

SOLARNI PANELI I ŠTO S NJIMA KAD POSTANU OTPAD

UVOD

Sunčevu energiju, kao neophodnu komponentu života na Zemlji, čovjek je prvo naučio pretvoriti u toplinsku energiju. U 19. stoljeću otkriven je fotonaponski efekt što je kasnije rezultiralo proizvodnjom solarne ćelije i dobivanjem električne energije. Nekad vrlo skupa tehnologija koja se koristila uglavnom u svemirskim programima za satelite, danas postaje dostupna svima.

Kako se radi o tehnologiji koja nakon izrade i postavljanja ne izaziva nikakve emisije u zrak, a očekivani vijek trajanja postavljenih solarnih panela je oko 20 do 30 godina, vrlo lako se dolazi do zaključka zašto raste udio električne energije dobiven putem solarnih ćelija. Nova tehnologija znači i upotrebu novih materijala što će u budućnosti utjecati na geografsku preraspodjelu resursa. Iako je silicij najzastupljeniji element u zemljinoj kori, eventualni nedostatak sirovina u budućnosti će zahtijevati okretanje cirkularnoj ekonomiji, a recikliranje solarnih panela predstavljat će znatan izvor sekundarnih sirovina.

S obzirom na politiku povećanja instaliranih kapaciteta za dobivanje električne energije iz obnovljivog izvora poput sunca, za sada još ne postoji pritisak u smislu osiguravanja kapaciteta za recikliranje solarnih ćelija, jer je očekivani vijek njihovog trajanja relativno dug. Postojeće tehnologije recikliranja za sada nisu „zelene“, ali očekuju se poboljšanja u smislu učinkovitosti i ekološke prihvatljivosti. Kako s vremenom bude rasla

količina otpadnih solarnih panela, tako će i pojedine države morati osigurati vlastite kapacitete za zbrinjavanje ili će svoj otpad predavati drugima, uz visoke troškove i bez mogućnosti povrata sirovina dobivenih recikliranjem.

OD SUNCA DO UTIČNICE

Još od prve polovice 19. stoljeća, kada je Edmond Becquerel konstruirao svoju prvu fotonaponsku ćeliju i time eksperimentalno dokazao fotonaponski efekt, postojala je ideja korištenja sunca kao izvora energije. No do prve praktične primjene solarnih ćelija trebalo je proći više od stotinu godina, a naftna kriza u prvoj polovici 70-ih godina prošlog stoljeća imala je za reakciju usmjeravanja prema alternativnim izvorima energije pa tako i suncu.

U teoriji to znači da solarna ćelija apsorbira sunčevu svjetlost odnosno elektromagnetsko zračenje i na njezinim krajevima se zbog fotonaponskog efekta pojavljuje elektromotorna sila (napon) radi čega solarna ćelija postaje izvor električne energije (*Ljubomir Majdandžić, Fotonaponski sustavi, 2010.*). Upotrebom poluvodičkih materijala u PN-spoju, koji radi kao dioda, dolazi do propuštanja struje u jednom smjeru čime se dobiva jednosmjerna struja, a ona se pomoću pretvarača mijenja u izmjeničnu struju koju svakodnevno koristimo u našim domovima za rasvjetu i uređaje.

Prema istom izvoru, danas u proizvodnji solarnih ćelija najznačajniju ulogu ima silicij, a u

izvedbi se koristi tehnologija kristalnog silicija gdje razlikujemo monokristalne i polikristalne solarne ćelije. U novije vrijeme koristi se i tehnologija tankih filmova. Osim silicija radi poboljšanja učinkovitosti, solarne ćelije mogu sadržavati materijale poput: indija (In), galija (Ga), germanija (Ge), srebra (Ag), zlata (Au), bakra (Cu), kadmija (Cd), telurija (Te) i selenija (Se).



Slika 1. Elementi solarnog modula

Ako se pogleda konstrukcija solarnog modula prikazana na slici 1 (Ante Perić, *Izvedba upravljačkog sustava hibridnog naponsko-toplinskog sunčanog modula, diplomski rad, FER, Zagreb, 2017.*), poluvodički element silicija u PN spoju nalazi se između sloja prozirnog materijala s prednje strane te sloja nosive plastike sa stražnje strane. Solarne ćelije posložene u pravilnom rasporedu dodatno su učvršćene sa dva sloja smjese na osnovi etil-vinil acetata (EVA), a sve je postavljeno unutar okvira od aluminija. Površinski dio je zbog zaštite od atmosferskih utjecaja najčešće od stakla ili polipropilena. Tako konstruirani solarni moduli su vrlo lagani i mogu se pomoću nosača postavljati na sve čvrste krovne podloge ili pripremljene ravne površine.

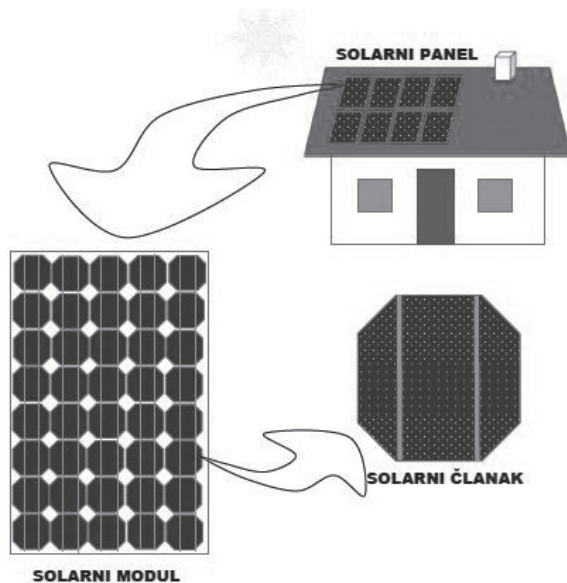
POSTAVLJANJE SOLARNIH PANELA

Kako se veći broj solarnih ćelija spaja u solarni modul, ključan je način povezivanja modula u solarni panel, jer serijskim spajanjem modula dobivamo veći napon dok se paralelnim spajanjem modula dobiva jača struja. U konačnoj izvedbi, svi solarni paneli mogu biti povezani na jedan pretvarač, ali i svaki modul može imati svoj pretvarač, no to kvalitetnije rješenje iziskuje i već početne troškove. Nakon pretvaranja iz jednosmjerne, dobivena izmjenična struja može se odmah koristiti ovisno o instaliranoj snazi i potrošnji, dok je suvišak energije potrebno usmjeriti u mrežu

lokalnog distributera ili pohraniti u baterije, radi korištenja struje tijekom noći.

Bez obzira na oblake, solarna ćelija može proizvoditi električnu energiju, no uz manju učinkovitost, a veliki problem može predstavljati zasjenjenost, jer se onemogućava dovod sunčevih zraka na površinu solarnog članka. Na sjevernoj hemisferi najučinkovitije je solarne panele usmjeriti prema jugu i dijelom prema zapadu kako bi se što dulje iskoristilo sunčevu svjetlost tijekom dana.

Važno je istaknuti da se od primjene solarnih ćelija za potrebe satelita, kada se cijena kretala na oko 100 US dolara po vatu (W), u posljednjih 50 godina cijena spustila na nekoliko desetaka centi po vatu. Zbog toga je i porastao interes za njihovu komercijalnu primjenu kod kućanstava, koja svoje solarne panele postavljaju uglavnom na krovništa kako je prikazano na slici 2.



Slika 2. Solarni panel, modul i članak

Za razliku od kućanstava koja imaju manji broj solarnih modula, za znatniju proizvodnju električne energije grade se i tzv. solarne farme koje zauzimaju velike površine, a mogu biti postavljene na tlu ili plutati na vodi.

Posljednjih godina mnoge zemlje potiču postavljanje solarnih panela na objekte, a uočen je i trend širenja solarnih panela u naselju. Naime, nakon postavljanja solarnih panela na prvom

objektu s vremenom raste broj objekata koji se odlučuju za postavljanje vlastitih solarnih panela. Osim efekta širenja, raste i cijena nekretnine, a kupci to gledaju uglavnom kao dodanu vrijednost.

Najveći porast postavljenih solarnih panela u posljednjih 10 godina je u razvijenim zemljama, a najveći udio u proizvodnji električne energije od sunca imaju SAD, Europa i Kina, koja je ujedno i najveći proizvođač solarnih panela u svijetu. Takav trend sve se više primjećuje i u ostalim zemljama koje imaju slabu pokrivenost električnom mrežom, gdje su neovisna rješenja za struju uglavnom rezultat humanitarnih napora ili poboljšanja primarnih životnih uvjeta. Možda najbolji primjer su programi postavljanja solarnih modula uz bunare u izrazito sušnim predjelima Afrike, gdje isti služe kao izvor električne energije za rad crpki za vodu. Za ostali dio svijeta glavni razlog širenja su pad cijene solarnih panela, ali i prihvaćanje politika kojom se žele smanjiti emisije CO₂.

PREDNOSTI I NEDOSTACI

Kao što je već i prije istaknuto, najveća prednost solarnih panela je da nakon postavljanja ne proizvode nikakve emisije, što je u kombinaciji s relativno dugim vijekom trajanja vrlo poželjna opcija. Naravno da je i sve veći pad cijene solarnih ćelija prednost zbog koje se i mali potrošači odlučuju za investiciju koja se otplati kroz razdoblje između 5 i 10 godina, a potom se energija dobiva bez dodatnih troškova. Nakon postavljanja konstrukcije nosača, relativno je lako zamijeniti cijeli modul u slučaju oštećenja, što naravno mora obaviti stručna osoba, dok samo održavanje, u smislu čišćenja površina panela, također ne iziskuje veće troškove tijekom godina. Ako se solarni paneli postavljaju u nenaseljenim područjima i na otocima, tada se izbjegavaju i visoki troškovi priključivanja na mrežu, a ta neovisnost je i prednost u slučaju pada mreže distributera električne energije.

Geografski gledano, glavni nedostatak je da svugdje nije moguće korištenje sunčeve energije, jer na to utječu klimatske prilike i broj sunčanih dana. Ovisno o tipu solarnih ćelija, veliki značaj ima učinkovitost, jer je povezana s vremenom obasjavanja panela, a tu ponekad može negativno utjecati i sjena susjednog objekta, drveta i slič-

no. U praktičnom smislu kao nedostatak može se istaknuti nepristupačnost na krovu, dok je kod postavljanja solarnih panela na tlo nedostatak taj da se trajno „zarobljava“ tlo, stoga je poželjno za veće površine koristiti neobrađivo tj. neplodno tlo. Ako se pak tzv. solarne farme grade u nenaseljenim područjima, tada je glavni nedostatak da se do glavne mreže i gradova mora graditi infrastruktura za prijenos energije. Za zemlje koje nemaju površine na kopnu postoji opcija postavljanja na vodi, no to moraju biti vodene površine s malim kolebanjem i mirnom površinom.

Uz spomenutu učinkovitost glavni nedostatak je i taj da se noću ne može dobiti struja, a tijekom dana suvišak energije koja se ne potroši mora se preusmjeriti u električnu mrežu lokalnog distributera. Potom se po povlaštenoj cijeni ista mora kupiti od tog istog distributera. Taj nedostatak se može umanjiti dodavanjem baterije u zatvoreni sustav, jer ona može pohraniti suvišak proizvedene električne energije, a tijekom noći baterija osigurava struju za potrošnju. Naravno svaka dogradnja je povećani trošak te je time i svojevrsni nedostatak. Zbog prije spomenutog vijeka trajanja od 20 do 30 godina, često puta se događalo da bi proizvođači solarnih panela ugasili proizvodnju i „nestali“ s tržišta, čime bi krajnji korisnik izgubio garanciju na proizvod te mora snositi sve troškove popravka, što je također veliki nedostatak.

Kako i baterije imaju svoja ograničenja, pogotovo kod većih sustava, problem pohrane se može izbjeći mnogo učinkovitijim rješenjem, uz preduvjet da postoji pristup vodotoku ili jezeru kao i odgovarajuće reljefne predispozicije. Naime, u nekim zemljama su izgrađeni sustavi koji uključuju pumpu za vodu koja se napaja suviškom dobivene električne energije, a ta pumpa vodu tijekom dana diže na višu razinu u akumulaciju. Voda iz akumulacije se slobodnim padom putem cijevi tijekom noći usmjerava na turbine koje proizvode električnu energiju i sve to bez dodatnih emisija.

RECIKLIRANJE KAO OPCIJA

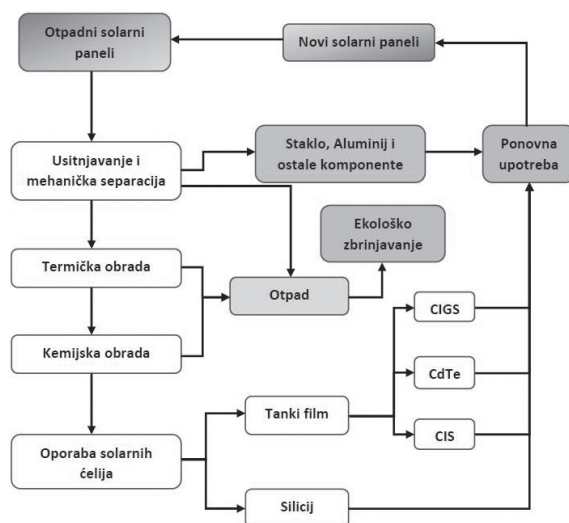
Konstrukcija i materijali sadržani u solarnom modulu prikazani na slici 1 nakon demontaže i rastavljanja, samo recikliranje aluminijskog okvira, stakla i plastične podloge ne predstavlja tehnološki zahtjevniji postupak, što nije slučaj sa solarnim

ćelijama i zaštitnim filmovima EVA. Osim zamjene zbog isteka vijeka trajanja, glavni razlozi su: mehaničko ili kemijsko oštećenje solarnih ćelija, napuknuće zaštitnog stakla ili kvarovi električnog dijela i priključaka. Svakako treba napomenuti da demontažu i rastavljanje treba obavljati stručna osoba, uz sve potrebne mjere sigurnosti, zbog napona koji može biti zadržan u solarnom modulu.

Ako nije moguće popraviti solarni modul, isti će se morati predati ovlaštenoj osobi na zbrinjavanje ili recikliranje. Kako su sustavi koji se trenutno nude na tržištu uglavnom pokriveni garancijom proizvođača, za sada oštećeni moduli uglavnom završavaju kod proizvođača koji osigurava zbrinjavanje tj. predaje ih obrađivačima na recikliranje. S obzirom na produljenu odgovornost proizvođača i politiku sufinanciranja u pojedinim zemljama, najveći problem će postati solarni paneli proizvedeni ranije i od strane proizvođača koji više ne postoje.

Uzmu li se u obzir trenutno instalirani kapaciteti i vijek trajanja solarnih ćelija, količine otpadnih solarnih panela nisu toliko velike da bi opterećivale postojeće pogone za recikliranje, a koje posjeduju samo pojedine zemlje. Dakle, za solarne panele instalirane od 2010. do sada, očekuje se da će značajnije potrebe za recikliranjem trebati tek nakon 2030. godine. Stoga ovo međurazdoblje treba iskoristiti za financiranje i razvijanje učinkovitih i ekološki prihvatljivih tehnologija recikliranja kako bi se u budućnosti moglo vratiti što više materijala sadržanih u solarnim panelima.

Glede recikliranja solarnih panela najdalje su otišli: Japan, SAD i Europa u kojoj najzapaženije rezultate bilježi Njemačka. U osnovi se recikliranje zasniva na mehaničkim postupcima usitnjavanja i separacije, nakon čega slijede termički ili kemijski postupci obrade pojedinih materijala kao što je prikazano na slici 3. (*An overview of solar photovoltaic panels' end-of-life material recycling, članak u Energy Strategy Reviews, siječanj 2020.*). U EU-27, zemlje članice su recikliranje solarnih panela regulirale WEEE Direktivom 2012/19/EU. S obzirom na različite vrste solarnih panela koji su proizvedeni u posljednjih 20-ak godina za očekivati je da će najveći udio predstavljati solarne ćelije od silicijskih kristala, ali treba osigurati i tehnologiju kojom će se moći reciklirati solarne ćelije s tankim filmom zbog sadržanih metala i nemetala.



Slika 3. Shema postupaka recikliranja solarnih panela

Prema istom izvoru, mehaničkim usitnjavanjem i primarnim separiranjem iz daljnjih se postupaka može ukloniti aluminijski okvir i staklo, kojeg je moguće izdvojiti i preko 90 %, čime se dodatno smanjuje količina materijala za daljnju obradu. Pomoću ispiranja kiselinom mogu se s tiskanih pločica odvojiti bakar i kositar. Triklortilen se pokazao kao najučinkovitije otapalo za odvajanje EVA filma. Koriste se i O-diklorbenzen, benzen i toluen te takav postupak iziskuje i dodatne mjere opreza, jer se radi o štetnim tvarima za zdravlje i okoliš.

Prvi solarni paneli sadržavali su kadmij (Cd) i telurij (Te), stoga je na slici 3 posebno izdvojena linija recikliranja pod oznakom (CdTe), a učinak recikliranja je 95 % do 97 %. Kadmij je štetan za zdravlje stoga nikako ne bi trebao završiti u okolišu. Druga linija recikliranja (CIGS) osigurava recikliranje indija (In) i galija (Ga), koji su dosta rijetki metali, a najbolje rezultate daje kombinacija ispiranja sumpornom kiselinom i izmjene iona, jer se u eluatu može vratiti više od 90 % ovih vrijednih metala. Treća linija (CIS) osigurava recikliranje novijih solarnih ćelija koje sadržavaju kristalni silicij te je primarno namijenjena za dobivanje silicija (Si).

S obzirom na korištene kemikalije, ovakvo recikliranje nije nimalo „zelena“ tehnologija, a u fazi mehaničkog usitnjavanja može se pojaviti prašina koja sadrži čestice stakla koje su opasne u slučaju udisanja. Zbog toga je izrazito važno

osigurati sustave koji su zatvoreni, uz opciju prikupljanja i filtriranja prašine. Upotreba otapala također ima za posljedicu stvaranje emisija štetnih plinova, a nastali talozi i muljevi predstavljaju izrazito opasan otpad koji treba posebno zbrinjavati putem ovlaštenih osoba. Zbog kombinacija ovih postupaka očekivana je i velika potrošnja energije, a prilikom usitnjavanja i separiranja moguć je negativni utjecaj buke.

Uzimajući u obzir sve navedeno, za očekivati je da svaka zemlja neće imati na raspolaganju potrebnu tehnologiju, a u nekima će doći do otpora prema gradnji pogona za recikliranje zbog mogućih negativnih efekata na okoliš pa će te zemlje svoj EE otpad morati zbrinjavati negdje drugdje. Naravno da će s vremenom doći do unaprjeđenja tehnologija recikliranja i na taj način će neke zemlje koje nemaju vlastite sirovine pomoću recikliranja doći do vrijednih sirovina za novu proizvodnju solarnih ćelija.

Za učinkovito i ekonomično poslovanje postrojenja za recikliranje potrebno je da izgrađeni kapaciteti budu u funkciji, što se ostvaruje stalnim priljevom otpadnih solarnih panela. To trenutno nije slučaj, jer se sada u postojećim postrojenjima recikliraju uglavnom starije istrošene solarne ćelije instalirane prije 2000. godine ili one koje su zamijenjene zbog oštećenja. Zbog stalnog rasta postavljenih solarnih panela diljem svijeta, za očekivati je da će veći pritisak otpadnih solarnih panela doći iza 2030. godine.

To vrijedi i za Republiku Hrvatsku koja trenutno nema vlastita postrojenja za recikliranje solarnih panela, a zbog vrlo malog priljeva takve vrste otpada još ne postoji interes za skoro građenje jednog takvog postrojenja. Dakle, sav takav EE otpad morat će se možda rastavljati, kako bi se smanjila količina otpada, a recikliranje solarnih ćelija će nakon izvoza morati obaviti netko drugi uz dodatne troškove. Naši proizvođači solarnih panela morat će i dalje nastaviti

nabavljati svoje sirovine negdje izvan Republike Hrvatske.

ZAKLJUČAK

Unatoč dosta visokim početnim troškovima za instaliranje, radi se o isplativoj investiciji koja nakon nekoliko godina otplaćivanja počinje donositi dobit vlasniku. Relativno dugi vijek upotrebe uz niske troškove održavanja također ide u korist korisniku, naročito ako se u obzir uzmu stalni rast cijena energenata, a posljedično i cijene električne energije. Osim pozitivnog ekološkog efekta, postoje i pokazatelji da objektu raste prodajna vrijednost zbog instaliranih solarnih panela, a primjećuje se i svojevrsni domino efekt u smislu širenja na objekte u okruženju.

Prednosti solarnih modula su relativno jednostavna montaža i mogućnost neovisne opskrbe električnom energijom u naseljenim, ali i izoliranim područjima dok nedostaci proizlaze iz tehnoloških ograničenja solarne ćelije. Ovisno o vremenskim prilikama, podneblju i usmjeravanju solarnih panela, moguće je proizvesti i više električne energije od potrebne. Stoga je potrebno osigurati opciju za pohranu ili usmjeriti suvišak dobivene struje u mrežu lokalnog distributera.

Zbog relativno dugog razdoblja korištenja solarnih panela, trenutno nema mnogo tvrtki koje bi se bavile isključivo recikliranjem solarnih panela, no i to će se s vremenom promijeniti. Recikliranjem se mogu dobiti vrlo vrijedne sekundarne sirovine. Nažalost, trenutna tehnologija recikliranja ima svoje negativne aspekte u smislu ekologije. Trenutni problem kod recikliranja su visoki troškovi za električnu energiju, ali i osiguravanje stalnog priljeva EE otpada. Sve to će u budućnosti utjecati na pojedine zemlje i njihovu odluku da izgrade vlastite pogone za recikliranje. Recikliranje je poželjno u kontekstu kružnog gospodarstva, ali ne i pod svaku cijenu.

dr. sc. Branimir Fuk, dipl. ing. rud.