

# POŽARI FOTONAPONSKIH SUSTAVA

---

**Dorosulić, Nikola**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:451008>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-22**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Veleučilište u Karlovcu  
Stručni studij sigurnosti i zaštite  
Zaštita od požara

NIKOLA DOROSULIĆ

# **POŽARI FOTONAPONSKIH SUSTAVA**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, rujan 2024.

Karlovac University of Applied Sciences

Safety and Protection Department

Professional undergraduate study of Safety and Protection

NIKOLA DOROSULIĆ

# **FIRES OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS**

Final paper

Karlovac, september 2024.

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite

Stručni studij sigurnosti i zaštite

NIKOLA DOROSULIĆ

# **POŽARI FOTONAPONSKIH SUSTAVA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: dr.sc. Zvonimir Matusinović, v.pred.



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Trg J.J.Strossmayera 9

HR-47000, Karlovac, Croatia  
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510  
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579



## **VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**

Stručni studij : Sigurnosti i zaštite

Usmjerenje: Zaštita od požara

Karlovac, lipanj,2024.

### **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

Student: Nikola Dorosulić

Matični broj: 0416610641

Naslov: Požari fotonaponskih sustava

Opis zadatka:

Pojasniti požare fotonaponskih sustava za koje postoje mnoge nepoznanice kao i različiti pogledi na gašenje takvih sustava koji su prouzrokovani stalnim razvojem tih sustava i brzinom razvoja i dostupnosti ovakve tehnologije korištenja sunčeve energije.

Da bi razumjeli i imali viziju rješavanja ovog kompleksnog problema potrebno je poznavanje rada sustava kao i poznavanje različitih vrsta sustava.

Zadatak zadan:  
travanj,2024

Rok predaje rada:  
kolovoz, 2024

Predviđeni datum obrane:  
rujan,2024

Mentor:  
dr.sc. Zvonimir Matusinović, v.pred.

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:  
Lidija Jakšić, mag. ing. cheming., pred.

## **PREDGOVOR**

Ovaj završni rad sam napravio kao skup mojih iskustava na radu i primjetnim problemom praćenja razvoja tehnologije u vatrogasnoj službi. Nakon razgovora sa kolegama oko nepoznavanja gašenja ovakvih sustava u Hrvatskoj sam se odlučio na ovu temu u kojoj ću opisati nekakve sustave i opasnosti te kako se mogu gasiti da zajedno shvatimo najbolje rješenje u nekoj određenoj stresnoj i opasnoj situaciji. Radom u operativnom djelu Javne vatrogasne postrojbe Grada Siska sam stekao neka iskustva i shvaćam probleme prouzrokovane nesrazmjerom edukacije populacije kao i žurnih službi sa ovakvim načinom iskorištavanja sunčeve energije te opasnostima koje one predstavljaju. Posebne zahvale idu mentoru dr. sc. Zvonimiru Matusinoviću koji me je svojim znanjem i iskustvom usmjerio u izradi ovog završnog rada a sve kako bi ovaj rad bio na razini koja zadovoljava jedno akademsko znanje. Velika hvala i svim profesorima, djelatnicima Veleučilišta koji su mi olakšali studiranje i nesebično predali svoje znanje i odvojili vremena za mene. Zahvalio bi svom velikom prijatelju Marijanu Šipušu koji uz sve svoje obaveze je našao vremena da mi pomogne oko sakupljanja materijala i bude odličan sugovornik u ovoj problematici te uz njega ovaj rad je postao samo kvalitetniji, zahvaljujem svojoj ženi Martini Dorosulić i svom sinu Janu Dorosuliću na dopuštenju i razumijevanju da odvojim vrijeme za studiranje jer bez toga ovo ne bi bilo moguće. Za kraj, najviše zahvaljujem svom pokojnom ocu Zlatku Dorosuliću koji nije evo dočekao ovaj trenutak ali mi je pružao najveću podršku te mi je uvijek bio poticaj da budem što bolji i da dam sve od sebe. Uz podršku moje obitelji i prijatelja te stručnih i dobrih ljudi na Veleučilištu sam došao do ovog trenutka, još jedanput velika HVALA.

## SAŽETAK

Rast tržišta fotonaponskih sustava u posljednjim godinama pokazuje značajnu ekspanziju, a očekuje se da će se taj trend nastaviti i u budućnosti. Ova tehnologija, koja omogućava pretvaranje sunčeve energije u električnu, postala je ključna komponenta globalnih napora za prelazak na održive izvore energije. Međutim, brzi rast ove industrije donosi sa sobom i nove izazove, posebno u kontekstu sigurnosti i regulative. Jedan od glavnih problema koji je izbio na površinu s masovnim uvođenjem fotonaponskih sustava je povećan rizik od požara. Iako su fotonaponski sustavi inherentno sigurni, njihova instalacija i integracija u postojeće građevinske strukture može povećati složenost intervencija u slučaju požara. Naime, tijekom nekih požara u svijetu, vatrogasci su bili prisiljeni suzdržavati se od aktivnog gašenja požara zbog prisutnosti opasnosti povezanih s fotonaponskim sustavima, te su se fokusirali na zaštitu okolnih objekata kako bi spriječili širenje vatre. Instalacija fotonaponskih sustava donosi nove izazove čak i u najrazvijenijim zemljama. Kada vatrogasci interveniraju na mjestima gdje su ovi sustavi instalirani, potrebno je poduzeti dodatne mjere zaštite u odnosu na standardne intervencije na objektima koji koriste električnu energiju iz javne mreže. To uključuje razumijevanje kako sustav funkcionira, gdje se nalaze ključne komponente i kako sigurno isključiti napajanje kako bi se minimizirale opasnosti. Analiza strane literature i stvarnih intervencija omogućava bolji uvid u dodatne opasnosti koje fotonaponski sustavi predstavljaju te koje mjere zaštite treba poduzeti. Ovo uključuje specifične tehničke smjernice, obuku vatrogasaca za rad u prisutnosti fotonaponskih sustava, te ažuriranje zakona i pravilnika kako bi se osigurala sigurnost kako instalacija, tako i intervencija u hitnim situacijama. Jasno je da, uz pravilnu regulativu i obuku, fotonaponski sustavi mogu biti sigurno integrirani u našu infrastrukturu, dok istovremeno doprinose ciljevima održivog razvoja i smanjenja emisije stakleničkih plinova.

Ključne riječi: fotonaponski sustav, opasnosti, mjere zaštite, požar

## SUMMARY

The growth of the photovoltaic systems market has shown significant expansion in recent years, and this trend is expected to continue in the future. This technology, which enables the conversion of solar energy into electricity, has become a key component of global efforts to transition to sustainable energy sources. However, the rapid growth of this industry brings with it new challenges, especially in the context of security and regulation. One of the main problems that has surfaced with the mass introduction of photovoltaic systems is the increased risk of fire. Although photovoltaic systems are inherently safe, their installation and integration into existing building structures can increase the complexity of fire interventions. Namely, during some fires in the world, firefighters were forced to refrain from actively extinguishing fires due to the presence of dangers associated with photovoltaic systems, and focused on protecting the surrounding buildings to prevent the fire from spreading. The installation of photovoltaic systems brings new challenges even in the most developed countries. When firefighters intervene in places where these systems are installed, it is necessary to take additional protection measures compared to standard interventions on facilities that use electricity from the public network. This includes understanding how the system works, where key components are located, and how to safely turn off power to minimize hazards. The analysis of foreign literature and actual interventions provides a better insight into the additional dangers that photovoltaic systems represent and what protective measures should be taken. This includes specific technical guidelines, training firefighters to work in the presence of photovoltaic systems, and updating laws and regulations to ensure the safety of both installations and emergency response. It is clear that, with proper regulation and training, PV systems can be safely integrated into our infrastructure, while simultaneously contributing to sustainable development and greenhouse gas reduction goals.

Keywords: photovoltaic system, dangers, protection measures, fire



# SADRŽAJ

1.	UVOD.....	1
2.	SOLARNI SUSTAVI.....	2
2.1.	Podjela solarnih panela.....	2
2.1.1.	Solarni toplinski sustavi.....	2
2.1.2.	Solarni fotonaponski sustavi.....	3
2.2.	Podjela solarnih fotonaponskih sustava.....	3
2.2.1.	Samostalni fotonaponski sustavi.....	4
3.	MOGUĆI UZROCI POŽARA NA FOTONAPONSKIM SUSTAVIMA.....	8
3.1.	Ulazak vode u DC izolatore kao uzrok požara.....	8
3.2.	Najčešći primjeri ulazak vlage u istosmjerne izolacijske kutije.....	9
3.2.1.	Spajanje vodiča.....	12
3.2.2.	Oštećenje fotonaponskog panela kao mogući uzrok požara.....	14
3.2.3.	Ne postavljanje ili pogrešno postavljena prenaponska zaštita.....	16
4.	OPASNOSTI.....	17
4.1.	Opasnosti od fotonaponskih sustava za vatrogasce.....	17
5.	NAČINI ISKLJUČIVANJA FOTONAPONSKOG SUSTAVA U SLUČAJU POŽARA.....	20
5.1.	Rješenja za isključivanje solarnih sustava na tržištu u slučaju požara mogu se podijeliti u tri skupine.....	20
5.2.	Sklopka za isključivanje na prijelazu u polje fotonaponskih modula.....	21
6.	PRIMJER VATROGASNE INTERVENCIJE.....	22
7.	ZAKLJUČAK.....	26
8.	LITERATURA.....	27
9.	PRILOZI.....	29
9.1.	Popis slika.....	29
9.2.	Popis tablica.....	30

# 1. UVOD

Republika Hrvatska ima izrazito povoljne uvjete za uporabu sunčeve energije, i to neusporedivo povoljnije od mnogih drugih zemalja te se može reći da bi u Hrvatskoj sunčeva energija, kao izrazito prihvatljiv obnovljivi izvor energije, u bliskoj budućnosti mogla postati glavni nositelj ekološki održivoga energetskeg razvoja.

Iako početna instalacija fotonaponskog sustava uključuje značajne troškove, dugoročno su troškovi rada i održavanja fotonaponskog sustava relativno niski. Dok je napredak u tehnologiji fotonaponskim panela ponudio mnoge prednosti za proizvodnju energije, ova mlada tehnologija također izaziva zabrinutost oko sigurnosti od požara i često se smatra potencijalnom opasnošću od požara.

Instalacija fotonaponskih panela na obiteljske kuće, gospodarske objekte, javne objekte itd. nosi dodatne opasnosti od požara koje su nove i u visoko razvijenim zemljama. Iako se rijetko događa da se paneli zapale sami od sebe, loša izrada-ugradnja u kombinaciji s nemarom može uzrokovati probleme koji na kraju dovode do električnih požara na krovu ili na pretvaraču. Na izvođenju intervencije gdje postoji instaliran fotonaponski sustav potrebno je poduzeti dodatne mjere zaštite, u odnosu na klasične sustave dobave električne struje iz javne mreže.

U završnom radu će biti obrađeni najčešći uzroci požara, opasnosti kojima su izloženi vatrogasci prilikom gašenja požara, te adekvatna taktika gašenja požara na fotonaponskim sustavima sa smjernicama za smanjenje opasnosti- rizika na takvoj vrsti intervencije.

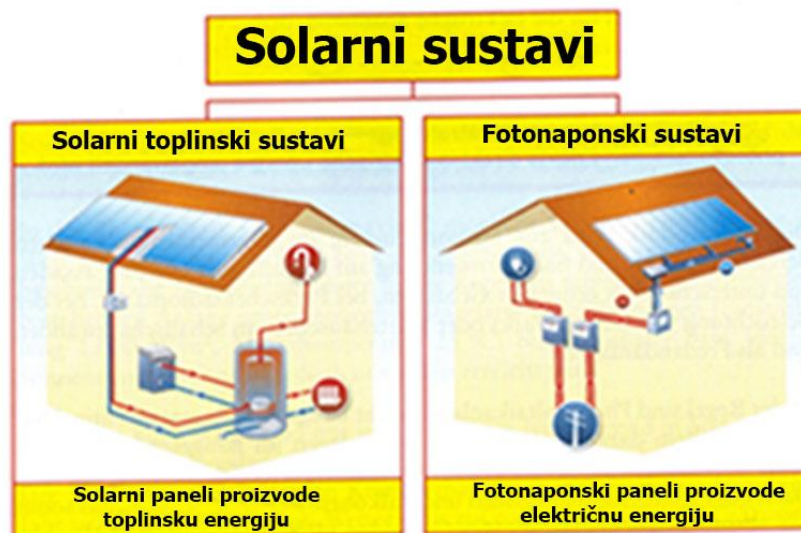
## 2. SOLARNI SUSTAVI

Sunčeva energija je obnovljiv i neograničen izvor energije od kojeg, izravno ili neizravno, potječe najveći dio drugih izvora energije na Zemlji.

U osnovi, postoje dva principa iskorištavanja Sunčevog zračenja, pretvaranje solarne energije u toplinsku (u europskim zemljama uglavnom kao dodatni energent za sustave pripreme potrošne tople vode i grijanja), te direktno pretvaranje u električnu energiju putem fotonaponskih ćelija.

Za vatrogasce je od velike važnosti prepoznati o kojem se sustavu radi i kakva im opasnost prijete, da li opasnost od opekline od vruće tekućine iz solarnih panela (solarnih toplinskih sustava) za zagrijavanje vode ili električne energije iz fotonaponskih panela (slika 1.).

Podjela solarnih sustava



Slika 1. Prikaz glavne podjele solarnih panela [1]

### 2.1. Podjela solarnih panela

#### 2.1.1. Solarni toplinski sustavi

Sustavi za solarno grijanje mogu biti otvoreni, u kojima voda koja se zagrijava prolazi izravno kroz kolektor na krovu ili zatvoreni u kojima su kolektori popunjeni tekućinom koja se ne smrzava (glikol, antifriz) te se mogu koristiti kod vanjskih temperatura ispod nule.

Općenito, svaki se aktivni solarni sustav za zagrijavanje prostora ili potrošne sanitarne vode sastoji od receptora sunčeve energije (solarni kolektor), akumulatora topline (solarni spremnik), solarne crpke, solarne radne tvari, regulacijske jedinice solarnog sustava te armature, cjevovoda i toplinske izolacije. Budući da nema posebnih opasnosti za vatrogasce od solarnih toplinskih sustava osim pada dijelova panela, pojave štetnih plinova u požaru i mogućih opekotina, sve naknadno odnosi se na opasnosti od fotonaponskih sustava.

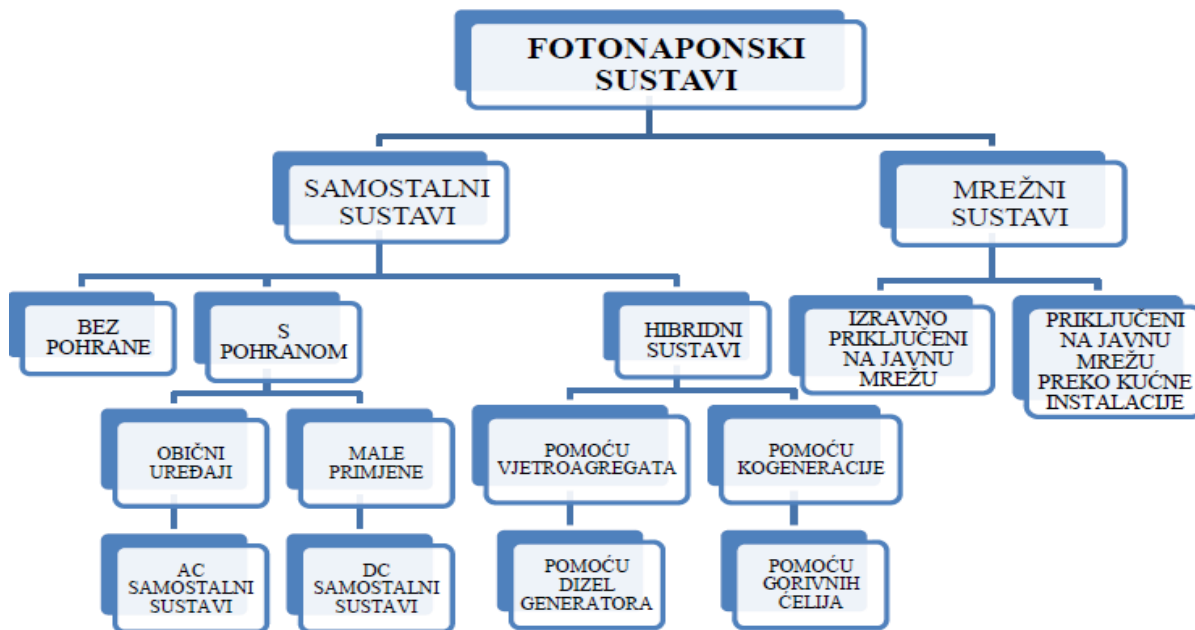
### 2.1.2. Solarni fotonaponski sustavi

Fotonaponski sustavi rađeni su tako da energiju sunčevih zraka po principu fotoelektričnog efekta pretvaraju u električnu energiju bez emisije štetnih tvari. Za pretvaranje sunčeve energije u električnu koriste se solarne ćelije, povezane u solarne module. Električna struja proizvedena na taj način može se koristiti odmah i na mjestu na kojem je proizvedena, i to prije ili nakon što se iz istosmjerne pretvori u izmjeničnu struju, a kao izmjenična struja može se isporučiti i u elektrodistribucijsku mrežu za ugovorenu novčanu naknadu lokalnom distributeru.

Fotonaponski sustavi raznih proizvođača i izvođača razlikuju se u nekim bitnim detaljima, a i objekti imaju svoje specifičnosti koje vatrogasci u hitnoj intervenciji naprosto ne mogu pronaći ili prepoznati, a odnose se na ključne uređaje koji bi prekinuli dotok struje. Naime, neugodna je činjenica da sustav fotonaponskih panela može na prosječnom krovu generirati istosmjernu struju od 1000 volti, koja pri danjem svjetlu trajno teče iz instalacije. No, mnogi fotonaponski sustavi su opremljeni baterijama u kojima se pohranjuje električna energija, pa i one u požaru dodatno kompliciraju situaciju, zbog štetnih isparavanja u požaru i akumulirane količine električnog naboja koji može dovesti do udara, dodatnog iskrenja

## 2.2. Podjela solarnih fotonaponskih sustava

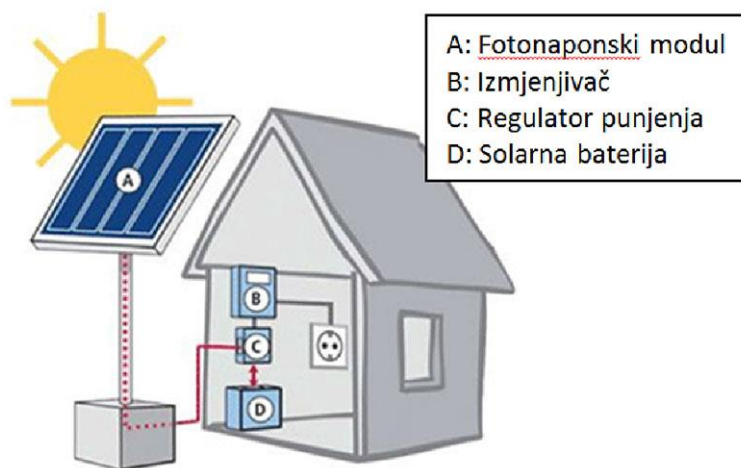
Solarni fotonaponski sustavi (FN) mogu se podijeliti na dvije osnovne skupine (slika 2.): fotonaponski sustavi koji nisu priključeni na mrežu (engl. off-grid), a često se nazivaju i samostalnim sustavima (engl. stand-alone systems), i fotonaponski sustavi priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu (engl. on-grid).



Slika 2. Glavna podjela fotonaponskih sustava [2]

### 2.2.1. Samostalni fotonaponski sustavi

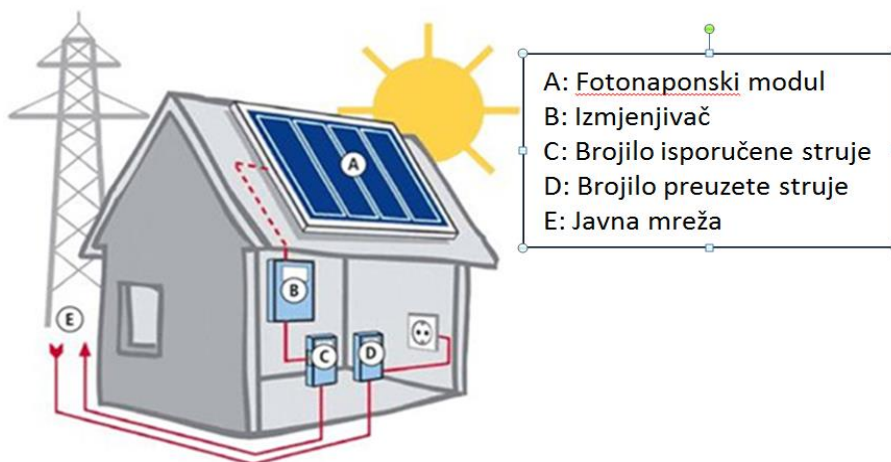
Samostalni sustav znači da je vaš sustav fotonaponskih ćelija neovisan o gradskoj elektrodistribucijskoj mreži te služi isključivo za napajanje trošila u vašem objektu (slika 3.). Razlikujemo dvije vrste samostalnih sustava: Sustavi sa pohranom energije (baterijom-akumulatorom) koji omogućavaju korištenje električne energije prilikom vrlo oblačnih dana ili tijekom noći tj. kada fotonaponski moduli ne mogu proizvesti dovoljno energije i hibridni sustavi koji mogu biti sa vjetro-agregatom, kogeneracijom, gorivnim člancima ili dizelskim generatorom.



Slika 3. Samostalni fotonaponski sustav [3]

Fotonaponski sustavi priključeni na javnu mrežu (mrežni fotonaponski sustavi)

Fotonaponski sustavi priključeni na javnu mrežu preko kućne instalacije, te pripadaju distribuiranoj proizvodnji električne energije (slika 4.). Dakle, oni omogućuju povezivanje distribuiranih sustava na centralizirane sustave, odnosno sustave priključene uglavnom na javnu mrežu.



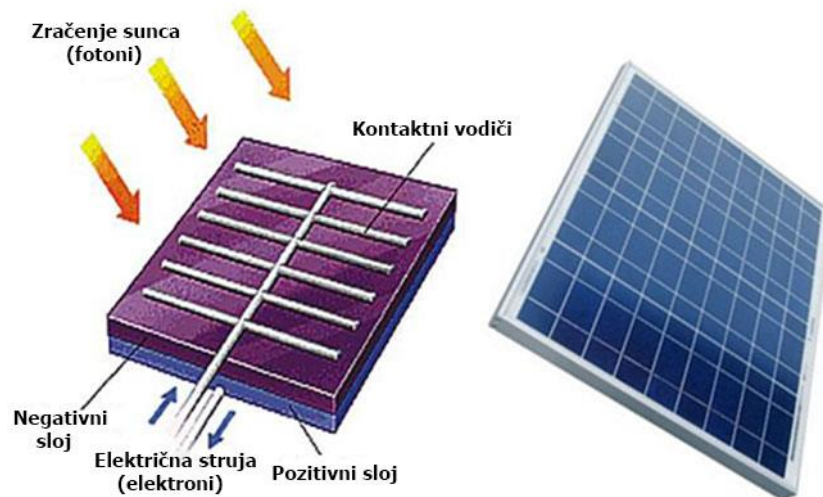
Slika 4. Umreženi fotonaponski sustav [3]

## Opis glavnih dijelova fotonaponskog sustava

- Fotonaponski paneli

Za pretvaranje sunčeve energije u električnu koriste se solarne ćelije povezane u solarne panele. Fotonaponske ćelije izgrađene su od dva sloja – pozitivnog i negativnog, a razlika potencijala između ta dva sloja ovisi o intenzitetu solarnog zračenja.

Solarna energija stiže na Zemlju u obliku fotona. Fotonaponske ćelije su poluvodički uređaji koji pretvaraju sunčevu energiju u električnu pomoću fotoelektričnog efekta (slika 5.). Prilikom pada na površinu solarne ćelije ti fotoni predaju svoju energiju panelu i na taj način izbijaju negativno nabijene elektrone iz atoma. Izbijeni elektroni kreću se prema drugoj (negativnoj) strani panela i na taj način dolazi do razlike potencijala, tj. generira se električna energija. Fotonaponske ćelije grade se od poluvodiča, a silicij je jedan od najzastupljenijih elemenata na Zemlji.



Slika 5. Slojevi fotonaponske ćelije [4]

- Izmjenjivač

Izmjenjivač je elektronički sklop koji istosmjernu struju fotonaponskih modula pretvara u izmjeničnu koja se šalje u elektroenergetsku mrežu (slika 6. i 7.). Postoje različiti koncepti izmjenjivača temeljeni na specifičnostima sustava u kojem se on koristi. Najosnovnija podjela izmjenjivača je na uređaje namijenjene samostojećim odnosno izoliranim fotonaponskim sustavima (off-grid) i na uređaje namijenjene za sustave u paralelnom radu s mrežom.



Slika 6. Off-grid fotonaponski solarni regulator [5]



Slika 6. Paralelni izmjenjivač [5]

- Solarni regulatori

Solarni regulatori prenose energiju proizvedenu u solarnim modulima na istosmjernu sabirnicu s kojih se puni baterija i napajaju istosmjerna trošila (slika 8.). Ugrađuju se uglavnom kod samostalnih fotonaponskih sustava kod kojih se proizvedena električna struja akumulira (sprema u baterije-akumulatore) za periode kada je nedovoljno sunčevog zračenja tj. za loših vremenskih prilika ili noću.

- Solarne baterije

One su izvori energije tijekom perioda kada solarni paneli, vjetro ili hidroagregati ne proizvode energiju u periodima kad je nedovoljno sunčevog zračenja tj. za loših vremenskih prilika. Solarne baterije su spremišta viška proizvedene energije tijekom sunčanih dana (slika 9.).



Slika 7. Solarni regulator [6]





Slika 8. Baterijski sustav [6]

### **3. MOGUĆI UZROCI POŽARA NA FOTONAPONSKIM SUSTAVIMA**

Jedan dio požari na fotonaponskom sustavu se događaju kada je sustav potpuno nov, odnosno kod prvog tjedna puštanja u pogon. To može izazvati greške ili slabosti u sustavu. Vidimo to u podacima iz drugih zemalja i u mnogim požarima koji su se dogodili u Norveškoj, na koji je provedeno istraživanje i utvrđene manjkavosti prilikom instalacije sustava.

Zaključak istraživanja je bio da se je dosta požara fotonaponskih sustava moglo izbjeći da je instalacija bolje provjerena- ispitana prije nego je sustav pušten u rad.

Također postoji razlog za vjerovanje da će se rizik od požara povećati prema kraju životnog vijeka sustava ako se oštećenja i istrošenost instalacije ne poprave. Budući da je većina instalacija još uvijek prilično nova, ne znamo puno o ovim uzrocima požara.

#### **3.1. Ulazak vode u DC izolatore kao uzrok požara**

DC izolatori, posebno DC izolatori smješteni na krovu (krovni izolatori), poznati su kao čest uzrok požara u fotonaponskim sustavima. Budući da su krovni izolatori izloženi vremenskim uvjetima, skloniji su oštećenju i propadanju.

Oni su također manje vidljivi, što rezultira da nisu priječena propuštanja vlage na njima, tek kada dođe do požara, ali tada je prekasno.

Bez odgovarajućih metoda ugradnje i održavanja zaštite od prodora (IP) kućišta izolatora, voda može ući i nakupiti se unutar kućišta izolatora, uzrokujući koroziju terminala (slika 10.), i u slučaju poplavljenih izolatora, oštetiti i unutarnje komponente izolatora. Kada izolator nosi struju u ovom stanju, veći je otpor na mjestima gdje je došlo do korozije, što uzrokuje vrući spoj koji na kraju može dovesti do požara.



Slika 9. Djelomično uranjanje izolatora i vidljivu koroziju – željezni vijak [7]

### 3.2. Najčešći primjeri ulazak vlage u istosmjerne izolacijske kutije

Cjevovod nije pravilno instaliran (slika 11.). To omogućuje da voda polagano prodire u spojnu točku, kod spojne kutije. Ulazi za cijevi, uključujući poklopce za neiskorištene uvode, trebaju biti zalijepljeni kako bi se osigurala vodonepropusnost i postojanost spoja.



Slika 10. Nepravilno instaliran spojni dio cjevovoda i spojne kutije električnih kablova [7]

Na slici su prikazani vijci koji nisu zapečaćeni. To može omogućiti da voda polako prodire s druge strane vijka. Vijci moraju biti zatvoreni poklopcem ili silikonom kako bi se spriječilo nakupljanje vlage (slika 12.).



Slika 11. Nakupljena vlaga i korozija na vijku koji nije zatvoren poklopcem ili silikonom [7]

Korištene neodgovarajuće kableske uvednice. Kableske uvednice s više otvora, umjesto kompresijske uvednice s jednom rupom, moraju se koristiti za prilagodbu kabela koji ulaze u vodove. Dodatne rupe koje se ne koriste moraju se začepiti (slika 13.).



Slika 12. Nepravilno korištenje uvednice koja se koristi za ulaz više vodiča [7]

Nepravilno prodiranje u kućišta. Bušenje rupa u kućištu bez brtvljenja može dovesti do nakupljanja vlage (slika 14.). Rupe za vodiče ne smiju se napraviti bilo gdje, osim na točno predviđenoj površini kućišta, jer povećavaju rizik od kapanja vode na komponente ili čak nakupljanja u kućištu.



Slika 13. Prodor vlage u kućište zbog neodgovarajuće brtve [7]

Previše zategnuti vijci dovode do napuknuća kućišta ili slabo zategnuti vijci dovode do neadekvatnog brtvljenja. U oba slučaja nisu ispoštovane postavke zakretnog momenta proizvođača, dopuštajući prodiranje vode (slika 15.).



Slika 14. Slabo pritegnute vijke, koji uzrokuju neadekvatno brtvljenje [7]





Slika 15. Previše zategnut vijak koji uzrokuje oštećenje kućišta razvodne kutije [7]

Gore navedena u tekstu je podskup najčešćih nepravilnosti prilikom ugradnje viđenih na terenu koje uzrokuju prodor vode. Nadajmo se da će doći do smanjenja slučajeva prodora vode u kućišta i jednog od razloga vrućeg spoja koji na kraju može dovesti do požara .

### 3.2.1. Spajanje vodiča

Stezaljke i drugi priključci moraju biti pravilno zategnuti kako bi struja ispravno tekla. Ako se postavke zakretnog momenta ne poštuju ili su spojevi labavi, mogu se stvoriti vrući spojevi. Toplina može rastopiti plastiku oko kabela i izazvati požar. Također treba obratiti pozornost na duljinu i položaj električnog vodiča u kućištu kako bi se izbjeglo priklještenje i oštećenje istog.



Slika 16. Provjera zategnutosti spojeva vodiča na terminalu [7]



Slika 17. Prikleštene istosmjernog vodiča poklopcem kućišta [7]

Važno je upamtiti da je svaki utikač i utičnica također spoj ,a labavi konektori ili spajanje konektora različitih marki i modela također mogu rezultirati vrućim spojem na krovu (slika 19.).



Slika 18. Oštećenje koje je nastalo spajanje različitih konektora [7]

### 3.2.2. Oštećenje fotonaponskog panela kao mogući uzrok požara

Solarni moduli testirani su da izdrže različite uvjete. Međutim, oštećenje modula može uzrokovati unutarnje pukotine koje nisu lako vidljive. Mikropukotine mogu dovesti do vrućih točaka u ćeliji, što zatim može dovesti do požara (slika 23.).

Pukotine i mikro-pukotine u ćeliji mogu biti uzrokovane:

- Razbijeni modul (loptica za golf, loptica za kriket, tuča)
- Nosići za uzemljenje postavljeni na stražnju ploču uzrokujući habanje
- Ljudi koji hodaju po modulima/nepropisni prijevoz



Slika 19. Nepravilno postavljenu spojnicu za uzemljenje fotonaponskog panela [8]



Slika 20. Oštećenje na prednjoj strani fotonaponskog panela – pukotine su točke visokog otpora u ćeliji i mogu dovesti do vrućih točaka [6]



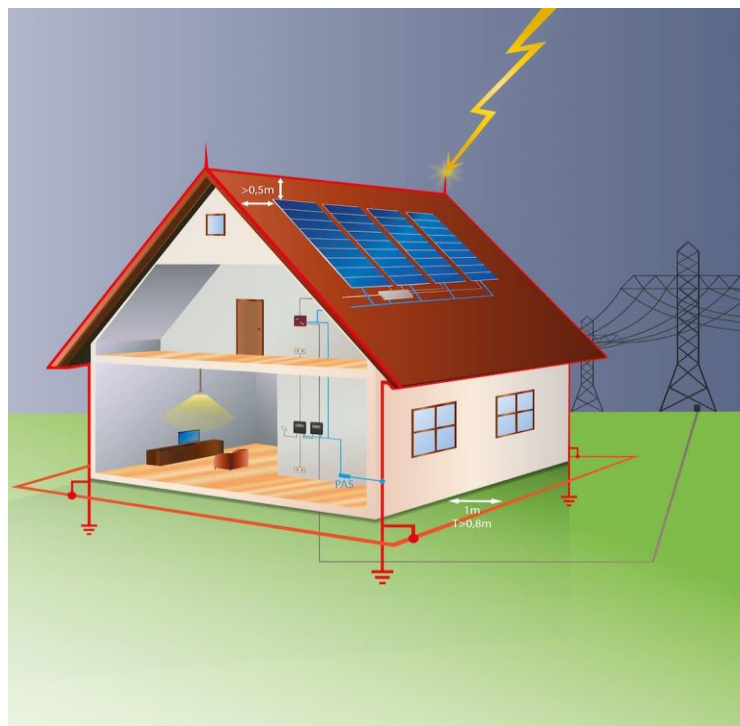
Slika 21. Degradaciju ćelije i stvaranje vruće točke od pukotine u fotonaponskom panelu [6]



Drugi način na koji može doći do oštećenja je raslojavanje stražnjeg sloja panela što uzrokuje prodor vode u samu ploču i kratki spoj struje panela sa zemljom. To obično ne uzrokuje požar, međutim, to smanjuje učinak sustava i uzrokuje da krova, ako se nalazi na njemu bude opasan za vatrogasce ili druge službe .

### 3.2.3. Ne postavljanje ili pogrešno postavljena prenaponska zaštita

Pogrešno planirana i postavljena zaštita od groma zapravo može povećati štetu u slučaju udara groma. Najpoznatiji primjer je klasični gromobran. Uzemljena metalna šipka odvodi munju u zemlju preko vodiča na zidu kuće. Vanjska zaštita od munje sprječava udare u solarne panele. Imajte na umu da nikakvi dimnjaci ili izbočine ne strše iz zaštićenog područja (slika 23.).



Slika 22. Princip zaštite od munje-groma na kući [9]

## 4. OPASNOSTI

### 4.1. Opasnosti od fotonaponskih sustava za vatrogasce

Kako se fotonaponski sustavi razlikuju od proizvođača i izvođača tako i objekti imaju svoje specifičnosti koje se odnose na postavljanje navedenih sustava. Stoga, vatrogasci u hitnoj intervenciji naprosto ne mogu pronaći i prepoznati ključne uređaje koji bi smanjili opasnost jer ne postoji standard koji bi uvjetovao točno određena mjesta postavljanja komponenti fotonaponskih sustava.

Glavna opasnost povezana s primjenom fotonaponskog postrojenja je električna struja. Naime, neugodna je činjenica da sustav fotonaponskih panela može na prosječnom krovu generirati istosmjernu struju napona od 1000 volti, koja pri danjem svjetlu trajno teče iz instalacije, bez obzira na sklopke, osigurače ili automate postavljene na lako dostupnim mjestima (tablica 1.). Propisi utvrđuju visinu dopuštenog napona dodira na vrijednost od 50 V za izmjeničnu struju koja je dozvoljena da se održava neograničeno vrijeme pri utvrđenim uvjetima vanjskih utjecaja. Dopušteni naponi dodira za istosmjernu struju propisani su na 120 V.

Tablica 1. Dopušten napon dodira za istosmjernu i izmjeničnu struju [10]

<b>Dozvoljeno trajanje dodira (s)</b>	<b>Napon dodira AC (V)</b>	<b>Napon dodira DC (V)</b>
$\infty$	$\leq 50$ V	$\leq 120$ V
5 s	50 V	120 V
1 s	75 V	140 V
0,5 s	90 V	160 V
0,2 s	110 V	175 V
0,1 s	150 V	200 V
0,05 s	220 V	250 V
0,03 s	280 V	310 V

Ako se iz bilo kojeg razloga tijelo čovjeka uključi u strujni krug u kojem djeluje neki od navedenih napona, kroz tijelo će protjecati struja odgovarajuće jakosti određena otporom tijela i prolaznim otporom između čovjeka i zemlje (slika 24).

$$I = \frac{U}{R}$$

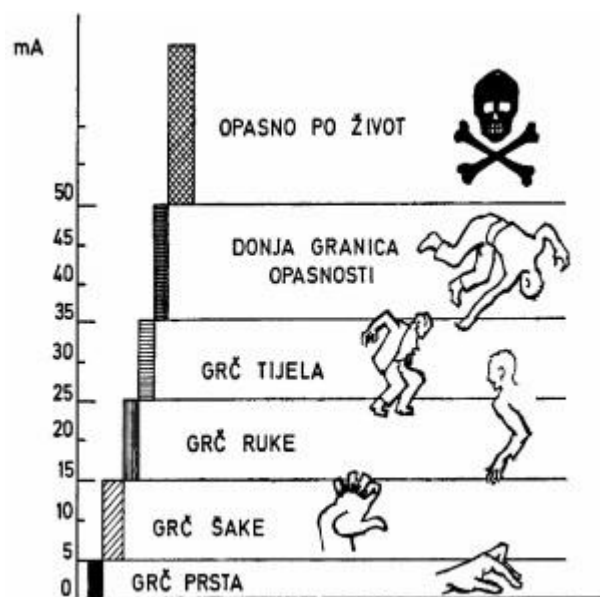
I – jakost struje koja protječe kroz tijelo u amperima (A)

U – napon koji djeluje između faze i nul-točke, odnosno zemlje, u voltima (V)

R – otpor čovječjeg tijela u omima ( $\Omega$ )

Ako je visina napona  $U=700$  V, a otpor tijela  $R=750\Omega$ , jakost struje I koja će protjeći kroz tijelo bit će 0,93 A ili 930 mA.

$$I = \frac{U}{R} \quad I = \frac{700}{750} = 0,93 \text{ A}$$



Slika 23. Dijagram prikazuje posljedice za čovjeka uključivanjem u strujni krug [7]

Prilikom intervencije vatrogasaca na fotonaponskim sustavima možemo očekivati napon koji se kreće od 600 pa do 1000 V. Iz čega se može zaključiti da je jakost struje prilikom izravnog dodira dovoljno velika da izazove smrt u trajanju prolaza kraćem i od jedne sekunde.

No, mnogi su fotonaponski sustavi opremljeni baterijama u kojima se pohranjuje električna energija, pa i one u požaru dodatno kompliciraju situaciju. Baterije u požaru stvaraju pare i plinove koji su izuzetno korozivni te može doći i do propuštanja elektrolita iz baterije koji mogu reagirati sa drugim metalima i proizvoditi otrovne, kao i potencijalno zapaljive i eksplozivne plinove.

Postoje još dodatne opasnosti kod gašenja fotonaponskih panela. Za vrijeme požara ili eksplozije, može doći do izlaganja vatrogasaca vrlo opasnim kemikalijama koje su nošene prvo plamenom, onda se raspršuju u dimu, a neke od njih su i kancerogene.

Pod dodatnim opasnostima se može navesti i pad konstrukcije sa fotonaponskim panelima, urušavanje krovne konstrukcije zbog dodatne težine, posrnuće fotonaponskog modula uslijed djelovanja topline ili djelovanja vatrogasaca.

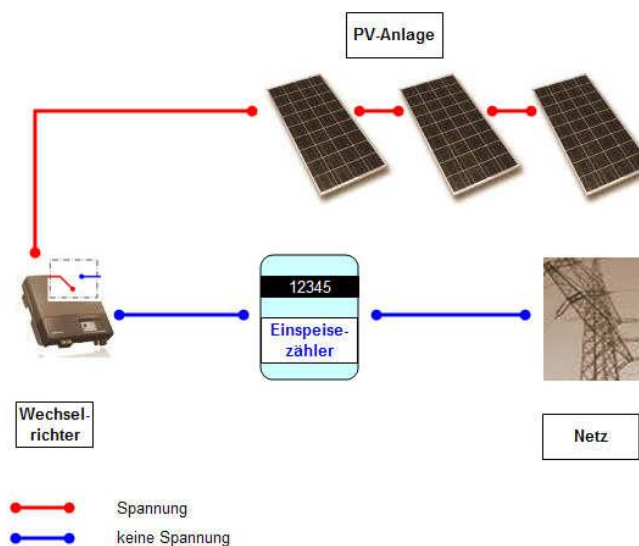
## 5. NAČINI ISKLJUČIVANJA FOTONAPONSKOG SUSTAVA U SLUČAJU POŽARA

Rješenja za isključivanje fotonaponskih sustava omogućuju vatrogascima ili drugoj žurnoj službi da isključi napajanje fotonaponskog sustava u slučaju požara na objektu. To je preduvjet da bi se radovi na gašenju požara uopće mogli izvesti. Na tržištu je dostupna široka lepeza tehničkih rješenja raznih proizvođača. U osnovi, mogu se razlikovati na koji način se izvodi isključivanje (dali se isključuje samo struja koja ide prema pretvaraču ili svaki pojedinačni panel).

5.1. Rješenja za isključivanje solarnih sustava na tržištu u slučaju požara mogu se podijeliti u tri skupine

Sklopka za isključivanje opterećenja izravno na pretvaraču na strani istosmjernog napona obavezna je od 2006. godine. ili je sklopka već integrirana u pretvarač ili se mora instalirati vanjska sklopka. Ova mjera jamči da nakon što je vatrogasac aktivirao sklopku, više nema napona iz pretvarača prema mjernom ormariću i mreži, prikazano na slici (slika 25.).

PV-Anlage mit Trennlastschalter am oder im Wechselrichter



Slika 24. Dijagram koji prikazuje isključivanje električnog napona na strani istosmjerne struje (na samom pretvaraču) [7]

Međutim, budući da se u većini slučajeva inverter-pretvarač ne postavlja u blizini fotonaponskih modula, već u nižim predjelima objekta, vodiči koji dovode napon struje do pretvarača i dalje su pod naponom, što može ugroziti hitne službe u slučaju opasnosti ili požara.

## 5.2. Sklopka za isključivanje na prijelazu u polje fotonaponskih modula

Ovaj način isključivanja osigurava da u vodičima- instalaciji koja vodi od pretvarača do panela nema napona struje. Isključivanjem na ovom prekidaču nema napona struje do prvog fotonaponskog modula, stoga je instalacija- vodiči sigurni do prvog fotonaponskog panela, prikazano na slici (sl.25).

Paneli su još pod naponom struje, ali je ovo rješenje posebno praktično za već instalirane sustave. Naknadna ugradnja sklopke obično je moguća bez puno vremena.

## 6. PRIMJER VATROGASNE INTERVENCIJE

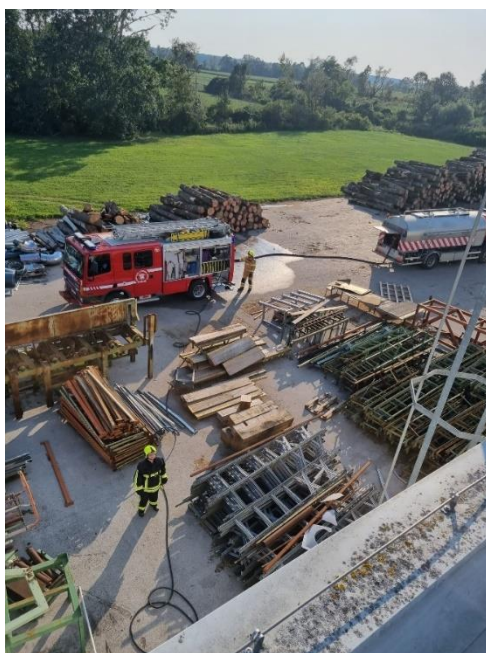
DVD Lipovljani- Vanjek Dijana, u 17:37h dobivamo poziv preko UVI sustava "Požar pilane uz željeznički kolodvor", izlazimo sa tri vozila i devet vatrogasaca. Dolaskom na mjesto intervencije zatiču se djelatnici koji ne znaju na koju stranu ići i što gori, a budući da je bio blagdan, nitko nije radio (slika 25). Kapija je bila zatvorena, pilana nema svoju postrojbu niti dežurnog vatrogasca unutar firme. Preskače se ograda da bi se napravio izvid gdje i što gori. Izvidom se utvrđuje da se radi o požaru krovšta, te se traži najbrži put do krovšta koji je bio preko evakuacijskih ljestvi sa južne strane objekta. Vatrogasci razvlače vitlo za brzu navalu te se penju na krov gdje zatiču požar solarnih ploča (slika 27.). Budući da nisu bili upoznati sa činjenicom da se gore nalaze solarni paneli započinjemo gašenje sa vodom iz veće udaljenosti raspršenim mlazom i impulsnim gašenjem (slika 27.). Zahvaćena je veća površina, odnosno stotinjak ploča zajedno sa sika podlogom koja je također širila požar. Nakon što je požar stavljen pod kontrolu vrši se dogašivanje (slika 30.) i provjera termo kamerom da li još negdje ispod kamene vune tinja. Brzom reakcijom spriječena je i šteta u samom skladišnom prostoru pilane u kojoj su se nalazile palete sa novom opremom za rad na pilani. Nakon što je požar uspješno ugašen, dva vatrogasca ostaju na osiguranju radi sigurnosti da se požar ne ponovi. uz provjeru termo kamerom. Kada su vatrogasci bili sigurni da je sve u redu vraćaju se u bazu. U 22:20h u postrojbu stiže dojava voditelja održavanja Tomislava Budimira da se ponovo dimi sa krova. 22:23h izlaze u izvid dva vatrogasca koji ispod kamene vune, vide izdimljavanje. Istu raskapaju te lagano zalijevaju sa naprtnjačom. 23:33h završavaju i vraćaju se u bazu. Uzrok požara panela će se znati nakon očevida inspektora. U ispomoć je pozvana JVP Novska.



Slika 26. Produkti gorenja požara na panelima [11]



Slika 27. Požar ploče na krovu [11]

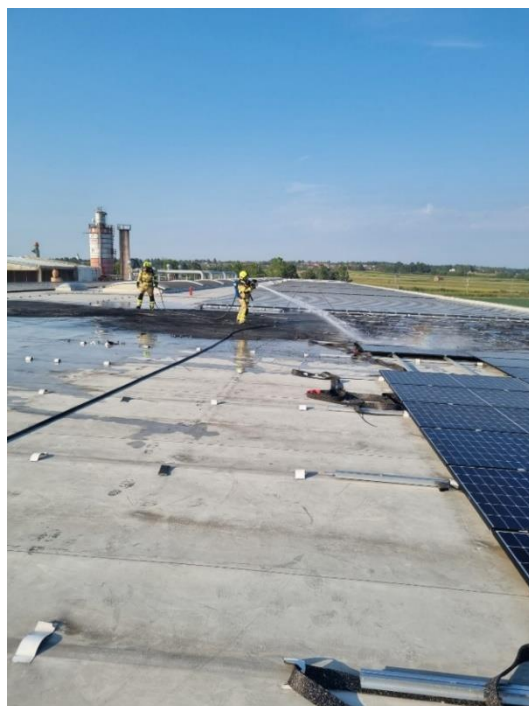


Slika 28. Nepristupan prilaz objektu nagomilanim gorivim materijalom [11]

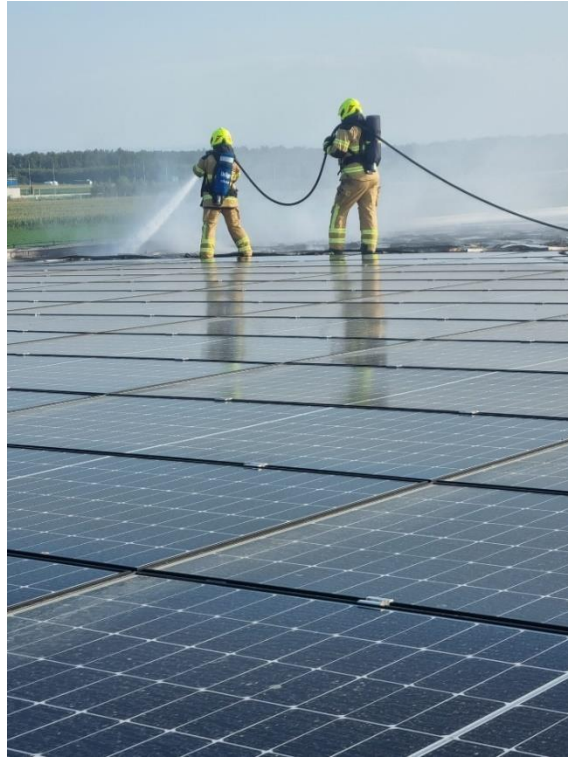




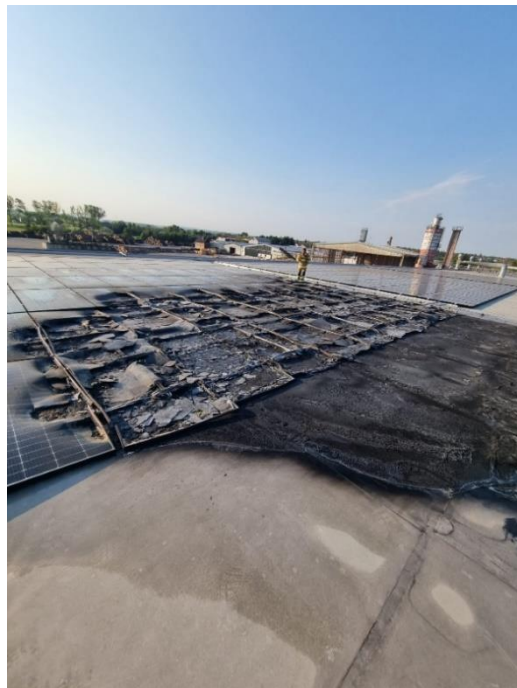
Slika 29. Korištenje izolacijskih aparata za disanje zbog otrovnih požarnih plinova [11]



Slika 30. Gašenje nakon isključenja napona [11]



Slika 31. Sprječavanje širenje požara [11]



Slika 32. Požar je izazvao veliku količinu štete [11]

## 7. ZAKLJUČAK

U posljednjih nekoliko godina, industrija fotonaponskih sustava doživjela je značajan rast, što je donijelo mnoge prednosti, ali i izazove, posebno u kontekstu vatrogasnih intervencija. Kada vatrogasci interveniraju na objektima s instaliranim fotonaponskim sustavima, suočavaju se s dodatnim opasnostima koje zahtijevaju posebne mjere opreza i prilagođene taktike. Jedan od ključnih problema je nedostatak zakonodavnog okvira koji bi jasno regulirao sigurnosne protokole u vezi s fotonaponskim sustavima. To otežava vatrogascima adekvatno reagiranje u hitnim situacijama. Također, nedostatak specifičnih edukacija i obuka dodatno komplicira intervencije, jer vatrogasci često nisu dovoljno upoznati s tehničkim karakteristikama fotonaponskih sustava, kao ni s rizicima koje ti sustavi predstavljaju. Fotonaponski sustavi, osim što proizvode električnu energiju, predstavljaju konstantan izvor napona čak i kada je sustav isključen s mreže, što predstavlja poseban rizik za vatrogasce tijekom gašenja požara ili drugih intervencija. Prilikom intervencija, vatrogasci moraju biti svjesni specifičnih opasnosti kao što su mogućnost električnog udara, zapaljivost materijala u blizini sustava te komplikacije koje nastaju ako dođe do oštećenja sustava. Stoga je ključno da vatrogasci prođu odgovarajuće edukacije koje će im omogućiti bolje razumijevanje fotonaponskih sustava, uključujući njihovu vrstu, način funkcioniranja i osnovna načela rada. Također, važno je da se provode analize i studije stvarnih intervencija kako bi se razvile najbolje prakse za sigurnu i učinkovitu reakciju u situacijama gdje su uključeni fotonaponski sustavi. U konačnici, sustavna edukacija, usavršavanje i kontinuirana analiza novih tehnologija i njihovih rizika ključni su za smanjenje opasnosti i povećanje sigurnosti pri vatrogasnim intervencijama, čime se ne samo štiti imovina, već se spašavaju i ljudski životi.

## 8. LITERATURA

- [1] Solarno.hr, Amp – solar, 2018.
- [2] Mudrinić, Đ., Zaštita fotonaponskih elektrana, 2016.
- [3] Šipuš M., Gašenje požara na objektima s ugrađenim fotonaponskim sustavom
- [4] <https://basengreen.com/hr/what-elements-make-up-the-layers-of-a-photovoltaic-cell/>
- [5] Šljivac, D., Predavanja OIE, u Fotonaponski sustavi, Osijek, 2017\_2018.
- [6] Labudović B., (2011). Osnove primjene solarnih toplinskih sustava. Energetike Marketing d.o.o., Zagreb
- [7] Fire Engineering Magazine Editorial & Sales Staff, (2015). [http://www.ul.com/global/documents/offerings/industries/buildingmaterials/fireservice/PV\\_FF\\_SafetyFinalReport.pdf](http://www.ul.com/global/documents/offerings/industries/buildingmaterials/fireservice/PV_FF_SafetyFinalReport.pdf)
- [8] Solaranlage Ratgeber, (2015) <http://www.solaranlage-ratgeber.de/photovoltaik/photovoltaik-installation/brandgefahr>
- [9] <https://hermi.hr/gromobran>
- [10] <https://preventa.hr/zastita-na-radu-upit/opasnosti-od-elektricne-struje>
- [11] Vlastiti izvor
- [12] Besch F., Cimolino U., (2012). Einsatz bei Photovoltaik-, Windenergie- und Biogasanlagen. Ecomed Sicherheit, München
- [13] Bundesverband Solarwirtschaft, (2015). [http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/BSW\\_Merkbl\\_A5\\_2014-ohnePasser.pdf](http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/BSW_Merkbl_A5_2014-ohnePasser.pdf)
- [14] Fire Engineering Magazine Editorial & Sales Staff, (2015). [http://www.ul.com/global/documents/offerings/industries/buildingmaterials/fireservice/PV\\_FF\\_SafetyFinalReport.pdf](http://www.ul.com/global/documents/offerings/industries/buildingmaterials/fireservice/PV_FF_SafetyFinalReport.pdf)

- [15] Kemper H., (2011). Photovoltaik. Ecomed Sicherheit –fachwissen feuerwehr, München
- [16] Majdandžić Lj., (2008). Obnovljivi izvori energije. Graphis d.o.o., Zagreb
- [17] Majdandžić Lj., (2010). Solarni sustavi – Teorijske osnove. Graphis d.o.o., Zagreb
- [18] National fire protection association, (2015). [file:///C:/Users/ USER\\_1/Downloads/RFFirefighter TacticsSolarPowerRevised%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/USER_1/Downloads/RFFirefighterTacticsSolarPowerRevised%20(4).pdf)
- [19] Office of the State Fire Marshal, (2015). [http://osfm. fire. ca.gov /training /pdf/ Photovoltaics/Fire%20Ops%20 PV%20lo%20resl.pdf](http://osfm.fire.ca.gov/training/pdf/Photovoltaics/Fire%20Ops%20PV%20lo%20resl.pdf)
- [20] Solaranlage Ratgeber, (2015) <http://www.solaranlage-ratgeber.de /photovoltaik /photovoltaik-installation/brandgefahr>
- [21] Tidwell J., Murphy J., (2010). Bridging the Gap – Fire Safety and Green Buildings. e National Association of State Fire Marshals. Cheyenne

## 9. PRILOZI

### 9.1. Popis slika

Slika 1. Prikaz glavne podjele solarnih panela .....	2	
Slika 2. Glavna podjela fotonaponskih sustava.....	4	
Slika 3. Samostalni fotonaponski sustav .....	5	
Slika 4. Umreženi fotonaponski sustav .....	5	
Slika 5. Slojevi fotonaponske ćelije.....	6	
Slika 6. Off - grid fotonaponski solarni regulator	Slika 7. Paralelni izmjenjivač .....	7
Slika 8. Solarni regulator .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Slika 9. Baterijski sustav.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Slika 10. Dijelomično uranjanje izolatora i vidljivu koroziju – željezni vijak .....	<b>Error!</b>	
<b>Bookmark not defined.</b>		
Slika 11. Nepravilno instaliran spojni dio cjevovoda i spojne kutije električnih.....	9	
Slika 12. Nakupljena vlaga i korozija na vijku koji nije zatvoren poklopcem ili silikonom ...	10	
Slika 13. Nepravilno korištenje uvednice koja se koristi za ulaz više vodiča.....	10	
Slika 14. Prodor vlage u kućište zbog neodgovarajuće brtve.....	11	
Slika 15. Slabo pritegnute vijke, koji uzrokuju neadekvatno brtvljenje .....	11	
Slika 16. Previše zategnut vijak koji uzrokuje oštećenje kućišta razvodne kutije .....	12	
Slika 17. Provjera zategnutosti spojeva vodiča na terminalu .....	12	
Slika 18. Prikleštene istosmjernog vodiča poklopcem kućišta .....	13	
Slika 19. Oštećenje koje je nastalo spajanje različitih konektora .....	13	
Slika 20. Nepravilno postavljenu spojnicu za uzemljenje fotonaponskog panela .....	14	
Slika 21. Oštećenje na prednjoj strani fotonaponskog panela – pukotine su točke visokog otpora u ćeliji i mogu dovesti do vrućih točaka.....	15	
Slika 22. Degradaciju ćelije i stvaranje vruće točke od pukotine u fotonaponskom panelu ....	15	
Slika 23. Princip zaštite od munje-groma na kući .....	16	
Slika 24. Dijagram prikazuje posljedice za čovjeka uključivanjem u strujni krug.....	18	
Slika 25. Dijagram koji prikazuje isključivanje električnog napona na strni istosmjerne struje (na samom pretvaraču) .....	20	
Slika 26. Produkti gorenja požara na panelima.....	22	
Slika 27. Požar ploče na krovu .....	23	

Slika 28. Nepristupan prilaz objektu nagomilanim gorivim materijalom .....	23
Slika 29. Korištenje izolacijskih aparata za disanje zbog otrovnih požarnih plinova .....	24
Slika 30. Gašenje nakon isključenja napona .....	24
Slika 31. Sprječavanje širenje požara .....	25
Slika 32. Požar je izazvao veliku količinu štete .....	25

## 9.2. Popis tablica

Tablica 1. Dopušten napon dodira za istosmjernu i izmjeničnu struju .....	17
---	----