



## SIGURNOST I ZAŠTITA NA RADU

Uređuje: Indira Aurer Jezerčić

Ovog puta pratimo rizike za radnike tijekom cijelog životnog vijeka jednog perspektivnog proizvoda. Rizici za svaku etapu potpuno su specifični. Zanimljiv pristup rizicima i mjerama zaštite predstavio je g. Mislav Čurin, mag. ing. el. techn. inf., zaposlen u tvrtki "Hrvatski operator prijenosnog sustava d. o. o." (skraćeno HOPS d. o. o.).

### Rizici za radnike koji obavljaju poslove proizvodnje, ugradnje, održavanja, recikliranja i zbrinjavanja fotonaponskih sustava

|| M. Čurin\*

HOPS d. o. o.  
Kupska 4, 10 000 Zagreb

#### 1. Uvod

Sve države članice usmjerene su ostvarenju ciljeva Europske unije do 2030., te nastoje povećati udio obnovljivih izvora energije od 27 % u ukupnoj potrošnji energije i smanjiti emisije stakleničkih plinova za 40 % (referentna godina 1990.). Iz tog razloga posljednjih godina ugrađuje se i velik broj fotonaponskih (FN) elektrana diljem Europe. U 2016. godini bilo je preko 300 GW instalirane snage FN-sustava diljem svijeta, od čega 95 GW u članicama EU-a. U tom smjeru ide i Republika Hrvatska u kojoj je krajem 2016. godine na elektroenergetskoj mreži bilo priključeno 1219 sunčanih elektrana s instaliranom snagom 49 MW (izvor: HROTE d. o. o.). U Europi preko 300 000 zaposlenih radi u tom sektoru. S obzirom da poslovi proizvodnje, izgradnje, održavanja i zbrinjavanja/recikliranja takvih sustava donose i potencijalne rizike za radnike, ovim radom dan je pregled rizika tijekom cijelog životnog ciklusa karakterističnog fotonaponskog sustava.

#### 2. Osnovno o fotonaponskim sustavima

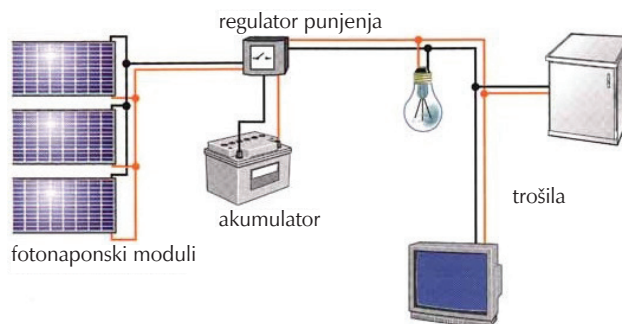
Osnovni dio solarnog fotonaponskog sustava je fotonaponski panel (modul), odnosno više međusobno povezanih fotonaponskih ćelija. Kada se fotonaponska ćelija sastavlja od dva različito nabijena poluvodiča osvijetli sunčevim zračenjem, na njezinim krajevima pojavljuje se napon, te ćelija postaje izvor električne energije. Na slici 1 prikazana je fotonaponska ćelija.

\* Mislav Čurin, mag.ing.el.techn.inf., e-pošta: [mislav.curin@gmail.com](mailto:mislav.curin@gmail.com)  
Stavovi izneseni u članku isključivo su mišljenja autora i ne odražavaju nužno službene stavove tvrtke u kojoj je autor zaposlen.



Slika 1 – Fotonaponska ćelija

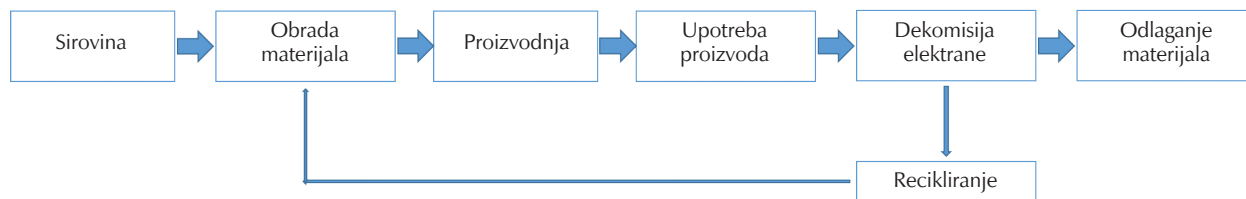
Fotonaponski paneli najčešće se postavljaju na krovove objekta te se povezuju na javnu elektroenergetsku mrežu. U slučaju da se ne povezuju na mrežu, sustavi posjeduju akumulatore za pohranu proizvedene energije i nazivaju se samostalnim fotonaponskim sustavima. Jedan takav sustav prikazan je na slici 2.



Slika 2 – Samostalni fotonaponski sustav  
(izvor: <http://www.flamtron.hr/solar/>)

#### 3. Rizici za radnike

Životni vijek fotonaponskog sustava sastoji se od nekoliko faza: obrada sirovine, proizvodnja, transport, ugradnja, puštanje u rad, upotreba, održavanje, demontiranje i, na samom kraju, recikliranja, odnosno odlaganja materijala (slika 3). Svaka od navedenih faza podrazumijeva drugačiji tip radnih zadataka i uključivanje skupina radnika iz raznih gospodarskih sektora (primjerice: električari, instalateri, građevinari i radnici koji se bave gospodarenjem otpadom). S porastom izgradnje fotonaponskih sustava povećava se i broj radnika koji trebaju biti upoznati s mogućim rizicima. Jednom kada fotonaponski paneli dostignu svoj životni



Slika 3 – Životni vijek fotonaponskog sustava

vijek, nastat će golema količina elektroničkog otpada s mogućim utjecajem na okoliš i zdravlje.

Detaljniji prikaz prepoznatih rizika po pojedinoj fazi životnog vijeka dan je u nastavku ovog rada. (izvor: <https://osha.europa.eu/en/publications/e-facts/>)

### 3.1. Proizvodnja FN-panela

Tijekom proizvodnje fotonaponskih ćelija najveći broj rizika za radnike potječe od raznih kemikalija i upotrijebljenih materijala. Kemijski rizici odnose se na toksičnost, korozivnost, zapaljivost i eksplozivnost, ovisno o tipu panela. Teški metali poput olova ponekad se upotrebljavaju u vezivnom sredstvu između pojedinih ćelija. Primjerice u proizvodnji ćelija a-Si (amorfni silicij – tanki film) upotrebljavaju se velike količine monosilana ( $\text{SiH}_4$ ), kod solarnih ćelija kadmij telurid ( $\text{CdTe}$ ) postoji problem toksičnosti i kancerogenosti kadmija, dok je kod selen ćelija bakar indij galij (CIS ili CIGS) najveći problem upotreba selenovodika ( $\text{H}_2\text{Se}$ ), bezbojnog i jako otrovnog plina vrlo neugodnog mirisa. S obzirom da je proizvodnja poluvodičkih tehnologija rutinski posao, najčešće su uspostavljene mjere sigurnosti koje se sastoje od jasno propisanih radnih procedura, zatvorenih sustava proizvodnje ili ventilacijskih sustava. Prilikom proizvodnje panela većih dimenzija od uobičajenih potrebno je sagledati i rizike koji potječu od ručnog rukovanja takvim teretom. Moguće je primjenom automatiziranih procesa i robota provesti prevenciju navedenih rizika. Prijevoz gotovog proizvoda do krajnjeg kupca ne zahtijeva dodatne mjere zaštite od uobičajeno primijenjenih mjera zaštite prilikom transporta.

### 3.2. Ugradnja, održavanje i korištenje FN-sustava

Glavni rizici u ovoj fazi su rizici povezani s radom na visini u ergonomske nepovoljnom položaju (slika 4) uz izloženost često nepovoljnim vremenskim utjecajima (vrućina, hladnoća). Solarni paneli za proizvodnju tople vode mogu uzrokovati opekline, dok prilikom postavljanja fotonaponskih panela dodatno postoji opasnost od strujnog udara. U slučaju neispravnih instalacija ili oštećenja zaštitnih pokrova određenih komponenti fotonaponskog sustava postoji opasnost od strujnog udara i opekotina radnika. Problem je i isključenje fotonaponskih panela tijekom održavanja s obzirom na to da, sve dok je pod utjecajem sunčeva zračenja, panel proizvodi električnu energiju. Pritom postoji opasnost i od struja malih iznosa koje mogu dovesti do reakcije mišića i predstavljanje uzrok pada.

Iako su za ugradnju i demontažu sustava na stambenim ili poslovnim objektima potrebne razne vještine, nedostatak radne snage i snažan rast broja instalacija uslijed subvencioniranja u mnogim zemljama svijeta dovodi do zapošljavanja radnika bez potrebnih vještina. Također, sa smanjenjem kompleksnosti samih sustava i padom cijena dolazi do ugradnje nereguliranih privatnih instalacija ili ilegalno priključenih FN-elektrana. Kako bi se osigurala sigurnost takvih instalacija, korisnika i radnika na održavanju i hitnim intervencijama (požar), moguće je postaviti zahtjev za pre-

Slika 4 – Radnici na krovu objekta – ugradnja FN-panela (izvor: <http://www.westseattleherald.com/>)

gledom instalacija od strane profesionalnog i obučenog osoblja.

Tijekom upotrebe FN-sustava povezanih na elektroenergetsku mrežu rizici su identični kao i pri ugradnji i održavanju (električna energija, požar i sl.). U toj fazi nema rizika povezanih s opasnim tvarima, plinovima ili kemikalijama, jer tijekom rada ne nastaju plinovi niti prašine. Problem se javlja kada nedovoljno upućeni pojedinci, poput vlasnika zgrada ili stanara održavaju/čiste sustav na svojim krovovima bez potrebnih znanja i vještina.

### 3.3. Zbrinjavanje i recikliranje FN-sustava

Očekivani životni vijek FN-sustava je trideset godina, nakon kojeg sustav treba biti uklonjen s građevine, propisano odložen ili ponovno pripremljen za postupak recikliranja. Recikliranje je vrlo dobar izbor s obzirom da se preko 95 % poluvodičkih materijala i 90 % stakla može reciklirati. S druge strane odlaganje panela na odlagalište otpada može biti potencijalna opasnost za vodu, tlo i zrak. Nadalje, odlaganje FN-panela dovelo bi do gubitka vrlo rijetkih elemenata, poput galija i indija i dodatnog iscrpljivanja ionako malih zaliha tih elemenata u budućnosti.

Sam proces recikliranja nije nimalo jednostavan, jer je svaki panel sastavljen od velikog broja materijala, navedenih u nastavku:

- staklo (prednja strana),
- aluminijski okvir,
- sintetički materijali za zatvaranje ćelija (etilen-(vinil-acetat), poli(vinil-butiral)),
- silicijske ćelije,
- razni metali (olovo, bakar, galij, indij, kadmij).

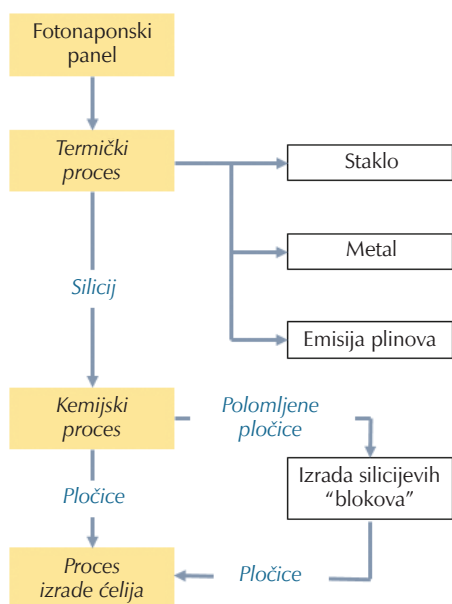
Na slici 5 dan je prikaz procesa obrade standardnih fotonaponskih panela koji se odvija u dvije faze (termički i kemijski proces) tijekom postupka recikliranja:

Pravilan postupak recikliranja zahtijeva odvajanje opasnih tvari uz što je mogući manji gubitak opasnih materijala. Većina materijala može se ponovno upotrijebiti, a posebice je značajna ponovna upotreba silicijskih ćelija čija je proizvodnja energetski intenzivan proces. Radnici će tijekom postupka recikliranja biti izloženi rizicima koji potječu od poluvodičkih materijala i teških metala te već spomenutim ergonomskim rizicima. U moderniziranim i automatiziranim pogonima smanjuje se izloženost takvim opasnostima. S obzirom na to da su rizici identični rizicima kod zbrinjavanja ostalog elektroničnog otpada, poznatim preventivnim mjerama, organizacijom rada i upotrebom zaštitnih sredstva moguće je pravilno zaštititi radnike (izvor: <http://www.renewableenergyworld.com/>).

### 3.4 Gašenje požara FN-sustava

U slučaju da požar zahvati fotonaponski sustav, vatrogasne ekipe mogu biti izložene brojnim rizicima, kao što su:

- nepoznate informacije o tipu fotonaponskog sustavu na krovu objekta,
- nedovoljno iskustvo s gašenjem instalacija istosmjerne električne energije (visoki naponi iznosa preko 1000 V istosmjerne opasniji su nego kod izmjenične struje),
- sustav proizvodi električnu energiju, dok su fotonaponske ćelije pod djelovanjem sunčeva zračenja,
- ako je konstrukcija od metala ili čelika, postoji opasnost da i ti dijelovi sustav dođu pod napon,
- opasnost od strujnog udara zbog oštećenja kabela i kabela koji povezuju akumulatorske baterije za pohranu energije,
- mehaničko opterećenje krova može dovesti do ranijeg urušavanja konstrukcije krovšta,
- otežan pristup u slučaju potrebe za izlaskom na krovšte objekta,
- paneli se mogu odlomiti i pasti na vatrogasce ili zagrijani predstavljati rizik od opeklina.



Slika 5 – Proces obrade standardnih FN-panela u dvije faze (izvor: <https://www.bine.info/>)

Od velike je važnosti da se vatrogasce odmah prilikom dolaska informira posjeduje li objekt fotonaponski sustav i koji tip sustava, kako bi pravilno odredili daljnje korake gašenja. Predlaže se upotrebom znakova na vidljivom mjestu označiti vrstu sustava i ostale relevantne podatke važne za vatrogasnu jedinicu. Veoma je važno da vatrogasci prilikom dolaska mogu isključiti istosmjernu sklopku kojom se prekida istosmjerni dio sustava. Sklopku je poželjno montirati na mjesto lakog pristupa, a prema potrebi upotrebom druge sklopke ili daljinskim upravljanjem omogućiti isključenje s primjerice glavnog razvoda objekta.

### 4. Prevencija

Iako su rizici u ovom području poznati i u drugim granama industrije, područje solarnih tehnologija rastuća je grana u kojoj se neprestano uvode nove tehnologije. Upravo primjena nove opreme, tvari ili radnih postupaka zahtijeva kontinuirani proces identifikacije i upravljanja rizikom. Stoga je veoma važan multidisciplinarni pristup kojim se već u fazi projektiranja uzimaju u obzir rizici za zdravlje i sigurnost radnika koji se javljaju tijekom životnog vijeka sustava. Redovitim usavršavanjem svih ključnih dionika, trajnom identifikacijom rizika, smanjenjem upotrebe toksičnih tvari u proizvodnoj fazi i odgovarajućim ispitivanjem novih materijala i procesa moguće je osigurati siguran rad tijekom cijelog životnog vijeka sustava, kao i u kasnijoj fazi recikliranja.

Iako se upotreba zaštitne opreme može smatrati "posljednjom linijom" zaštite, poslodavci moraju procjenom rizika na radnom mjestu utvrditi potrebnu zaštitu opremu. Uobičajeno će radnici u sektoru fotonaponskih sustava morati upotrebljavati sigurnosne naočale, kacige, respiratore, rukavice i sl. Radnici koji postavljaju i održavaju instalaciju često moraju upotrijebiti opremu koja im pruža sigurnost od strujnog udara, te je veoma važno da takva oprema bude redovito pregledana i ispitana.

Od poslodavca se očekuje da uklanjanjem potencijalnih opasnosti ili smanjenjem rizika na mjestu nastanka opasnosti, organizacijskim mjerama te primjenom osobne zaštitne opreme provede propisanu zaštitu radnika.



Slika 6 – Požar krovšta kuće s ugrađenim fotonaponskim sustavom (izvor: <https://www.thenbs.com/>)

## 5. Zakonska regulativa u Hrvatskoj

U Republici Hrvatskoj postoji Zakon o zaštiti na radu (NN 71/14, 118/14, 154/14) i niz pravilnika kojima je postavljen zakonski okvir zaštite i sigurnosti na radu.

Nadalje "Pravilnikom o uvjetima i mjerilima za utvrđivanje sustava kvalitete usluga i radova za certificiranje instalatera obnovljivih izvora energije – fotonaponskih sustava" (NN 79/13) propisano je da radove na postavljanju fotonaponskih sustava mogu izvršavati samo certificirani instalateri, koji posjeduju certifikat za radove postavljanja fotonaponskih sustava. Certifikat se može dodijeliti jedino osobi koja zadovolji propisane uvjete za izdavanje certifikata i izdaje se na rok od pet godina. Ministarstvo vodi registar certificiranih instalatera sustava obnovljivih izvora energije. Tijekom propisane izobrazbe i kasnijeg stručnog usavršavanja instalateri stječu znanje o dimenzioniranju, održavanju i instalaciji fotonaponskih sustava, kao i mjerama sigurnosti i zaštite na radu.

Iako je zakonodavstvo jasno propisalo kriterije priključenja fotonaponskih sustava, postoji problem neovlaštenih priključenja na mrežu. Kako u tom slučaju korisnici nisu ishodili minimalne tehničke uvjete priključenja, postoji potencijalna opasnost za djelatnike koji održavaju mrežu. Radnici prilikom održavanja isključuju dio potrošača, ali ilegalno priključeni sustavi i dalje napajaju dio mreže, te pojava neočekivanih napona može ugroziti radnike na održavanju (izvor: <http://www.energetika-net.com/>).

## 6. Zaključak

S porastom broja fotonaponskih sustava u Europi, treba očekivati povećanje broja zaposlenih u tom području. S obzirom na to da će velikom broju starijih sustava u skoroj budućnosti isteći životni



Slika 7 – Certifikat za radove postavljanja fotonaponskih sustava (izvor: Narodne Novine)

vijek, pojavit će se potreba za njihovom demontažom i recikliranjem/zbrinjavanjem. Svi prethodno navedeni radni zadatci tijekom životnog vijeka fotonaponskog sustava donose i potencijalne rizike za radnike. Pravodobnom identifikacijom i procjenom rizika, kontinuiranom prevencijom, organizacijom radnih aktivnosti i upotrebom osobnih zaštitnih sredstva moguće je osigurati zadovoljavajuću razinu sigurnosti i zaštite radnika.



## Sajam ideja 2017



23. listopada 2017.

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu u sklopu obilježavanja 98. obljetnice svoga uspješnog rada organizira "Sajam ideja 2017" u suradnji s Hrvatskom gospodarskom komorom (HGK).

Namjera Sajma ideja je povezivanje znanosti i gospodarstva kroz:

- upoznavanje industrije sa suvremenim istraživanjima na Fakultetu
- rješavanje problema u industriji kroz suradnju i projekte
- prijavljivanje zajedničkih projekata

financiranih iz EU fondova

- razvoj novih vrijednosti: proizvoda, procesa...
- uključivanje studenata u tržište rada kroz studentsku praksu i izradu diplomskih radova u industriji

Sudjelovanje na Sajmu ideja je besplatno.

### Kontakti

E-mail: [sajam.ideja@fkit.hr](mailto:sajam.ideja@fkit.hr)

Web: <http://sajamideja.fkit.hr>