



B&B
VISOKA ŠOLA ZA TRAJNOSTNI RAZVOJ

Diplomsko delo visokošolskega strokovnega študija
Program: Varstvo okolja

FOTOVOLTAIČNI SISTEMI IN NEVARNOSTI ZA GASILCE PRI GAŠENJU

Mentor: mag. Brane Lotrič
Lektorica: Metka Bartol, prof. slov.

Kandidat: David Bizjak

Kranj, julij 2019

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju mag. Branetu Lotriču za vso pomoč in nasvete pri izdelavi diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi lektorici Metki Bartol, ki je mojo diplomsko nalogo jezikovno in slovnično pregledala.

Še posebno se zahvaljujem moji družini, da me je spodbujala pri študiju.

IZJAVA

»Študent David Bizjak izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Braneta Lotriča.«

»Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorskih in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.«

Dne _____

Podpis: _____

POVZETEK

Diplomska naloga opisuje delovanje sončne elektrarne z vsemi njenimi elementi, ki so potrebni za pridobivanje električne energije iz sončnega sevanja. Opisuje delitev sončnih celic, njihove lastnosti, uporabo ter vrste fotonapetostnih sistemov. Fotovoltaika je danes hitro razvijajoča se gospodarska panoga, hkrati pa je eden izmed najčistejših, učinkovitih ter tihih obnovljivih virov energije.

Zaradi vse večjega števila postavljenih fotonapetostnih sistemov se povečuje tudi možnost za nastanek požara na objektih, ki so opremljeni z njimi. Zato smo z namenom večjega osveščanja o potencialnih nevarnosti, ki so povezane z nastankom požara, predstavili glavne vzroke in dejavnike, ki privedejo do njega na PV-sistemih, ter vse potencialne nevarnosti, ki pretijo na gasilce, ljudi, živali, premoženje in okolje. Opisana sta tudi potek gasilskega posredovanja ob požaru in gašenje objekta, opremljenega s fotonapetostnim sistemom v trgovskem centru v Kranju.

Rezultat diplomskega dela je predstavljen s podanimi ukrepi, s katerimi lahko preprečimo ali omejimo škodo ob nastanku požara na objektu, opremljenim s fotonapetostnim sistemom. Gašenje požarov na fotovoltaičnih sistemih ter v okolici bo varno, če bodo vsi udeleženci, od proizvajalcev in uporabnikov do posredovanja gasilskih enot, upoštevali pravila, predpise, zakonodajo in ukrepe, s katerimi bodo vsekakor zmanjšali ali celo preprečili nastanek požara in dodatne škode na premoženju ter potencialno nevarnost, ki preti na gasilce, ljudi, živali in okolico.

KLJUČNE BESEDE: fotovoltaika, fotonapetostni modul, obnovljivi viri energije

SUMMARY

This thesis describes how a solar power plant works with all its elements needed for gaining electrical power from solar power. It describes the division of solar cells, their characteristics, their usage and different sorts of photovoltaic systems. Photovoltaics is an economic industry that has been developing rapidly nowadays, but is at the same time one of the most efficient, cleanest and quietest renewable energy sources. Due to increasing number of set up photovoltaic systems, the risk of fire break-outs on buildings equipped with them, increases too. So with intention of warning people of potential danger connected to fire break-out, we presented all the main reasons and factors, which induce fire on PV systems and all the potential dangers, which endanger firemen, people, animals, property and environment. A firefighting procedure and putting down fire on a building equipped with photovoltaic system on a supermarket roof in Kranj is also described. Results of the thesis are described in preventive measures, with which we can prevent or at least limit damage in a fire break-out situation on a building equipped with photovoltaic system. Putting down fire on photovoltaic systems and surroundings will be safe, if all the participants from producers, users to firefighting units follow the rules, regulations, legislation and measures, with which they can limit or even prevent fire break-outs and additional damage on property and potential danger to firemen, people, animals and their environment.

KEY WORDS: Photovoltaics, photovoltaic module, renewable energy sources

KAZALO

1	Uvod	1
1.1	Predstavitev problema	2
1.2	Cilji naloge	2
1.3	Predpostavke in omejitve	3
1.4	Metode dela	3
2	Sončna energija	4
2.1	Splošno o sončni energiji	4
2.2	Sončna energija v Sloveniji	5
2.3	Načini izkoriščanja sončne energije	8
2.3.1	Pasivna raba sončne energije	9
2.3.2	Aktivna raba sončne energije	10
2.3.3	Raba energije s pomočjo fotovoltaike	10
2.4	Prednosti in slabosti sončne energije	11
2.5	Fotovoltaika	12
2.6	Splošno o fotovoltaiki	12
2.7	Zgodovina fotovoltaike	13
2.8	Proces pretvorbe sončne energije v električno	14
2.9	Sončne celice	15
2.9.1	Kristalne silicijeve sončne celice	16
2.9.2	Amorfne silicijeve celice	18
2.9.3	Fotonapetostne celice iz kadmijevega telurija	19
2.9.4	Prosojne fotonapetostne celice	19
2.9.5	Organske fotonapetostne celice	19
3	fotonapetostni sistemi	20
3.1	Vrste fotonapetostnih sistemov	20
3.2	Samostojni sistemi	20
3.2.1	Hibridni PV-sistemi	21
3.2.2	Omrežno povezani PV-sistemi	21
3.3	Gradniki/elementi fotonapetostnih sistemov	23
3.3.1	Fotonapetostni moduli	24
3.3.2	Razsmernik	24
3.3.3	Nosilna konstrukcija	25
3.3.4	Napajalni kabli	25
3.3.5	Regulatorji polnjenja	25
3.3.6	Polnilna baterija	26
3.3.7	Drugi elementi	26
3.4	Onesnaženost fotonapetostnih sistemov	26
3.5	Vzdrževanje fotonapetostnih sistemov	26
4	Gašenje objektov, opremljenih s fotonapetostnimi sistemi	27
4.1	Vzroki požarov na fotonapetostnih sistemih	28

4.1.1	Posredni vžig	28
4.1.2	Neposredni vžig	29
4.1.3	Električni oblok	29
4.1.4	Nepravilna montaža kablov	30
4.2	Nevarnosti za gasilce pri gašenju požara.....	30
4.3	Potek gašenja fotonapetostnih sistemov, pristop H gašenju, izvajanje gasilske intervencije.....	32
4.3.1	Posredovanje gasilcev.....	33
4.3.2	Sredstva za gašenje	35
4.3.3	Dejavniki, ki otežujejo in onemogočajo gašenje	36
4.3.4	Zaključek intervencije	37
4.4	Odstranitev uničenih delov fotonapetostne elektrarne po požaru	37
4.5	Pravilnik o požarnem redu ter požarni načrt.....	38
4.5.1	Požarni red	38
4.5.2	Požarni načrt	38
5	Primer intervencije v trgovskem centru merkur v kranju	41
6	Predlagani Ukrepi za preprečitev požara na fotovoltaičnih sistemih	46
6.1	Zakonodaja na področju fotonapetostnih sistemov	48
7	Zaključek.....	49
8	Seznam literature in virov	52

KAZALO SLIK

Slika 1:	Letno globalno sončno obsevanje v Sloveniji.....	5
Slika 2:	Proizvodnja električne energije po vrstah elektrarn	8
Slika 3:	Pasivna raba sončne energije.....	9
Slika 4:	Primer fotonapetostnega sistema na objektu	22
Slika 5:	Primer samostoječega talnega fotonapetostnega sistema	23
Slika 6:	Opozorilni znak za fotonapetostni sistem.....	33
Slika 7	Preglednica za posamezne razrede požarov	36
Slika 8	Požar fotovoltaičnih celic, poslovni objekt Merkur Kranj.....	43
Slika 9	Gašenje z avtolestvijo	44
Slika 10	Ogled pogorišča.....	45
Slika 11	Posledice požara	45

KAZALO GRAFOV

Graf 1:	Oskrba z različnimi viri energije.....	7
---------	--	---

KRATICE IN AKRONIMI

toe: tona ekvivalentne nafte

PV: izhaja iz angl. poimenovanja *photovoltaics*

J: osnovna enota za energijo

1 kJ: 1000 J, 1 MJ = 1000 kJ, 1 GJ = 1000 MJ in 1 TJ = 1000 GJ

V: volt

W: vat

k (kilo): $1000 = 10^3$

M (mega): $1.000.000 = 10^6$

G (giga): $1.000.000.000 = 10^9$

T (tera): $1.000.000.000.000 = 10^{12}$

P (peta): $1.000.000.000.000.000 = 10^{15}$

DC-spojišča: v električnih tokokrogih enosmerne napetosti

AC-spojišča: v električnih tokokrogih z izmenično napetostjo

ReCo: Regijski center za obveščanje

1 UVOD

Poraba električne energije v svetu se povečuje, kar predstavlja tudi problem pridobivanja te energije. Sonce je najboljši vir izkoriščanja energije, ki jo s pomočjo procesa fotovoltaike pretvorimo v električno energijo.

Fotovoltaika je danes hitro razvijajoča se gospodarska panoga, pretvarjanje energije sončnega sevanja v električno energijo pa ima v energetiki poseben pomen, saj je Sonce eden izmed najčistejših, učinkovitih ter tihih obnovljivih virov energije.

Prvi del diplomske naloge se nanaša na sončno energijo, ki prihaja na Zemljo v obliki sončnega sevanja, ki predstavlja trajni vir sončne energije. Opisuje sončno energijo v Sloveniji, načine izkoriščanja sončne energije s pasivno in aktivno rabo ter s pomočjo procesa fotovoltaike za proizvodnjo električne energije. Izpostavljene so tudi ključne prednosti ter slabosti uporabe sončnega sevanja kot vira energije.

Drugi del naloge opisuje pojem fotovoltaike, poda nekaj splošnih podatkov ter začetke in zgodovinski razvoj fotovoltaike, prav tako pa proces pretvorbe sončne energije v električno. Sledi podrobnejši opis najpogostejših vrst sončnih celic, ki so hkrati najpomembnejši element fotonapetostnih sistemov. Spoznali bomo delitev sončnih celic glede na njihovo zgradbo ter delitev glede na tehnološke postopke. Prav tako obstaja več vrst fotonapetostnih sistemov, pogledali bomo samostojne, hibridne ter omrežno povezane fotonapetostne sisteme ter ključne elemente, ki jih predstavljajo fotonapetostni moduli in drugi elektroenergetski elementi. Da fotonapetostni sistemi delujejo optimalno in je njihova življenjska doba dolga, je pomembno prepoznati onesnaženost modulov, ki jo povzročijo različni dejavniki, ki jih je ob rednem vzdrževanju ter čiščenju mogoče odpraviti in s tem preprečiti nevarnost požara na fotonapetostnem sistemu, ki predstavlja veliko nevarnost uporabniku ter njegovi okolici.

V tretjem poglavju bomo izpostavili problematiko porasta objektov s fotonapetostnimi sistemi, saj se z njihovo namestitvijo povečuje tudi možnost požarov. Osredotočili se bomo na ključne vzroke požarov, kot sta posredni in neposredni vžig, problematiko električnega obloka ter nepravilno montažo kablov.

Gasilci ki posredujejo pri gašenju požarov, so izpostavljeni nevarnosti električnega toka, sproščanju strupenih plinov, rušenju padajočih delov fotovoltaičnega sistema in drugim nevarnostim, ki jih je s pravilnimi varnostnimi ukrepi, z upoštevanjem zakonodaje ter s preventivo mogoče preprečiti in tako zagotoviti varno intervencijo. Opisali bomo intervencijo ter pravi pristop gašenja požara na objektu, opremljenim s fotonapetostnim sistemom, spoznali bomo različna sredstva, primerna za gašenje, ter dejavnike, ki otežujejo ter onemogočajo gašenje.

Fotovoltaična industrija stremi k trajnostnemu razvoju fotonapetostnih sistemov kot virom čiste elektrike, zato sta sanacija in recikliranje po odstranitvi uničenih delov fotonapetostnega sistema po požaru izredno pomembna. Na koncu poglavja pa se bomo seznanili tudi s pravilnikom požarnega reda in požarnega načrta, ki ju mora imeti vsak uporabnik fotonapetostnega sistema.

V četrtem poglavju sledita opis celotne intervencije gašenja požara in vzrok njegovega nastanka v trgovskem centru Merkur v Kranju.

V zadnjem delu diplomske naloge pa, na podlagi ugotovitev, pridobljenih med pisanjem te naloge, sledi predlog možnih ukrepov za preprečitev nastankov požarov na fotovoltaičnih sistemih.

1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Dandanes sončno energijo uporabljamo vse pogostejše, prav tako Sonce kot obnovljivi vir energije postaja v svetu vse bolj zanimiv, zato se fotovoltaika uporablja v različne namene. Onesnaževanje okolja z uporabo fotovoltaike je bistveno manjše, kot je bilo v preteklosti. Treba se je zavedati načina delovanja fotovoltaičnega sistema, njegovega izkoristka ter hkrati negativnega vpliva na okolje ter nevarnosti za gasilce pri gašenju požara na fotovoltaičnih sistemih.

Pri gašenju sončne elektrarne so ključni pravilna projektiranost sistema, pravilna označitev objekta s požarnim načrtom ter natančno posredovanje teh podatkov gasilski enoti, kar pripomore k manjšemu tveganju pri gašenju požara.

1.2 CILJI NALOGE

Cilj diplomske naloge je raziskati področje fotovoltaike, ki je ključno za razumevanje samega procesa pretvorbe sončne energije v električno. S pomočjo teorije bomo raziskali položaj te panoge v Sloveniji, se seznanili o prednostih ter slabostih izrabe sončne energije in opisali delovanje sončnih celic, predstavili načine pridobivanja energije iz Sonca, primerjali vrste sončnih elektrarn ter opisali njene gradnike, hkrati pa se seznanili z onesnaževanjem okolja.

Prav tako je cilj proučiti najpogostejše vzroke za nastanek požara na objektu, opremljenim s fotovoltaičnim sistemom, ki hkrati predstavlja veliko nevarnost za gasilce pri gašenju; se seznaniti z možnimi nevarnostmi ter varnostnimi ukrepi, ki jih uporabljajo gasilci, da se takšnim nevarnostim izognejo; opisati potek gasilske intervencije gašenja požara na objektu, opremljenim s fotonapetostnim sistemom; ugotoviti, katera gasilna sredstva so najprimernejša za gašenje na takšnih objektih, ter izpostaviti dejavnike, ki otežujejo ali celo onemogočajo gašenje objekta, opremljenega s fotovoltaičnim sistemom.

V zadnjem delu diplomske naloge pa sledijo predlogi možnih ukrepov za preprečitev nastankov požarov na fotovoltaičnih sistemih ter tistih, ki bi preprečili širjenje in nastanek še večje škode ter druge nevarnosti za ljudi, živali ter okolje ob že nastalem požaru na objektu, opremljenim s fotovoltaičnim sistemom. Ukrepe smo podali na podlagi ugotovitev, do katerih smo prišli pri pisanju te diplomske naloge ter s pregledom različnih objav obstoječe literature, virov, člankov.

Za raziskavo tega področja sem se odločil, ker se kot gasilec lahko srečam z nevarnostjo gašenja takšnega sistema. Zato je moj glavni namen izpostaviti ključne vzroke za nastanek požara, probleme ter nevarnosti za gasilce pri gašenju požarov, opremljenih s fotovoltaičnimi sistemi, hkrati pa raziskati možnosti ter podati nabor možnih ukrepov za preprečevanje požarov na fotovoltaičnih sistemih in povečanje varnosti gasilcev pri gašenju fotovoltaičnih objektov.

Rezultat moje diplomske naloge je na podlagi zbranih informacij o fotovoltaičnih sistemih in obstoječih standardov potrditi, da je z upoštevanjem navedenih predlogov in ukrepov možno povečati učinkovitost gašenja in hkrati zagotoviti še večjo varnost gasilcev pri gašenju objektov, opremljenih s fotovoltaičnim sistemom.

1.3 PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE

Diplomsko delo se za pridobivanje električne energije omejuje le na področje fotovoltaičnih sistemov, ki so nameščeni na strehah zgradb in so povezani v elektroenergetsko omrežje. Naloga niti v opisnem niti v analitičnem delu ne obravnava fotovoltaičnih sistemov v povezavi s hranilniki električne energije oziroma z vozili ali s plovili.

1.4 METODE DELA

Za doseg ciljev diplomske naloge bodo upoštevani strokovna literatura, strokovni članki, raziskave podjetij in ugotovitve drugih avtorjev.

V diplomski nalogi bom uporabil naslednje metode:

- metoda deskripcije (opisovanje dejstev, pojavov in procesov),
- metoda klasifikacije (primerjanje pojmov),
- metoda komparacije (primerjanje podobnih procesov in dejstev),
- metoda sintetizacije (strnitev opazovanj v celoto),
- metoda kompilacije (prevzemanje spoznanj in stališč drugih avtorjev).

Na področju fotovoltaike je zaslediti uveljavljene spremembe Zakona o varstvu pred požarom sončnih in drugih naprav, ki proizvajajo električno energijo iz obnovljivih virov. Objavljene so tudi Uredbe o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov

energije, uveden je Pravilnik o tehničnih zahtevah naprav za samooskrbo z električno energijo iz obnovljivih virov. Skratka, na področju obstaja kar nekaj zakonov, pravilnikov, uredb, standardov, ki urejajo varnost fotonapetostnih naprav. Energetski zakon (EZ-1) (Ur. l. RS, št. 17/2014) prinaša v slovensko zakonodajo več evropskih direktiv in uredb s področja trga električne energije, energetske učinkovitosti in vseh obnovljivih virov energij. Znale so Direktiva EU o spodbujanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov energije, Direktiva 2012/27/EU o energetske učinkovitosti, Direktiva 2001/77/ES o spodbujanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov energije na notranjem trgu z električno energijo (UL L 283, 27. 10. 2001), Uredbe (EU) št. 525/2013 Evropskega parlamenta in Sveta, Direktiva o odpadni električni in elektronski opremi 2012/19/EU. (Vir: Uradni list evropske unije, L 328/82.)

Evropska unija je z direktivo od posameznih članic zahtevala, da povečajo delež obnovljivih virov energije. Električna energija, proizvedena s pomočjo fotovoltaike, je tudi sestavni del direktive EU. V Sloveniji je bila 19. maja 2009 sprejeta Uredba o podpori električne energije, proizvedeni iz obnovljivih virov energije.

Slovensko združenje za požarno varnost je izdalo smernico o požarni varnosti sončnih elektrarn (Smernica SZPV 512), ki je namenjena prepoznavanju morebitnih nevarnostih in v kateri so zajete zahteve za doseganje ciljev požarnega varstva.

2 SONČNA ENERGIJA

2.1 SPLOŠNO O SONČNI ENERGIJI

Sončna energija je izraz, s katerim lahko opišemo različne načine pridobivanja energije iz sončnega obsevanja. Je eden izmed mnogih obnovljivih virov energije, ki bo v prihodnosti še pomembnejši za proizvodnjo elektrike. Zavedanje človeštva o vplivih na okolje ter omejenosti nekaterih virov energije je v zadnjem desetletju povečalo intenzivnost izrabe sončne energije v primerjavi z njeno izrabo v preteklih stoletjih. Velik porast uporabe sončne energije je zaslediti v oddaljenih krajih ali v vesoljskem prostoru, kjer drugih virov energije ni na voljo.

Sončno energijo lahko štejemo med okolju prijazne energije, saj njen vir ne zahteva uporabe fosilnih goriv in povezanih zračnih emisij, ki bi onesnaževale okolje, hkrati pa tudi ne izčrpavanja naravnih virov, ker je v izobilju.

Sončna energija je energija, ki prihaja od Sonca v obliki sončnega sevanja. Sončno sevanje je trajni vir sončne energije. Energija, ki na letni ravni pade na Zemljo, je mnogokrat večja od potreb po primarni energiji, to energijo je le treba spremeniti v koristno obliko. Za praktično izrabo sončne energije je pomembno

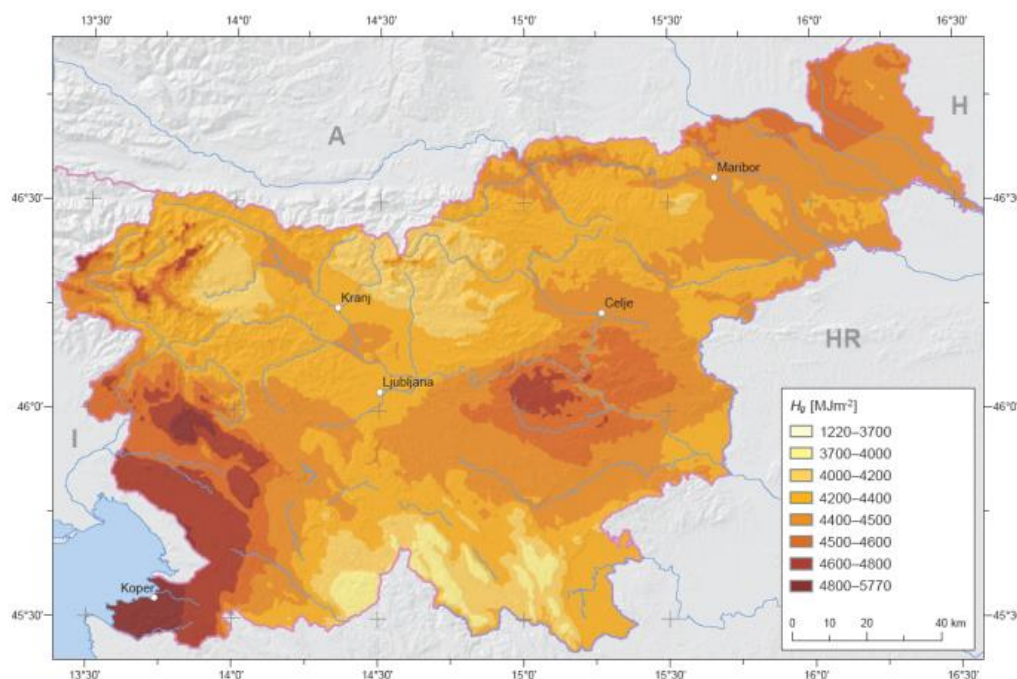
poznavanje količine in tipa vpadnega sevanja na Zemljino površino (States Advancing Solar, 2013).

2.2 SONČNA ENERGIJA V SLOVENIJI

Sončna energija prihaja na Zemljo v obliki elektromagnetnega valovanja in je del naravnih energetskega tokov, ki ohranjajo ravnotežje na našem planetu. Brez nje življenje na Zemlji ne bi bilo mogoče. Vpadlo sončno sevanje v eni uri je večje, kot znašajo celoletne Zemljine potrebe po energiji (Kastelec, 2007).

Celotni potencial sončnega sevanja za Slovenijo znaša več kot 300-kratnik porabe primarne energije. Danes izkoriščamo manj kot 3 % ocenjenega tehničnega potenciala.

Na področju celotne Slovenije je potencial sončne energije dokaj enakomeren in razmeroma visok, v povprečju je npr. za 10 % višji od Nemčije. Na letnem nivoju je razlika med najbolj osončeno Primorsko in najmanj osončenimi področji le 15%. Povprečna letna vrednost za Slovenijo je 1100 kWh vpadle sončne energije na m² horizontalne površine. Natančnejše vrednosti in geografsko porazdelitev prikazuje spodnja slika.



Slika 1: Letno globalno sončno obsevanje v Sloveniji
(Vir: <http://www.ape.si/data/infolisti.pdf>, dostopno 25. 3. 2019.)

V Sloveniji je letno globalno sončno obsevanje v povprečju nekje med 1000 in 1380 kWh na m² osončene površine. Največ sončnega obsevanja je zaznati v poletnih mesecih v krajih, ki ležijo ob morju, v zimskih mesecih pa je te energije na voljo le približno 200–250 kWh/m². V zadnjih desetletjih sončno obsevanje na območju Slovenije narašča, kaj je zelo ugodno za izkoriščanje sončne energije.

(Vir: <http://www.energap.si/>, dostopno 31. 05. 2019.)

V Sloveniji imamo zaradi enakomerne osončenosti velik potencial za izkoriščanje sončne energije, skoraj celotna država je primerna za postavitev domače sončne elektrarne. Postavitev sončnih elektrarn se v Sloveniji povečuje od sprejetja uredbe o samooskrbi, saj prihaja do zavedanja, da je energetska oskrba na dolgi rok v obnovljivih virih energije.

Prvo sončno elektrarno v Sloveniji so postavili leta 2001, do konca leta 2017 pa je bilo v Sloveniji nameščenih 4231 sončnih elektrarn s skupno močjo 267 MW. V Sloveniji je v samem vrhu energetske samooskrbe inovativna storitev GEN-I Sonce, saj je GEN-I kot dobavitelj energije vstopil na trg samooskrbe in odjemalcem omogoča tudi izgradnjo mikro sončnih elektrarn na ključ.

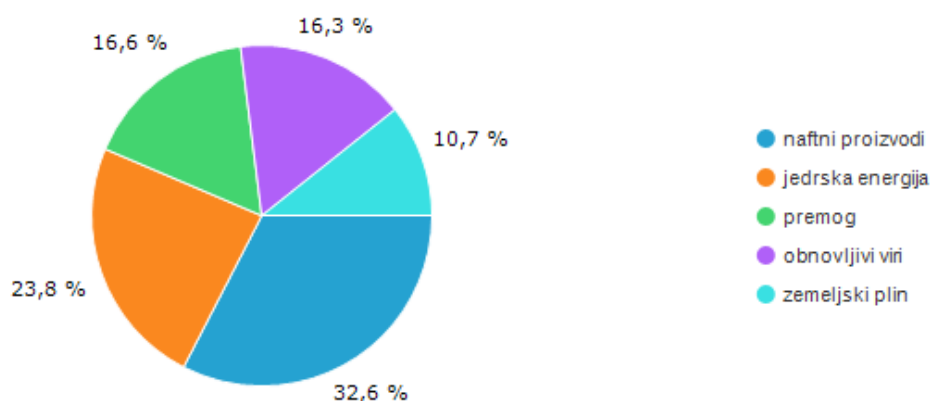
Stanje PV-industrije v Sloveniji se v letu 2017 ni bistveno spremenilo, med vodilnimi podjetji še vedno ostajata Bisol Group d.o.o. in ETI Elektroelement d.d. Na trgu pa uspešno nastopa tudi podjetje Letrika Sol d.o.o s proizvodnjo mikro razsmernikov. Na področju PV-modulov deluje še manjše družinsko podjetje AMP Solar d.o.o. Na področju inštalacije in vzdrževanja sončnih elektrarn deluje kar nekaj podjetji, med katerimi najbolj izstopajo Plan-net Solar d.o.o., Kon Tiki Solar d.o.o., Enerson d.o.o. in Sol Navitas d.o.o.

(Vir: <http://topnews.si/2018/07/23/soncna-energija-je-nasa-prihodnost/>, dostopno 25. 3. 2019.)

Skupna količina domačih virov energije v Sloveniji v letu 2017 je bila 3,7 mio. toe, kar je za 2 % več kot v letu 2016. Povečale so se predvsem količine jedrske energije (za 10 %) ter geotermalne in sončne energije (za 2 %).

Z domačimi viri energije je Slovenija v letu 2017 zadovoljila 52 % potreb po energiji, kar je predstavljalo 48-odstotno energetska odvisnost.

Pri oskrbi z energijo so prevladovali naftni proizvodi, katerih delež je znašal 33 %; delež jedrske energije je znašal 24 %, delež energije iz obnovljivih virov (vključno s hidroenergijo) in delež premoga vsak po 16 % in delež zemeljskega plina 11 %.



© SURS

Graf 1: Oskrba z različnimi viri energije

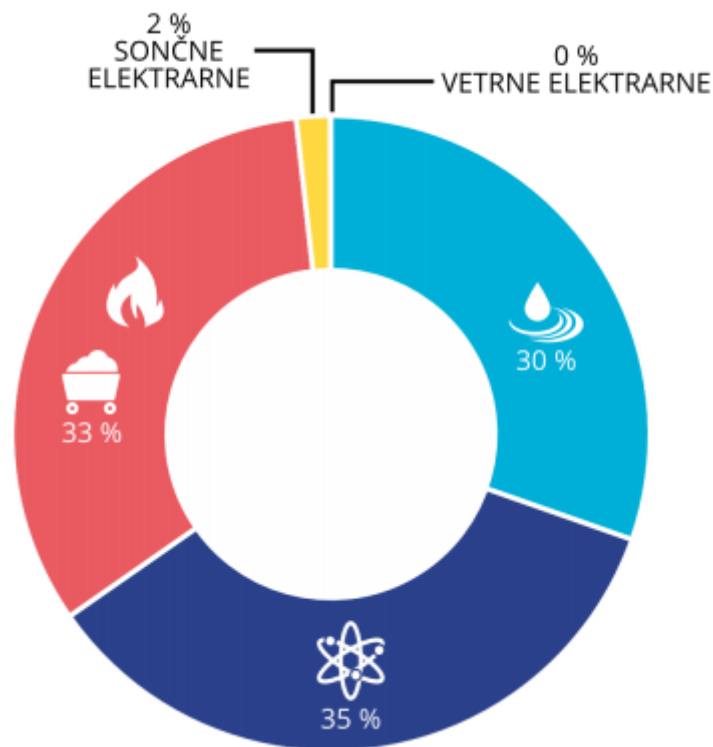
(Vir: <https://www.stat.si/StatWeb/News/Index/7722>, dostopno 26. 3. 2019.)

Gospodinjstva v Sloveniji so v letu 2017 porabila okoli 46.900 TJ energije, namenjene končni rabi, kar je za 2 % manj kot leto prej. Manj energije so porabila za ogrevanje prostorov (za približno 4 %) in za kuhanje (za 0,2 %); za hlajenje prostorov in za ogrevanje sanitarne vode pa so je porabila več (za skoraj 2 % oz. za 0,1 %). Največ energije, namenjene končni rabi, pa se je v gospodinjstvih v letu 2017 porabilo za ogrevanje prostorov, in sicer 29.832 TJ ali 64 %; za ogrevanje sanitarne vode se je porabilo 16 % energije, prav toliko tudi za razsvetljavo in električne naprave, za kuhanje 4 %, za hlajenje prostorov pa malo manj kot 1 %.

(Vir: <https://www.stat.si/StatWeb/News/Index/7722>, dostopno 26. 3. 2019.)

V letu 2016 se je v Sloveniji proizvedlo 15.550 GWh ali 56 PJ (= 1337 ktoe) električne energije, od tega večino v jedrski elektrarni in termoelektrarnah. Čeprav število sončnih elektrarn v zadnjih letih zelo narašča, se je s pomočjo Sonca proizvedlo le 2 % električne energije, kar prikazuje slika spodaj.

(Vir: <https://www.i-energija.si/ienergija/energetika-v-sloveniji-in-svetu-statistika/>, dostopno 26. 3. 2019.)



Slika 2: Proizvodnja električne energije po vrstah elektrarn

(Vir: <https://www.i-energija.si/ienergija/energetika-v-sloveniji-in-svetu-statistika/>, dostopno 22. 4. 2019.)

V svetu ima fotovoltaika precej večjo rast (celo 30%). Čeprav nekateri še vedno menijo, da so sončne elektrarne za gospodinjstva modna muha, je v viziji EU zapisano, da jih bodo do leta 2030 v EU namestili za 200 gigavatov zmogljivosti. Če bo ta cilj dosežen, bi to predstavljalo 4 % svetovne proizvodnje električne energije. Do leta 2050 pa naj bi po optimističnih bruseljskih načrtih delež fotovoltaične energije v EU dosegel okoli 20 %.

(Vir: <http://topnews.si/2018/07/23/soncna-energija-je-nasa-prihodnost/>, dostopno 26. 3. 2019.)

2.3 NAČINI IZKORIŠČANJA SONČNE ENERGIJE

Sonce je vir energije, ki na Zemljo prihaja v obliki sončne svetlobe, izkoriščamo pa jo lahko na več načinov, in sicer s (Koprivnikar in Đurasovič, 2010):

- pasivno rabo sončne energije s solarnimi sistemi za ogrevanje in osvetljevanje prostorov (izkoriščanje sončne energije z okni, sončnimi stenami in stekleniki);
- aktivno rabo sončne energije s sončnimi kolektorji za pripravo tople vode in ogrevanje stavb;
- fotovoltaiko s sončnimi celicami za proizvodnjo električne energije.

V nadaljevanju sledi podrobnejši opis zgoraj navedenih načinov izkoriščanja energije iz Sonca.

2.3.1 Pasivna raba sončne energije

Pri pasivni rabi sončne energije se uporablja primerne gradbene elemente, npr. solarne sisteme za ogrevanje zgradb, osvetljevanje ter prezračevanje prostorov. Pasivni solarni sistemi so elementi, ki so integrirani v konstrukcijski ovoj stavbe. Zaradi še vedno visoke cene se uporabljajo sorazmerno redko. Pri pasivnem izkoriščanju sončne energije največkrat uporabljamo naslednje elemente

(Vir: Biotherm, 2012):

- energijsko učinkovita okna (preprečujejo vstop UV-žarkom v prostor, prepuščajo pa toplotne žarke),
- sončne stene (akumulirajo toploto sončnega obsevanja in jo prevajajo v prostor),
- steklenjaki in zimski vrtovi (sonce jih ogreje, toplota se nato skozi okna in vrata odvaja v notranje prostore),
- ogrevanje fasad (prevajanje toplote v notranjost prostorov).



Slika 3: Pasivna raba sončne energije

(Vir: Bioterm, 2012.)

Pasivno sončno ogrevanje in hlajenje imata v današnjih zgradbah pomembno vlogo. Izkoriščanje sončne energije v zgradbi poteka po navadi prek zidov, oken, tal in strehe. Ogrevanje stavb poteka tako, da pri prehodu sončne svetlobe skozi okna zadene določene predmete (tla, zidove, okno), v katere se absorbira in pretvori v toploto. Elementi za pretvarjanja sončnega obsevanja so v večini nameščeni na ovoju

stavb in jih imenujemo tudi **elementi za naravno ogrevanje stavb s soncem**. Stavbo pripravimo tako, da sama sprejema sončno energijo, da je obenem hranilnik toplote in ogrevalni sistem. To naredimo tako, da stavbo dobro toplotno izoliramo in na severni strani predvidimo minimalne zastekljene odprtine. Stavba naj bo z bivalnimi prostori obrnjena proti jugu, z drugimi pomožnimi prostori pa proti severu. Na južni strani lahko namestimo pasivne elemente (okna, zastekljene zidove, steklenike in prezračevane fasadne elemente), omogočimo dobro kroženje zraka med prostori ter predvidimo zaščito pred poletnim soncem. Pri večini teh naprav segrevamo neposredno zrak, ki prenaša toploto po stavbi. (Vir: <https://kolednik.wordpress.com/obnovljivi-viri-energije/soncna-energija/>, dostopno 2. 4. 2019.)

2.3.2 Aktivna raba sončne energije

Pri aktivni rabi sončne energije gre za izkoriščanje sončne energije s pomočjo sončnih kolektorjev, ki pomagajo pri segrevanju vode za gospodinjstvo, bazene in ogrevanje površin. V sončnih kolektorjih se segrejeta: voda, namenjena za segrevanje sanitarne vode, ter zrak, namenjen ogrevanju prostorov.

Absorber je bistveni del sončnega kolektorja, po navadi je iz kovine. Na njem je plast, ki absorbira sončno energijo, njegova naloga je, da prenese toploto iz te plasti na vodo ali zrak, ki teče skozenj. Sončne kolektorje po navadi povežemo skupaj v sistem sončnih kolektorjev, ki ga postavimo na streho zgradbe. Sončni kolektorji sprejmejo največ sončne energije, če so postavljeni pod kotom 25–45° in so obrnjeni v smeri J ali JZ.

2.3.3 Raba energije s pomočjo fotovoltaike

Energija Sonca se izkorišča za proizvodnjo električne energije, ki napaja električne naprave. Fotovoltaika pretvarja sončno energijo neposredno v električno energijo. Proces pretvorbe je čist, zanesljiv in potrebuje le svetlobo kot edini vir energije. Proces pretvorbe poteka prek sončnih celic. Sončne celice so sestavljene iz polprevodnega materiala, največkrat je to silicij, ki se ga pridobiva iz kremenčevega peska. Pri procesu predelave kremenčevega peska v ustrezno čist silicij, ki se ga rabi za proizvodnjo sončnih celic, je potrebno veliko korakov. Poznamo sončne celice, ki so sestavljene iz najmanj dveh plasti polprevodnega materiala, ena plast ima pozitivni naboj, druga negativnega. Pri absorpciji svetlobe se na kovinskih stikih plasti vzpostavi električni potencial. To sprosti elektrone na negativni plasti sončne celice, ki začno teči iz polprevodnika po zunanem krogu nazaj na pozitivno plast. Tok steče, ko se priključijo naprave oz. porabniki in s tem sklenejo krog.

(Vir: http://kid.kibla.org/~qverila/vegansvet/predal/soncna_energija.htm, dostopno 2. 4. 2019.)

2.4 PREDNOSTI IN SLABOSTI SONČNE ENERGIJE

Prednosti sončne energije

- Izkoriščanje in uporaba sončne energije ne onesnažujeta okolja in narave, saj pri pretvarjanju sončne energije ne prihaja do stranskih proizvodov, tj. toplogrednih plinov in prašnih delcev, kar pomeni, da je proizvodnja električne energije iz fotovoltaičnih sistemov okolju prijazna, hkrati pa prispeva k zmanjševanju globalnega segrevanja;
- proizvodnja in poraba sta na istem mestu;
- v kolikor je sončna elektrarna kakovostna, se pojavijo le majhni stroški vzdrževanja, zato so stroški obratovanja nizki;
- fotovoltaika omogoča oskrbo z električno energijo tudi na oddaljenih področjih brez povezave z javnim električnim omrežjem in oddaljenih naprav;
- sončne celice, ki so nameščene na stavbah, ne zavzemajo naravnih površin, pri čemer se izognemo poseganju v okolje;
- tiho delovanje fotonapetostnih sistemov, brez proizvodnje hrupa;
- uporaba fotonapetostnih sistemov je zelo zanesljiva, predvidena življenjska doba fotonapetostnih modulov je 30 let, njihova zmogljivost pa je zelo visoka;
- fotonapetostne module je mogoče reciklirati in materiale po proizvodnem procesu znova uporabiti.

(Vir: <https://www.esvet.si/druqi-viri-energije/soncna-energija>, dostopno 3. 4. 2019.)

Povzamemo lahko, da je prednosti sončne energije veliko, uporaba takšnega vira energije pa pozitivno vpliva na podnebje, nakazuje na stabilnost v dobavi energije ter hkrati pomembno vpliva na dolgoročno gospodarsko korist. V nadaljevanju pa si bomo pogledali še peščico slabosti sončne energije.

Slabosti sončne energije

- cena naložbe je kljub olajšavam Republike Slovenije, Eko sklada, Slovenskega okoljskega javnega sklada, in EU še vedno zelo visoka;
- cena električne energije, pridobljene iz sončne energije, je dražja od energije, proizvedene iz tradicionalnih virov;
- nestanovitnost vira: proizvodnja je odvisna od sončnega obsevanja, ne od trenutnih potreb, zato so potrebni še dodatni zanesljivi viri za pokrivanje razlike in stabilizacijo elektroenergetskega sistema (hidro-, termo-, jedrske elektrarne);
- nizka razpoložljivost: predvsem na območjih z malo sončnih dni ne zagotavlja zanesljive oskrbe z električno energijo iz tega vira;
- visoki začetni stroški: možnost povzročitve požarov na mestih, kjer so nameščeni paneli;

- sončne elektrarne pogosto bistveno vplivajo na vizualno podobo okolja – tudi zaradi velike površine, ki jo zavzemajo (na instaliran kW).

(Vir: <https://sites.google.com/site/obnovljivsi/soncna-energija>, dostopno 3. 4. 2019.)

2.5 FOTOVOLTAIKA

Količine sončne energije je povsod po svetu v zadostnih količinah. Fotonapetostni sistemi neposredno pretvarjajo energijo Sonca v električno energijo z izkoriščanjem fotonapetostnega pojava. **Fotovoltaika že danes, prav tako pa bo tudi v prihodnosti, pripomore k oskrbi z električno energijo, hkrati pa ne obremenjuje okolja.**

Zato bomo v nadaljevanju diplomske najprej namenili nekaj besed sami fotovoltaiki in njenemu zgodovinskem razvoju, stanju fotovoltaike v Sloveniji ter opisali proces pretvorbe sončne energije v električno. V nadaljevanju sledi opis različnih vrst sončnih celic ter fotonapetostnih sistemov z vsemi pomembnimi elementi, nekaj besed pa bomo namenili tudi problematiki onesnaženosti fotonapetostnih modulov ter pomenu njihovega vzdrževanja.

2.6 SPLOŠNO O FOTOVOLTAIKI

Tehnologijo, ki pretvarja moč sončne svetlobe v električno moč, z eno besedo lahko imenujemo fotovoltaika (PV). Beseda fotovoltaika je sestavljena iz grške besede *phos*, ki pomeni svetloba, in besede *volt*, ki poimenuje enoto za napetost. **Fotovoltaika je torej veda, ki proučuje pretvorbo svetlobne energije v električno.** Fotonapetostna pretvorba je neposredno pretvarjanje svetlobne energije sončnega sevanja v električno energijo, pri kateri sodelujeta neposredno kot razpršeno sončno sevanje. Sama pretvorba poteka v sončnih celicah, ki so glede na zgradbo lahko polikristalne, amorfne ali monokristalne celice, v večini primerov izdelane iz silicija. Z združevanjem sončnih celic dobimo fotonapetostne module, z združevanjem številnih modulov, katerim dodamo uporabo elementov, kot so regulatorji polnjenja, akumulatorji in razsmerniki, pa lahko zgradimo poljuben sistem za oskrbo z električno energijo. Fotonapetostni sistem za svoje delovanje ne potrebuje neposredne dnevne svetlobe, saj jo ta lahko proizvaja tudi v oblačnem vremenu.

Fotovoltaika je panoga, ki velja za eno izmed najhitreje razvijajočih se tehnologij v svetu na področju obnovljivih virov energije. Dolgoročni cilj te panoge je usmerjen v zmanjševanje stroškov sončne električne energije na 4 evrske cente. S takšnim doseženim ciljem bi postala fotovoltaika najcenejši in najperspektivnejši vir električne energije (Babuder, 2009, str. 66).

2.7 ZGODOVINA FOTOVOLTAIKE

V današnjem času je porast različnih možnosti izrabe sončne energije za proizvodnjo električne energije vse večji, kar pa še ne pomeni, da so ideje nove, zato bomo v nadaljevanju pogledali, kam segajo začetki fotovoltaike.

Leta 1767 švicarski znanstvenik Horace de Saussure zgradi **prvi sončni kolektor na svetu**, ki ga je leta 1830 na odpravi v Južno Afriko uspešno uporabljal sir John Herschel za kuhanje hrane.

Fizik Alexandre Edmond Becquerel je leta 1839 prvi **odkril fizikalni pojav pretvorbe sončne svetlobe v električno energijo**. Opisal ga je po eksperimentu z kovinskima elektrodama, ki sta bili potopljeni v elektrolit in s pomočjo katerih je opazil tudi, da z osvetljenostjo prevodnost narašča.

Willoughbyju Smithu uspela podobna ugotovitev, le da je pri eksperimentu namesto elektrolita uporabil selen, ki je postal osnova za izdelavo prve sončne celice.

Leta 1860 francoski matematik Avgust Mouchet predlaga uporabo sončne energije za pogon parnih strojev. Idejo je uresničil v dveh desetletjih in zgradil prve motorje na sončno energijo, ki so jih uporabljali za različne namene.

Leta 1877 sta William Grylls Adams in Richard Evans Day odkrila fotovoltaični učinek v trdnem selenu in izdelala **prvo sončno celico**.

Leta 1883 je ameriški izumitelj Charles Fritts opisal prve sončne celice, narejene iz selenskih delov. Leta 1887 je Heinrich Hertz odkril, da ultravijolična svetloba spreminja najnižjo napetost, kar lahko povzroči, da iskra skoči med dve kovinski elektrodi.

Nemški fizik Wilhem Hallwachs je leta 1904 odkril, da je kombinacija bakra in bakrovega oksida občutljiva za svetlobo. Albert Einstein je objavil svoj dokument o fotoelektričnem učinku, pozneje pa tudi knjigo o fotovoltaičnih učinkih (PV-portal).

Leta 1918 je Poljski znanstvenik Jan Czochralski odkril **proces za pridelovanje monokristalnega silicija**, ki se uporablja še dandanes. Leta 1923 je Albert Einstein prejel Nobelovo nagrado za svoje teorije, ki pojasnjujejo fotoelektrični učinek. Leta 1932 Audobert in Stora odkrijeta fotonapetostni efekt v kadmijevem sulfidu (CdS). Leta 1954 so znanstveniki Calvin Fuller, Darly Chapin in Gerald Pearson razvili prvo fotonapetostno silicijevo celico, ki je bila sposobna predelati dovolj elektrike za poganjanje vsakodnevne električne opreme z izkoristkom 4,5 %.

Leta 1958 so **uporabili silicijeve sončne celice za prvi satelit s PV-sistemom**. Leta 1959 je Hoffman Electronics dosegel 10% učinkovito fotonapetostno celico in dokazal uporabo mrežnega kontakta, da bi znatno zmanjšal serijsko odpornost.

Leta 1960 so v ZDA ustanovili podjetje Silicon Sensors, ki proizvaja silicijeve in selenove sončne celice, Hoffman Electronics pa je dosegel 14% učinkovitost celice PV. Sončna energija se je začela uporabljati za satelite, leta 1964 so izdelali vesoljsko plovilo Nimbus s 470-vatnim fotonapetostnim sistemom, sončne celice so postajale cenejše, njihova uporaba pa se je razširila.

Leta 1983 svetovna fotonapetostna proizvodnja preseže 21,3 megavata. Prva silicijeva solarna celica z učinkovitostjo nad 20 % se pojavi leta 1985.

V Kaliforniji so leta 1986 **zgradili prvo hibridno sončno-termalno** elektrarno. Prvo zaporedje solarnih celic z učinkovitostjo nad 30 % se pojavi leta 1989. Raziskovalni inštitut za sončno energijo je bil prenovljen leta 1991 kot ameriški Nacionalni laboratorij za obnovljive vire energije, ki ga je pripravil predsednik George Bush.

Leta 1993 je bila v Kaliforniji zgrajena **prva elektrarna s povezavo na električno omrežje**, leta 1999 pa so začeli v nebotičnike vgrajevati energetske učinkovite fotovoltaične module. Na koncu 20. stol. so fotovoltaične zmogljivosti dosegle že 1000 MW (na svetovni ravni).

Leta 2000 **First Solar začne s proizvodnjo fotonapetostnih modulov**. Zgradili so največjo sončno elektrarno v vesolju, vsako krilo satelita vsebuje 32.800 sončnih celic. Prav tako je Sandia National Laboratories izdelal razsmernik za večjo varnost fotonapetostnih sistemov ob izpadih elektrike.

Od leta 2000 naprej se količina inštaliranih sončnih celic vsako leto poveča za 30–40 %.

Podatki iz leta 2009 (Worldwatch Institute) kažejo, da je potencial solarne energije med obnovljivimi viri največji, večji od vetra, vodne energije, biomase in plimovanja. Leta 2012 je tako bilo v Sloveniji zabeleženih že prek 1500 sončnih elektrarn, ki dosegajo skupno moč 150 MW.

(Vir: <http://pv.fe.uni-lj.si/Zgodovina.aspx>, dostopno 15. 4. 2019.)

2.8 PROCES PRETVORBE SONČNE ENERGIJE V ELEKTRIČNO

Proces proizvodnje električne energije nastaja s pomočjo sončnih celic, ki so sestavljene iz polprevodniškega materiala, prilagojenega sistemu tako, da sprošča elektrone. Elektroni so negativno nabiti delci, prav tako pa so osnovni element pri proizvodnji električne energije.

Polprevodniki imajo sposobnost prevajanja električnega toka samo v eni smeri, so diode, če imajo zagotovljene potrebne pogoje. Silicij (Si) je eden izmed najpogostejše uporabljenih polprevodniških materialov, ki se uporablja za izdelavo sončnih celic. Poleg silicija pa obstajajo tudi drugi materiali ter snovi, ki imajo sposobnost pretvarjanja električnega toka, med katere sodijo tudi: kadmijev sulfid (CdS), kadmijev

arsnid (CdAs), kadmijev telurid (CdTe), germanij (Ge) ter bakrov sulfid (Cu₂S) (Medved in Novak, 2000, str. 136).

Fotovoltaične celice vsebujejo najmanj dve plasti polprevodniškega materiala, enega z negativnim nabojem ter drugega s pozitivnim nabojem. Ob dotiku svetlobnega žarka na polprevodnik električno polje v središču teh dveh plasti povzroči pretok električne energije in tako ustvari enosmerni tok. Izkoristek energije je odvisen od količine sončnega sevanja. Izkoristek fotovoltaičnega sistema je sorazmeren sončni svetlobi. (Vir: European photovoltaic technology platform b. I.)

2.9 SONČNE CELICE

Sončne celice so najpomembnejši element fotonapetostnih sistemov, saj pretvarjajo sončno svetlobo v električno energijo. Z njimi izkoriščamo posebne lastnosti določenih materialov. Njihovo delovanje temelji na fotoefektu, ki ga je odkril francoski fizik Bequerel že leta 1893.

Sončna celica postane električno prevodna šele takrat, ko je prehodno področje med p- in n-tipom polprevodnika pod vplivom sončnega sevanja. Sončna celica energijo pretvarja neposredno v enosmerni električni tok, na ta način se primarna sevalna energija Sonca pretvarja v sekundarno visokokakovostno električno energijo. Preobrazba je neposredna, brez vmesne pretvorbe v katero drugo obliko energije (toplotno ali mehansko). Pri pretvorbi sončne energije v električno je izkoristek ključnega pomena, izračunamo pa ga lahko iz razmerja energij ali pa razmerja moči.

Najpogosteje uporabljena polprevodna snov za izdelavo sončnih celic je silicij (Si), ki ga uporabljajo pri izdelavi 92 % sončnih celic. Tako postaja silicij eden izmed najpomembnejših kemijskih elementov v proizvodnji elektrike oz. polprevodnikov. Pridobivamo ga lahko iz kremenčevega peska. Kar 92-odstotni delež vseh celic na svetovnem trgu pokrivajo silicijeve monokristalne in polikristalne (multikristalne) sončne celice.

Razvoj tehnologij za izdelavo sončnih celic sega že v čas pred 60 leti, ko je bila razvita **prva generacija sončnih celic**, ki je temeljila na kristalnih silicijevih rezinah, a njihov krhek in tog proizvodni proces je bil izredno zahteven. V takšnem proizvodnem procesu nastajajo visoki proizvodni stroški, saj se porabi veliko energije. Izkoristek enospojne celice je 31%, uporabljajo pa se za proizvodnjo električne energije, kjer ni dostopa do javnega električnega omrežja.

Zmanjšanje energije pri proizvodnji in nižje cene sta bila namena razvoja **druge generacije sončnih celic**, ki je razvila novo tehniko nanašanja tankih plasti iz tekočine ter uporabo ultrazvočnih šob. Gre za nanos tankih plasti fotoaktivnega materiala na steklo ali drugo strukturo, kot polprevodnik pa se najpogosteje uporabljajo amorfni silicij, mikroamorfni silicij, kadmijev telurid ali bakrov indijev

diselenid. Izkoristek je pri enospojnih celicah manjši kot pri sončnih celicah prve generacije, prav tako pa cena ni bistveno manjša.

Izboljšanje izkoristka sončnih celic, znižanje cene, uporaba večspojnih sončnih celic, uporaba presežne termične energije UV- in infrardeče svetlobe za proizvodnjo elektrike pomeni pa so cilj razvoja **tretje generacije sončnih celic**. V tej generaciji so izkoristki razvitih večspojnih sončnih celic med 40,8 % in 42,8 % ter tankoplastnih med 18 % ter 20 %, proizvodni stroški so nizki, uporaba pa je razširjena na vsa področja. V to generacijo uvrščamo organske sončne celice, barvno občutljive titanove sončne celice, večspojne celice ter materiale, ki generirajo svetlobo z dodatnimi elektronskimi pari. V prihodnosti je cilj ustvariti sončne celice z visokim izkoristkom, z nizko ceno, iz okolju prijaznih materialov, kot so organske sončne celice, katerih površino je mogoče pobarvati. Prednost je v njihovi uporabi, saj so primerne za polnjenje manjših električnih naprav. Samosestavljljive sončne celice, na papirju natisljive sončne celice in fleksibilne sončne celice za različne aplikacije imajo intenziven razvoj, vendar je njihov trenutni izkoristek še precej manjši od klasičnih silicijevih celic. Solarne celice s pomočjo nanotehnoloških procesov ter fotokemične električne celice proizvajajo nekajkrat več električne energije od klasičnih silicijevih celic, vendar imajo še vedno zelo zahteven in drag tehnološki proces.

(Vir: http://www.mizs.gov.si/fileadmin/mizs.gov.si/pageuploads/podrocje/odrasli/Gradiva_ESS/CVZU/partnerstva/CVZU_143PARTNERSTVA_SCP_Novi.pdf, dostopno 18. 4. 2019.)

V nadaljevanju si bomo podrobneje ogledali **vrste sončnih celic**.

Sončne celice je mogoče deliti po več kriterijih, **najpogosteje uporabljena delitev je glede na kristalno zgradbo celice, kjer ločimo:**

- monokristalne,
- polikristalne ter
- amorfne celice.

Glede na tehnološke postopke pa sončne celice lahko razdelimo tudi na:

- sončne celice, izdelane iz silicijevih rezin,
- tankoslojne celice, ki se proizvajajo s pomočjo vakuumске tehnologije.

V nadaljevanju sledi podrobnejši opis sončnih celic.

2.9.1 Kristalne silicijeve sončne celice

Trenutno najpogostejši material za sončne celice je silicij. Kristalni silicij je lahko v dveh različnih oblikah, kot monokristal in polikristal, med seboj se razlikujeta le v kristalni mreži. Monokristal je urejena kristalna mreža silicijevih atomov. V njegovi strukturi ni napak. Vsak atom Si je vezan s štirimi sosednjimi silicijevimi atomi, zaradi

česar je struktura kristala zelo podobna diamantni strukturi. Polikristalni silicij je za razliko od monokristala sestavljen iz več posameznih kristalov. Ti kristali oziroma zrna imajo svoje mreže povsem naključno orientirane. Območja med temi zrni so mejna področja in imajo strukturne in površinske napake, zato v njih lahko nastaja električno polje, ki vpliva zaviralno na Transporte med zrni.

Silicijeve rezine so debele okoli 0,2 mm in so rezane iz mono- ali polikristalnega ingota. Najboljše sončne celice iz kristalnega silicija imajo izkoristek okoli 24 %, komercialne celice pa imajo izkoristke okoli 15–19 % za monokristalni silicij in 14–18 % za polikristalni silicij. Izkoristki komercialnih celic iz leta v leto naraščajo na račun optimizacij struktur in novih tehnologij.

Monokristalne sončne celice so bile prve, ki so bile množično proizvedene, kar je razlog, da so danes na manjših površinah najbolj razširjene in zasedajo okoli 44 % trga. Narejene so iz kaljenega stekla in zaradi tega zelo odporne na najtežje vremenske pojave, kot sta sneg in soda. Vendar so zaradi svojega izkoristka in izdelave tudi najdražje. Izkoristki monokristalnih sončnih celic so med 14 % in 18 %, kar jih uvršča pred obe drugi vrsti sončnih celic (v laboratoriju je donos celic okoli 25 %). Skrivnost uspeha monokristalnih celic je v tem, da so najbližje tako imenovanemu "popolnemu kristalu", ker nimajo kristalov med seboj ločenih oz. nimajo kristalnih meja. Polikristalne celice imajo večja kristalna zrna, amorfna pa še večja, zato se tudi sončni žarki na teh zrnih bolj razsujejo in je njihov izkoristek zato manjši. Rast kristalov je zelo počasna, zato so tudi postopki njihovega pridobivanja zelo dragi, posledično pa so te celice tudi najdražje. Monokristalne sončne celice se ne morejo prilagajati površini, na kateri so nameščene. Pridobivajo se iz taline kremenčevega peska (SiO_2) v obliki trakov (ingota). Narežejo jih na tanke rezine in jih oblikujejo v celico.

Polikristalne celice so primerne za večje strešne površine in postavitve na prostem. So najpogostejše in imajo tudi dobre izkoristke, in sicer med 12 % in 14 % (v laboratoriju njihov donos znaša okoli 21 %), vendar so njihovi izkoristki nižji od izkoristkov monokristalnih sončnih celic. Zelo dobro se znajdejo v območjih difuzne svetlobe in so zato zelo primerne za naše podnebje. Zaradi tega so prek celega leta celo nekoliko učinkovitejše kakor monokristalne sončne celice. Medtem ko so monokristalne celice sestavljene iz enega kristala silicija, so polikristalne celice sestavljene iz več kristalov silicija. V primerjavi z monokristalnimi celicami je njihova izdelava lažja in cenejša, zato so tudi same celice cenejše. Iz taline lahko izvlečemo tudi tanek trak silicijevih kristalov, kar še dodatno pripomore k cenejši izdelavi sončnih celic. Prav tako kot monokristalne celice so tudi polikristalne celice rigidne. Polikristalnim modulom se uporaba v zadnjih letih povečuje, spadajo med najbolj razširjene module in zasedajo okoli 50 % trga. Medtem ko so monokristalne celice sestavljene iz enega kristala silicija, so polikristalne celice sestavljene iz več kristalov silicija. Tudi te pridobivajo na podoben način, le da ima izvlečeni trak (ingot) v tem

primeru več kristalov. V primerjavi z monokristalnimi celicami je njihova izdelava lažja in cenejša.

2.9.2 Amorfne silicijeve celice

Amorfni polprevodnik je neurejen material, ki vsebuje veliko število strukturnih napak. V tem materialu so različne razdalje in koti med valenčno povezanimi atomi polprevodnika. Amorfne sončne celice so narejene iz amorfnega silicija, ki vsebuje nekaj odstotkov vodika, ki precej zmanjšuje učinke neurejenosti materiala in omogoča, da ga lahko dopiramo kot p- ali n-tip. Ker imata p- in n-plast amorfnega silicija povečano število strukturnih napak, je med njima vstavljena nedopirana (intrinzična) i-plast (slika 3 b). Električno polje, ki nastane prek pn-spoja, se v taki p-i-n-diodi raztegne čez celotno i-plast in omogoča ločevanje prostih nosilcev (elektronov in vrzeli).

Da bi zagotovili uspešno zbiranje svetlobno generiranih elektronov in vrzeli, morajo biti posamezne plasti v amorfnih sončnih celicah zelo tanke. Ker pa tanke celice ne bi absorbirale dovolj sončne svetlobe, jih po navadi spojimo več zapored v tandemske celice.

Najboljši izkoristek amorfnih silicijevih sončnih celic je za 13 % večji kot za večplastno strukturo.

Amorfne sončne celice imajo izkoristek med 6 % in 8 % (laboratorijski donos se giblje okoli 12 %), kar je najmanjši izkoristek med zgoraj naštetimi vrstami. Poleg slabega izkoristka imajo še eno slabost, saj se hitreje starajo in že po nekaj mesecih začne izkoristek padati. Ni pa nujno, da so vedno slabše kot drugi dve možnosti, saj so občutljivejše za svetlobo in delujejo tudi v slabših vremenskih pogojih. V meglenem vremenu ali na področjih, kjer je zelo vroče, so amorfni fotovoltaični moduli učinkovitejši od kristalnih fotovoltaičnih modulov. Najlažje jih je izdelati, za učinkovito delovanje je potrebna le tanka plast silicija, za izdelavo pa tudi izdatno manjša količina energije, zato je tudi cena ugodna. To sta dve ključni lastnosti, zaradi katerih bodo morda v prihodnosti perspektiven material. Potrebujemo dodatne vire energije, ker poraba energije iz leta v leto narašča, vendar tako majhni izkoristki amorfnih sončnih celic prepričajo le malokaterega vlagatelja. Nasprotno od monokristalnih in polikristalnih celic so amorfne sončne celice fleksibilne.

Amorfne silicijeve celice so med vsemi silicijevimi celicami najcenejše, saj je za učinkovito delovanje potrebna le tanka plast silicija.

2.9.3 Fotonapetostne celice iz kadmijevega telurija

Izkoristek takšnih celic je nekaj manj kot 10 %, v primeru difuznega sevanja pa imajo večji izkoristek od kristalnih silicijevih celic. Slabosti teh celic so okoljske narave, saj je takšne celice po preteku življenjske dobe treba skrbno reciklirati. V primeru požara je temperaturno stabilna, saj se talijo šele pri temperaturah, višjih od 1000 °C, kar pomeni, da ob požaru neposredno ne obremenjujejo okolja.

2.9.4 Prosojne fotonapetostne celice

Prosojne kristalne fotonapetostne celice so običajne kristalne celice, ki imajo vrezane stopinjske utore 9 a, zaradi katerih postane celica prosojna za svetlobo. Možna je izdelava eno- in dvostranskih prosojnih celic s tipično prosojnostjo med 0 % in 30 %.

Prosojne amorfne fotonapetostne celice so posebna izvedba tankoplastnih celic, ki jim z laserjem vrezujejo utore v substrat, prosojni oksid pa ostane nepoškodovan, s čimer dosežejo delno prosojnost na samih celicah.

2.9.5 Organske fotonapetostne celice

Vsebujejo okolju prijazne materiale, ki zahtevajo tudi enostavnejši proizvodni postopek, hkrati pa imajo razmeroma dober izkoristek. Takšne celice so lahko eno- ali večspojne, glede na uporabljene snovi, ki sestavljajo celice, pa jih lahko delimo na celice iz organskih oligomerov in polimerov ter barvno senzibilizirane fotonapetostne celice, ki so grajene iz titanovega dioksida z barvilom in elektrolita.

Koncentrirane fotonapetostne celice so načrtovane za delovanje pri koncentrirani sončni svetlobi, vsebujejo tudi elemente, kot so leče ali zrcala, ki jih uporabljajo v večjih elektrarnah. Takšne celice sončno sevanje koncentrirajo v majhni točki, zato je lahko dosežen velik izkoristek pri majhni površini celice. Učinkovitost takšnih celic je med 20 % in 40 %, zanje pa se uporabljajo manj dragi polprevodniški materiali.

Upogljive fotonapetostne celice so preproste za vgradnjo, ker se aktivni fotonapetostni material nanese na upogljivo tanko plastiko, uporabljajo pa se predvsem pri integraciji v sestavne dele zgradb ter razne izdelke. Nimajo visoke učinkovitosti.

Za izdelavo fotonapetostnih celic se uporabljajo tudi nekateri drugi materiali, kot so: GaAs, GaInP, GaInAs, ki imajo velik izkoristek, hkrati pa tudi visoko ceno, zato se uporabljajo zgolj pri vesoljski tehniki.

(Vir: <http://konarka.com/>, dostopno 19. 4. 2019.)

3 FOTONAPETOSTNI SISTEMI

Električna energija je najuporabnejša oblika energije, ki bistveno vpliva na življenjski in kulturni standard ter gospodarski razvoj. Proizvodnja električne energije (sekundarna energija) poteka s procesom pretvorbe primarne energije (premog, nafta, jedrska, vodna in sončna energija, zemeljski plin). Zanesljiva oskrba z električno energijo je danes zelo pomembna, hkrati pa jo lahko pretvorimo v druge oblike energije (svetlobo, toploto, mehansko delo) s preprostimi napravami (Novak in Medved, 2000, str. 47).

3.1 VRSTE FOTONAPETOSTNIH SISTEMOV

Fotonapetostne sisteme delimo na samostojne sisteme (otočne), hibridne in omrežne sisteme. Uporablja se tudi izraz fotovoltaični oz. PV-sistemi. Sončne elektrarne lahko razdelimo tudi po drugih kriterijih, in sicer glede na način gradnje, ali se elektrarna nahaja na stavbi ali pa je prostostoječa. Prav tako pa lahko sončne elektrarne delimo tudi glede na velikost oz. zmogljivost.

Pri postavitvi fotonapetostnih sistemov je treba izhajati iz omejitev razpoložljivosti strešne površine. Nakloni streh na slovenskem prostoru so zelo primerni za postavitve sistemov, upoštevati pa je treba tudi zakonsko predpisano statično presojo objekta, elektrotehnične predpise glede inštalacij in požarnovarstvene predpise, meritve, zaščite ter priključitev na električno omrežje (Papler, 2012).

3.2 SAMOSTOJNI SISTEMI

Navadno samostojni oz. otočni sistemi niso priključeni na električno omrežje oz. rezervni vir električne energije. Oskrbujejo porabnike z električno energijo znotraj lokalnega električnega omrežja, takšni sistemi pa lahko vsebujejo hranilnike (akumulatorje) električne energije ali pa tudi ne. Porabniki v takšnem sistemu so lahko izmenični ali enosmerni, hkrati pa so lahko ti sistemi tudi v kombinaciji z drugimi generatorji električne energije (vetrni, motorni generator ipd.) ali pa so čisti sistemi. Samostojne sončne elektrarne so po navadi sestavljene iz:

- fotonapetostnega generatorja: sestavljen je iz ustreznega števila med seboj povezanih fotonapetostnih modulov;
- akumulatorja: shranjuje energijo, ki jo proizvaja fotonapetostni generator, hkrati pa deluje tudi ponoči. Najpogosteje uporabljeni so litij-ionski, svinčevi, nikelj-kadmijevi ter nikelj-metalhidridni akumulatorji. Kratka življenjska doba, velika teža ter izguba določene shranjene električne energije pa so njihova slabost;

- regulatorja napetosti: prilagaja ter pretvarja spreminjajočo se napetost fotonapetostnega generatorja (maksimalna moč napetosti) na napetost porabnika in je del polnilnega regulatorja;
- polnilnega regulatorja: prilagaja vhodno točko maksimalni moči generatorja in uravnava polnjenje ter ščiti akumulator pred izpraznitvijo skozi generator prek noči.

Samostojni fotovoltaični sistemi so najpogostejše uporabljeni v planinskih domovih, lovskih kočah, pri oskrbi objektov za prosti čas in rekreacijo. Uporabljajo se predvsem, kjer ni na voljo električnega omrežja in so takšni sistemi podprti z akumulatorskimi baterijami. Razsmernik, ki pretvarja enosmerni tok v izmenični tok, omogoča napajanje običajnih električnih naprav in se uporablja predvsem za proizvodnjo električne energije v gorskih kočah, kjer napaja posamezni objekt.

(Vir: <http://www.ape.si/publikacije/brosura-soncne-elektrarne.pdf>, dostopno 6. 4. 2019.)

3.2.1 Hibridni PV-sistemi

Sisteme je mogoče kombinirati z drugimi viri energije. Hibridni sistem združuje fotonapetostni sistem z drugimi viri električne energije, kot so npr. male hidroelektrarne, naftni generatorji, vetrni generatorji, generator na biomaso ipd., s pomočjo katerih se zagotovi kontinuirana proizvodnja električne energije.

3.2.2 Omrežno povezani PV-sistemi

Omrežno povezani fotovoltaični sistemi se od samostojnih sistemov razlikujejo v tem, da so povezani z javnim električnim omrežjem, kamor se oddaja in kjer se meri višek električne energije, oddane v javno električno omrežje.

Omrežne PV-sisteme delimo na **razpršene sisteme** (hišne sončne elektrarne) in **centralne sisteme** (velike sončne elektrarne z močjo nad 100 kWp). Takšni omrežni sistemi poleg generatorja dodatno potrebujejo še razsmernik ter omrežje. V uporabi pa so sistemi, ki potrebujejo poleg generatorja še:

- razsmernik: pretvarja enosmerno električno moč, ki jo dobimo iz fotonapetostnega generatorja, v izmenično, ki jo lahko pošiljamo v javno omrežje;
- zaščitne komponente: so sestavljene iz strelovoda, ki je ključen, saj je konstrukcija sestavljena iz kovine, ki je izpostavljena udaru strele in preobremenjenih varovalk;
- števec električne energije: z njim izmerimo količino oddane električne energije v omrežje, s pomočjo katerega plačamo električno energijo distributerju.

Njihova ključna prednost pa je, da ne potrebujejo akumulatorjev za shranjevanje energije, ki se uporablja kjer koli na območju omrežja (Topič in sod., 2009).

Omrežno povezane fotovoltaične sisteme lahko delimo tudi glede na kraj vgraditve in način, na katerega so sistemi vgrajeni na streho ali fasado, zato ločimo:

- **sisteme, ki so sestani del strehe ali fasade,**
- **sisteme, ki so dodani naknadno na fasado,**
- **sisteme, ki se uporabljajo kot senčila.**

Fotonapetostne celice se uporabljajo tudi pri igračah, urah, polnilnikih baterij, prometnih znakih, lučeh itn., njihova uporabnost je pravzaprav mogoča kjer koli.

Glede na **način gradnje** fotonapetostne sisteme delimo na **fotonapetostne sisteme na stavbah**, ki so del objekta in jih pogosto srečamo na javnih objektih ter stanovanjskih poslopijih. Lahko so vgrajeni kot del objekta in prevzemajo določeno funkcijo, služijo pa kot senčilo ter tvorijo zunanjo lupino stavbe.



*Slika 4: Primer fotonapetostnega sistema na objektu
(Vir: <http://www.techaton.eu/si/>, dostopno 15. 5. 2019.)*

Samostoječi oz. talni sistemi, ki predstavljajo samostojni objekt, stojijo samostojno na določeni lokaciji ter niso vgrajeni na obstoječo stavbo. Značilni so predvsem na velikih fotonapetostnih sistemih z velikimi kapacitetami, gradijo jih na posebnih konstrukcijah, ki omogočajo postavitve modulov za maksimalni izkoristek. Najbolj znan samostojni projekt na svetu je California Valley Solar Ranch (slika spodaj), fotonapetostna elektrarna z močjo 250 MWp. Sistem sestavlja 749.088 modulov, nameščenih na površini veliki 48 km², zagotavlja pa oskrbo 100.000 domovom.



Slika 5: Primer samostoječega talnega fotonapetostnega sistema
(Vir: <http://www.californiavalleysolarranch.com/california-valley-solar-ranch.html>,
dostopno 29. 4. 2019.)

Sončne elektrarne lahko delimo tudi glede na njihovo **zmogljivost oz. velikost**. Zmogljivost sončnih elektrarn merimo v KW, ki je merska enota za moč.

Tako delimo sončne elektrarne po naslednjem zaporedju:

- mikro elektrarna do 50 kW,
- mala elektrarna do 1 MW,
- sredna elektrarna do 10 MW,
- velika elektrarna 10 MW in več.

(Vir: Wikipedia, 2019, dostopno 9. 5. 2019.)

Povzamemo lahko, da je uporabnost fotovoltaičnih sistemov mogoča skoraj povsod, saj jih lahko zgradimo kjer koli, hkrati pa so zelo ekološko naravnani in ne posegajo v naše okolje.

3.3 GRADNIKI/ELEMENTI FOTONAPETOSTNIH SISTEMOV

Osnovni elementi fotonapetostnih sistemov so sestavljeni iz dveh delov oz. sklopov:

- **prvega predstavljajo sončni fotonapetostni moduli**, ki so srce vsake sončne elektrarne ter pretvarjajo elektromagnetno valovanje sonca v enosmerni električni tok in napetost (sončne celice);

- **drugi sklop so elektroenergetski elementi**, namenjeni raznovrstni uporabi proizvedene električne energije. Mednje spadajo: razsmerniki, nosilna konstrukcija, priključni kabli, DC- in AC-spojišča, regulatorji, akumulatorji, stikalne in zaščitne naprave ter drugi inštalaterski material.

Fotonapetostni sistemi so sestavljeni iz večjega števila med seboj povezanih fotonapetostnih modulov in ustrezne regulacijske opreme. V nadaljevanju sledi opis elementov fotonapetostnih modulov in drugih elektroenergetskih elementov.

3.3.1 Fotonapetostni moduli

V fotonapetostnem modulu prihaja do pretvorbe svetlobne energije v električno, hkrati pa predstavlja osnovni element fotonapetostnega sistema. Njegova zgradba temelji na večjem številu med seboj povezanih sončnih celic, najpogosteje je sestavljen iz 36–72 celic, glede na njihovo vrsto, iz katerih je zgrajen, pa delimo fotonapetostne module na **monokristalne, polikristalne in amorfne module**.

Kadar imamo na voljo velike površine strehe in ni pomembna moč, ki jo bomo pridobili, se uporabljajo tankoplastni moduli, njihov izkoristek je zelo majhen, nastajajo pa večji stroški vodnikov ter pomožnega materiala zaradi velikih površin.

Mono- in polikristalni moduli so zaradi zahtevnejše tehnologije izdelave navadno dražji, vendar pa ima večjo nazivno moč, prostorski izkoristek in dolgo življenjsko dobo. Vendar dobri polikristalni moduli dosegajo boljše rezultate od slabih monokristalnih, kar nakazuje na pomembnost izbire optimalnega modula za dolgoročno odločitev.

3.3.2 Razsmernik

Razsmernik je naprava, ki pretvarja enosmerni električni tok, ki ga fotonapetostni moduli proizvajajo v izmeničnega. Razsmernik je pomemben del fotovoltaičnega sistema, saj je učinkovitost sistema zelo odvisna od lastnosti razsmernika, ki deluje popolnoma samodejno. Kadar je na voljo veliko sončnega obsevanja, nadzorna enota sproži sinhronizacijo z elektrodistribucijskim omrežjem in začne vanj oddajati električno energijo, pri primanjkljaju sončnega sevanja pa se razsmernik samodejno izklopi iz distribucijskega omrežja, tako da ne porablja energije za svoje delovanje.

Cilj razsmernika je, da se njegov izhodni signal približa obliki sinusne krivulje, katere obliko ima tudi električno omrežje, ki oskrbuje hiše. Sončne celice generirajo od nekaj deset do nekaj sto voltov enosmerne napetosti, ki jo je treba pretvoriti v izmenično, da se bo lahko povezala z električnim omrežjem. Nazivne moči razsmernikov se gibljejo od 100 W do nekaj 100 kW za velike fotonapetostne sisteme, sestavljeni so iz regulatorja enosmerne napetosti, nadzornega sistema in pretvornika iz enosmerne napetosti v izmenično. Uporabljamo ga povsod, kjer želimo pretvoriti enosmerni tok

iz akumulatorjev ali sončnih celic v izmenični tok, saj so naprave v večini takšne, da potrebujejo delovanje 220 V izmenične napetosti.

Razsmernik mora izpolnjevati tudi zahteve, predpisane s standardom SIST EN 61727 oz. SIST EN 50438, hkrati pa morajo biti tok, napetost in frekvenca fotonapetostnega sistema skladni s parametri javnega električnega omrežja. Glede na namen uporabe, moč in nekatere druge lastnosti ločimo tudi več vrst omrežnih razsmernikov. Veliki razsmerniki so navadno opremljeni tudi z napravo za samodejno gašenje požara in alarmnim sistemom za nepredvidene dogodke.

3.3.3 Nosilna konstrukcija

V večini primerov je nosilna konstrukcija fotonapetostnih modulov iz aluminija, za izdelavo pa se uporablja tudi jeklo. Aluminij ima nizko gostoto in posledično manjšo maso ter odpornost na korozijo, je pa nekoliko dražji od jekla. Za izdelavo nosilnih konstrukcij se uporabljajo tudi drugi materiali, kot so les in pleksi, vendar le redkokdaj.

3.3.4 Napajalni kabli

Kabli so zelo pomemben gradnik fotonapetostnega sistema, njihovo pravilno dimenzioniranje pa sodi med najpomembnejše korake postavitve sistema. Zaradi specifičnih zahtev pri inštalaciji uporabljamo samo kable, ki ustrezajo merilom fotonapetostnega sistema. Kadar kabel povezuje razvodno omarico z razsmernikom, govorimo o **glavni enosmerni povezavi**. Izmenična povezava oz. povezava z javnim električnim omrežjem pa je kabel, ki razsmernik povezuje s števcem električne energije oz. z javnim električnim omrežjem. Ker so kabli izpostavljeni različnim atmosferskim vplivom, med katere sodi tudi visoka temperatura, morajo biti opremljeni z dvojno izolacijo, plašč kabla pa mora biti odporen proti UV-sevanju. Kabli, ki jih uporabljamo v fotonapetostnih sistemih, morajo vsebovati določena merila, da sistemi delujejo zanesljivo (Lenardič, 2012, str. 129).

3.3.5 Regulatorji polnjenja

Regulatorji polnjenja so del fotonapetostnega sistema, ki skrbijo za pravilno polnjenje akumulatorskih baterij v samostojnih oz. otočnih fotonapetostnih sistemih. Njihova naloga je zaščititi baterije pred preveliko napolnitvijo in izpraznitvijo, saj v nasprotnem primeru to krajša življenjsko dobo baterij. Slabo delovanje regulatorjev se odraža v visokih stroških vzdrževanja in slabih izkoristkih fotonapetostnega sistema. Regulator mora biti takšen, da omogoča uhajanje električnega toka iz polnilnih baterij (Lenardič, 2012, str. 154).

3.3.6 Polnilna baterija

Polnilne baterije lahko polnimo večkrat, vendar pa je njihova življenjska doba omejena s številom ciklov polnjenja. S spremembo smeri električnega toka se baterija obnovi v prvotno stanje. Njihov izkoristek pretvorbe kemične energije v električno je približno 90%. Baterije so vir enosmerne napetosti, imajo pozitivni in negativni pol. Če želimo povečati napetost, vežemo več baterij zaporedoma skupaj, vendar velikost toka ostane enaka eni bateriji. Če želimo povečati velikost električnega toka, povežemo več baterij skupaj vzporedno, tok se poveča za vsoto tokov posameznih baterij, skupna napetost pa ostane enaka napetosti ene baterije (Gilbert M. Masters, 2014).

3.3.7 Drugi elementi

Ožičenja in stikala varovalke zelo vplivajo na zanesljivost delovanja fotonapetostnih sistemov. Varovalke služijo predvsem kot varovalo pri preobremenitvi fotonapetostnega sistema, s stikali pa se vklaplajo ali izklaplajo posamezni deli sistema.

3.4 ONESNAŽENOST FOTONAPETOSTNIH SISTEMOV

Redno vzdrževanje fotonapetostnih sistemov zagotavlja, da fotonapetostni moduli delujejo nemoteno, hkrati pa preprečuje nastanke večjih napak, ki se ob pregledu ugotovijo in popravijo.

Fotonapetostni sistemi so izpostavljeni določenim vremenskim pojavom, ki privedejo do senčenja, to pa se pojavi zaradi onesnaženosti modulov, kar predstavlja problem, saj sistemi delujejo optimalno le, če so fotonapetostne celice enakomerno izpostavljene sončni svetlobi.

Cvetni prah, iztrebki ptic, izpušni plini iz ogrevalnih sistemov povzročijo lepljivo umazanijo, ki se nabira na površini sončnih celic, zaradi katere se pojavijo lišaji, ki jih je treba odstraniti z ročnim čiščenjem. Takšna umazanija oz. onesnaženost lahko povzroči zmanjšanje razpoložljivosti električne energije tudi do 10 %; da bi se temu izognili, sta pomembna redno letno vzdrževanje in čiščenje fotonapetostnih sistemov (Roberts in Guariento, 2009, str. 60).

3.5 VZDRŽEVANJE FOTONAPETOSTNIH SISTEMOV

S pomočjo rednih pregledov na fotonapetostnih moduli odkrijemo skrite napake, ki se lahko pojavijo pri delovanju, hkrati pa s pravočasnim odpravljanjem takšnih napak omogočimo zanesljivo in varno nadaljnje delovanje sistema. Do skritih napak najpogosteje pride zaradi uporabe materialov slabše kakovosti ali slabe izvedbe inštalacijskih del. Slabša kakovost lahko povzroči odstopanje hibridne folije

in nastanek zračnih mehurčkov, kar lahko privede do pregrevanja modula, saj ta izgubi svojo mehansko ter električno zaščito. Neprimeren način uokvirjanja pod vplivom teže snega ali vetra, ko modulu odstopi okvir, pa je zelo nevaren in ogroža požarno varnost, prav tako pa lahko povzroči zdrs fotonapetostnega modula s strehe. Pozornost je treba nameniti tudi slabo privijačenim spojem, nepravilno zaščitenim robovom kabelskih polic ter visečim električnim vodnikom, ki lahko privedejo do segrevanja ter požara. Vse našteje nevarnosti so znak, da je vzdrževanje ključnega pomena pri zagotavljanju varnosti uporabe fotonapetostnih modulov.

Resne težave na fotonapetostnem sistemu lahko povzroči že majhna napaka, med najpogostejše vzroke prištevamo menjavo letnih časov in mehanske vplive, ki povzročajo popuščanje spojev in poškodbe na električnih vodnikih ter občutno degradacijo komponent slabših kakovosti. Ker na vzroke napak sami ne moremo vplivati, lahko **zagotovimo redno vzdrževanje ter pravočasno odkrivanje napak**. Nekatera podjetja v Sloveniji ponujajo termografske preglede, s katerimi odkrijejo tehnične napake in preprečijo požar na fotonapetostnem sistemu, saj z uporabo infrardeče termografije izmerijo površinsko temperaturo na fotonapetostnem sistemu, z analizo termografskih slik pa predlagajo ukrepe za potrebno sanacijo.
(Vir: https://www.bisol.com/images/Brochures/BISOL_Nadzor_delovanja_in_vzdr%C5%BEevanje_son%C4%8Dnih_elektrarn.pdf, dostopno 10. 4. 2019.)

Veliko požarov beležijo zaradi slabega vzdrževanja in nakupov modulov dvomljivega porekla, zaradi česar pride do razslojevanja, odstopanje folije in nastanka zračnih mehurčkov. Takšni moduli so estetsko nesprejemljivi in nimajo mehanske ter električne zaščite, prav tako pa postanejo izredno nevarni za porabo, zato jih je treba zamenjati. Prav tako je posebno pozornost treba nameniti pregledu spojev, v kolikor je treba, jih je treba ustrezno privijačiti, umakniti viseče električne vodnike ter nepravilne zaščite kabelskih polic, saj s tem preprečimo segrevanje in nevarnost požara, ki je eden izmed temeljnih nevarnosti.

S pravočasnim odpravljanjem nepravilnosti in pomanjkljivosti bo fotonapetostni sistem deloval dolgo, zanesljivo ter varno.

4 GAŠENJE OBJEKTOV, OPREMLJENIH S FOTONAPETOSTNIMI SISTEMI

Pridobivanje električne energije s pomočjo fotonapetostnih sistemov v Sloveniji postaja vse bolj priljubljen način. Zaradi povečanja števila fotonapetostnih sistemov se hkrati povečuje tudi tveganje za nastanek požara. V Sloveniji že beležimo primere požarov na objektih, ki so opremljeni s fotonapetostnim sistemom.

Vodja gasilske intervencije, ki je odgovoren za izvajanje gašenja požara na fotonapetostnem sistemu, mora zato dobro oceniti ogroženost svoje ekipe ter se na podlagi ocene odločiti o načinu gašenja na objektu s fotonapetostnim sistemom.

Nevarnosti, ki ob požaru pretijo na gasilce, ki intervenirajo, so najpogostejše povezane s padanjem fotovoltaičnih modulov s streh, saj do tega lahko prihaja zaradi popuščanja nosilcev zaradi visoke temperature, ki se razvije ob požaru.

Prav tako sočasno lahko prihaja tudi do sproščanja zdravju škodljivih proizvodov gorenja, posebno pozornost pa je treba nameniti dejstvu, da so fotovoltaični moduli in drugi sestavni elementi sončne elektrarne v svetlem delu dneva pod električno napetostjo, ki je zaradi povezanosti modulov v panele lahko življenjsko nevarna.

Zaradi dejstva, da so poškodovani moduli lahko pod življenjsko nevarno električno napetostjo, se je pri gašenju treba izogibati polivanju poškodovanih modulov oziroma panelov ter vodnikov.

Objekt, ki ga prizadene požar, je treba izklopiti iz električnega omrežja, pri tem pa moramo biti pozorni, saj so kabli od fotovoltaičnih modulov do razsmernika še vedno pod napetostjo.

Lastniki objektov, opremljenih s fotonapetostnimi sistemi, povezanimi v javno električno omrežje, so dolžni poskrbeti za izdelavo ustreznih požarnih načrtov in z njimi seznaniti gasilce ter omogočiti ogled objekta in izvedenih inštalacij.

Gasilska ekipa bo tudi v nasprotnem primeru poskrbela za gašenje objekta, vendar je stopnja ogroženosti ter vseh povezanih nevarnosti toliko večja.

V nadaljevanju sledi podroben opis vzrokov za nastanek požarov na fotonapetostnih sistemih ter najpogostejših nevarnosti, ki ogrožajo gasilce pri gašenju tovrstnih požarov.

4.1 VZROKI POŽAROV NA FOTONAPETOSTNIH SISTEMIH

4.1.1 Posredni vžig

Posredni vžig nastane, kadar se požar z objekta ali iz okolice razširi na fotonapetostni sistem. Ogenj, ki je prešel na fotonapetostne module, gasimo s prahom ABC, vendar je za gašenje potrebna večja količina, v kolikor je požar že zelo razširjen. Za gašenje uporabimo vodo oz. vodno meglo z razpršenim vodnim curkom, kar pa je zelo problematično, saj se v takšnih sistemih proizvaja elektrika. Pri gašenju z vodo je treba upoštevati varnostne odmike ter oceno vodje intervencije, da pri takšnem načinu gašenja ni možnosti dodatnih nevarnosti. Požar na razsmerniku ali priključni omarici gasimo s praškom ABC ali z ogljikovim dioksidom. Prav tako gašenje s praškom ABC ter ogljikovim dioksidom uporabimo, če pri požaru pride do vžiga ter izlitja kislin iz

akumulatorjev, vendar je treba upoštevati ukrepe, ki veljajo pri ravnanju s strupenimi hlapi, ki se sproščajo ob gašenju (Lenardič, 2012 str. 492).

4.1.2 Neposredni vžig

Do neposrednega vžiga v največ primerih pride zaradi napake v električnem omrežju, kot so pregretje kablov, pri čemer so vzroki za požar lahko kratek stik, oblok, pregrevanje, segrevanje in preobremenitev vodnika. Posledica električnega obloka kot najpogostejšega vzroka neposrednega vžiga elektrarne je lahko požar na gorljivih materialih v bližini (Lenardič, 2012, str. 492).

4.1.3 Električni oblok

To je razelektritveni pojav v plinih v zraku, do katerega pride zaradi dovolj velike napetosti med dvema elektrodama. Pri obloku se pojavijo močna svetloba, šum, prasketanje, UV- in IR-sevanje. Verjetnost, da pride do obloka, je večja pri starejših sistemih, saj se zaradi staranja pojavi degradacija izolacije ter oksidacija spojev. Pri obloku obstaja verjetnost širjenja požara, še posebej pri polju modulov na poševnih strehah. Obloke lahko razvrstimo na: serijski oblok, vzporedni oblok ter oblok na ozemljitev. Serijski oblok nastane zaradi bremen in povečanja upornosti spojev, zato ga je z izklopom razsmernika mogoče preprosto pogasiti. Za preprečitev takšnega obloka je primerno stikalo, vgrajeno med fotonapetostnim generatorjem in razsmernikom. Do vzporednega obloka pride vzporedno s fotonapetostnim generatorjem, vzrok za njegov nastanek je v staranju izolacije. Samo z odklopom razsmernika požara ni mogoče pogasiti, gašenje pa je zelo oteženo, saj generator prek dneva generira energijo in ga je težko zasenčiti, kar velikokrat privede do vžiga strehe, še posebej pri leseni strešni konstrukciji. Oblok na ozemljitvi nastane pri sistemih, ki nimajo ločilnega transformatorja, in pri takšnih, kjer je negativna sponka ozemljena. Najpogostejši oblok na ozemljitev nastane na prenapetostni zaščiti ob udaru strele, ki praviloma ni pravi vzrok požara (Lenardič, 2012, str. 493).

V nadaljevanju sledi opis različnih oblik električnega obloka.

Serijski električni oblok nastane v seriji z bremenom, to je z razsmernikom, in sicer, kadar pride do povečanja upornosti v tokokrogu pod obremenitvijo. Največkrat se to zgodi na spojih. Spoj se začne zaradi povečane upornosti najprej segrevati. Električni oblok nastane, ko se upornost zaradi poškodb dovolj poveča. Serijski električni oblok ni nevaren, če ga dovolj zgodaj odkrijemo, ker ga je mogoče preprosto pogasiti tako, da prekinemo tok – odklopimo razsmernik oziroma breme. Potencialno mesto za nastanek električnega obloka predstavlja vsako spojno mesto v enosmernih tokokrogih, tudi spoji znotraj modulov.

Paralelni električni oblok nastane med kabli različnih polarnosti, ki povezujejo elemente sončne elektrarne. Kabli različnih polarnosti so pogosto vodeni zelo blizu

skupaj vsaj na nekaterih delih trase, zato lahko pride do električnega obloka, če je na teh mestih izolacijska upornost kablov zmanjšana zaradi poškodb ali staranja izolacijskega materiala.

Električni oblok na ozemljitev nastane zaradi zmanjšane izolacijske upornosti kablov enosmernega tokokroga proti zemlji. Tipičen električni oblok na ozemljitev nastane na prenapetostni zaščiti (Smernica SZPV 512).

(Vir: http://www.szpv.si/wp-content/uploads/SZPV-512_2016.pdf, dostopno 3. 5. 2019.)

4.1.4 Nepravilna montaža kablov

Pravilna montaža kablov je zelo pomembna, saj so kabli izpostavljeni velikim obremenitvam, zato sta njihova izbira in inštalacija zelo pomembni in vplivata na varno ter zanesljivo obratovanje fotonapetostnega sistema. Položeni morajo biti pravilno, saj v nasprotnem primeru lahko prihaja do dodatnih mehanskih obremenitev njihovih izolacijskih plaščev, prav tako je treba pozornost nameniti problematiki, kot je dodatna otežitev izolacije s snegom, saj teža lahko postane problematična in privede do poškodbe izolacije zaradi zunanjih vplivov (Lenardič, 2012, 128)

4.2 NEVARNOSTI ZA GASILCE PRI GAŠENJU POŽARA

Ko govorimo o nevarnostih, ki pretijo na gasilce, so te najpogostejše povezane z električnim udarom neposredno ali posredno, saj so v primeru, da pride do požara v dnevnem času, sestavni elementi sončne elektrarne pod električno napetostjo. Kadar pride do požara v nočnem času, tudi ni izključeno, da ni nevarnosti električnega toka, saj gasilci postavijo reflektorje za razsvetljavo zaradi boljše vidljivosti pri posredovanju. Velikost električnega toka pri suhih pogojih velja, da je pri električnih tokokrogih z izmenično napetostjo (AC) nevarna napetost dotika pri 50 V, pri električnih tokokrogih enosmerne napetosti (DC) pa je nevarna napetost dotika pri 120 V. Solarni moduli že tudi pri majhnem obsevanju svetlobe začnejo proizvajati električno napetost.

Velika nevarnost tako za gasilce in tudi za okolico je nevarnost sproščanja škodljivih plinov, ki se sproščajo ob gorenju modulov. Materiali, ki so uporabljeni pri PV-modulih, so med drugim steklo, etilen, težke kovine, vinilacetat, silikon, silicij, kovine, tekoča smola, spoji folij ter različne druge umetne mase.

(Vir: <http://www.gasilec.net/operativa/intervencije/gasenje-objektov-opremljenih-s-soncnimi-elektrarnami>, dostopno 26. 3. 2019.)

Najpogostejše nevarnosti v praksi pri gašenju požara na fotovoltaičnih sistemih so prisotnost električnega toka, sproščanje strupenih plinov, rušenje padajočih delov fotovoltaičnega sistema ter širjenje požara.

Pri gašenju fotonapetostnih sistemov so gasilci izpostavljeni tako električnim kot tudi neelektričnim nevarnostim.

Med **neelektrične nevarnosti** sodijo predvsem: delo na višini, lom stekla, opekline zaradi vročine, udarci, ureznine, zvini, padci, poškodbe hrbtenice, nevarne kisline akumulatorskih baterij, zdrsi in padci modulov s strehe. Nevarnost predstavljajo tudi odtrgani kablji še delujočih modulov, ki so še pod napetostjo in dosežejo nekaj sto voltov, ter možna osja gnezda pod fotovoltaičnimi moduli.

Gasilce pri gašenju ter reševanju ne ogroža zgolj neposreden dotik elektrike ter polprevodnih delov električne naprave, ki zaradi gašenja postanejo polprevodni, ampak veliko nevarnost predstavljata predvsem preboj visokonapetostnih omrežij in naprav ter električni tok, ki gasilce med intervencijo lahko poškoduje prek gasilnega sredstva.

Električni tok kot **električni vir nevarnosti** je najpogostejša nevarnost pri gašenju požarov na napravah pod napetostjo, saj se električni tokokrog sklene prek curka vode in gasilca, ki je izpostavljen napetosti 230 V. Udar električnega toka pri gasilcu povzroči šok, zmanjšan nadzor delovanja mišic, motnje v delovanju srca ali zastoj srca. Obloki se lahko pojavijo ob poškodbi izolacije v območju enosmernega toka, še dodatno nevarnost za širjenje požara v okolico predstavljajo visoke temperature ter iskrenje zaradi obloka. Obloki se lahko gasijo le po prekinitvi poškodovanega krogotoka, pri čemer je treba upoštevati varnostno razdaljo ter pravilno uporabo za delo z gasilnimi sredstvi, saj lahko povzročijo električni udar in opekline.

Pri požaru, ki je zajel PV-napravo, se zaradi gorenja sproščajo strupe snovi. Pri tem gre večinoma za pline, ki nastajajo pri gorenju materialov, vgrajenih v objekt. Materiali, ki so uporabljeni v PV-modulih, so med drugimi steklo, silicij, kovine, težke kovine, tekoča smola, etilen, vinilacetat, silikon, spoji folij ter različne druge umetne mase, ki pri gorenju v okolje sproščajo strupene pline.

Varnostni ukrepi, s katerimi se zaščitijo gasilci, so:

- uporaba izolirnega dihalnega aparata,
- nujen izklop prezračevalnih naprav in
- reševanje oseb s prizadetega območja.

Pri gašenju požara na poševnih strehah pri visokih temperaturah elementi izgubijo trdnost, kar privede do zdrsa modula ali celotnega sistema. Prav tako je ob uporabi vodnega curka nevarnost razbitja steklene plasti na modulu, ki ob tem lahko

poškoduje tudi ljudi v bližnji okolici. Zato je treba pri gašenju v notranjosti stavbe upoštevati povečano obremenjenost ostrešja, hkrati pa zavarovati območje zaradi padajočih delov s stavbe.

4.3 POTEK GAŠENJA FOTONAPETOSTNIH SISTEMOV, PRISTOP H GAŠENJU, IZVAJANJE GASILSKE INTERVENCIJE

Gašenje požara na fotonapetostnih sistemih je lahko uspešno le pri upoštevanju intervencijskih načel in pravil za intervencijo na električnih napravah. Ta načela in pravila izhajajo iz nemškega predpisa GUV-I 86771 o nevarnostih pri delu z elektriko na intervencijskem mestu in standarda DIN VDE 01322 za gašenje požarov in ukrepe reševanja na električnih napravah. Predpis služi usposabljanju oseb, ki so zadolžene za gašenje požara, in za ukrepe reševanja na električnih napravah in v njihovi okolici ter kot gradivo pri izobraževanju ter izpopolnjevanju gasilcev.

V mnogih primerih bodo gasilci reševali le ljudi in živali ter preprečili širjenje požara na sosednje stavbe. To velja zlasti za objekte brez požarnih načrtov, kjer je posredovanje lahko usodno predvsem zaradi nevarnosti električnega udara. Ker še ni ustreznih predpisov in standardov z natančnimi zahtevami glede načrtovanja, izvedbe in vzdrževanja sončnih elektrarn, namreč ni mogoče izdelati splošnih postopkov za učinkovite in varne intervencije v primeru požara.

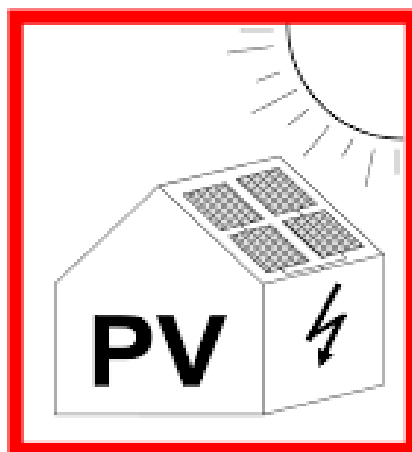
Fotonapetostni elementi generirajo napetosti do 1000 V tudi po tem, ko so izvedeni izklopi na pretvornikih, ki pa so po navadi nameščeni v nižjih delih stavb. Za varno intervencijo je potrebno natančno poznavanje napeljav in predvsem možnosti izklopov delov pod napetostjo.

Po prvem slovenskem požaru na sončni elektrarni je bila na pobudo URSZR oblikovana delovna skupina, ki pripravlja tehnično smernico, v kateri lahko pričakujemo tudi natančnejša pravila in zahteve o vrsti, načinu in mestu vgradnje zaščitnih in varnostnih naprav, ki bodo omogočale odpravo ali ustrezno zmanjšanje tveganj in učinkovitejše intervencije v primeru požarov. Proizvajalci zaščitnih sistemov poleg ustreznih nadtokovnih in prenapetostnih zaščit že ponujajo rešitve za odklop kablov, ki vodijo od PV-generatorjev do pretvornikov, kar omogoča gašenje požarov brez nevarnosti električnega udara v večjem delu stavbe.

Ko na fotovoltaičnem sistemu izbruhne požar, so okolica ter gasilci, ki posredujejo ob intervenciji, varni le, če so upoštevani vsi predpisi ter pravila za intervencijo ob požaru, ki vsebuje električne naprave. V Sloveniji veljajo predpisi, da mora lastnik oz. uporabnik stavbe s fotonapetostno napravo pristojni gasilski enoti predložiti njen požarni načrt. Ob prihodu na kraj intervencije je izrednega pomena preverjanje, ali je na stavbi nameščena fotonapetostna elektrarna.

Označevanje stavbe s posebnimi oznakami je ključnega pomena, saj gasilci ter reševalci hitro prepoznajo takšno zgradbo ter z njo povezane nevarnosti, ki so prisotne ob gašenju. Opozorilni znak je priporočeno namestiti na vidnem mestu na zgradbi, kot prikazuje primer slike spodaj.

SONČNA ELEKTRARNA NA OBJEKTU



POZOR!

**NEVARNOST ELEKTRIČNEGA UDARA PRI
GAŠENJU Z VODO!**

**ENOSMERNI TOK – PO IZKLOPU LAHKO
NEKATERI DELI OSTANEJO POD NAPETOSTJO**

Enosmerni tok se lahko, ob prisotnosti drvene gradnje, pajani v vodnihlin, ki vodijo od PV modulov do odločitvenega stikala, tudi kušar je sistemu odločilen.

*Slika 6: Opozorilni znak za fotonapetostni sistem
(Vir: Smernica SZPV 512.)*

4.3.1 Posredovanje gasilcev

Pred posredovanjem na intervencijah je seznanjenost intervencijskih enot z obstojem fotonapetostnega sistema na objektu ključnega pomena. Pomembno je na intervencijskem kraju prepoznati PV-napravo, v večini primerov so sistemi vidni že takoj ob prihodu na kraj intervencije s pomočjo opozorilnega znaka, ki je nameščen v hišnih razdelilnih omaricah ali pri hišnem električnem priključku. Izjema so le posebne ravne strehe, pri katerih so naprave vidne le z večje oddaljenosti pod določenim zornim kotom.

Ob prihodu na intervencijo je torej treba najprej ugotoviti že nastale poškodbe posameznih komponent na fotonapetostnem sistemu in nameniti pozornost ugotovitvi, kaj se med samo intervencijo še lahko dodatno poškoduje.

Intervencijske enote se morajo pred začetkom posredovanja ustrezno zaščititi pred nevarnostmi, kot so strupeni plini, elektrika in zrušenje. Ustrezna oprema za posredovanje na postrojih sončnih elektrarn so osebna zaščitna oprema, izolirni dihalni aparat, reševalna maska, podobлека in podkapa. Odvisno od razmer in potreb se pri intervenciji lahko uporablja tudi termovizijsko kamero.

Vodja gasilcev najprej oceni obseg nastale škode na objektu, za nadaljnji potek intervencije pa je pomembna ugotovitev, ali je poškodovan celotni sistem ali le posamezni deli. V primeru, da je sistem nepoškodovan na delu enosmerne napetosti, se izvedejo vsi zaščitni ukrepi, ki onemogočijo razširitev požara na nepoškodovani del.

Pregledati je treba naslednje komponente:

- (AC) – zaščitno stikalo za izmenični tok za ločevanje od preskrbovalnega omrežja (lahko tudi varovalke);
- DC) – ločilno stikalo za enosmerni tok;
- potek napeljave električnih vodnikov;
- PV-module;
- zbirne omarice;
- razsmernik (inverter, preklopnik);
- morebitne akumulatorje, baterije.

Med ugotavljanjem poškodb na fotonapetostnem sistemu je treba upoštevati še zaščito drugih naprav ter zavarovati območje nevarnosti v bližnji okolici.

Ob intervenciji vedno izhajamo iz predpostavke, da je PV-naprava pod napetostjo. **Treba je izklopiti AC-zaščitno stikalo in preprečiti ponoven vklop stikala.** V primeru, ko je DC-odklopno zaščitno stikalo nameščeno in dostopno, ga je treba izklopiti in zaščititi mesto pred ponovnim vklopom. Pri vpadu svetlobe je treba upoštevati, da kabli in gradbeni deli PV-naprave prevajajo električno napetost vse do DC-stikala in so pod napetostjo.

V primeru, da DC-odklopno zaščitno stikalo ni nameščeno ali ni dostopno, je pri vpadu svetlobe treba upoštevati, da kabli in posamezni deli PV-naprave prevajajo napetost vse do razsmernika in da je fotonapetostni sistem pod napetostjo. (Vir: [http://www.gasilec.net/uploads/datoteke/MarkoM/Microsoft %20Word %20-%20INTERV %20NA %20OBJEKTU %20S %20SONCNO %20EL %20 19 12 2011.pdf](http://www.gasilec.net/uploads/datoteke/MarkoM/Microsoft%20Word%20-%20INTERV%20NA%20OBJEKTU%20S%20SONCNO%20EL%2019%2012%202011.pdf), dostopno 23. 4. 2019.)

Če požara niso povzročili fotonapetostni elementi, je nujen poseg gasilcev, da preprečijo dostop požara do vodnikov, modulov in drugih elementov fotonapetostnih sistemov. Poškodbe na moduli ter napeljavi še dodatno povišajo električne

nevarnosti na mestu intervencije, zato je potrebna izredna previdnost gasilcev, da ne pride do navedenih poškodb.

Če je izolacija na stavbi že poškodovana ali je razvidno, da do poškodbe lahko pride, je treba fotonapetostni sistem **izklopiti in vzpostaviti breznapetostno stanje**. Izklop sistema lahko opravi le strokovno usposobljeno osebje, pooblaščen predstavnik distribucijskega omrežja ali gasilci, ki to storijo z odklopom DC- in AC-stikala.

To lahko storijo z izklopom AC-stikala in varovalk, kjer je prisoten izmenični tok, ali z izklopom enosmernega toka s pomočjo DC-stikala, v kolikor je ta prisoten. Upoštevati pa je treba, da je naprava med DC-stikalom in moduli še vedno pod napetostjo.

Tudi po izklopu je napeljava enosmerne napetosti med modulom in DC-stikalom še vedno pod napetostjo. Ponekod so na PV-napravah prisotna dodatna DC-stikala, ki omogočajo izklop dodatnih delov PV-naprave.

4.3.2 Sredstva za gašenje

Pri gašenju fotonapetostnih modulov sta **najpogostejši gasilni sredstvi** voda in pena. Voda je najdostopnejše in tudi najcenejše gasilno sredstvo. Vendar ima tudi slabo lastnost, saj ima veliko električno prevodnost in tudi burno reagira z nekaterimi snovmi, kot so npr. natrij, goreči magnezij in kalcijev karbid. Poleg tega pa z njo ne moremo gasiti plinov in vnetljivih tekočin, ker so ti lažji od nje. Gašenje z vodo ohlaja ogenj, saj ima veliko hladilno moč.

Pri gašenju se uporablja tudi pena, tj. zmes vode in penila, pri kateri zrak v peni zajema največji prostorski delež. Težko ločimo, katera pena vsebuje najmanj zraka in največ vode, a lahka pena naj bi vsebovala največ zraka in najmanj vode. Pena deluje dušilno, zato lahko gasimo tudi vnetljive tekočine, vendar je treba paziti, saj pri visokih temperaturah pride do večjega razkrajanja pene.

Mnogokrat se uporablja tudi ogljikov dioksid, ki ga skladiščimo v jeklenkah. Ob ekspanziji se ohladi na približno -78 stopinj $^{\circ}\text{C}$ (suhi led), njegova kemijska nevtralnost pa zagotavlja tako dušilni učinek kot tudi ohlajanje. Uporablja se za gašenje električnih omaric fotovoltaičnih elektrarn, saj ni električni prevoden.

Kot gasilno sredstvo uporabljamo tudi gasilni prah ABC, ki ga sestavljajo različne anorganske soli in je kemijsko nevtralen, ima pa tudi močan dušilni učinek. Uporablja se lahko na električnih napravah, ki so pod napetostjo, vendar le na tistih, ki so označena za gašenje z ABC-prahom, saj mešanica nekaterih soli, ki so v prahu, pri določenih pogojih lahko postane električno prevodna. V preglednici je prikazano, katera gasilna sredstva so primerna za posamezne razrede požarov (Lenarčič, 2012, str.489).

Pri uporabi gasilnih sredstev je treba upoštevati pravila za uporabo gasil v bližini električnih inštalacij. Zavedati se je treba, da mejo nevarne napetosti v suhih prostorih predstavlja nevarnost 120 voltov, pri mokrih pa pod 30 voltov, kar je pri sončnih elektrarnah zdaleč preseženo. Pri gašenju se kot varnostna razdalja upošteva razdalja med ročnikom in virom napetosti. Ta pri gašenju z ročnikom za vodno meglo znaša 1 meter, pri gašenju z ročnikom na vodni curek 5 metrov, v kolikor uporabljamo ročnike dimenzije C pri gašenju z gasilnim aparatom s prahom CO₂ 1 meter. Upoštevati je treba, da se gasilna pena lahko uporablja samo pri napravah, ki niso pod napetostjo. Če znaša tlak na ročniku več kot 5 barov, je treba predhodno navedene varnostne razdalje povečati za 2 metra.

Razred požara	Gorljiva snov	Primerno gasilno sredstvo
A  požari gorljivih trdnih snovi	les, papir, slama, tekstil, premog ...	voda, pena, ABC-prah
B  požari vnetljivih tekočin	bencin, nafta, olja, voski, laki, alkoholi, benzen, smole ...	pena, CO ₂ , ABC-prah
C  požari vnetljivih plinov	zemeljski plin, butan, acetilen, vodik, utekočinjen naftni plin ...	ABC-prah, CO ₂
D  požari lahkih kovin	magnezij, aluminij v prahu ...	D-prah
F  požari jedilnih olj in maščob	jedilna olja in maščobe	F-prah, posebna tekoča gasila

Slika 7 Preglednica za posamezne razrede požarov

(Vir: <http://www.sos112.si/slo/page.php?src=sv1185.htm>, dostopno 26. 3. 2019.)

4.3.3 Dejavniki, ki otežujejo in onemogočajo gašenje

Fotonapetostni moduli so najpogostejše nameščeni na strehah stavb. Kadar imajo gasilci opravka z ravnimi strehami, je dostop do modulov mogoč, tudi prehodi, ki so med vrstami modulov, se lahko med gašenjem uporabijo za izklop posameznih nizov fotonapetostnega generatorja. Poševne strehe pa dostop do modulov zelo otežujejo, velikokrat je brez ustrezne opreme gasilcev dostop onemogočen, kar predstavlja veliko oviro pri gašenju požara.

Težavo predstavlja tudi konstrukcija, na katero so pritrjeni moduli, saj je v večini primerov iz aluminija. Visoke temperature med požarom povzročijo popuščanje spojev, saj povzročijo zdrs modula s strehe, kar dodatno ogroža osebe, ki gasi požar.

Tudi povezave polj modulov predstavljajo težave, saj jih na strehah ni mogoče izklopiti z glavnim stikalom na stavbi ali s stikalom pri razsmerniku. Gašenje s peno ne prinese dobrih rezultatov, saj ta spolzi s strehe. Moduli, nameščeni na strehi, pomenijo dodatno težavo pri gašenju tudi zaradi postavitve, saj so dvignjeni nad strešno kritino, prostor med njimi pa je težko dostopen, kar otežuje usmerjanje gasilnih sredstev na mesto gorenja. Prav tako moduli zelo akumulirajo toploto med njimi in konstrukcijo ostrešja, ki se še dodatno segreva in povzroča hitrejše širjenje požara.

Zaradi poškodovanja izolacije vodnikov, ki so pod moduli, lahko pride do nepredvidljivih prebojev napetosti, kar predstavlja veliko tveganje za gasilce, ki bi z mokrimi rokavicami želeli prekiniti povezave z moduli, saj jih le tako lahko fizično odstranijo. Takšne demontaže je v požaru zelo težko izvesti, zato je zelo pomembno zavedanje vseh zgoraj naštetih dejavnikov, ki otežujejo gašenje na fotonapetostnih sistemih (Lenardič, 2012, str. 499).

4.3.4 Zaključek intervencije

Ob zaključku intervenciji je treba poskrbeti še za ustrezno zavarovanje območja intervencije z upoštevanjem varnostne razdalje, kar pomeni zagotoviti prisotnost policije, ki onemogoča dostop nepooblaščenim osebam na kraj dogodka. Z vsemi deli fotonapetostnega sistema, ki so bili med intervencijo udeleženi v požaru, je treba ravnati, kakor da so še vedno pod napetostjo, saj obstaja nevarnost, da so nekateri kovinski deli res še vedno pod napetostjo. Pooblaščen distribucijsko omrežje mora zagotoviti območje brez električne napetosti.

4.4 ODSTRANITEV UNIČENIH DELOV FOTONAPETOSTNE ELEKTRARNE PO POŽARU

Uničeni in poškodovani deli po požaru imajo še vedno lahko prisotno električno napetost, če deli fotonapetostnih sistemov niso povsem uničeni, saj pri požaru pridejo v stik z viri napetosti. Zato je treba kovinske ograje in cevi, žlebove, potrgane kable, ki bi lahko bili pod napetostjo, zavarovati pred dotikom.

Zelo je pomembno, da se po pogasitvi požara območje sanira ter uničene dele, ki vsebujejo nevarne snovi, odpelje na deponijo za posebne odpadke, kjer jih tudi reciklirajo. Recikliranje fotonapetostnih sistemov pripomore k zmanjševanju onesnaževanja okolja, saj zmanjša količine odpadnih materialov, hkrati pa se zmanjšuje poraba elektrike, ki je potrebna v procesu pridobivanja surovin za izdelavo sistemov.

Način recikliranja je odvisen od tipa modulov. Klasični fotonapetostni moduli so sestavljeni iz silicijevih sončnih celic, aluminijastega okvirja, stekla, delov plastike in bakrenih kontaktov. Del razgradnje poteka mehansko, drugi del pa termično, pri

čemer ločijo celice, steklo in bakrene kontakte. Fotonapetostni moduli se lahko reciklirajo in uporabijo pri proizvodnji novih modulov ali drugih novih izdelkov. Proces reciklaže za monokristalne in polikristalne module kot tudi za tankofilmske module je izpopolnjen do te mere, da je primeren za široko industrijsko rabo. Z recikliranjem pridobimo dragocene materiale, kot so steklo, aluminij in polprevodniški materiali. Šele ko se reciklirane komponente znova uporabijo, je življenjski krog fotonapetostnih modulov sklenjen. S tem fotovoltaična industrija zagotavlja trajen in trajnostni razvoj panoge ter utrjuje vlogo sončnih elektrarn kot vira čiste elektrike.

(Vir: <http://www.trajnostnaenergija.si/Trajnostnaenergija/Proizvajajte/Izobra%C5%BEevanja-in-certificiranje/ArtMID/607/ArticleID/542024/Recikliranje-fotovoltai%C4%8Dnih-modulov>, dostopno 2. 5. 2019.)

4.5 PRAVILNIK O POŽARNEM REDU TER POŽARNI NAČRT

Vsak uporabnik fotonapetostnega sistema naj bi imel narejen požarni načrt, ki bi ga posredoval lokalni gasilski enoti. Uporabniki sistemov, ki so vključeni v javno električno omrežje, so dolžni v skladu s Pravilnikom o požarnem redu (Uradni list RS, št. 52/07 in 34/11) pristojni gasilski enoti predložiti požarni načrt.

4.5.1 Požarni red

V požarnem redu so predstavljeni navodila, ukrepi in predlogi, kako ravnati, da do požara sploh ne bi prišlo, ter kako naj se obnašajo in ravnaajo udeleženci v požaru. Določa organizacijo varstva pred požarom, naloge in odgovornosti zaposlenih oz. stanovalcev pri preprečevanju nastanka požara ter ukrepe varstva pred požarom glede na bivalne razmere, kot so prepoved uporabe odprtega ognja, kajenja, ali orodja, ki iskri, tam, kjer je to prepovedano. S požarnim redom pridobimo podatek o predvidenem številu uporabnikov glede na namembnost stavbe, določa odstranjevanje gorljivih snovi iz požarno ogroženih prostorov, ki so nepotrebne. Prav tako določa tudi ukrepe zaradi nevarnosti eksplozije, gorljivih odpadkov, plinskih, električnih ali drugih virov vžiga ter ukrepe za varno evakuacijo in hitro uspešno intervencijo.

V požarnem redu so navedeni tudi drugi ukrepi varstva pred požarom, način in nadzor izvajanja zgoraj navedenih ukrepov, navodila za ravnanje v primeru požara, naloge ter postopki za ukrepanje ob nastanku požara. Vsebuje tudi podatke o službah in organizacijah, ki jih je treba obvestiti o nastanku požara, ter naloge in obveznosti, ki nastanejo po požaru.

4.5.2 Požarni načrt

Požarni načrt je grafični prikaz situacije objekta in delov objekta z označenimi nevarnostmi in sistemi, napravami in sredstvi za preventivno in aktivno požarno

zaščito. Požarni načrt mora vsebovati prikaz objekta v prostoru in navedbe o požarni varnosti objekta. Prikaz objekta v prostoru mora vsebovati podatke o legi ter namembnosti vseh objektov na posameznem zemljišču, intervencijske poti in postavitvene površine za gasilce ter druge reševalce, stopnjo požarne obremenitve, podatke o visoko- ter nizkonapetostnih napravah, plinovodih ali vodih požarno nevarnih snovi, o prisotnosti snovi, ki bi povzročile eksplozijsko ogroženost objekta, ter o hidrantnih omrežjih ter drugih vodnih virih, ki bi lahko pripomogli pri gašenju požara v stavbi s fotovoltaičnim sistemom.

Prikaz požarne varnosti objekta mora zajemati podatke o mejah požarnih sektorjev, odprtinah v zidovih in stropih z zaporami, dostopnih poteh, evakuacijskih poteh ter stopniščih, podatke o prostorih, kjer je prisotno sevanje, predvsem označitev električnih transformatorjev ter drugih naprav za oskrbo z energijo in vseh stikal za omenjene naprave za tloris v posameznih etažah. Glede na strukturo in velikost objekta se lahko pripravijo požarni načrti za posamezne dele etaž z vrisanimi nevarnostmi.

S požarnim načrtom se zmanjša nevarnost nastanka požara oziroma se zagotavlja učinkovito gašenje, če do požara pride. Namenjen je uporabnikom objekta, gasilcem in drugim reševalcem. Gasilci se morajo ob prevzemu požarnega načrta seznaniti z značilnostmi sistema, kako potekajo napeljave enosmernega toka, kje so nameščeni odklopi kablov enosmernega toka, kje so nameščena odklopna stikala ter razsmerniki. Prav tako pa mora vsak uporabnik poskrbeti za namestitev požarnega načrta v omarico, ki je na vidnem mestu nameščena na stavbi.

Požarni načrt je podlaga za izdelavo operativno-taktičnega načrta gasilcev o gašenju stavbe s sončno elektrarno. V mnogih primerih bodo gasilci reševali le ljudi in živali ter preprečili širjenje požara na sosednje stavbe. To velja zlasti za objekte brez požarnih načrtov, kjer je posredovanje lahko usodno predvsem zaradi nevarnosti električnega udara. Fotonapetostni elementi generirajo napetosti do 1000 V tudi po tem, ko so izvedeni izklopi na pretvornikih, ki pa so po navadi nameščeni v nižjih delih stavb. Za varno intervencijo je potrebno natančno poznavanje napeljav in predvsem možnosti izklopov delov pod napetostjo.

V nadaljevanju sledi besedilo, povzeto po Pravilniku o požarnem redu (Uradni list RS, št. 52/07, 34/11 in 101/11), kjer 8. člen opisuje, kaj je požarni načrt, v 9. členu pa je predstavljena vsebina požarnega načrta z opisom intervencijskih poti, namenjenim gasilcem, ki posredujejo ob morebitnem požaru.

8. člen

(požarni načrt)

1. Požarni načrt je grafični prikaz situacije objekta in delov objekta z označenimi nevarnostmi ter sistemi, napravami in sredstvi za preventivno in aktivno požarno zaščito, s katerim se zmanjšuje nevarnost nastanka požara oziroma se zagotavlja učinkovito gašenje, če do požara pride. Namenjen je uporabnikom objekta, gasilcem in drugim reševalcem.

2. Lastnik ali uporabnik objekta mora en izvod podpisanega požarnega načrta izročiti gasilski enoti, ki opravlja javno gasilsko službo na območju objekta. Gasilska enota ga lahko uporablja izključno za opravljanje operativnih gasilskih nalog. Lastnik ali uporabnik lahko pred izdelavo požarnega načrta zaprosi pristojno gasilsko enoto, da mu svetuje pri njegovi izdelavi.

3. Požarni načrt mora biti izdelan v merilu, praviloma na formatu A 4 ali A 3 oziroma v formatu, ki še omogoča preglednost grafičnih znakov. Pri označevanju opreme, naprav in drugih sredstev za varstvo pred požarom ter vgrajenih sistemov aktivne požarne zaščite je treba upoštevati predpise o grafičnih znakih za izdelavo prilog požarnih redov.

9. člen

(vsebina požarnega načrta)

1. Požarni načrt mora v skladu s prejšnjim členom vsebovati prikaz objekta v prostoru in prikaz požarne varnosti objekta.

2. Prikaz objekta v prostoru mora zajemati podatke o:

1. legi in namembnosti vseh objektov na zemljišču;
2. stopnji požarne obremenitve;
3. intervencijskih poteh in postavitvenih površinah za gasilce in druge reševalce;
4. visoko- in nizkonapetostnih elektrovodih in napravah;
5. plinovodih ali vodih požarno nevarnih snovi;
6. hidrantnih omrežjih in drugih vodnih virih za potrebe gašenja;
7. prisotnosti nevarnih snovi in eksplozijsko ogroženih prostorih;
8. gasilskih orodiščih.

3. Prikaz požarne varnosti objekta mora v tlorisih posameznih etaž zajemati podatke o:

1. mejah požarnih sektorjev;
2. odprtinah v zidovih in stropih z zaporami;
3. dostopnih poteh;
4. evakuacijskih poteh in stopniščih;

5. posebno požarno nevarnih prostorih;
6. prostorih, kjer se ne sme gasiti z vodo;
7. prostorih, v katerih je prisotno sevanje;
8. električnih transformatorjih in napravah za oskrbo z energijo ter stikalih za te naprave;
9. tlačni opremi;
10. legi plinske požarne pipe;
11. vgrajenih sistemih aktivne požarne zaščite, opremi, napravah in drugih sredstvih za varstvo pred požarom;
12. možnostih notranjega napada.

4. Glede na velikost in strukturo objekta se lahko pripravijo tudi požarni načrti za posamezne dele etaž z vrisanimi nevarnostmi.

9. a člen (intervencijska pot)

Intervencijska pot mora biti označena s prometnim znakom ali z označbami na vozišču »Intervencijska pot« v skladu s predpisi o prometni signalizaciji in prometni opremi na javnih cestah. Na intervencijski poti mora biti zagotovljen nemoten prehod intervencijskih vozil.

9. b člen (površine za gasilce ob objektih)

1. Dostopne poti za gasilce in gasilska vozila, postavitvene in delovne površine za gasilska vozila morajo biti vedno proste in prehodne.

2. Dovozne poti za gasilska vozila morajo biti označene z opozorilnimi tablamami z napisom »Dovozna pot za gasilska vozila«.

Vir: <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV7259>, dostopno 8. 5. 2019.

5 PRIMER INTERVENCIJE V TRGOVSKEM CENTRU MERKUR V KRANJU

OPIS OBJEKTA

Objekt je postavljen na vzhodni strani mesta Kranj, ob vpadnici proti mestu. Obkrožajo ga večji objekti, kot so Hipermarket Mercator, trgovski center ONC, tovarna Gorenjski tisk in bencinska črpalka Petrol. Stavba je bila zgrajena leta 2002 in je velikosti 140 x

60 m. V pritličnem delu stavbe večino prostora zavzema trgovina Merkur ter nekaj manjših trgovin. V prvem nadstropju sta še dve večji trgovini s pohištvom, kjer je veliko gorljivega materiala. Objekt je večinoma zgrajen iz betona, tako da razen prodajnih izdelkov v trgovinah sama konstrukcija objekta ne predstavlja velike požarne obremenitve.

Leta 2012 so na celotnem delu strehe postavili sončno elektrarno MFE. Lastnik sončne elektrarne so Gorenjske elektrarne. Nazivna moč predstavlja 408 kWp, letna proizvodnja pa znaša 428.400 kWh, kar zadošča za oskrbo 136 gospodinjstev. Streha objekta je betonska plošča, ki je prekrita z bitumnom. Ob postavitvi elektrarne so tako imeli optimalne pogoje za njeno postavitve, saj bitumen v kombinaciji z betonsko ploščo omogoča zadostno nosilnost za tako veliko elektrarno.

POTEK INTERVENCIJE

V nedeljo, 7. 8. 2016, ob 14.52 je Gasilsko reševalna služba Kranj prek ReCO Kranj prejela klic, da gori na strehi trgovskega centra Merkur na Primskovem v Kranju. Izvoz intervencijske enote so opravili s standardnim izvozom, ki ga imajo v Gasilsko reševalni službi Kranj dogovorjenega za požare večjih objektov. Uporabili so hitro tehnično vozilo, gasilska vozila s cisternami za vodo ter vozilo z avtolestvijo.

Na intervencijo je s prvim vozilom odšlo sedem gasilcev, vodja intervencije pa je podal zahtevo za aktivacijo društev, ki so v načrtu aktiviranja za tovrstni objekt (PGD Kranj – Primskovo, Britof in Kokrica), ter vpoklic celotne izmene Gasilsko reševalne službe Kranj ter pomoč društev Breg ob Savi in Bitnje z AC ter Stražišče, Predoslje in Suha z dodatnim moštvom za menjavo. Nad nakupovalnim centrom je bilo videti steber gostega črnega dima, kar je nakazovalo, da je gorenje zelo intenzivno (razvidno tudi na spodnji sliki).



Slika 8 Požar fotovoltaičnih celic, poslovni objekt Merkur Kranj

(Vir: GRS Kranj.)

Po prihodu na kraj dogodka je vodja intervencije naredil hiter ogled objekta in razdelil objekt na sektorje. Med drugimi so pozornost namenil notranjosti in ugotovili, da notranjost objekta ni zadimljena, kar je tisti trenutek pomenilo, da je požar le na strehi. Ker so prejeli obvestilo, da je streha prekrita s fotonapetostnim sistemom, so se s pomočjo opreme dvignili več kot 10 m nad streho ter začeli z gašenjem, kot je prikazano na sliki spodaj.



Slika 9 Gašenje z avtolestvijo

(Vir: GRS Kranj.)

Ob prihodu prvih enot prostovoljnih društev so ta začela z iskanjem razsmernikov ter stikal, ki so jih tudi izklopili in s tem preprečili dovod električne energije. Izklopili so zgolj oddajanje električne energije v omrežje, ne pa tudi električne napetosti v fotonapetostnih modulih.

Med intervencijo se je pojavila težava, saj so bili razsmerniki v kotlovnici objekta nedostopni do prihoda odgovornih oseb objekta. Požar se je zaradi prisotnosti SZ vetra hitro širil, kljub temu pa so ga v pol ure uspešno pogasili.

Sledilo je razkopavanje strehe in iskanje morebitnih dodatnih žarišč. To so izvajali ob prisotnosti strokovnih delavcev Gorenjskih elektrarn, saj so bili strokovno usposobljeni za napetost in nevarnost, ki je pretila v pregorelih in poškodovanih električnih vodnikih. Ob koncu intervencije so poskrbeli za sanacijo vode zaradi gašenja požara v trgovini s pohištvom.

VZROK POŽARA

Pri spoju električnega vodnika iz panela na stransko vejo sončne elektrarne je prišlo do obloka. Zaradi visokih temperatur je še hitreje prišlo do vžiga bitumna, posledično pa so zagoreli tudi fotonapetostni moduli. V požaru je zgorelo približno 30 x 15 m strehe ter fotonapetostni moduli, ki so bili pritrjeni nanjo, kar je razvidno iz slike spodaj.



Slika 10 Ogled pogorišča

(Vir: GRS Kranj.)

Zabeleženo je že nekaj primerov požarov zgradb s fotonapetostnimi sistemi, kjer je bil vzrok požara drugje, posledično pa so zagoreli tudi fotonapetostni moduli ter DC-omarice. V primeru požara v trgovskem centru Merkur na Primskovem pri Kranju pa je bil vzrok požara ravno v električnih vodnikih na modulih fotonapetostnega sistema (Interno gradivo GRS Kranj).



Slika 11 Posledice požara

(Vir: GRS Kranj.)

POZITIVNE STRANI INTERVENCIJE

- požar je bil hitro pogašen,
- požar se ni razširil v notranjost objekta,
- kljub nedelji popoldan in visokim temperaturam je bila odzivnost gasilcev dobra,
- na intervenciji ni bil nihče poškodovan,
- pridobljene nove izkušnje in dopolnitev praktičnega znanja,
- območje je bilo zelo dobro dostopno, z velikimi površinami, ki so omogočale neoviran dostop gasilskim intervencijskim vozilom,
- policija je dobro posredovala z varovalnimi ukrepi v okolici.

NEGATIVNE STRANI INTERVENCIJE

- nedostopnost razsmernikov in DC-omaric,
- nevarnosti zaradi poškodovanja električnih vodnikov,
- zelo otežen dostop na streho (možen samo prek avto lestve in vertikalne lestve ob objektu).

6 PREDLAGANI UKREPI ZA PREPREČITEV POŽARA NA FOTOVOLTAIČNIH SISTEMIH

Na področju požarne preventive obstajajo različni ukrepi, ki bodisi le zmanjšujejo možnosti za nastanek požara ali pa preprečujejo škodo, ki bi zaradi morebitnega požara nastala dodatno oz. bi predstavljala nevarnost za ljudi, živali, premoženje in okolje. Požarna preventiva je urejena z Zakonom o varstvu pred požarom ter z Zakonom o graditvi objektov, ki določata minimalne zahteve za zagotavljanje varnosti pred požarom.

Z izvajanjem preventivnih ukrepov lahko preprečimo nastanek požara, zagotovimo pogoje za reševanje ljudi in premoženja, hitreje in učinkovito pogasimo požar, zagotovimo varen umik ljudi in živali ter preprečimo nadaljnje širjenje požara, v kolikor je ta že nastal.

V nadaljevanju sledi opis nekaterih ukrepov, ki lahko preprečijo možnost za nastanek požara:

Nosilna konstrukcija in ustrezna izbira materiala. Pri izbiri nosilne konstrukcije fotonapetostnih sistemov so zelo pomembne lastnosti izbranih materialov. Poznavanje mehanskih in kemijskih lastnosti teh materialov pripomore k nepotrebnim vzdrževanim posegom in brezhibnemu delovanju mehanskih delov. Pomembne mehanske lastnosti materialov so: trdnost materiala, temperaturno raztezanje in

odpornost proti tlačnim obremenitvam. Pri aluminiju je temperaturno raztezanje lahko problematično, saj privede do poškodbe modulov, zato je treba upoštevati navodila proizvajalca.

Kovine je treba zaščititi npr. s cinkanjem, pri spajanju pa je priporočljiva uporaba vijakov iz nerjavečega jekla, s čimer lahko preprečimo korozijo, do katere pride zaradi elektrokemijskih reakcij. Dobro načrtovanje nosilne konstrukcije fotonapetostnega sistema za gasilce ob požaru predstavlja manjše tveganje.

Izbira razsmernika. Priporočljivo je uporabiti razsmernik, ki ustreza standardoma SIST EN 61000-3-2 ter SIST EN61000-3-12, ki predpisujeta mejne vrednosti za oddajanje harmonskih tokov. V kolikor razsmernik ne izpolnjujejo zahtev standardov, je smiselno uporabiti filtre na obeh straneh, kjer enosmerni ali izmenični del ne izpolnjuje zahtev standardov. Upoštevati je treba tudi najvišje dopustne napetosti in toke ter največjo dopustno moč na eni strani razsmernika in se s tem izogniti preobremenitvam in poškodbam razsmernikov, ki bi lahko povzročile samovžig.

Priporočila za inštalacijo. Celoten elektroinštalacijski material, kot so kabli in vodniki, ki so napeljeni čez požarne pregrade, lahko izoliramo s posebnim ovojem, ki je odporen proti ognju, ali uporabimo proti ognju odporne kabelske kanale. V območju zasilnih izhodov objekta se ne smejo nahajati razsmerniki in inštalacija pod napetostjo. Vse inštalacije kablov morajo biti skladne s priporočili standarda SIST-EN1366.

Ločilna stikala (možnost daljinskega izklopa). Na tržišču so na voljo posebne izvedbe glavnih stikal, ki spremljajo stanje fotonapetostnega sistema in ga po potrebi samodejno izklopijo. Takšna glavna stikala imajo možnost povezave z avtomatskim sistemom za javljanje požara (Lenardič, 2012, str. 505).

Preventivni pregledi fotovoltaičnega sistema. Priporočljivo jih je opraviti enkrat na leto, z vizualnim pregledom. Veliko proizvajalcev na trgu ponuja preventivni pregled s termografsko kamero, s pomočjo katere lahko pravočasno odkrijemo napake in pregrevana mesta, kjer bi lahko nastali obloki, ter druge pomanjkljivosti.

Preizkušanje modulov. Moduli se preizkušajo po standardu SIST EN 61730-2, ki vključuje preizkus odpornosti proti ognju; standard hkrati določa tudi zahteve, ki jih morajo izpolnjevati moduli.

Preizkusa odpornosti proti ognju sta dva: preizkus razširjanja plamena, kjer so moduli pritrjeni na način, ki ga določa proizvajalec – tako se ovrednoti stanje, velik poudarek je na stanju okvirja samega modula; in preizkus odpornosti proti gorenju, kjer se na module polaga lesene elemente, gorenje lesa pa se pospešuje s tokom zraka. Osnovne zahteve obeh preizkusov so, da velikost plamena na sme preseči vnaprej

določenih vrednosti, razširjanje stranskega plamena mora biti omejeno, hkrati pa ne sme odpasti del modula (Lenardič, 2012, str. 78).

Večjo požarno varnost lahko dosežemo tudi z dovolj velikimi **požarnovarnostnimi odmiki** med posameznimi moduli oz. skupinami modulov, ki nam omogočajo poseganje v napeljavo in druge elemente fotonapetostnega sistema.

Pred prenapetostjo in preobremenitvami enosmernih in izmeničnih tokokrogov se sistem ustrezno lahko zaščiti s **posebnimi varovalkami ali samodejnimi odklopniki**, ki zaznajo preobremenitev.

Označevanje z opozorilnim znakom. Ta na glavni priključni omarici opozarja na prisotnost fotonapetostnega sistema na objektu, hkrati pa opozarja gasilce na povečano previdnost pri gašenju.

Ne smemo pa pozabiti tudi na najpomembnejše **organizacijske ukrepe**, med katere sodijo navodila za uporabnike, požarni načrt, požarni red in načrt evakuacije.

V kolikor je požar na objektu s fotonapetostnim sistemom razširjen do te mere, da predstavlja najvišjo stopnjo nevarnosti tudi za gasilce, se gasi z večje oddaljenosti od objekta, ohlajajo se tudi sosednje fotonapetostne enote, ki jih požar še ni zajel. Poleg gašenja se izvajajo reševanje ljudi, živali, premičnega premoženja in vsi možni ukrepi za preprečitev razširitve požara na sosednje objekte. **Najpogosteje uporabljeni ukrep za preprečitev širjenja požara v praksi je postavitve požarnega zidu, v kolikor obstaja nevarnost širjenja požara na sosednji objekt.**

Po končani intervenciji je potreben operativni **ukrep gasilske straže**, ki varuje prizorišče pred nastankom novih žarišč ali razvojem požara tako dolgo, da te nevarnosti ni več.

6.1 ZAKONODAJA NA PODROČJU FOTONAPETOSTNIH SISTEMOV

V Sloveniji zakonodaje, ki bi urejala požarno varnost v zvezi s fotonapetostnimi sistemi, ni, zato je treba upoštevati obstoječo zakonodajo s področja varstva pred požarom in gašenja požarov: Zakon o gasilstvu, Zakon o varstvu pred požarom, Zakon o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami ter Pravilnik o požarnem redu. Vsak objekt s fotonapetostnim sistemom bi moral imeti izdelane požarni načrt, požarni red ter načrt evakuacije.

Ker ni posebej urejenih predpisov, je pomembno prepoznavanje problematike fotonapetostnih sistemov, zelo pomembno je vlaganje v znanje ter dopolnitev izobraževanja gasilcev, ki se srečujejo s samim problemom. Gasilci morajo imeti

strokovno znanje tudi o samih osnovah delovanja fotonapetostnih sistemov, njihovi priključitvi v javno omrežje, o načinu namestitve fotonapetostnih generatorjev in vsega, kar je povezano z vzroki morebitnih nevarnosti, ki privedejo do požara na samih sistemih.

Vsak uporabnik fotonapetostnega sistema, ki je priključen v javno električno omrežje, mora v skladu z veljavnimi predpisi pristojni gasilski enoti posredovati požarni načrt za fotonapetostni sistem. Izvod požarnega načrta mora vsebovati tudi kratek opis elektrarne z vrisanimi glavnimi značilnostmi. Gasilci se tako seznani s potekom napeljav enosmernega toka, kje so nameščena odklopna stikala ter razsmerniki in odklopi vodnikov enosmernega toka.

Gasilska intervencija zaradi požarov na sončnih elektrarnah predstavlja za gasilce določeno specifično nevarnost, zato je nemško gasilsko združenje Deutscher Feurevwehr Verband izdalo smernice za gasilce, in sicer »Gasilska intervencija na sončnih elektrarnah« (*Einsatz an Photovoltaikanlagen*), kjer so navedene prve praktične smernice za gasilce v primeru požara.

Na področju varstva pred požarom pa temeljno zakonodajo predstavljajo naslednji zakoni in njihovi podzakonski akti:

- Zakon o graditvi objektov (U. I. RS 102/04; 126/07; 108/09; 57/12),
- Zakon o varstvu pred požarom (U. I. RS 3/07; 9/11; 83/12),
- Zakon o gasilstvu (U. I. RS 113/05),
- Zakon o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami (U. I. RS 51/06; 97/10).

7 ZAKLJUČEK

Sončna energija je energija, ki prihaja od Sonca v obliki sončnega sevanja in predstavlja trajni vir sončne energije. V Sloveniji imamo zaradi enakomerne osončenosti velik potencial za izkoriščanje sončne energije, saj je skoraj celotna država primerna za postavitve domače sončne elektrarne.

Elektrika, pridobljena s pomočjo sončne energije, ima veliko prednosti v primerjavi z energijo, pridobljeno iz drugih virov, saj je prijazna do okolja in ne povzroča hrupa, prav tako ne ustvarja škodljivih emisij.

V prvem delu diplomske naloge smo povzeli bistvene informacije s področja fotovoltaike. Predstavili smo razlike v načinih izkoriščanja sončne energije, ključne prednosti ter slabosti izrabe sončne energije. Ugotovili smo, da so danes še vedno najpogostejše uporabljeni moduli iz kristalnega silicija, ki ga je v naravi veliko, hkrati pa je veliko novih materialov, ki so še v raziskovalni fazi in se bodo v prihodnosti

pojavi v fotovoltaičnih moduli, saj je razvoj na področju fotovoltaike zelo hiter. Predstavili smo tudi proces delovanja fotovoltaike, vse pomembne gradnike in vrste različnih fotonapetostnih sistemov, predvsem zaradi lažjega razumevanja možnih različnih vzrokov, ki privedejo do požara na fotonapetostnih sistemih ter nevarnosti, ki pretijo gasilskim enotam ob gašenju požara.

Raziskali smo najpogostejše vzroke za nastanek požara in možne preprečitve oz. ukrepe. S pregledom literature smo ugotovili, da se požari na fotonapetostnih sistemih lahko gasijo z vodo le v primeru predpisane oddaljenosti. Najpogostejše nevarnosti gašenja požarov na fotonapetostnih sistemih za gasilce predstavljajo prisotnost električnega toka, padajoči deli, sproščanje strupenih plinov kot tudi sama razširitev požara. Kar nekaj ključnih dejavnikov, kot so poševne strehe, aluminijasta konstrukcija sistemov, onemogočeno prekinjanje povezav polj modulov, poškodbe izolacije vodnikov pa gasilcem celo onemogočajo gašenje ali pa ga vsaj močno otežujejo.

Gašenje požara na fotovoltaičnem sistemu in v okolici je varno, če upoštevamo pravila ter predpise za izvajanje intervencije pri požaru na električnih napravah. V predpisih je zapisano, da morajo lastniki fotovoltaičnih sistemov gasilski enoti posredovati požarni načrt. Priporočeno je, da je opozorilni znak, ki označuje fotovoltaični sistem na stavbi, na vidnem mestu. Pri izvedbi intervencije je treba ugotoviti že nastale poškodbe, ob katerih se lahko izvajajo različni zaščitni ukrepi za preprečitev nastanka požara.

Na tržišču se pojavlja vse več novih ponudnikov in vzdrževalcev fotonapetostnih sistemov, ki si med seboj konkurirajo s ceno, hkrati pa nekateri pozabljajo na kakovost, znanje ter strokovnost pri prodaji in vzdrževanju fotonapetostnih sistemov. Nestrokovnost lahko privede do nepoznavanja in pomanjkljivosti požarnega načrta, nepravilnega ali napačnega označevanja, s čimer otežuje delo na intervencijah, hkrati pa se povečuje potencialna nevarnost za gasilce.

Pri samem posredovanju pa je ob intervenciji pomembna tudi zadostna količina vode, s katero gasilske enote hladijo sončne celice ter sosednje objekte, na katere bi se požar lahko razširil.

Povzamemo lahko, da so bistvenega pomena preventivni ukrepi, kot so gasilčevo dobro poznavanje sestavnih elementov fotonapetostnega sistema. Prav tako je pomembno, da je omogočen hiter dostop do izklopa, zakonsko bi lahko bilo določeno tudi, da bi imeli vsi fotonapetostni sistemi nameščen daljinski izklop v pristojni gasilski enoti, ki bi omogočal izklop celotnega sistema iz električnega omrežja, hkrati pa bi se električni tok, ki bi ostal v sončnih celicah ter kabljih, preusmeril v za to namenjene baterije oz. hranilnike. S tem bi zagotovili varno posredovanje gasilcev ob požaru na stavbi, opremljeni s fotonapetostnim sistemom.

Prav tako bodo s področja varovanja okolja v prihodnosti potrebna dodatna izobraževanja in usposabljanja glede ravnanja z odpadnimi fotovoltaičnimi moduli, ki bodo predstavljala problematiko za okolje. Vsi proizvajalci fotovoltaičnih panelov pa bi morali razmišljati v smeri, da bi po končani življenjski dobi sistema poskrbeli še za njegovo reciklažo in da bi bil njen strošek že zajet v ceni nakupa.

8 SEZNAM LITERATURE IN VIROV

Babuder, Maks. 2009. *Obnovljivi viri energije v Sloveniji*. Celje: Fit media.

Božič, P., Fendre, C. *Energetske in okoljske perspektive*, 2011. Zavod IRC, Ljubljana.

Električni oblok. Pridobljeno 3. 5. 2019 z naslova http://www.szpv.si/wp-content/uploads/SZPV-512_2016.pdf

Energetika v Sloveniji. Pridobljeno 26. 3. 2019 z naslova <https://www.i-energija.si/ienergija/energetika-v-sloveniji-in-svetu-statistika/>

Evropske direktive. Pridobljeno 5. 6. 2019 z naslova <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>

Fotonapetostni sistemi na objektu. Pridobljeno 15. 5. 2019 z naslova <http://www.techaton.eu/si/>

Fotovoltaična energija. Pridobljeno 26. 4. 2019 z naslova www.photovoltaic-conference.com

Fotovoltaični moduli. Pridobljeno 4. 4. 2019 z naslova www.solarserver.com
Gilbert, M. Masters. 2014. *Renewable and Efficient Electric Power System*. Stanford University.

Grobovšek, B. 2007. *Samostojni fotovoltaični sistem s pomožnim generatorjem*.
<http://www.energap.si/uploads/%C4%8C%20Clanek%20%20Potencial%20son%C4%8Dne%20energije%20v%20Sloveniji.pdf>

<http://www.fingalsolar.com/slo/fotovoltaika/izgradnja-pv-sistemov>

http://www.gasilec.net/uploads/datoteke/MarkoM/Microsoft%20Word%20-%20INTERVJU%20NA%20OBJEKTU%20SONCNO%20EL%20_19_12_2011.pdf

http://www.mizs.gov.si/fileadmin/mizs.gov.si/pageuploads/podrocje/ss/Gradiva_ESS/Biotehnska_podrocja_sole_za_zivljenje_in_razvoj/BT_PODROCJA_62NARAVOVARSTVO_Tehnologije_Durasovic.pdf

Izgradnja fotonapetostnih sistemov Pridobljeno 15. 4. 2019 z naslova
Izkoriščanje energije. Pridobljeno 2. 4. 2019 z naslova
http://kid.kibla.org/~gverila/vegansvet/predal/soncna_energija.htm

Iznajdba prve sončne celice. Pridobljeno 15. 4. 2019 z naslova
<http://www.enertec.si/sl/soncne-elektrarne/fotovoltaika.html>

Koprivnikar, M., in Đurasovič, T. (2010). *Tehnologije obnovljivih virov energije in vplivi na okolje*. Učbenik (elektronski vir). Maribor: Biotehniška šola.
Pridobljeno 14. 4. 2019 z naslova
http://www.mizs.gov.si/fileadmin/mizs.gov.si/pageuploads/podrocje/ss/Gradiva_ESS/Biotehniska_podrocja_sole_za_zivljenje_in_razvoj/BT_PODROCJA_62NARAVOV_ARSTVO_Tehnologije_Durasovic.pdf

Lenardič, D. 2012. *Fotonapetostni sistemi: priročnik: gradniki, načrtovanje, namestitve in vzdrževanje*. Ljubljana: Agencija Poti.

Letno globalno sončno obsevanje. Pridobljeno 28. 4. 2019 z naslova
Markvark. 2000. *Solar electricity*. London: John Wiley & Sons.

Medved, S., in Novak, P. 2000. *Varstvo okolja in obnovljivi viri energije*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo.

Nevarnosti za gasilce. Pridobljeno 26. 3. 2019 z naslova
<http://www.gasilec.net/operativa/intervencije/gasenje-objektov-opremljenih-s-soncnimi-elektrarnami>

Oskrba z različnimi viri energije. Pridobljeno 26. 3. 2019 z naslova
<https://www.stat.si/StatWeb/News/Index/7722>

Papler, D. *Osnove uporabe solarnih toplotnih fotonapetostnih sistemov*. Ljubljana: energetika marketing, 2012.

Pasivna raba sončne energije Biotherm, 2012.

Pasivna raba sončne energije. Pridobljeno 2. 4. 2019 z naslova
<https://kolednik.wordpress.com/obnovljivi-viri-energije/soncna-energija/>

Posredovanje gasilcev. Pridobljeno 23. 4. 2019 z naslova
[http://www.gasilec.net/uploads/datoteke/MarkoM/Microsoft %20Word %20-%20INTERV %20NA %20OBJEKTU %20S %20SONCNO %20EL %20_19_12_2011.pdf](http://www.gasilec.net/uploads/datoteke/MarkoM/Microsoft%20Word%20-%20INTERV%20NA%20OBJEKTU%20S%20SONCNO%20EL%20_19_12_2011.pdf)

Potek gašenja. Pridobljeno 8. 5. 2019 z naslova
Pravilnik o požarnem redu. Pridobljeno 8. 5. 2019 z naslova
<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV7259>

Prednosti sončne energije. Pridobljeno 3. 4. 2019 z naslova
<https://www.esvet.si/drugi-viri-energije/soncna-energija>

Primer samostojnega-talnega fotonapetostnega Sistema. Pridobljeno 29. 4. 2019 z naslova <http://www.californiavalleysolarranch.com/california-valley-solar-ranch.html>
PV portal. Pridobljeno 15. 4. 2019 z naslova <http://pv.fe.uni-lj.si/Zgodovina.aspx>

Razvoj tehnologij za izdelavo sončnih celic. Pridobljeno 19. 4. 2019 z naslova
<http://konarka.com/>

Recikliranje fotovoltaičnih modulov. Pridobljeno 2. 5. 2019 z naslova
[http://www.trajnostnaenergija.si/Trajnostnaenergija/Proizvajajte/Izobra %C5 %BEevanja-in-certificiranje/ArtMID/607/ArticleID/542024/Recikliranje-fotovoltai %C4 %8Dnih-modulov](http://www.trajnostnaenergija.si/Trajnostnaenergija/Proizvajajte/Izobra%C5%BEevanja-in-certificiranje/ArtMID/607/ArticleID/542024/Recikliranje-fotovoltai%C4%8Dnih-modulov)

Roberts, S., in Nicolás Guariento. 2009. *Bulding integrated photovoltaics*. Basel: Birkhäuser.

Samostojni fotonapetostni sistemi. Pridobljeno 6. 4. 2019 z naslova
<http://www.ape.si/publikacije/brosura-soncne-elektrarne.pdf>

Slabosti sončne energije. Pridobljeno 3. 4. 2019 z naslova
<https://sites.google.com/site/obnovljivsi/soncna-energija>

Smernice o požarni varnosti. Pridobljeno 21. 4. 2019 z naslova
http://www.szpv.si/wp-content/uploads/SZPV-512_2016.pdf

Sončna energija v Sloveniji. Pridobljeno 14. 5. 2019 z naslova
<https://www.esvet.si/energija/pretvorbe-energije/energijski-tokovi>

Spletna stran Gasilske zveze Slovenije. Pridobljeno 13. 4. 2019 z naslova
www.gasilec.net

Spletna stran nemškega združenja gasilcev. Pridobljeno 28. 3. 2019 z naslova
www.dfv.org

Spletna stran Slovenskega združenja za požarno varstvo. Pridobljeno 15. 5. 2019 z naslova www.szpv.si

Spletna stran Uprave RS za zaščito in reševanje. Pridobljeno 14. 5. 2019 z naslova
www.urszr.si

Spletna stran Združenja slovenske fotovoltaične industrije. Pridobljeno 14. 5. 2019 z naslova www.zsfi.si

Splošno o fotovoltaiki. Pridobljeno 25.3.2019 z naslova www.pv-platforma.si
Splošno o sončni energiji States Advancing Solar 2013. Letno globalno sončno obsevanje. Pridobljeno 25. 3. 2019 z naslova <http://www.ape.si/data/infolisti.pdf>

Stanje PV industrije. Pridobljeno 25 .3. 2019 z naslova
<http://topnews.si/2018/07/23/soncna-energija-je-nasa-prihodnost/>

SZPV – Slovensko združenje za požarno varnost. 2012. *Smernica SZPV 512: smernica o požarni varnosti sončnih elektrarn*. Ljubljana. SZPV.

Topič, M., Breck, K., Krč, J., Vukadinović, M., Opara Krašovec, U., Smole, F.
Elektrika iz sonca. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Laboratorij za fotovoltaiko in optoelektroniko.

Trajnostna energija. Pridobljeno 9. 5. 2019 z naslova
[http://www.trajnostnaenergija.si/Trajnostna-energija/Proizvajajte/Izobra %C5 %BEevanja-in-certificiranje/ArtMID/607/ArticleID/542024/Recikliranje-fotovoltai %C4 %8Dnih-modulov](http://www.trajnostnaenergija.si/Trajnostna-energija/Proizvajajte/Izobra%C5%BEevanja-in-certificiranje/ArtMID/607/ArticleID/542024/Recikliranje-fotovoltai%C4%8Dnih-modulov)

Tretja generacija sončnih celic. Pridobljeno 18. 4. 2019 z naslova
[http://www.mizs.gov.si/fileadmin/mizs.gov.si/pageuploads/podrocje/odrasli/Gradiva ESS/CVZU/partnerstva/CVZU_143PARTNERSTVA_SCP_Novi.pdf](http://www.mizs.gov.si/fileadmin/mizs.gov.si/pageuploads/podrocje/odrasli/Gradiva_ESS/CVZU/partnerstva/CVZU_143PARTNERSTVA_SCP_Novi.pdf)

Uradni list Republike Slovenije. *Energetski zakon*. (online). 2019.

Vzdrževanje fotonapetostnih sistemov. Pridobljeno 10. 4. 2019 z naslova
[https://www.bisol.com/images/Brochures/BISOL_Nadzor_delovanja_in_vzdr %C5 %BEevanje_son %C4 %8Dnih_elektrarn.pdf](https://www.bisol.com/images/Brochures/BISOL_Nadzor_delovanja_in_vzdr%C5%BEevanje_son%C4%8Dnih_elektrarn.pdf)

Zgodovina fotovoltaike. Pridobljeno 15. 4. 2019 z naslova
<https://www.thoughtco.com/photovoltaics-timeline-1992481>

Zgodovina fotovoltaike. Pridobljeno 29. 4. 2019 z naslova <http://pv.fe.uni-lj.si/PVsistemi.aspx>

Žalar, Z. 2016. *Obnovljivi viri energije: Učbenik za srednje strokovne in poklicne šole*. Ljubljana: BookStore.si.