godine [1], kao način modifikacije solarnih elektrana u cilju dodatne poljoprivredne proizvodnje na istom zemljištu. Ideja je bila da se solarni paneli podignu na visinu od 2 m iznad zemlje uz povećanje rastojanja između redova kako bi se izbegla prevelika osenčenost kultura ispod panela. Na ovaj način nivo radijacije bi iznosio 2/3 od ukupnog sunčevog zračenja bez solarnih panela.

Praksa istovremene proizvodnje hrane i energije poznata pod imenom *solar sharing* pokrenuta je 2004. godine u Japanu od strane Akira Nagashime, kada je ukazao na tačku zasićenja sunčevom svetlošću, nakon koje dalje povećanje nivoa sunčeve svetlosti ne prouzrokuje povećanje stope fotosinteze, precizirajući da je samo manji deo sunčeve svetlosti potreban biljkama da dostignu maksimalan stepen fotosinteze. Nagashima je testirao APV sisteme na različitim usevima i sa različitim nivoima osenčenosti i na bazi tih testova farmeri su bili u obavezi da dostave izveštaj o godišnjim prinosima. U slučaju da su prinosi poljoprivrednog zemljišta u okviru APV sistema padali ispod 80% prinosa zemljišta u odnosu na stanje bez ovih sistema, bili su u obavezi da ih demontiraju [2].

Poljoprivreda je posebno osetljiva na klimatske promene. Višlje temperature, oskudica vode, novi pesticidi i ekstremne vremenske prilike ugrožavaju otpornost poljoprivredno-prehrambenih sistema. APV sistemi nude inovativno, efikasno i isplativo rešenje koje istovremeno promovise održivu poljoprivrednu proizvodnju i čistu energetske tranziciju. Kombinovanjem poljoprivredne infrastrukture sa solarnom, ruralne zajednice postaju konkurentnije i održivije. Ova tehnologija nudi potencijal za sinergiju fotonaponskih panela i obradivih površina u cilju:

- zaštite useva od prekomernog zračenja, toplote, suše i grada,
- smanjenja potreba za navodnjavanjem do 20%,
- mogućnosti prikupljanja kišnice u svrhu navodnjavanja,
- smanjenja erozije usled vetra,
- upotrebe montažne konstrukcije panela za postavljanje zaštitnih mreža i folija,
- optimizacije stepena osunčanosti,
- veće efikasnosti panela usled njihovog boljeg hlađenja,
- veće efikasnosti „bifacijalnih“ panela zbog veće udaljenosti od zemlje i susednih panela.

Dobar APV projekat trebao bi da garantuje dobre, kako solarne, tako i poljoprivredne prinose, na takav način da je ukupan prihod veći nego što bi bio u slučaju odvojenih projekata.

Svaki APV projekat je poseban slučaj, podrazumeva složen postupak realizacije i zbog toga zahteva jedinstven prilaz.

Investicija u APV projekat mora biti usmerena na povećanje konkurentnosti poljoprivrednog sektora, smanjenje troškova snabdevanja energijom (koji se trenutno procenjuju na preko 20% varijabilnih troškova preduzeća), uz istovremeno poboljšanje klimatsko-ekoloških karakteristika.

Razvoj APV projekata je bio veoma dinamičan tokom poslednjih godina. Danas su prisutni u mnogim delovima sveta zahvaljujući finansijskim podsticajima od strane vlada pojedinih zemalja.

II NAMENA I PRIMENA APV SISTEMA

U cilju smanjenja rizika prilikom realizacije nekog APV projekta, odnosno povećanja njegove isplativosti i društvene prihvatljivosti, potrebno je primeniti određene mere obezbeđenja kvaliteta ovakvih projekata. U tu svrhu uvode se indikatori za ocenu učinka APV projekata.

Jedan od indikatora je *price performance ratio*, skraćeno (*ppr*), koji je dat formulom [3]:

$$ppr = p/pb \quad (1)$$

gde je

p - cena projekta u [€/ha/god]

pb - učinak u [€/ha/god]

U slučaju da je odnos veći od jedan nije razumno podržati realizaciju APV projekta. Cilj je da ovaj odnos bude što manji kako bi se što više povećala tehno-ekonomska i tehno-ekološka sinergija kod ovih projekata, odnosno izabralo takvo tehničko rešenje koje će učinak, izražen neposredno kroz povećanje prihoda, a posredno kroz zamenu fosilnih goriva i očuvanje biodiverziteta, učiniti što većim.

Indikator za ocenu učinka APV projekata koji se primenjuje u američkoj državi Masačusets je *land equivalent ratio* (LER) koji procenjuje da li je vrednost kombinovane poljoprivredne proizvodnje i proizvodnje električne energije fotonaponskim (PV) panelima jednaka ili veća nego što bi bila u slučaju razdvojene proizvodnje na parceli iste veličine [7].

Predlaže se upotreba i drugih indikatora, kao na primer odnos između tačke zasićenja svetlosti određene kulture i dovoljne-homogene količine svetlosti prema predloženom APV projektu.

Ovi i drugi indikatori treba da budu osnova za predhodnu i periodičnu procenu održivosti APV sistema.

APV nudi mogućnosti generisanja električne energije za sopstvenu potrošnju na farmama. Solarna energija upotrebljena direktno na mestu nastanka snižava troškove za električnu energiju smanjenom kupovinom skuplje struje iz mreže, omogućavajući farmerima da ostvare još jedan izvor prihoda.

Višestruke koristi APV tehnologije mogu se iskoristiti naročito u zemljama u razvoju koje se nalaze u regijama sa čestom sušom. Pored osenčenosti za biljke i životinje, APV takođe obezbeđuje

struju za ispušavanje vode u svrhu sprečavanja degradacije tla. Uz pomoć ovih sistema mogu da se uzgajaju određene vrste voća koje inače ne uspevaju u oblastima pogođenim sušom.

APV sistemi u ruralnim zajednicama doprinose smanjivanju zavisnosti od fosilnih goriva, na primer smanjuju upotrebu dizel generatora. Solarna energija se može koristiti i za potrebe hlađenja i dalje obrade poljoprivrednih proizvoda, koji stoga traju duže, imaju veću tržišnu vrednost i generišu veće prihode.

Osim smanjenog isparavanja i manje temperature vazduha i tla, sakupljanje kišnice pomoću posebno dizajniranih PV panela takođe ima značajnu ulogu u sušnim predelima [6].

Razvoj APV sistema podstiče povezane poslove, na primer projektovanje, instalisanje, održavanje itd. Modernizacija ruralne infrastrukture i povećana produktivnost farmi čini ruralne zajednice dinamičnijim. Zamena privremenih objekata tipa plastenika sa APV instalacijama doprinosi boljim mogućnostima za zaposlenje, kao i smanjenju sezonskih poslova u korist trajnih. Takođe, klima ispod solarnih panela je strukturno bolja nego ispod konvencionalnih plastičnih pokrivki. Tokom toplih dana temperatura ispod panela je približno 5 °C niža nego u plastenicima, a oko 2 °C niža nego u ambijentalnim uslovima.

III KARAKTERISTIKE I TIPOVI APV SISTEMA

APV sistemi podrazumevaju instaliranje fotonaponskih panela na visini od nekoliko metara iznad zemlje na takav način da je omogućeno obavljanje poljoprivrednih aktivnosti i slobodan prolaz za životinje i poljoprivredna vozila. Ovi sistemi imaju različite tehnologije i prostorne konfiguracije koje im omogućavaju da bolje odgovore na potrebe uzgajanja kultura iznad kojih se nalaze.



Slika 1. Primer tradicionalnog APV sistema

Da bi se osiguralo da biljke dobijaju dovoljno svetla i vlage, razmak između redova panela je veći u poređenju sa konvencionalnim PV sistemima i rezultira u stepenu pokrivenosti površine od oko jedne trećine. U kombinaciji sa visokim osloncima panela ovaj pristup omogućava homogenu distribuciju svetlosti i samim tim ujednačen rast biljke. Kada se primenjuju i sistemi za praćenje putanje sunca, upravljanje svetlom može biti posebno prilagođeno određenim kulturama.

Preovlađujući tipovi APV sistema su [4]:

- tradicionalni, u kojem su PV paneli raspoređeni na takav način da ostavljaju slobodan prostor između redova i ispod modula za poljoprivredne svrhe (slika 1);
- vertikalni, sa panelima montiranim na vertikalnim nosačima (slika 2). Instalacije vertikalnih APV sistema su novijeg datuma i u velikoj meri dozvoljavaju obradu zemlje bez obzira na malu udaljenost panela od tla. Lako ih je integrisati i proširiti na poljoprivrednom zemljištu. Benefiti kod ovakvih sistema se očekuju prvenstveno u vetrovitim područjima zbog zaštite zemljišta od erozije.
- sistemi sa visokom montažnom konstrukcijom (slika 3), u kojima su paneli montirani na određenoj visini od zemlje (3-5m) ostavljajući slobodan prostor za obrađivanje zemlje, čak i uz korišćenje odgovarajuće poljoprivredne mehanizacije. Ovaj tip konstrukcije može da radi i uz korišćenje sistema za zakretanje panela po jednoj ili dve ose zavisno od putanje sunca, omogućavajući dinamičnu kontrolu osenčenosti i digitalizaciju ostalih procesa unutar sistema.



Slika 2. APV sistem sa vertikalnim panelima



Slika 3. APV sistem sa visokom montažnom konstrukcijom

- APV staklenici i plastenici (slika 4), koji se u novije vreme koriste sa transparentnim panelima koji propuštaju određenu količinu svetlosti potrebnu za rast biljaka, dok u isto vreme imaju zaštitnu ulogu od spoljnih nepogoda. Takođe, u njima se poboljšavaju uslovi za obavljanje poslova vezanih za primenu

pesticida i tretman biljnih bolesti. APV sistemi ovog tipa mogu da generišu električnu energiju za utiskivanje u mrežu, da ovu energiju koriste za sopstvene potrebe ili da je skladište.

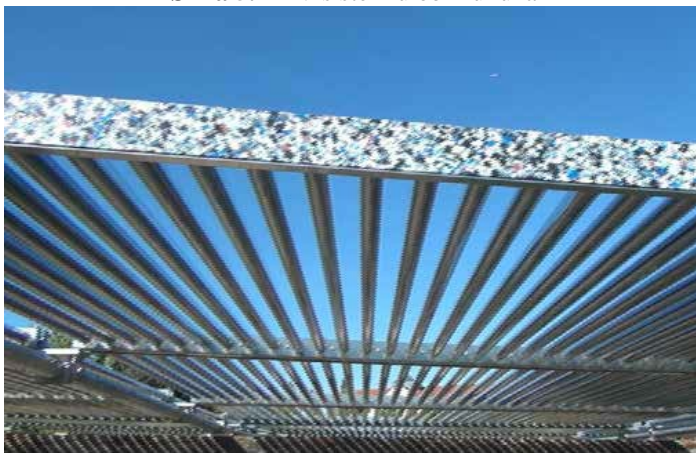


Slika 4. APV staklene bašte

Pored nabrojanih postoje različiti inovativni APV moduli od kojih je jedan od interesantnijih razvijen u Nemačkoj, a dizajniran je u obliku luka, sastavljenog od PV panela, koji klizi na bočnim šinama tako da položaj modula može da se prilagođava potrebama biljaka (slika 5).



Slika 5. APV sistem u obliku luka



Slika 6. APV cevasti modeli

Cevasti APV sistemi instalisani horizontalno na nosačima ili razapeti između zategnutih kablova (slika 6) su još jedno inovativno rešenje koje omogućava propustljivost svetlosti i vode, istovremeno stvarajući polusenku koja je povoljna za većinu poljoprivrednih kultura.

Pored ovih tipova, na tržištu su se pojavili inovativni fotonaponski paneli namenjeni za primenu u APV sistemima, proizvedeni od firme Insolight iz Švajcarske. Radi se o transparentnim panelima koji na bazi tehnologije optičkog mikro praćenja fokusiraju svetlost na solarne ćelije dva puta većim intenzitetom u odnosu na standardne panele. Rade u dva moda, u jednom optički sistem generiše energiju, a u drugom propušta sunčevu svetlost. Dinamičkim podešavanjem svetlosti koja se prenosi na biljke omogućava se povećana zaštita od klimatskih varijacija i povećanje prinosa zahvaljujući usklađivanju količine svetlosti sa potrebama kultura i snižavanju temperature tokom toplotnih talasa preko efekta senčenja.

Gubitak poljoprivredno upotrebljivog zemljišta usled potporne strukture za fotonaponske panele ne sme biti veće od 10% ukupne površine projekta kod APV sistema sa visokom montažnom konstrukcijom, tj. veće od 15% kod tradicionalnih APV sistema na zemlji [5].

Treba obezbediti da prinos useva na ukupnoj površini projekta nakon izgradnje APV sistema bude najmanje 66% od referentnog prinosa. Smanjenje prinosa poljoprivrednih kultura proizilazi usled gubitka korisnog zemljišta nastalog ugradnjom potpornih struktura, kao i usled senčenja, manje dostupnosti vode, itd. [5].

IV POLJOPRIVREDNI ASPEKT

Pored tolerancije na smanjenje sunčevog zračenja zbog pokrivenosti panelima, kulture pogodne za primenu se biraju i na osnovu drugih parametara, na primer prostornog rasporeda krošnje, odnosno najvišljeg dela biljke, zatim u zavisnosti od sezonske prirode procesa fotosinteze, kao i uticaja potporne strukture panela na rast biljke.

Voće i određene kulture koje su posebno pogođene štetnim uticajima grada, mraza i suše, mogu imati koristi od zaštite koju pruža delimična pokrivenost fotonaponskim panelima.

Postoji velika zavisnost prinosa od fluktuacije vremenskih prilika. To se vidi na primeru uzgoja krompira na jednom oglednom polju u okviru istraživačkog projekta u Nemačkoj, kada je prinos ispod APV sistema varirao od -20% u 2017. godini do +11% tokom tople i sušne 2018. godine, u poređenju sa referentnim sistemom bez panela [6].

U okviru istog projekta tokom 2017. godine, početni rezultati su bili obećavajući: kod mešavine trave i deteline prinos je bio samo 5,3% ispod referentnog, dok je u slučaju krompira, pšenice i celera smanjenje bilo veće i kretalo se u granicama između 18 i 20%. Tokom sušne 2018. godine najveći prinos od 12% u odnosu na referentni, imao je celer.

U slučaju primene APV sistema sa fiksnim montažnim konstrukcijama tokom uobičajenih godina sa visokom količinom padavina (u Nemačkoj), umanjeње prinosa do 20% može se očekivati kod krompira, pšenice i drugih vrsta žitarica [6].

Kukuruz nije pogodan za uzgajanje u delimičnoj senci u umerenim predelima zbog većih potreba za svetlošću i toplotom.

Kulture koje dobro podnose osenčenost kao: zelena salata, hmelj, boranija, spanać, krompir, mešavina trave i deteline, koštunjavo voće, bobičasto voće (maline, borovnice, jagode) i agrumi, su veoma pogodne za primenu u APV projektima [4], [6].

Pogodne za primenu su i: rotkvice, celer, krastavci, tikvice, grašak, šargarepa, praziluk, raž, ječam, ovas, uljana repica, jabuke, grožđe [4].

Na jednom od oglednih polja, prinos zelene salate gajene ispod PV panela na stubnim nosačima bio je manje od 15% niži u odnosu na referentno polje bez APV sistema [6].

U vinogradarstvu, povećano sunčevo zračenje i veće temperature usled klimatskih promena utiču na kvalitet roda, a mogu izazvati i oprljenost i sušenje plodova. Povećano zračenje povećava sadržaj šećera u grožđu, što podiže procenat alkohola u vinu i umanjuje kvalitet. Ovo rezultira u promeni regiona pogodnih za uzgajanje i utiče na vreme berbe. S obzirom na navedeno, delimična osenčenost prilikom visokih temperatura ima pozitivne efekte na rast i sprečava prevremeno sazrevanje. U poređenju sa drugim vrstama, vinogradarstvo zahteva visinu montažne konstrukcije od 2 do 3m iznad zemlje, što može značajno smanjiti cenu ove konstrukcije u odnosu na višlje nosače. Mogućnost integrisanja APV u postojeću zaštitnu strukturu takođe vodi ka smanjenju troškova [6].

Jedna studija proistekla iz rezultata dobijenih sa plantaže grožđa u Južnoj Koreji pokazala je da grožđe ispod solarnih panela sporije sazreva ali da kvalitet može da se održi kontrolom vremenskog perioda predviđenog za berbu [2].

APV sistemi primenjeni na plantažama jabuka mogu smanjiti troškove skupih sistema za zaštitu voćki od posledica klimatskih promena. Samo 60 do 70% raspoložive sunčeve svetlosti je dovoljno za optimalni prinos jabuke [6].

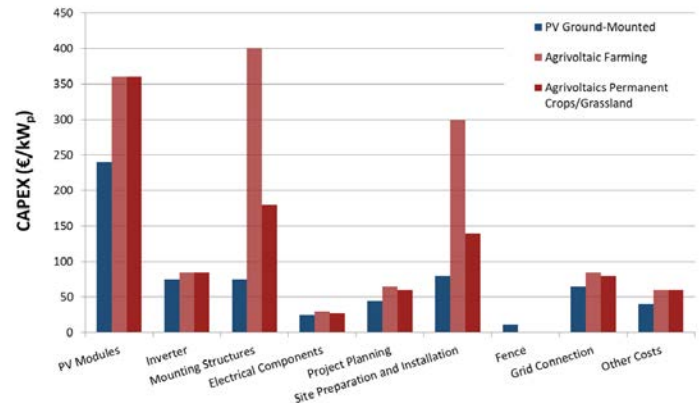
Zasadi višegodišnjih biljaka u redovima nude finansijske pogodnosti pošto nosači mogu da se integrišu u redove bez značajnijeg smanjenja površine koja se obrađuje.

Usevi i sistemi gajenja podložni za nastanak gljivičnih bolesti nisu pogodni za primenu u APV sistemima.

V FINANSIJSKI ASPEKTI

Kapitalni izdaci za APV sisteme su generalno viši u poređenju sa konvencionalnim PV sistemima postavljenim na zemlji uglavnom zbog viših troškova montažne strukture. Visina noseće konstrukcije i rastojanje između potpornih stubova ima presudnu ulogu u strukturi troškova. Nasuprot konvencionalnih sistema na zemlji, ograda nije potrebna kod APV sistema, što utiče na smanjenje investicije.

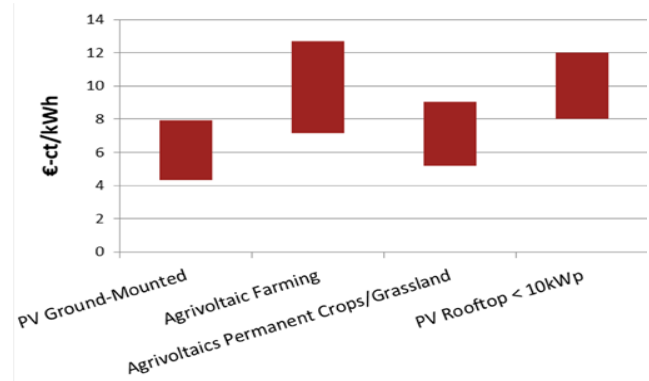
Razlike u investicionim troškovima između konvencionalnih PV sistema postavljenih na zemlji i APV sistema prikazani su na slici 7 [6]. Sa slike 7. se vidi da na razliku u investicionim troškovima između konvencionalnih i APV sistema prvenstveno utiču tri faktora: cena panela, troškovi montažne konstrukcije za panele i troškovi za pripremu lokacije i instalaciju sistema.



Slika 7. Investicioni troškovi PV sistema na zemlji i APV sistema

Nasuprot investicionim, operativni troškovi su nešto niži kod APV sistema, a stepen umanjjenja zavisi od vlasničke strukture i poslovnog modela.

Opseg za *levelized cost of electricity* (LCOE), tj. prosečan prihod po jedinici proizvedene električne energije koji bi bio neophodan za nadoknadu troškova izgradnje i rada proizvodnog postrojenja tokom pretpostavljenog finansijskog veka i radnog ciklusa, kod APV projekata u odnosu na PV sisteme postavljene na zemlji i male sisteme postavljene na krovu, prikazan je na slici 8 [6].



Slika 8. Procena prosečne vrednosti LCOE

Vidimo na slici 8. da prosečna vrednost za LCOE kod ratarske proizvodnje za period od 20 godina iznosi prosečno 9,93 c€/kWh što je skoro dvostruko više od vrednosti za PV sistem na zemlji. Za višegodišnje kulture male visine (maline, kupine), LCOE iznosi u proseku 7,13 c€ odnosno približno 30% više u odnosu na PV sistem na zemlji.

S obzirom na veće troškove, regulativni okvir vezan za agrisolarne sisteme treba da uspostavi ciljne finansijske mehanizme u zavisnosti od veličine projekta, odnosno da podrži ove projekte posredstvom aukcija, FITs ili grantova sve dotle dok ovi projekti ne postignu cenovni paritet sa tradicionalnim PV sistemima. Jedna od mogućnosti je i da se smanje porezi ili dodele dodatni podsticaji za projekte koji imaju važnu ulogu u jačanju biodiverziteta i uklanjanju CO₂.

Ruralne zajednice imaju snažan potencijal da zajednički razvijaju APV projekte formiranjem zajednica obnovljivih izvora energije. Ove zajednice su pravni entiteti posredstvom kojih građani, sa ili bez njihovih lokalnih samouprava i preduzeća, mogu realizovati projekte korišćenja obnovljivih izvora energije. Udruživanjem radi razvoja APV projekata ruralne zajednice mogu pokrenuti društvene i ekonomske inovacije i ostvariti koristi za lokalna preduzeća i građane [7].

VI MEHANIZMI POZITIVNIH UTICAJA

Osenčenost zemljišta pozitivno utiče na mikroklimu ispod PV panela i u zavisnosti od lokacije sistema i njegovog dizajna:

- sunčevo zračenje raspoloživo biljkama varira zavisno od tehničkih parametara (rastojanja i orijentacije panela);
- više su izražene promene u mikroklimi ukoliko je niža noseća struktura;
- temperatura tla i u manjoj meri temperatura vazduha su smanjene tokom naročito toplih dana;
- brzina vetra se može smanjiti ili povećati zavisno od orijentacije i dizajna sistema,
- gubitak vlage iz zemljišta je smanjen ispod panela dok se nivo vlažnosti vazduha može istovremeno povećati.

Poznavanje mikroklimu služi kao baza za izbor pogodnih kultura za uzgoj. Delimična osenčenost je odlučujući faktor prilikom izbora odgovarajućih biljaka.

Opšta preporuka u pogledu širokog prihvatanja od strane stanovništva i poljoprivrednog sektora je da ukupno smanjenje prinosa ne treba da pređe 20%. Rezultati iz Nemačke pokazuju da se ovo može postići kroz odgovarajuće upravljanje svetlom, tj. posredstvom smanjene gustine panela i podešavanjem njihovog položaja. Gubici u prinosu se mogu smanjiti pokretnim APV sistemima pri čemu se količina svetlosti može povećati za vreme rasta biljke.

Potreba biljaka za vodom je takođe jedan od odlučujućih faktora prilikom konfigurisanja APV sistema. Veća osenčenost nije uvek presudna za rast i razvoj velikog broja kultura, naprotiv, u nekim slučajevima usled efekta senčenja dolazi do smanjene potrebe za vodom, što umanjuje rizike proizvodnje izazvane klimatskim promenama.

Ne treba zanemariti ni efekte povećanja relativne vlažnosti vazduha u zoni ispod panela što, sa jedne strane proizvodi povoljne efekte na rast biljke, a sa druge strane smanjuje prosečnu temperaturu modula povećavajući na taj način njihovu produktivnost.

Jedna od preporuka je da se gustina pokrivenosti odedene kulture sa PV panelima odredi na takav način da se uspostavi ravnoteža između efikasne proizvodnje električne energije i profitabilnosti poljoprivredne proizvodnje.

Digitalizacija APV sistema (*smart farming*) predstavlja savremen način upravljanja poljoprivrednom proizvodnjom u cilju povećanja profitabilnosti. Praćenje parametara koji utiču na rast biljaka, uključujući mikroklimu, temperaturu i vlažnost zemljišta, solarno zračenje, vlažnost listova biljke i druge parametre, zahteva upotrebu senzora i opreme za prikupljanje i prenos podataka u centralnu jedinicu, u kojoj se takođe prikupljaju i

podaci o električnim vrednostima iz invertora. U centralnoj jedinici se nakon obrade podataka informacije u vidu odluka i preporučenih akcija prosleđuju farmerima ili izvršiocima akcija. Suština digitalnih rešenja je da se prilagođavanje potrebama biljaka vrši kroz optimizaciju nivoa senčenja ili vlažnosti u odnosu na generisanje električne energije i na taj način povećavaju pozitivni efekti [2].

Na osnovu brojnih APV sistema primenjenih širom sveta potvrđeno je da je međusobna sinergija između poljoprivredne proizvodnje i proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije moguća korišćenjem solarnih sistema kao okruženja za uzgajanje poljoprivrednih kultura.

VII BARIJERE

Iako je tehnička i ekonomska izvodljivost APV projekata dokazana u mnogim zemljama, postoje još uvek brojne prepreke za veće iskorišćenje potencijala ovih projekata [8].

Barijere mogu biti:

- regulativne i administrativne,
- tehničke,
- finansijske,
- društveno-kulturološke,

Što se tiče prepreka koje se tiču regulative, jedan od glavnih izazova za razvoj APV projekata je nizak kvalitet ili odsustvo regulatornih okvira za podršku razvoju ovih projekata. Prepreku predstavlja i mogući gubitak podsticaja za farmere koji su primenili APV sisteme na svojoj zemlji, kao što se desilo u nekim državama.

Subjekti koji učestvuju u razvoju ovih projekata se suočavaju sa poteškoćama u dobijanju odobrenja za planska dokumenta i druge neophodne dozvole.

Od tehničkih barijera, jedna veoma važna se tiče dostupnosti odgovarajućih panela i nosećih struktura koje su pogodne za APV projekte. Vodeći proizvođači panela još uvek ne proizvode module odgovarajuće snage i efikasnosti prikladne za APV sisteme, ispunjavajući uslov da budu lakši zbog postavljanja na veće visine.

S obzirom na prisustvo radnika, poljoprivredne mehanizacije i životinja na mestima primene ovih sistema, jedan od izazova predstavlja i bezbednost od električnog udara.

Pitanje bezbednosti ovih sistema se postavlja i u slučaju jakih udara vetra.

Prašina nastala u procesu poljoprivredne proizvodnje, uz negativan uticaj na učinak PV panela, može da utiče i na pouzdanost i izdržljivost materijala od kojih su izrađeni paneli.

Pristupačnost lokaciji je još jedna moguća prepreka pošto uključuje održavanje lokalnih puteva i moguć lošiji pristup internetu.

Mrežne veze su takođe potencijalna barijera. Ruralna područja mogu imati niže kapacitete mreže što može povećati troškove priključka i narušiti biznis plan projekta.

Nove tehnologije zahtevaju veće troškove u poređenju s tradicionalnim sistemima postavljenim na zemlji. Osim toga,

veći rizici povezani sa kompleksnošću ovih projekata koji podrazumevaju istovremeno investiranje i u poljoprivredni i energetske sektor, čine da su investitori i osiguravajuće kuće nevoljni da podrže razvoj istih.

Društvena prihvatljivost ovakvih projekata predstavlja dodatni izazov za primenu APV sistema u nekim regionima. Rano uključivanje građana na čijoj teritoriji je predviđena izgradnja postrojenja je jedan od bitnih činilaca za uspešnu realizaciju projekta.

Predeo na kome se postavlja APV sistem je vizuelno narušen i zbog toga bi prilikom odabira lokacije trebalo dati prednost oblastima koje nisu prepoznatljive u smislu vizuelne estetike, kao na primer predeli na obodu šuma. Takođe, nedostatak znanja o mogućnosti primene solarne energije od strane poljoprivrednih proizvođača može dovesti i do dodatnih barijera.

VIII ZAKLJUČAK

Dosadašnja iskustva su pokazala da je veoma važno da se sve zainteresovane strane, odnosno i poljoprivredni i energetske sektor, mrežni operateri, lokalne samouprave, kao i građani, okupe u cilju uspostavljanja međusobnog razumevanja u pogledu interesa, ciljeva i rizika vezano za implementaciju APV projekata. APV sistemi mogu stvoriti uslove za stvaranje nove generacije klimatski neutralnih farmi koje doprinose ublažavanju klimatskih promena i obavljanju održivije poljoprivredne proizvodnje. Trenutna dešavanja u svetu sve više nameću potrebu prelaska sa fosilnih na alternativne, lokalno dostupne izvore energije i u tom smislu agro-fotonaponski sistemi sigurno predstavljaju jedno od rešenja.

S obzirom da je LCOE za APV sisteme veći nego za konvencionalne PV sisteme na zemlji i da još uvek nije razvijen sistem podsticaja za ove projekte, preporuka je da PV panele prvenstveno treba postavljati na krovove kako urbanih, tako i ruralnih područja. U nekim zemljama sveta finansijska podrška za APV sisteme je uvedena zbog očuvanja zemljišta, dok je u drugim uvedena u cilju diverzifikacije izvora prihoda farmera i suprotstavljanja egzodusu iz ruralnih područja. U nekim zemljama EU APV sistemi su, kao jedan od alata u borbi za sticanje energetske nezavisnosti, uvedeni u nacionalne energetske i klimatske planove i za njih su opredeljena odgovarajuća podsticajna finansijska sredstva.

U skladu sa obavezama iz Ugovora o Energetskoj zajednici, čiji je Srbija član, kao i Sofijskom deklaracijom o Zelenoj agendi za Zapadni Balkan, u toku je izrada „Integrisanog nacionalnog energetskeog i klimatskog plana Republike Srbije za period od 2021. do 2030. godine sa vizijom do 2050. godine“. Bilo bi veoma dobro kada bi se u ovom dokumentu našlo mesta i za primenu APV projekata jer bi to značilo da bi za njih bila opredeljena i odgovarajuća podsticajna sredstva, što je veoma značajno u početnoj fazi primene ove tehnologije.

Uzimajući u obzir, s jedne strane, klimatske prilike na području Srbije (AP Vojvodine), kao i kulture koje se uzgajaju, a sa druge strane, da su do sada realizovani APV projekti sa istim kulturama i u sličnim klimatskim uslovima pokazali dobre rezultate u drugim zemljama, realno je očekivati njihovu uspešnu primenu i u našim predelima.

Poželjno je da se APV sistemi izgrađuju i da sa njima upravljaju lokalne farme, energetske zadruge ili regionalni investitori. Pošto su novim Zakonom o obnovljivim izvorima energije, zajednice obnovljivih izvora energije ili energetske zadruge, prepoznate kao subjekat sa mogućnošću učešća u aktivnostima koje se tiču sektora energetike, uočava se kao jedna od mogućnosti formiranje energetske zadruga sa ciljem realizacije APV projekata u ruralnim područjima, što bi imalo višestruke benefite za lokalnu zajednicu.

Na osnovu dosadašnjih saznanja može se reći da bi razvojem i primenom APV projekata ogroman potencijal mogao biti realizovan.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Weselek, A., Ehmann, A., Zikeli, S., Lewandowski, I., Schindele, S., Hogy, P. Agrophotovoltaic systems, challenges and opportunities. A review, *Agronomy for Sustainable Development*, Vol. 39, No. 35, 2019. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0581-3>
- [2] Cho, J., Park, S.M. A Reum Park, On Chan Lee and alt. Case Report: Application of Photovoltaic System for Agriculture: A Study on the Relationship between Power Generation and Farming for the Improvement of Photovoltaic Applications in Agriculture, *Energies*, Vol. 13, No. 18, pp. 4815, 2020. <https://doi.org/10.3390/en13184815>
- [3] Schindele, S., Trommsdorff, M., Schlaak, A., Obergfell, T. and alt. Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications, *Applied Energy*, Vol. 265, pp. 114737, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114737>
- [4] I mini report di Qualenergia.it: Una introduzione all'agrivoltaico, <https://www.qualenergia.it/articoli/mini-report-di-qualenergia-it-introduzione-agrivoltaico/> [pristupljeno 15.04.2022]
- [5] German Institute for Standardisation, *DIN SPEC 91434:2021-05 Agri-photovoltaic systems-Requirements for primary agricultural use*, 2021.
- [6] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany: *Agrivoltaics: Opportunities for agriculture and the energy transition*, 2022. [Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition - Fraunhofer ISE](https://www.fraunhofer-ise.de/en/energy-transition/agrivoltaics) [pristupljeno 15.04.2022]
- [7] Solar Power Europe, *AGRI-PV: How solar enables the clean energy transition in rural areas*, 2021. <https://now.solar/2021/04/13/agri-pv-how-solar-enables-the-clean-energy-transition-in-rural-areas/> [pristupljeno 15.04.2022]
- [8] Solar Power Europe, *Agrisolar Best Practices Guidelines*, 2021. <https://www.pveurope.eu/solar-modules/solarpower-europe-agrisolar-best-practice-guidelines-released> [pristupljeno 15.04.2022]

AUTORI/AUTHORS

Goran Rimac - diplomirani mašinski inženjer, Pokrajinski sekretarijat za energetiku, građevinarstvo i saobraćaj, goran.rimac@vojvodina.gov.rs, ORCID [0000-0001-6087-7689](https://orcid.org/0000-0001-6087-7689)
dr Ilija Batas-Bjelić - naučni saradnik, Institut tehničkih nauka SANU, ilija.batas-bjelic@itn.sanu.ac.rs, ORCID [0000-0002-4747-7186](https://orcid.org/0000-0002-4747-7186)