

Ponašanje PV sustava u požarima u zgradama

Bodrožić, Dora

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:747114>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-01**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Dora Bodrožić

Ponašanje PV sustava u požarima u zgradama

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2023.



Sveučilište u Zagrebu
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Ponašanje PV sustava u požarima u zgradama

DIPLOMSKI RAD

Mentor:
izv. prof. dr. sc. Marija Jelčić Rukavina

Student:
Dora Bodrožić

Zagreb, 2023.



Sveučilište u Zagrebu
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Fire preformance of Photovoltaic Systems in buildings

MASTER'S THESIS

Mentor:
izv. prof. dr. sc. Marija Jelčić Rukavina

Student:
Dora Bodrožić

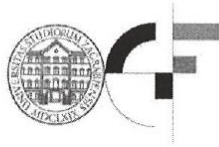
Zagreb, 2023.

Ovim putem želim zahvaliti mentorici izv. prof. dr. sc. Mariji Jelčić Rukavini na pruženom znanju i pomoći bez kojih ovaj diplomski rad nije mogao nastati. Hvala što ste mi pružili priliku da pišem o temi koja me zanima i koja spaja moja područja interesa.

Hvala Alenki iz Doma za starije i nemoćne osobe Sveti Antun jer je bila na raspolaganju i izdvojila vrijeme kako bi mi pomogla pronaći sve ono što mi je bilo potrebno za pisanje ovog rada.

Hvala svim mojim prijateljima koji su bili sa mnom na ovom veselom putovanju zvano studiranje, veselo ću pamtiti sve što se događalo u zadnjih par godina. Hvala za sve kave, cuge, izlaske, ali i dubokoumne razgovore koje smo imali. Bili ste uz mene u svim veselim, ali i manje veselim trenucima. Hvala Domiju koji je izdvojio svoje dragocjeno vrijeme kako bi me naučio nešto novo. Lara, Ivona, zajedno od kad nismo znale šta građevina uopće je, a danas tri ponosne građevinarke. Prošle sve i svašta, ali uvijek je bilo najljepše.

Definitivno, najveće hvala ide mojoj obitelji, koja je stajala iza mene i svake moje odluke uz beskonačno mnogo ljubavi i podrške. Mama i tata koji su mi omogućili sve, dok god sam ja sretna i zadovoljna. Posebna zahvala ide najboljoj sestri, Ani, koja mi je pružila more savjeta i riječi ohrabrenja uz veliku dozu ljubavi. Bila je uz mene kad mi je bilo potrebno samo da me netko čuje, hvala B.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET

OBRAZAC 2

TEMA DIPLOMSKOG RADA

Ime i prezime studenta: **Dora Bodrožić**

JMBAG: **0082059329**

Diplomski rad iz predmeta: **Zaštita od požara**

Naslov teme
diplomskog rada:

HR	Ponašanje PV sustava u požarima u zgradama
ENG	Fire performance of photovoltaic systems in buildings

Opis teme diplomskog rada:

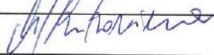
Obzirom da ugradnja fotonaponskih sustava u zgradama doprinosi većem riziku pojave požara, u ovom radu je potrebno:

1. dati pregled rada fotonaponskog sustava s aspekta moguće pojave požara
2. analizirati posljedice požara koji su se dogodili na zgradama s fotonaponskim sustavima
3. analizirati postojeće međunarodne smjernice koje obrađuju sigurnost u slučaju požara u zgradama s fotonaponskim sustavima
4. primjeniti zahtjeve iz prethodnog poglavlja na ugradnju fotonaponskih sustava na konkretnoj zgradi doma za starije i nemoćne
5. dati zaključke i preporuke za projektiranje, ugradnju i održavanje fotonaponskih sustava na zgradama s aspekta sigurnosti u slučaju požara

Datum: **10.travanj 2023.**

Komentor: **-**
(Ime i prezime komentora)

Mentor: **izv.prof.dr.sc. Marija Jelčić Rukavina**
(Ime i prezime mentora)


(Potpis mentora)

SAŽETAK

Brzo uvođenje energije iz obnovljivih izvora u središtu je plana Europske komisije pod nazivom REPowerEU koji za osnovni cilj mjera je smanjiti energetska ovisnost o prirodnom plinu raširenom primjenom fotonaponskih sustava. Međutim, izvedba i pouzdan rad fotonaponskih sustava još uvijek kriju potencijalne probleme raširene primjene ovih sustava. Jedan od problema je svakako rizik od pojave i širenja požara preko fotonaponskih sustava instaliranih na fasadi i krovovima zgrada. Kao posljedica mnogobrojnih požara uglavnom na sustavima instaliranim na stambenim i industrijskim zgradama, pokrenuta su različita istraživanja usmjerena na razvoj propisa i smjernica za proizvode i instalaciju, ali i način održavanja kako bi se minimizirao rizik pojave i širenja požara. U ovom radu objašnjen je princip rada fotonaponskog sustava, opisana je problematika sustava vezana za rizike pojave požara te obrađene postojeće međunarodne smjernice za zaštitu od požara kod fotonaponskih sustava. Također, ovaj rad prikazuje konkretni primjer zgrade doma za starije i nemoćne na koju se postavlja fotonaponski sustav po usvojenim smjernicama i uputama.

Ključne riječi: *obnovljivi izvori energije, solarna energija, fotonaponski sustav, fotonaponski modul, požar, zaštita od požara*

ABSTRACT

The swift integration of energy from renewable sources is at the forefront of the European Commission's plan named REPowerEU, which aims primarily to reduce energy dependence on natural gas through the widespread adoption of photovoltaic systems. However, the implementation and reliable operation of photovoltaic systems still pose potential challenges with the extensive use of these systems. One of the issues is the risk of fire occurrence and spread through photovoltaic systems installed on building facades and roofs. Numerous fires, particularly in systems installed on residential and industrial buildings, have prompted various studies focusing on the development of regulations and guidelines for products and installations, as well as maintenance of the systems, to minimize the risk of fire occurrence and spread. This thesis explains the operational principles of photovoltaic systems, describes system-related issues regarding fire risks, and addresses existing international guidelines for fire protection in photovoltaic systems. Additionally, this thesis presents a concrete example of a nursing home building where a photovoltaic system is installed according to adopted guidelines and instructions.

Key words: renewable energy sources, solar energy, photovoltaic system, photovoltaic module, fire, fire protection

Sadržaj

1	UVOD.....	1
2	OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE	2
2.1	Solarna energija	3
2.1.1	Fotonaponski sustav	4
2.2	Problematika požara i fotonaponskih sustava.....	6
3	PRIMJERI POŽARA SA FN PANELIMA	11
3.1	Muzej <i>We The Curious</i> , Bristol, UK.....	11
3.2	Amazon skladište, Fresno, Kalifornija i Perryville, Maryland, SAD	12
3.3	Dietz&Watson skladište, Delanco, New Jersey, SAD.....	14
3.4	Sjedište tvrtke Organic Valley, La Farge, Wisconsin, SAD.....	15
4	MEĐUNARODNE SMJERNICE	16
4.1	Uvod.....	16
4.2	VdS 3145 : 2017-11 <i>Photovoltaikanlagen</i>	17
4.2.1	Opasnosti	18
4.2.2	Zaštita	18
4.2.3	Montaža	22
4.2.4	Električne komponente	22
4.2.5	Kablovi i vodovi	25
4.2.6	Kutije za priključak generatora i ostala kućišta.....	27
4.2.7	Pregradne instalacije.....	27
4.2.8	Prenaponska zaštita i zaštita od groma	28
4.2.9	Zaštita od krađe	29
4.2.10	Puštanje u pogon.....	29
4.2.11	Upravljanje	30
4.3	CFPA E Guideline No 37:2018 F <i>Photovoltaic systems: Recommendations on loss prevention</i>	31
4.3.1	Opasnosti i rizici.....	31
4.3.2	Preventivne mjere	32
4.3.3	Planiranje i instalacija.....	33
4.3.4	Prije početka rada	36
4.3.5	Rad.....	36
4.3.6	Posebne informacije o gašenju požara	37
4.4	RC62: <i>Recommendations for fire safety with PV panel installations</i>	37
4.4.1	Usklađenost s propisima o zaštiti od požara.....	39
4.4.2	Sigurnost u slučaju požara	40
4.5	SZPV 512 <i>Smernica o požarni varnosti sončnih elektrarn</i>	47

4.5.1	Konstrukcija	48
4.5.1.1	Statički proračun	48
4.5.1.2	Odabir odgovarajućih materijala	48
4.5.1.3	Prozračivanje	49
4.5.2	Fotonaponski (FN) moduli	49
4.5.2.1	Izbor fotonaponskih modula	49
4.5.2.2	Požarne karakteristike materijala od kojih su fotonaponski moduli napravljeni.....	49
4.5.2.3	Uputstva za pravilnu montažu modula	49
4.5.3	Lokacija i raspored modula	50
4.5.3.1	Lokacija modula uz požarne zidove i požarno nezaštićene otvore.....	50
4.5.3.2	Osiguravanje slobodnih prolaza za održavanje i gašenje između polja modula.....	51
4.5.4	Montaža električnih instalacija sunčane elektrane	53
4.5.4.1	Požarni rizici i opasnosti za vatrogasce uslijed grešaka pri montaži električnih instalacija	53
4.5.4.2	Mjere za sprečavanje opasnosti od oštećenja instalacija	54
4.5.4.3	Montaža pretvarača i priključnih ormara.....	55
4.5.4.4	Označavanje zgrada i pojedinih dijelova solarnih elektrana.....	56
4.5.5	Posebni i dodatni zahtjevi u pogledu požarne sigurnosti	57
4.5.5.1	Odvod dima i topline iz zgrade.....	57
4.5.5.2	Zahtjevi za postavljanje akumulatora električne energije.....	57
4.5.6	Zahtjevi za instalacije u zgradi s solarnom elektranom.....	58
4.5.7	Dodatne smjernice za instalaciju solarnih elektrana na višestrukim krovovima	58
4.5.8	Dodatne smjernice za samostojeće solarne elektrane.....	58
4.5.9	Dodatne smjernice za puteve evakuacije.....	59
4.5.10	Potvrda o ispravnosti izvođenja solarne elektrane s požarnog stajališta	59
4.5.11	Predaja, označavanje i tehnička dokumentacija solarne elektrane te obrazovanje o njima.....	60
4.5.12	Održavanje.....	61
4.6	Sažetak analize smjernica za fotonaponske panele.....	61
4.7	Održavanje	67
5	DOM ZA STARIJE I NEMOĆNE OSOBE SVETI ANTUN	68
5.1	Uvod.....	68
5.2	Opis zgrade	68
5.2.1	Lokacija građevine	68
5.2.2	Namjena građevine i način korištenja	69

5.2.3	Građevinski i arhitektonski elementi građevine	70
5.3	Postojeći plan zaštite od požara	71
5.4	Idejno rješenje fotonaponskog sustava	73
5.4.1	Projektiranje fotonaponskog sustava	73
5.4.1.1	Položaj dijelova FN sustava.....	73
5.4.1.2	Materijali.....	76
5.4.2	Izvedba.....	79
5.4.3	Održavanje sustava	82
5.4.4	Zaključak	83
6	ZAKLJUČAK.....	84
7	LITERATURA	86

1 UVOD

Sve više koncentracije stakleničkih plinova, porast razine mora, itd. samo su neki od pokazatelja klimatske krize. Klimatske promjene i uništavanje okoliša egzistencijalna su prijetnja svijetu. Velik dio stakleničkih plinova koji prekrivaju Zemlju i zadržavaju sunčevu toplinu nastaje proizvodnjom energije, izgaranjem fosilnih goriva za proizvodnju električne energije i topline. Fosilna goriva, poput ugljena, nafte i plina, daleko su najveći uzročnici globalnih klimatskih promjena, čineći više od 75% globalnih emisija stakleničkih plinova i gotovo 90% svih emisija ugljičnog dioksida. Kako bi se izbjegli najgori učinci klimatskih promjena, emisije se moraju smanjiti za gotovo polovicu do 2030. i doseći neto nulu do 2050. Da bismo to postigli, moramo se prestati oslanjati na fosilna goriva i ulagati u alternativne izvore energije koji su čisti, dostupni, pristupačni, održivi i pouzdani (slika 1). Povijesno gledano, energetska prijelazi nisu novost. U prošlosti smo vidjeli velike pomake koji obilježavaju epohe poput prijelaza s korištenja drva na korištenje ugljena u 19. stoljeću ili s ugljena na naftu u 20. stoljeću. Ali ono što razlikuje ovaj prijelaz od njegovih prethodnika je hitnost zaštite planeta od najveće prijetnje s kojom se ikada morao suočiti, i to što je prije moguće. Obnovljivi izvori energije – kojih ima u izobilju posvuda oko nas, a koje osiguravaju sunce, vjetar, voda, itd. emitiraju malo ili nimalo stakleničkih plinova ili zagađivača u zrak. (1)



Slika 1 Energetska tranzicija (2)

Novo tehnologije sa sobom nose i nove rizike, a jedan od njih je svakako rizik pojave od požara. Osnovni cilj rada je analizirati postojeće međunarodne smjernice za zaštitu od požara u

zgradama s ugrađenim fotonaponskim sustavima te na konkretnoj zgradi doma za starije i nemoćne primijeniti zahtjeve. Rad je podijeljen u 7 poglavlja. Nakon prvog, uvodnog poglavlja, slijedi drugo poglavlje u kojem su opisani obnovljivi izvori energije, solarna energija i sami fotonaponski sustavi, kako bi bili upoznati s područjem, ali i problemima vezanima uz to područje. Treće poglavlje se bavi požarima koji su se dogodili, a da su u njima sudjelovali fotonaponski sustavi, kao uzročnik požara ili kao dio koji su požari zahvatili. U četvrtom poglavlju obrađene su međunarodno priznate smjernice koje su napisane kako bi se na što pravilniji način postavili fotonaponski sustavi na građevinu u pogledu zaštite od požara. Naposljetku, u petom poglavlju prikazan je primjer građevine na koju se postavlja fotonaponski sustav po obrađenim smjernicama i danim uputama.

2 OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE

Obnovljivi izvori (slika 2) energije dostupni su u svim zemljama, a njihov potencijal tek treba biti u potpunosti iskorišten. *International Renewable Energy Agency* procjenjuje da 90 % svjetske energije može i treba dolaziti iz obnovljivih izvora energije do 2050. godine. Osim toga, prelaskom na čiste izvore energije, poput vjetera i sunca, investira se u čisti zrak, a samim tim i zdravlje ljudi.(1)



Slika 2 Obnovljivi izvori energije (3)

Otpriblike 80% svjetskog stanovništva živi u zemljama, koje su uvoznici fosilnih goriva, odnosno to je oko 6 milijardi ljudi koji ovise o fosilnim gorivima iz drugih zemalja, što ih čini ranjivima na geopolitičke šokove i krize. Tome u prilog ide činjenica da je Europska komisija

dana 18. svibnja 2022. predstavila plan REpowerEU, svoj odgovor na teškoće i poremećaje na globalnom energetsom tržištu uzrokovane ruskom invazijom na Ukrajinu. Postoji dvostruki razlog za transformaciju europskog energetskeg sustava: okončanje ovisnosti EU-a o ruskim fosilnim gorivima i rješavanje klimatske krize. Komisija predlaže povećanje glavnog cilja za obnovljive izvore energije do 2030. s 40 % na 45 %. (4,5)

Brzo uvođenje energije iz obnovljivih izvora u središtu je plana REPowerEU, a solarna energija bit će glavni pokretač tih mjera. Energija sunca pridonijet će smanjenju naše ovisnosti o fosilnim gorivima u svim sektorima našeg gospodarstva, od grijanja stambenih prostora do industrijskih procesa. Cilj je više od 320 GW solarne energije učiniti dostupnim do 2025., što bi bilo dvostruko u odnosu na 2020. godinu, te gotovo 600 GW do 2030. godine, što bi trebalo zamijeniti otprilike 9 milijardi m³ prirodnog plina godišnje. (5)

2.1 Solarna energija

Solarna ili sunčeva energija je energija Sunca, njegova svjetlost i toplina, čiji manji dio ljudi koriste od davnina uz pomoć raznih tehnologija. Solarna energija pretvara se u električnu energiju pomoću fotonaponskih sustava u solarnim ćelijama. Pri radu solarnih ćelija ne proizvode se staklenički plinovi. Sustavi su laki za ugradnju i moguće je izgraditi mnoštvo međusobno povezanih sustava. Može se brzo uvesti te građani i poduzeća tako mogu povoljno utjecati na klimu i pritom uštedjeti. To je zato što su se troškovi solarne energije s vremenom znatno smanjili. Politike EU-a u području energije iz obnovljivih izvora u posljednjem desetljeću pridonijele su smanjenju troškova uvođenja fotonaponske tehnologije za 82% te je ona tako postala jedan od najkonkurentnijih izvora električne energije u EU-u. Solarni sektor ne stvara samo električnu i toplinsku energiju iz obnovljivih izvora, već pridonosi otvaranju novih radnih mjesta, uvođenju novih poslovnih modela i osnivanju novih poduzeća. Osnovni nedostaci iskorištavanja sunčeve energije su veliki investicijski troškovi te su za osiguranje dovoljne količine električne energije za instalaciju potrebne velike površine. Ono što u fotonaponskoj tehnologiji opterećuje okoliš jest proizvodnja solarnih ćelija uz uporabu toksičnih teških metala, dok je proces dobivanja silicija, kao najčešćeg materijala za fotonaponske ćelije, energetski vrlo zahtjevan. (5,6)

Solarna fotonaponska energija jedan je od najjeftinijih dostupnih izvora električne energije. Trošak solarne električne energije već je prije velikog povećanja cijena 2021. bio

znatno niži od veleprodajnih cijena električne energije. Ta je prednost sada postala još važnija s obzirom na krizu. Solarna električna energija i toplinska energija ključne su za postupno smanjenje ovisnosti EU-a o ruskom prirodnom plinu. Raširena primjena fotonaponskih sustava smanjit će našu ovisnost o prirodnom plinu, koji se koristi za proizvodnju električne energije. Solarna toplina i solarna energija u kombinaciji s dizalicama topline mogu zamijeniti kotlove na prirodni plin za grijanje u stambenim ili poslovnim prostorima. Solarna energija u obliku električne energije, toplinske energije ili vodika može zamijeniti potrošnju prirodnog plina u industrijskim procesima. (5)

2.1.1 Fotonaponski sustav

Fotonapon (FN) je jedan od glavnih obnovljivih izvora energije i tijekom posljednjeg desetljeća, pojavio se kao obećavajući energetske resurs koji će zamijeniti konvencionalne energetske sustave u ispunjavanju budućih svjetskih energetske zahtjeva, a fotonaponsko tržište se tijekom vremena razvilo eksponencijalnom brzinom. Solarni fotonaponski paneli koriste ćelije koje sadrže poluvodič za prihvatanje sunčeve energije i pretvaranje sunčevog zračenja u električnu energiju. Najčešće korišteni poluvodič je silicij. Kada svjetlost udari u ćeliju, određena količina energije se apsorbira unutar materijala, pri čemu se elektroni oslobađaju. Većina FN ćelija ima dva sloja poluvodičkog materijala, jedan pozitivno nabijen i jedan negativno nabijen. Kada sunce obasja poluvodič, električno polje preko spoja između ova dva sloja uzrokuje protok električne energije, generirajući istosmjernu struju (DC). Postavljanjem metalnih kontakata na vrh i dno fotonaponske ćelije i postavljanjem ispravnih kablova, možemo izvući tu struju za vanjsku upotrebu. Solarni fotonaponski električni paneli ne zahtijevaju jaku sunčevu svjetlost da bi radili, što znači da i dalje možete proizvoditi električnu energiju za oblačnih dana, međutim općenito što je veći intenzitet svjetlosti to je veći protok električne energije. Istosmjernu struju (DC) potrebno je pretvoriti u izmjeničnu struju (AC) kako bi se mogla koristiti, to izvodi pretvarač. AC električna energija zatim prolazi kroz brojilo, koje mjeri koliko je električne energije proizvedeno, i dalje do potrošačke jedinice. (7)

Fotonaponski sustavi se uglavnom dijele na tri skupine:

1. Samostalni FN sustav (*off-grid system*)

Ovakvi sustavi najčešće se koriste u ruralnim područjima. Sustavi su spojeni na spremnik energije, akumulator, preko regulatora punjenja koji ima zadatak regulirati

punjenje i pražnjenje same baterije. Izmjenjivač se također može koristiti kako bi se osigurala izmjenična struja za potrebe standardnih električnih uređaja i aparata. Koriste se kako bi osigurale dostupnost električne energije u udaljenim mjestima poput planinskih mjesta, otoka, područja u razvoju. Temeljne komponente ovih sustava su: fotonaponski moduli, regulator punjenja, akumulator, trošila, izmjenjivač. (8,9)

2. Hibridni FN sustav (*hybrid system*)

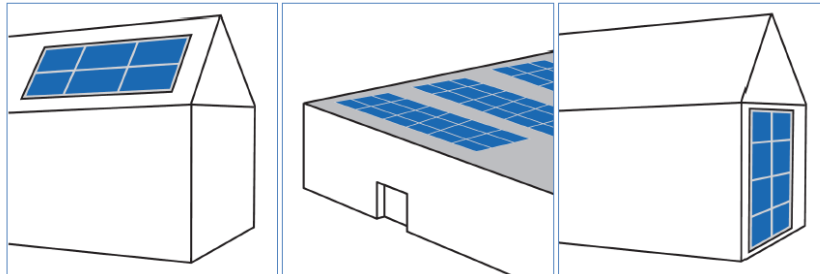
Ova vrsta fotonaponskog sustava koristi svoju akumuliranu energiju, ali može biti u kombinaciji s nekim drugim izvorom energije, npr. vjetroturbina, diesel generator, itd., kako bi se osigurala konstantna i dostatna količina električne energije koja je potrebna. Dakle kada nema dovoljno sunčanih dana sustav ne proizvodi zadovoljavajuću količinu električne energije, iako je potreba za njom konstantna, te se ona mora dobiti iz drugih izvora. Hibridni sustav može biti spojen na mrežu, samostalan ili kao potpora mreži. (8,9)

3. Mrežni FN sustav (*on-grid system*)

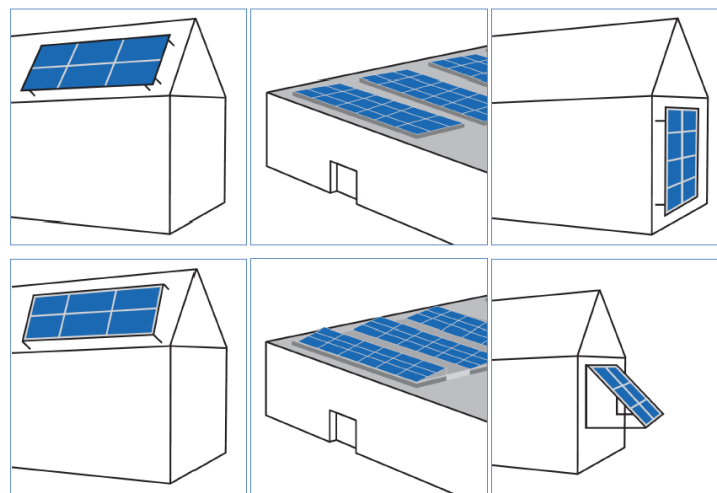
Mrežni fotonaponski sustav proizvedenu električnu energiju uglavnom koriste za vlastitu potrošnju. Fotonaponski moduli pretvaraju sunčevu energiju u električnu energiju istosmjernog oblika, a fotonaponski izmjenjivač prilagođava tako proizvedenu energiju u oblik u kojem se može predati u javnu elektroenergetsku mrežu. Izmjenjivači proizvode izmjeničnu struju odgovarajućeg napona i pogodni su za mrežne fotonaponske sustave. Mrežni izmjenjivači rade kao i svaki drugi izmjenjivači, s tom razlikom da mrežni izmjenjivači moraju osigurati da će napon koji isporučuju biti u fazi s mrežnim naponom. To omogućava fotonaponskom sustavu da isporučuje električnu energiju u sustav. Elektro priključak se najčešće nalazi se u glavnom razvodnom ormariću. Sustav se uglavnom sastoji od solarnih panela, invertera, razvodne kutije električnih instalacija koje uključuju kablove, prekidače, osigurače, brojača potrošnje/ispоруke, priključka na mrežu. (8,9)

Sami fotonaponski moduli mogu biti integrirani na samoj građevini (*Building Integrated Photovoltaic - BIPV*), na krovu ili fasadi, kao što je prikazano na slici 4 ili mogu biti postavljeni na građevinu (*Building Attached Photovoltaic - BAPV*) na nosače kao što je prikazano na slici 5. BAPV sustavi postavljeni su na površinu krovova ili zidova, te ne pridonose konstruktivnoj ulozi u građevini, dok se BIPV sustavi postavljaju kao krovni

paneli, obloge fasada i zidova, i imaju izravan utjecaj na konstrukcijsku funkciju zamjenjujući konvencionalne dijelove zgrade poput krova ili fasade. (10)



Slika 3 Integrirani FN sustav (15)

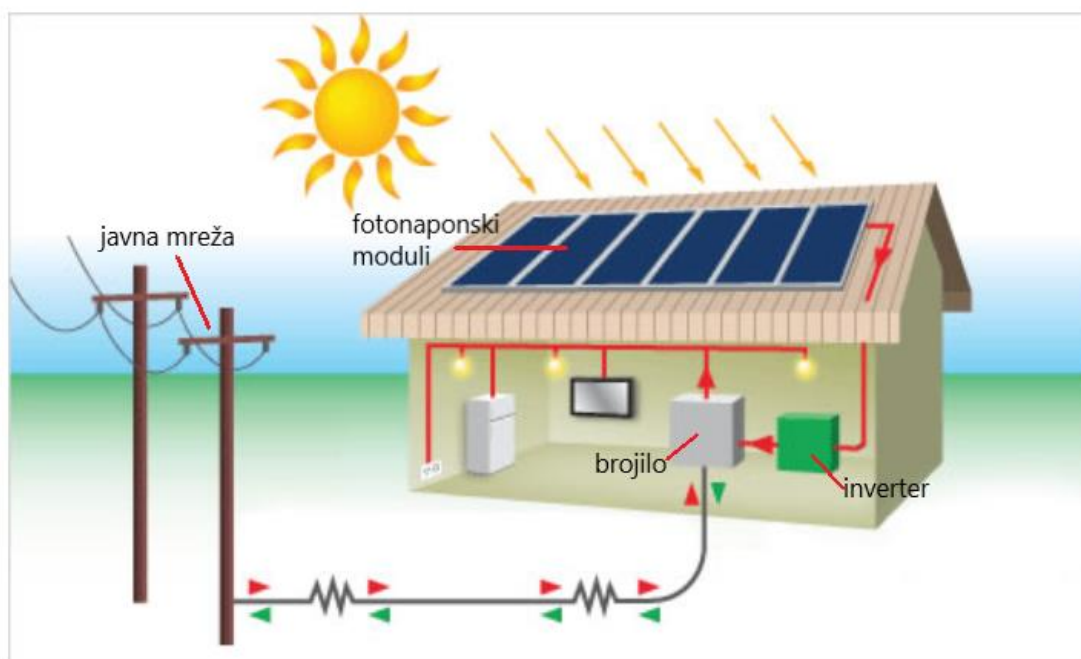


Slika 4 FN sustav postavljen na zgradu (11)

2.2 Problematika požara i fotonaponskih sustava

Izvedba i pouzdanost FN modula još uvijek su potencijalni problemi zbog sve većeg broja slučajeva ranog kvara i degradacije koji se uočavaju. Osim ovih, postoje rizici od požara povezani s fotonaponskim modulima budući da moduli sadrže zapaljive materijale. Kao tehnologija koja se primjenjuje na stambenim i komercijalnim zgradama, ključno je da FN sustavi ne uzrokuju oštećenja u zgradama niti ugrožavaju korisnike tih zgrada. Pravovremeno, brzo i točno otkrivanje i mjerenje kvarova važno je za proizvodnju učinkovitih i trajnih modula. FN moduli su izloženi različitim vrstama opterećenja okoline tijekom cijelog svog vijeka, koji mogu ugrožavati njihov rad. Od početne faze proizvodnje do završne operativne faze, oni doživljavaju različite vrste toplinskih i mehaničkih

opterećenja, vlažnih uvjeta itd. Čak i tijekom faze proizvodnje, skloni su oštećenjima zbog toplinskih i mehaničkih procesa uključenih u proizvodnju. Prijevoz modula, rukovanje i ugradnja mogu postati izvor mehaničkih opterećenja i proizvesti neke nedostatke. Nakon toga, FN moduli prolaze kroz složene radne uvjete i mogu se oštetiti vlagom, korozijom, ultraljubičastim zračenjem, toplinskim opterećenjem, mehaničkim opterećenjem, prljanjem itd. tijekom rada. (12,13)



Slika 5 Shema mrežnog FN sustava (14)

Rizik od požara u fotonaponskim sustavima tijekom godina postao je značajan te je pokrenuo proces uključivanja različitih organizacija kako bi se definirala pravila i smjernice za ugradnju samih solarnih panela radi smanjenja rizika od požara. Postoje rizici od požara povezani s FN modulima instaliranim na terenu, FN primijenjenim u zgradama (moduli postavljeni na krov), vidljivi na slici 5, i integriranim FN modulima (slika 4) u zgrade (FN krovne ploče, FN fasade itd.). Požari mogu započeti zbog kvarova u FN ćelijama, rizik od požara može se povećati širenjem požara preko panela. Dim od požara na FN sustavima može ući u zgrade kroz prozore i otvore na krovu (npr. dimnjaci i ventilacijski otvori), stvarajući toksične uvjete za ljude unutar i oko građevine, što može dovesti do ozljeda udisanja dima s obzirom da solarni paneli i baterije sadrže otrovne kemikalije. Požare koji su uključivali FN sustave možemo podijeliti u dvije kategorije, „originalni“ požar što znači da je do njega došlo zbog kvara ili defekta na samom sustavu. Druga opcija je „žrtveni“

požar koji opisuje onaj koji nije nastao na sustavu, već negdje drugdje, ali je u konačnici zahvatio fotonaponski sustav. Originalni požar može biti na fizički, okolišni i električni. (10,13,15)

Originalni scenariji požara uključuju probleme i kvarove unutar fotonaponskog sustava i njegovim komponentama. Fizički kvarovi unutar ćelija, poput puknutih ćelija, slomljenih lemljenih spojeva i kratkih spojeva, mogu izazvati požar. Loša veza između modula, FN nizova i invertera, koji su povezani u seriju, može uzrokovati izbijanje požara. Što se tiče mjesta instalacije, kvarovi u FN sustavu mogu se kategorizirati u tri glavne skupine: kvarovi u nizovima modula, kvarovi u jedinici za napajanje, nepravilnost na mreži. Električnoj kategoriji pripada pojava *hot spota*, koji je čest uzrok požara, a to označava situaciju u kojoj se dio solarnih ćelija ili pojedinačna ćelija zagrije više od okolnih dijelova. Ova pojava obično nastaje zbog neujednačenog osvjetljenja ili oštećenja na površini fotonaponskog modula. Kada je dio ćelija zaklonjen ili oštećen, dolazi do neujednačene proizvodnje energije, a energija koja se ne može koristiti pretvara se u toplinu, a ako temperatura postane dovoljno visoka može doći do požara. Ukoliko dođe do nesrazmjera, zbog razlike u radu između pojedinačnih solarnih panela u nizu, koja može biti uzrokovana zasjenjivanjem na ograničenom području na površini ili degradacijom nekih ćelija, može doći do požara. Električni luk poznat je po svom svjetlosnom isijavanju. Osim oštećenja očiju, uzrokovanih tim svjetlom, električni luk se ističe i po izuzetno visokim temperaturama, stoga je potencijalni uzročnik požara. Kvarovi linija-linija događaju se kada dođe do neočekivanog kratkog spoja između dva čvora u FN nizu s različitim potencijalima. FN sustav doživljava razne vrste kvarova u komponentama kao što su kvarovi u fotonaponskom modulu, kvarovi pretvarača, kvar razvodne kutije, kvar diode, oštećenje kabela, greška neusklađenosti, greška uzemljenja, itd. Okolišnoj kategoriji pripadaju požari uzrokovani zasjenjivanjem do kojeg dolazi nakupljanjem prašine, prljavštine ili lišća te su moduli prekriveni, ili zasjenjivanjem od strane drveća ili zgrada u okolini, što utječe na rad samih modula. Što je veća površina modula prekrivena i opasnost je veća. Dokazano je da nejednolikim radom može doći do pregrijavanja, a samim tim i do požara. (10,13,15)

Druga važna klasifikacija odnosi se na slučajeve u kojima su fotonaponski sustavi zapaljeni vanjskim izvorom požara. Incidenti uzrokovani ljudskim djelovanjem uključuju scenarij požara u kojem je požar već započet na drugim mjestima i kasnije se širi u području fotonaponskog sustava. Požari fotonaponskih sustava mogu se započeti zbog prirodnih

opasnosti poput munja, oluja, požara i povećanja vanjske temperature. Požari i toplinski valovi povezani su s pitanjem klimatskih promjena, a očekuje se da će ovi katastrofalni događaji postati učestali i ekstremni. Posebno, toplinski valovi smanjuju razinu sigurnosti fotonaponskih sustava jer povećavaju okolne temperature i ugrožavaju radnu opremu. Povećana temperatura može ubrzati degradaciju kontakata fotonaponskih ćelija. (10,13,15)

Fotonaponski paneli obično su slojeviti i izrađeni od silikona kao poluvodiča i drugih slojeva poput PET-a (polietilen-vinil acetata), TPT-a (tedlar-poliestera-tedlar), EVA-e (etilen-vinil acetata) te nekih zaštitnih slojeva itd. Svaki od ovih materijala doprinosi karakteristikama požara i emisijama dima/toksičnih plinova koji utječu na ljude i okoliš. Opseg širenja plamena ovisi o svojstvima gorenja fotonaponskog sustava i uvjetima okoline poput temperature zraka i vjetra koji utječu na gorenje. Sastav ispušnih plinova potpuno je različit za vrstu fotonaponskog sustava i materijale korištene za zadnje slojeve ili zaštitne slojeve. Jedan od glavnih i najuočljivijih i rezultata požara je dim. U nekim stadijima paljenja nema vidljivog plamena, ali se proizvodi dim. To može dovesti do degradacije kvalitete zraka. Stoga, bez odgovarajuće ventilacije, stanje može postati nepodnošljivo za ljude. To je donekle povezano s mješavinom vode i ostataka; toksične tvari koje mogu zagađivati tlo. (10)

Opasnost od požara fotonaponskih sustava porasla je i više nije zanemariva. Požari su se dogodili uglavnom na sustavima instaliranim na stambenim i industrijskim zgradama i pokrenuli su proces uglavnom usmjeren na razvoj propisa za proizvode i instalaciju usmjerenih na minimiziranje tog rizika. Prisutnost fotonaponskog sustava prilikom požara može stvoriti dodatne opasnosti kao što su padovi, strujni udar, a dodatna težina solarnih panela na krovnoj konstrukciji može dovesti do urušavanja dijela krovne konstrukcije tokom požara. Zatim, površina fotonaponskih panela predstavlja povećani rizik od klizanja koje može dovesti do pada s visine te je smanjena mogućnost kretanja po samoj površini krova. Uz sve to, glavnu problem predstavlja prisutnost električne energije koja najčešće potpuno onemogućuje pristup vatrogasaca požaru te samim time ograničenu mogućnost gašenja istog. O tome govori par primjera požara u svijetu na gospodarskim zgradama, skladištima, obiteljskim kućama gdje su vatrogasci samo promatrali požar i pazili da se ne proširi na susjedne zgrade. Upravo zbog toga bitno je da postoje ujednačene smjernice i pravila za instalaciju i održavanje samih fotonaponskih sustava kako bi se izbjegla mogućnost nastanka požara, ali i lakša i sigurnija borba u slučaju požara. (16,17)

Istraživanje provedeno od strane *Italian National Firefighters Brigade* prikazuje da je došlo do 1600 požara od 590 tisuća instaliranih fotonaponskih sustava, što čini otprilike 0,3 %, u Italiji instaliranih sustava. (18) U Njemačkoj je u periodu između 2011. i 2013. godine prijavljeno otprilike 430 požara na sustavima od 1,3 mil. koji su instalirani, a polovica požara nastala je upravo na fotonaponskom sustavu. Više od polovice požara dogodilo se na sustavima koji su bili postavljeni na građevinu. Zaključak je da je najveći uzrok požara greška pri instaliranju ili greška na proizvodu. (10) Istraživanje požara u četiri države, SAD, Italija, Njemačka i Australiji pokazuje kako je broj požara koji su povezani uz FN module po MW instalirane snage po godini najveći u Italiji (0,0326 požara/MW/godina), zatim Australiji (0,0268 požara/MW/godina), Njemačkoj (0,0016 požara/MW/godina) pa SAD-u (0,0010 požara/MW/godina). (19)

3 PRIMJERI POŽARA SA FN PANELIMA

3.1 Muzej *We The Curious*, Bristol, UK

Veliki požar izbio je, u travnju 2022., u znanstvenom muzeju "We the Curious" u Bristolu u Ujedinjenom Kraljevstvu. Crni dim, vidljiv na slici 6, izazvan požarom, širio se iz muzeja i vidio se kilometrima daleko (slika 7), dok je plamen izbijao s krova zgrade. Nakon oglašavanja požarnog alarma, vatrogasci i policija su stigli na mjesto događaja nakon otprilike sat vremena od nastanka požara. Vatrogasci su uspjeli ugasiti požar koristeći dizalice kako bi se popeli iznad požara koji se širio s krova zgrade (20,21)



Slika 6 Dim koji se širio iznad muzeja tijekom požara (20)

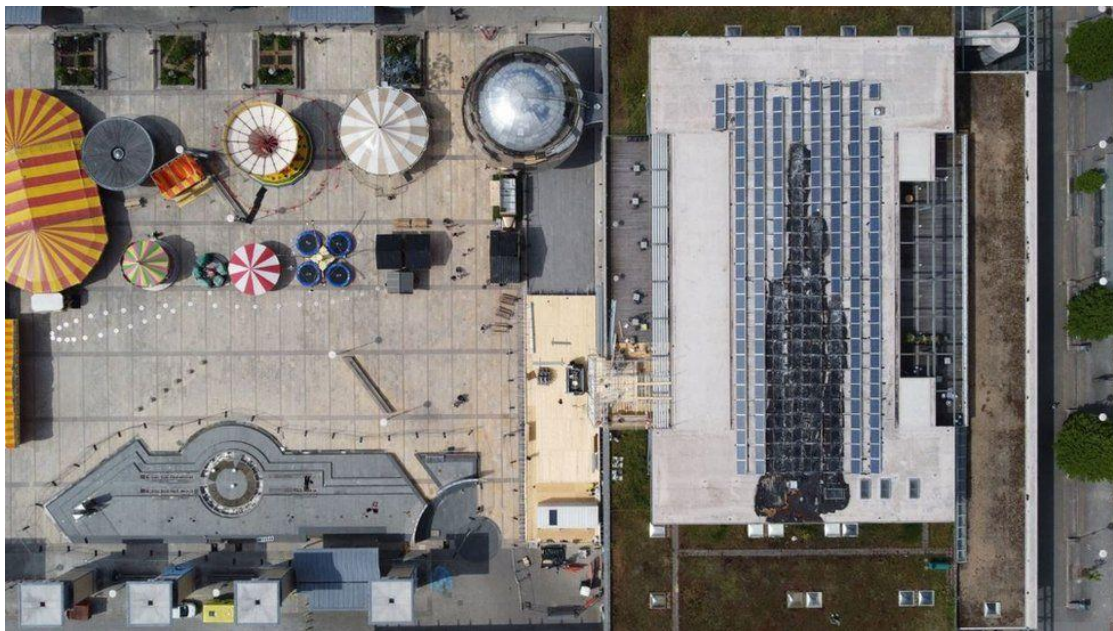


Slika 7 Vatrogasci na dizalicama gase požar (20)

Uspješno je provedena evakuacija svih osoba koje su se u trenutku požara nalazile u samoj zgradi muzeja, ali i okolnih zgrada te cesta.(20)

Upravitelj vatrogasne postaje rekao je kako su solarni paneli, koji su se nalazili na krovu zgrade, bili uzrok samog požara. Kasnije, izjavljeno je kako su požar najvjerojatnije uzrokovale ptice koje su oštetile dijelove solarnih panela, najvjerojatnije kablove, te uzrokovale električni kvar i tako uzrokovale požar koji se nastavio širiti krovom.(21)

Sama građevina pretrpjela je oštećenje (slika 8) od požara, ali i vode koja je korištena prilikom gašenja požara. Trenutno još uvijek traje obnova muzeja, što uključuje: potpunu obnovu drugog kata, koji je u potpunosti uništen vodom, uvođenje novih električnih instalacija, djelomičnu obnovu prvog kata i postavljanje novog krova s novim sustavom solarnih panela. (22)



Slika 8 Pogled na oštećeni krov (23)

3.2 Amazon skladište, Fresno, Kalifornija i Perryville, Maryland, SAD

2020. godine u Kaliforniji je izbio požar u skladištu Amazona, a koliko je taj požar bio velik da se zaključiti na temelju gustog dima koji je izbijao sa krova samog skladišta veličine oko 80 000 m². Na gašenju samog požara sudjelovao je oko 50 vatrogasaca.

Okvirno 20 solarnih panela i druga oprema na objektu, oštećeni su u požaru, koji je uzrokovan nepoznatim električnim kvarom unutar solarnog sustava postavljenog na vrhu krova. Svi radnici, njih otprilike 600, na vrijeme su evakuirani i vatra je zaustavljena. (24)



Slika 9 Širenje požara na krovu (24)

Nešto više od godinu dana kasnije, u lipnju 2021., izvješća lokalnih medijskih izvora navode kako je otprilike 60 vatrogasaca pozvano na još veći objekt Amazona u Perryville-u, Maryland, kako bi ugasilu požar na krovu sa solarnim panelima. Požar je nastao na samim solarnim panelima iako nije utvrđeno što se točno dogodilo, a rezultirao je u šteti od \$500,000. (24,25)



Slika 10 Gusti, crni dim uzrokovan požarom (25)

U međuvremenu, tijekom tog razdoblja, najmanje su četiri druga Amazon centra za ispunjavanje narudžbi zahvatile vatre ili su doživjele eksplozije uzrokovane električnim kvarovima u njihovim solarnim sustavima, prema internim dokumentima tvrtke.

Upravo zbog toga, Amazon je dobrovoljno isključio solarno postrojenje na lokacijama u Sjevernoj Americi i odmah poduzeo korake za inspekciju svake instalacije uz pomoć vodeće tvrtke za tehničko stručno znanje o solarnoj energiji. Prilikom pregleda utvrđeno je više od 200 problema. Problemi uključuju nespojene konektore između modula, nepravilnu instalaciju konektora, loše upravljanje žicama i dokaze o prodoru vode u pretvarače.(24)

3.3 Dietz&Watson skladište, Delanco, New Jersey, SAD

Veliki požar koji je teško oštetio skladište hrane na jugu New Jerseya gorio je gotovo 72 sata, nakon što je izbio u rujnu 2013. godine. Više od 300 vatrogasaca se borilo s požarom u distribucijskom centru Dietz&Watson u Delancu. Službena izjava je bila da je otprilike 50 posto požara bilo kontrolirano, ali njihovi napori su bili otežani problemima s opskrbom vodom i prijetnjom od električnog udara zbog tisuća solarnih panela na krovu zgrade. Gusti crni dim, prikazan na slici 11, mogao se vidjeti kako se diže s krova objekta na kilometre daleko. (26)



Slika 11 Dim uzrokovan požarom (27)

Čak i bez solarnih panela, zgrada te veličine predstavlja značajan izazov pri gašenju požara. Električni udar i opasnost od klizanja ili zapinjanja na krovu sa solarnim panelima, kojih je u ovom slučaju bilo oko 7000, su samo nekoliko od svih potencijalnih opasnosti u borbi protiv požara na konstrukcijama sa solarnim panelima. Ostale uključuju urušavanje

konstrukcije zbog težine panela na krovu i izloženost inhalaciji, budući da solarni moduli izloženi vatri mogu proizvesti otrovne plinove. (28)

Sami požar krenuo je negdje u sredini tvornice, ali je zahvatio solarne panele te se vrlo brzo širio po samom krovu. Sve to rezultiralo je urušavanjem konstrukcije prikazano na slici 12, potpunim uništenjem samog skladišta i do velikih financijskih gubitaka. (28)



Slika 12 Posljedica požara (28)

3.4 Sjedište tvrtke Organic Valley, La Farge, Wisconsin, SAD

U svibnju 2013. godine došlo je do požara u korporativnom sjedištu Organic Valley u mjestu Lafarge, Wisconsin. Zgrada je bila zaštićena automatskim sprinkler sustavom s mokrim cijevima, dok je tavan bio zaštićen suhim cijevima.(29)

Požar je započeo unutar zgrade i proširio se na tavan. Krov zgrade bio je prekriven nizom solarnih panela, što je otežalo vatrogascima gašenje požara, uz to u nekom trenutku tijekom razvoja požara, metalni krov je bio pod naponom, što je ometalo intervenciju vatrogasaca.(29)

U konačnici, vatra i dim su oštetili otprilike dvije trećine zgrade, ali evakuacija je bila u potpunosti izvršena te nije bilo ozlijeđenih. (30)

4 MEĐUNARODNE SMJERNICE

4.1 Uvod

U Republici Hrvatskoj danas u sklopu važeće literature koja obrađuje požar nema odredba koja se izričito odnosi samo na zaštitu od požara za građevine koje imaju fotonaponski sustav niti postoje službene smjernice i pravila. Upravo zbog toga, u praksi se projektanti pridržavaju smjernica i pravila koje su općeprihvaćene u ostatku Europe.

Regulativa za zaštitu od požara u pogledu fotonaponskih sustava potrebna je iz više razloga poput, prevencije požara, sigurnost ljudi, zaštite imovine, zaštite okoliša, ali i standardizacije. Fotonaponski sustavi uključuju niz električnih komponenti i sustava za pohranu energije. U slučaju kvara ili nepravilnosti, postoji rizik od požara koji može ugroziti živote ljudi koji su u blizini tih sustava. Požari izazvani kvarom na fotonaponskim sustavima mogu uzrokovati ozbiljne štete na imovini, uključujući zgrade, vozila ili neke druge objekte. Regulativa može postaviti standarde i smjernice kako pravilno instalirati, održavati i upravljati fotonaponskim sustavima kako bi se smanjio rizik od požara. Pravilna regulativa može sadržavati smjernice za prevenciju požara, uključujući specifikacije za sigurnosne sustave, uređaje za gašenje požara i druge mjere koje mogu smanjiti vjerojatnost izbijanja požara u fotonaponskim sustavima. Regulativa može sadržavati smjernice o održivosti i sigurnom zbrinjavanju sustava nakon njihova životnog vijeka kako bi se smanjio negativan utjecaj na okoliš. U konačnici, određivanjem pravila i smjernica mogu se postaviti standardi za postavljanje fotonaponskih sustava kako bi se osigurala njihova usklađenost s određenim sigurnosnim normama. Certifikacija može potvrditi da su sustavi prošli određena ispitivanja i ispunjavaju sigurnosne zahtjeve.

U nastavku ovog rada objašnjene su neke od smjernica iz određenih država Europe. Prvo je obrađen vodič za postavljanje fotonaponskog sustava, naziva VdS 3145 : 2017-11 *Photovoltaikanlagen* (31), od strane njemačke organizacije, koja se bavi certificiranjem, inspekcijom i pružanjem informacija o sigurnosti i zaštiti od gubitka, VDE Renewables GmbH i njemačkog udruženja osiguravatelja Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV). Zatim su obrađene smjernice, pod nazivom CFPA E Guideline No 37:2018 F *Photovoltaic systems: Recommendations on loss prevention* (11), koje je izdalo udruženje *Confederation of Fire Protection Associations Europe* (CFPA-Europe). Smjernice su izrađene kako bi se postiglo slično tumačenje u europskim zemljama. CFPA E ima za cilj olakšati rad na zaštiti od požara i prirodnih opasnosti i sigurnosti u

europskim zemljama, ali tamo gdje su smjernice i nacionalni zahtjevi u sukobu, moraju se primjenjivati nacionalni zahtjevi. Obraden je i vodič RC62: *Recommendations for fire safety with PV panel installations* (32) koji je objavljen od strane *Fire Protection Association* (FPA). Služi kao vodič koji navodi kako bi svi solarni sustavi trebali biti dizajnirani, instalirani, pušteni u rad, održavani kako bi sustav sigurno i učinkovito proizvodio električnu energiju. Zadnje je obrađena smjernica SZPV 512 *Smernica o požarni varnosti sončnih elektrarn* (33), koju je objavilo *Slovensko združenje za požarno varstvo* koja daje upute o pravilnom postavljanju, korištenju, upravljanju i održavanju fotonaponskih sustava.

4.2 VdS 3145 : 2017-11 Photovoltaikanlagen

Smjernice obrađuje fotonaponske sustave priključene na električnu mrežu (FN sustavi). Namijenjeno je ponajviše projektantima, instalaterima i ispitivačima električnih sustava, operaterima te vlasnicima zgrada. Također, smjernice daju upute o sprječavanju nastanka štete prema iskustvima osiguravatelja. (31)

Fotonaponski sustavi priključeni na električnu mrežu (nadalje u tekstu FN sustavi) pretvaraju sunčevu svjetlost u električnu energiju koja se pohranjuje u javnu mrežu el. opskrbe, privremeno se skladišti ili se samostalno koristi. FN sustavi sastoje se od sljedećih komponenti, prikazano na slici 13, (31):

1. FN generatora, koji se može sastojati od jednog ili više međusobno povezanih fotonaponskih modula.
2. razvodne kutije (neobavezno), koja je potrebna za dovod pojedinih žica te može sadržavati i uređaje za zaštitu, npr. prenaponske zaštitne uređaje, žičani osigurač
3. ožičenje na strani istosmjerne struje
4. rastavne sklopke
5. invertere, koji pretvaraju istosmjernu struju (dalje u tekstu DC) i napon istosmjerne struje u izmjeničnu struju (dalje u tekstu AC) usklađenu s mrežom
6. ožičenje na strani izmjenične struje
7. pomoćni razdjelnik inverter
8. mjerač isporuke i/ili brojač vlastite potrošnje
9. spremnik električne energije (neobavezno)



Slika 13 Komponente fotonaponskog sustava (31)

4.2.1 Opasnosti

Kao i u svakom kompleksnom tehničkom sustavu, fotonaponski sustavi mogu dovesti do opasnosti, primjerice uslijed greške u planiranju i/ili izvedbi. Osim toga, zbog same funkcije, FN sustavi izloženi su brojnim vanjskim opasnostima. Uz to, pokazalo se da postoje i druge opasnosti - upravitelji FN sustava zanemaruju svoje sustave. Ako postoje okolnosti s unajmljenim krovnim/fasadnim površinama, potrebno je prilikom potpisivanja ugovora dodati stavku prema kojoj se upravitelj zgrade i upravitelj FN sustava sagledavaju, da u slučaju da upravitelj FN sustava ne ispoštuje svoje obaveze, koje opasnosti mogu nastupiti za zgradu. (31)

4.2.2 Zaštita

Mjere zaštite za FN sustave opisane u ovom izdanju nadopunjuju postojeća pravila struke te ciljaju na sprječavanje prekida rada i materijalne štete ili je što je moguće više umanjuju. Ovo se postiže mjerama ograničenja opasnosti te mjerama osiguranja kvalitete tijekom planiranja, izvedbe, korištenja i upravljanja FN sustava. (31)

Mjere zaštite moraju biti uključene u koncept zaštite. Pomoću tih mjera opasnosti specifične za pojedinu građevinu uzimaju se u obzir i time se postižu relevantni ciljevi zaštite, npr. zaštita osoblja, okoliša i imovine. Sljedeće izvedbe ciljaju utvrditi odgovarajuće mjere u okviru koncepta zaštite specifičnog za pojedini objekt. Potreban opseg zaštite FN

sustava može varirati ovisno o rezultatu procjene pojedinog objekta. Prilikom davanja naloga za planiranje i izvedbu FN sustava, upravitelj mora potvrditi:

- da planer raspolaže potrebnim stručnim znanjima i iskustvom. U protivnom je potrebno angažirati dodatne stručnjake, npr. staričara, krovopokrivača, stručnjaka za FN sustave itd.
- da je osoblje koje provodi izvedbu dovoljno kvalificirano za taj posao
- da je predana temeljna dokumentacija, npr. propusnica za FN sustav te po potrebi i propusnica za pohranu
- da je dogovoreno završno ispitivanje sustava od strane npr. nezavisnog stručnjaka za FN sustave (31)

Kako bi se odabralo odgovarajuće mjesto montaže potrebno je unaprijed odgovoriti na sljedeća pitanja:

1. Koje opasnosti iz okruženja su očekivane? Npr.:
 - a. udar groma, preopterećenje
 - b. krađa, vandalizam
 - c. šumski ili livadski požar (instalacije na tlu)
 - d. potres
 - e. klizanje tla
 - f. slijeganje tla
 - g. poplave
 - h. pritisak leda i snijega
 - i. tuča, oluja
 - j. privremena onečišćenja (npr. ptičji izmet, lišće)
 - k. agresivne tvari, npr. vlaga, prašina
2. Koji su dodatni zahtjevi za zgradu koji nastaju zbog montaže (npr. statička opterećenja krova ili konstrukcija fasade zbog vlastite težine ili opterećenja vjetra i snijega)?
3. Može li montaža utjecati na nepropusnost krova?
4. Koja međudjelovanja mogu nastati za već dostupne tehničke instalacije na zgradi, npr. sustavi zaštite od groma, odvod zraka?
5. Može li zbog dimnjaka, stupova i krakova, drveća, tavanjskih prostora doći do zasjenjivanja?

6. Jesu li dozvoljene promjene na postojećoj građevinskoj konstrukciji koje prate ugradnju i učvršćenje FN sustava i jesu li tim postupcima ugrožene sigurnosti, kao npr. nepropusnost ravnih krovova?
7. Postoje li za mjesto montaže odgovarajući FN moduli?
8. Postoje li odgovarajući montažni sustavi i jesu li dostupne preporuke proizvođača?
9. Jesu li potrebne mjere kako bi se ponovno uspostavila prvobitna funkcija konstrukcije, tj. održala ista, npr. nepropusnost, toplinska izolacija i zaštita od požara?
10. Javlja li se povećan rizik zbog korištenja zgrade, npr. povišena opasnost od požara zbog korištenja i obrade drva?
11. Je li potrebno ažurirati već postojeći koncept zaštite od požara?

Na temelju ovoga može se zaključiti je li planirana instalacija FN sustava moguća i ispravna, npr. na dostupnim krovnim ili fasadnim konstrukcijama. (31)

Kako bi FN moduli podnijeli vremenske uvjete navedene u prošloj točki, potrebno je ugrađivati samo one FN module koje su certificirale ovlaštene ustanove za ispitivanje. Prilikom postavljanja FN modula i drugih sustavnih dijelova na krovu potrebno je uvijek paziti na to da se izbjegava mogućnost nastanka požara te da se u slučaju požara onemogućuje širenje požara na velike površine. Za to predviđene mjere su:

- prostorno odvajanje modula dovoljnim razmakom koji je s obje strane omeđen s požarnim zidom,
- podjela povezanih modulnih površina,
- konfiguracija FN modula s dozvoljenim razmakom oko sustava za odvod dima i topline
- čuvanje krovne površine za održavanje krovne konstrukcije i nadgrađe (31)

Kako bi se spriječilo širenje požara, FN moduli i nezaštićeni kablovi ne smiju voditi preko požarnog zida, u skladu sa postojećim zakonom (prikazano na slici 14). Ako se polaganje kablova preko ili kroz požarni zid ne može izbjeći u iznimnim slučajevima, kablove je potrebno sigurno postaviti, npr. pomoću pregrada ili negorivih kanalicā (prikazano na slici 15). Iskustva su pokazala da korištenje izolacija ne predstavlja trajno rješenje. Kako bi se održala razina sigurnosti, korišteni građevinski materijali moraju biti dokazano odgovarajući za vanjsku primjenu te u skladu s tim biti otporni na nepovoljne vremenske uvjete. (31)



Slika 14 Nedozvoljeno postavljanje kablova preko požarnog zida (31)



Slika 15 Postavljanje kablova preko požarnog zida uz pomoć protupožarnih kanala (31)

FN moduli u krovu ili ugrađeni u fasadu moraju biti sastavni dio same konstrukcije građevine te po potrebi preuzeti funkciju zaštite krova odnosno fasade, npr. zaštita od kiše tj. moraju ispunjavati građevinsko-pravne zahtjeve. S obzirom na protupožarnu zaštitu, potrebno je između ostalog navesti i sljedeće:

- načelo: korištenje najmanje zapaljivih/gorivih građevinskih materijala
- krovni sustavi:
 - FN moduli za ugradnju u krovne površine moraju u skladu sa lokalnom regulativom ispunjavati zahtjeve „čvrstog krovišta“
 - FN moduli u krovštima industrijskih i namjenskim građevinama, poput bolnica, knjižnica itd., moraju po potrebi ispunjavati i dodatne zahtjeve, npr. dokaz ograničenja širenja požara u krovu pod djelovanjem započetog požara od dolje
 - FN moduli koji se sastoje od stakla ili ga sadržavaju preuzimaju istodobno funkciju nadzemnih ostakljenja i moraju ispunjavati za to relevantne zahtjeve
- fasadni sustavi:
 - FN moduli u industrijskoj gradnji i neboderima moraju se sastojati od nezapaljivih građevinskih materijala kako bi se spriječio prijelaz plamena s razine ispod na razinu iznad
- FN moduli u prizemnim industrijskim gradnjama bez automatskih instalacija za gašenje požara i u više-etažnim industrijskim gradnjama s automatskim sustavima za gašenje moraju se sastojati od teško zapaljivih građevinskih materijala

- FN moduli u zgradama koje su jedna uz drugu ili u proširenim zgradama moraju dokazivati dovoljan razmak od požarnog zida, prema potrebi je uz to potrebno uzeti u obzir posebne požarno-tehničke zahtjeve na ventiliranim fasadama (31)

Dokaz o protupožarnim karakteristikama može se dobiti iz dokaza o upotrebljivosti, npr. građevinskom dozvolom za teško zapaljive građevinski materijale, opći certifikat za čvrsta krovništa koji treba biti već dostupan na gradilištu te predan naručitelju. (31)

FN moduli na stajama ili u blizini staja trebaju biti otporni na agresivnu vlagu ili prašinu, npr. amonijak. U suprotnom, moduli mogu prerano zastarjeti. (31)

4.2.3 Montaža

Montaža solarnog modula ne smije utjecati na funkcionalnost dodirnih građevinskih dijelova (krov, fasada). S obzirom na to, potrebno je provjeriti posebne okolnosti vezane uz temperaturno širenje, kontaktnu koroziju i dr. Naputak za instalaciju i učvršćivanje koje izdaje proizvođač potrebno je temeljito proučiti. (31)

Montažni sustav se može sastojati od sljedećih elemenata: pričvršćenja na nosećim građevinskim konstrukcijama (krovu, vanjskom zidu), npr. krovne kuke, hvataljke, itd., podkonstrukcija, npr. sustav za šipke, postolja za suspenziju na krovu,... Montažni sustav mora biti primjeren za prihvat predviđenih FN modula bez potencijalnog oštećenja, po potrebi biti osiguran od krađe na adekvatan način, odgovarati specifikacijama proizvođača modela, iscrpno dokumentiran, uključujući sve pojedinačne komponente i relevantne mehaničke karakteristike. (31)

Prilikom ugradnje montažnih sustava, uvijek je potrebno osiguravati da se:

- koriste odgovarajući elementi prema naputcima proizvođača,
- pridržava smjernica ugradnje koje je izdao proizvođač
- ne oštećuju granični građevinski dijelovi tj. da ugradnja ne utječe na njihovu konstruktivnu i građevinsku funkciju.

4.2.4 Električne komponente

Potrebno je pridržavati se odrednica za ugradnju DIN VDE 0100 *Low-voltage electrical installation* (34). (31)

Isporuke struje dozvoljene su isključivo u za to predviđenim strujnim krugovima pomoću normiranih utičnica.(31)

Radi sigurnog rada, inverteri moraju biti certificirani u skladu sa sljedećim normama:

- DIN EN 62109 VDE 0126-14-2 *Safety of power converters for use in photovoltaic power systems - Part 2: Particular requirements for inverters* (35),
- DIN VDE V 0126-1-1 *Automatic disconnection device between a generator and the public low-voltage grid* (36).

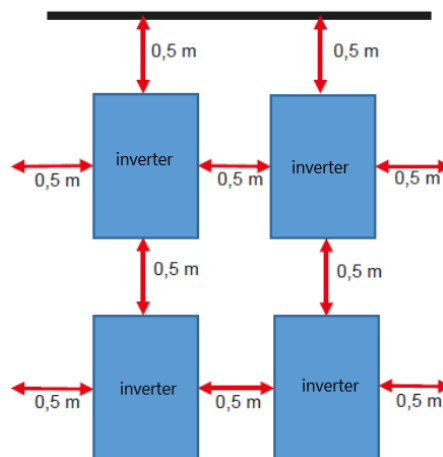
Kako bi se osigurao dulji životni vijek invertera uz visoku učinkovitost isti se moraju precizno dimenzionirati i ugraditi. (31)

Sljedeći su naputci važni za odabir invertera, mjestu njegove montaže od strane planera i izvođača:

- pridržavati se naputaka proizvođača, npr. granične vrijednosti zadane temperature okruženja, najmanji razmak od zapaljivih materijala i osiguranje dovoljnog strujanja zraka,
- odgovarajuće mjesto za ugradnju:
 - na temelju potencijalne opasnosti od požara, inverteri se ne smiju ugrađivati na zapaljivom postolju, kod montaže invertera na zapaljivom postolju je za montažu potrebno koristiti nezapaljivu montažnu ploču,
 - potrebno je odabrati što hladnije mjesto za postavljanje, jer visoke temperature rada mogu skratiti životni vijek,
 - potrebno je odabrati mjesto montaže koje je zaštićeno od vlage i agresivnog okolišnog zraka, po mogućnosti suho područje i bez prašine, kako bi se spriječila korozija i nakupljanje prašine te nastanak šteta,
 - inverteri u vanjskim prostoru moraju biti zaštićeni od izravnog sunčevog zračenja
 - ne smiju biti montirani u područjima gdje postoji opasnost od eksplozije,
 - montažno mjesto mora odgovarati dimenzijama i težini invertera,
 - sustav opskrbe FN sustava el. energijom treba biti ugrađen iznad moguće razine poplave,
 - montaža u području s posebnim rizikom od požara u skladu s DIN VDE 0100-420 (34), npr. požarno rizična pogonska mjesta nije

dozvoljena, primjer takvih mjesta su mjesto za skladištenje stočne hrane, skladište laka, skladište drva ili pilane,

- potrebno je odabrati odgovarajući način zaštite - odgovarajućim mjerama tijekom ugradnje (npr. krovna zaštita) i odabirom odgovarajućeg montažnog mjesta smanjuju se zahtjevi uvjetovani vremenskim uvjetima te se sprječava nakupljanje lako zapaljivih tvari,
- uzeti u obzir opasnost od mraza prilikom postavljanja na otvorenom,
- ovisno o vlažnosti zraka i razlikama u temperaturi može doći do nakupljanja kondenzacije
- najveći dopušteni otvoreni napon zajednički uključenih FN modula ne smije prekoračiti dozvoljeno naponsko ograničenje invertera, potrebno je uzeti u obzir zahtjeve za priključenje na mrežu koje donosi operater mreže



Slika 16 Sigurnosni razmaci invertera (25)

Sve se više FN sustava opremaju ili dostavljaju sa sustavima za baterijsko skladištenje. Najčešće korišteni sustavi baterijskog skladištenja su olovne baterije ili litij-ionski akumulatori. Zbog visokog skladišnog kapaciteta stacionarnih kućnih spremnika te vrlo visoke gustoće energije oni predstavljaju poseban izazov za zaštitu od požara. Zbog toga se preporučuje koristiti samo certificirane baterijske sustave. Baterijski sustavi moraju biti uključeni u koncept zaštite od preopterećenja zgrade. Ako nije dostupan koncept zaštite od preopterećenja potrebno je sustav baterija zaštititi od preopterećenja. (31)

Potrebno je, između ostalog, konstruktivnim mjerama osigurati da se požar, koji nastane zbog kvara na baterijskoj ćeliji ili stacionarnom baterijskom spremniku ne proširi na

okolne ćelije ili komponente. Kod litijskih baterija, operativni prostor, koji se dobiva iz dozvoljenog napona ćelije i dozvoljene temperature ćelije, ima najveći prioritet. Napuštanje sigurnog radnog prostora ćelija može dovesti do teških oštećenja ili čak do požara ćelije (tzv. toplinski bijeg). Sigurnosne smjernice za litij-ionske kućne spremnike trebaju doprinijeti tome da se sigurni radni prostor litij-ionske ćelije ne napušta. (31)

U skladu s pravilima baterije moraju biti ugrađene u zaštićene prostore, npr. u baterijski prostor ili ormar. Zahtjevi opisani o postavljanju i pogonu baterija moraju se ispuniti i poštivati, npr. potrebno je pridržavati se uvjeta za postavljanje koje je izdao proizvođač, baterijski sustav ne smije biti postavljen u području gdje postoji opasnost od požara i eksplozije, mjesto postavljanja mora osiguravati zaštitu od ekstremnih okolišnih uvjeta (npr. sunčevo zračenje, visoke temperature, onečišćenja itd.), mjesto postavljanja ne smije biti u blizini lako zapaljivih materijala, baterijske sustave potrebno je testirati. (31)

Sljedećih se preporuka potrebno pridržavati prilikom postavljanja:

- vatrootporna pregrada baterijskog sustava (npr. kućište sustava ili prostora),
- stambeni prostori nisu prikladni za postavljanje
- instalacija detektora dima

4.2.5 *Kablovi i vodovi*

Odabir i postavljanje kablova i vodova na strani istosmjerne i izmjenične struje treba pratiti u skladu s dobro prihvaćenom inženjerskom praksom. Na strani istosmjerne struje ovo je posebno bitno jer ovdje uobičajena zaštita od kratkog spoja uz pomoć instalacija za zaštitu od prejake struje, npr. prekidači za nadstrujnu zaštitu nije učinkovita. Zbog toga je potrebno odabirati zaštitu koja maksimalno smanjuje rizik od uzemljenja i kratkog spoja, npr. korištenjem sigurnog postavljanja jednožilnih kablova ili kablova s plaštom. Opasnost od oštećenja kablova ili vodova potrebno je izbjeći tako da se kablovi ne postavljaju preko oštih rubova, prikazano na slici 17. (31)



Slika 17 Oštećenje vodova (31)



Slika 18 Nestručno postavljanje vodova (31)

Kako bi se spriječila opasnost za vodove istosmjerne struje od vanjskih utjecaja, potrebno je osigurati sljedeće:

- indukcija strujnih munja u vodovima istosmjerne struje može se smanjiti ili potpuno izbjeći: izbjegavanjem velikih petlja vodiča, postavljanjem metalnih cijevi ili kanalica, pri čemu su one obostrano uključene u izjednačavanje potencijala
- postavljati vodove za istosmjernu struju za postojeći napon istosmjerne struje, tj. uzimati u obzir najveći dopušteni istosmjerni napon voda,
- vodove postavljati u skladu s DIN VDE 0100-520 *Low-voltage electrical installations* (34), slobodno postavljanje kablova i vodova, kao što je vidljivo na slici 17, nije dopušteno,
- kablovi i vodovi ne smiju ležati izravno na krovnoj površini,
- kablovi i vodovi ne smiju biti u stalnom kontaktu s vodom,
- kablove i vodove potrebno je fiksirati ili postavljati u sustave za vođenje kablova,
- kableske vezice nisu namijenjene okomitim učvršćivanjima kablova i vodova jer postoji opasnost od toga da se uslijed točkastog opterećenja oštećuje izolacija

- otvoreno postavljani istosmjerni vodovi moraju biti otporni na UV-zračenje i ozon
- kod priključivanja aluminijskih kablova, potrebno je napraviti sljedeće:
 - priključnici moraju biti odgovarajući za aluminijske vodove,
 - s vodiča se moraju otkloniti oksidacijski sloj, npr. nožem
 - neposredno nakon uklanjanja oksidacijskog sloja, vodiče je potrebno očistiti premazom, npr. vazelinom te odmah potom ugraditi spojni terminal
- kablove i vodove treba zaštititi od ugriza životinje

Vodovi moraju biti otporni na agresivne tekućine i prašine, npr. amonijak. Ovaj plin se može osloboditi iz npr. gnojiva. Zbog opasnosti od električnih lukova, vodovi za istosmjernu struju ne smiju voditi u prostore u kojima se skladište lako zapaljive stvari, npr. slama. (31)

4.2.6 Kutije za priključak generatora i ostala kućišta

Kutije za priključak generatora i ostala kućišta moraju se odabirati u skladu s okolišnim uvjetima.

Kutije za priključak generatora moraju se izvoditi u klasi zaštite II (zaštitna izolacija). Moraju biti označeni znakom upozorenja jer aktivni dijelovi i nakon odvajanja od FN invertera mogu biti pod naponom. (31)

Kako bi se održale dozvoljene granične temperature, prilikom mjerenja kutija za priključak generatora i razdjelnika potrebno je uzeti u obzir faktor istovremenog rada, $g=1,0$. U većini je slučajeva dovoljna mjera ugradnja ugradbenih uređaja na razmaku od 1 do 2 TE. Za točan odabir ugradbenih vodova provjeriti nuputak proizvođača uređaja. (31)

4.2.7 Pregradne instalacije

U skladu s DIN VDE 0100-712 *Low-voltage installations* (34) na strani istosmjerne struje predviđena je rastavna sklopka. Prekidač istosmjerne struje omogućuje u slučaju kvara te pri radovima održavanja ili popravaka odvajanje od strane istosmjerne struje na inverteru. Pritom je potrebno paziti da je rastavna sklopka predviđena za odvajanje od istosmjernog napona. Često je ovakva sklopka već ugrađena u inverter. (31)

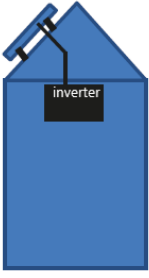
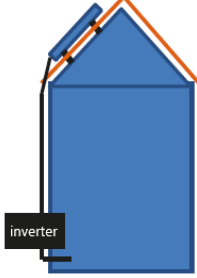
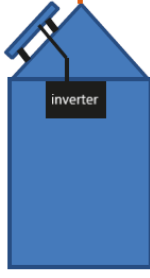
Pojam „sklopka za vatrogasce“ odnosi se na uređaj kod kojeg se strana istosmjernog napona FN sustava može aktivirati dodatnim mjestom aktivacije izmjenične struje koja se nalazi u blizini modula. Time se cilja smanjiti poteškoća prilikom suzbijanja požara, na način da se barem vodovi istosmjerne struje unutar zgrade mogu isključiti iz napona. (31)

Kablovi i vodovi na strani izmjenične struje moraju biti zaštićeni instalacijama za zaštitu od preopterećenja napona, npr. instalacijskim prekidačima za nadstrujnu zaštitu, sklopkom s osiguračima. Upotreba strujnih zaštitnih sklopki preporuča se zbog zaštite od

požara. Predviđene su i na drugim mjestima, npr. u poljoprivrednim objektima i određenim mrežnim sustavima. Kada nije predviđena strujna zaštitna sklopka i ako nema napatka proizvođača, ako u el. sustavu iznad invertera u slučaju kvara može doći do pogrešnog strujanja nužna je strujna zaštitna sklopka tipa B ili B+. Naprava za nadzor strujne zaštite koja je u pravilu ugrađena u inverter ne zamjenjuje strujnu zaštitnu sklopku. (31)

4.2.8 Prenaponska zaštita i zaštita od groma

Zaštita od groma prema znanstvenim saznanjima, postavljanje FN sustava ne povećava vjerojatnost udara groma u zgradu. Ipak, FN sustav ne smije utjecati na već dostupan sustav zaštite od groma. Zbog toga se uređaji za zaštitu od udara groma moraju međusobno uskladiti s FN sustavom. Slika 19 prikazuje moguće varijante koje se mogu izvesti na krovu zgrade u pogledu zaštite groma i FN sustava. Kako se postojeća zaštita od groma ne bi mijenjala, FN module je potrebno u cijelosti montirati u zaštitnom području uređaja za zaštitu od groma (slika 19, varijanta C). Pri tom je potrebno poštovati dovoljan pregradni razmak. Ako pregradni razmak iz tehničkih razloga ne može biti ispoštovan ili ako se FN sustav ne nalazi u zaštitnom području zaštite od groma (slika 19, varijanta B), moraju se ugraditi spojna sredstva koja mogu izdržati udar groma, između vanjske zaštite od groma i postolja FN modula. Kako bi se izbjeglo strujanje groma u zgradu, vodovi istosmjerne struje ne smiju voditi u zgradu, a inverteri i FN razdjelnici moraju biti smješteni izvan zgrade. (31)

	bez sustava zaštite od groma	sa sustavom zaštite od groma	
Zgrada	Oštećenja od groma su prihvatljiva	Oštećenja od groma nisu prihvatljiva	
FN sustav	Oštećenja od groma su prihvatljiva	Oštećenja od groma su prihvatljiva FN sustav nije integriran u sustav zaštite od groma te time nije zaštićen.	Oštećenja od groma nisu prihvatljiva FN sustav je integriran u sustav zaštite od groma te je time zaštićen.
Varijanta	a)	b)	c)
			

Slika 19 Varijante FN sustava i zaštite od udara groma (31)

Odabir uređaja za zaštitu od prenapona ovisi o tome postoji li vanjska zaštita od groma i ako kod postojeće vanjske zaštite od groma postoji potrební pregradni razmak i pridržava li ga se. Kako bi se izbjegla materijalna oštećenja i prekidi rada nužna je prenaponska zaštita za FN sustave, za energetska-tehnička i podatkovna kablova (31)

4.2.9 Zaštita od krađe

Koncept zaštite od krađe potrebno je dogovoriti u fazi planiranja u dogovoru s osiguravateljem. Posebno su ugroženi: FN sustavi na nestambenim ili udaljenim zgradama, npr. poljoprivrednim posjedima, školama, upravnim zgradama, skladišnim halama, sustavi na otvorenom, skladišteni dijelovi sustava. Kako bi otežali preprodaju ukradenih FN modula i invertera, isti bi trebali biti označeni teško uklonjivim serijskim brojevima. Vlasnik sustava treba napraviti popis sa serijskim brojevima te ga čuvati u sustavnoj dokumentaciji. FN moduli i inverteri mogu se i mehanički osigurati, npr. šarafima s dvodijelnim glavama i slabijim dijelovima ili vezanjem. (31)

4.2.10 Puštanje u pogon

Generatorski dio FN sustava ne može se isključiti bez ugradnje sklopnih naprava. Nakon spajanja priključnog kabla na module prisutan je istosmjerni napon. Opasnost strujnog udara i nastanka strujnog luka postoji, stoga stavljanje u pogon FN sustava predstavlja posebno rizičnu situaciju za operatere. Stavljanje u pogon smiju, u skladu s

normom za pogon električnih sustava te s pravilom strukovnog udruženja za rad s naponom, samo električari s posebnom obukom i iskustvom rada na danom radnom području. Prije stavljanja u pogon potrebno je pismeno utvrditi nužne radne korake i mjerenja. Opseg i način rada prve provjere električnog sustava utvrđeni su u normi za ispitivanje. S tim u vezi potrebno je isto tako testirati vanjsku zaštitu od udara groma. (31)

Ispitivanje uz pomoć termografske kamere može otkriti neispravne izvore topline nastale na kratko spojenim ćelijama, krivim lemovima, pukotinama na kojoj se nakuplja topline, električnim spojevima itd. koji mogu uzrokovati požar. Ove pretrage moraju provoditi ovlaštene stručnjaci za termografiju. Nakon stavljanja u pogon potrebno je operateru predati cjelovitu dokumentaciju FN sustava zajedno s planskim dokumentima i dokumentacijom o uređajima, uključujući i sve mjerne protokole. (31)

4.2.11 Upravljanje

Zgrade se moraju održavati u skladu sa saveznim građevinskim odredbama na način da ne ugrožavaju zdravlje i život ni prirodna sredstva za život. Ovo vrijedi i za FN sustave i dijelove sustava koji su ugrađeni na i u zgradi te su time sastavni dio te zgrade. Za održavanje (servisiranje, ispitivanje, stavljanje u pogon) te siguran pogon uvijek je odgovoran operater/vlasnik sustava. Operater FN sustava može poduzeti korake kako bi njegov sustav funkcionirao godinama na siguran i zadovoljavajući način. (31)

Redovnim vizualnim kontrolama mogu se pravovremeno otkriti oštećenja kao npr. oštećenja na izolaciji kablova, kućištu razdjelnika i invertera, FN generatorima i dr. Vizualne kontrole koje ovise o pojedinom događaju potrebno je provesti osobito nakon oluje ili nevremena. Pritom treba paziti jesu li pali predmeti poput grana na krov i jesu li time uzrokovale oštećenja? Jesu li nosači FN sustava oštećeni ili deformirani zbog oluje? (31)

Redovitim čišćenjem FN sustava smanjuje se opasnost od pregrijavanja primjerice invertera, a istovremeno se osigurava optimalna ventilacija kroz otvorene ventilacijske rešetke. Time se osigurava daljnji ispravni rad sustava, dugotrajnost elektronike te se smanjuje opasnost od požara. Treba napomenuti da onečišćeni FN moduli daju manji doprinos. Potrebni intervali čišćenja ovise o okolišnim uvjetima. Primjerice, zbog veće količine nataložene prašine u jednom poljoprivrednom pogonu logično je dvaput godišnje čistiti FN sustav. (31)

FN sustave je, kao i svake tehničke sustave, potrebno održavati i testirati u pravilnim intervalima. Stručno održavanje, kontrola i po potrebi popravak FN sustava provode samo

za to obučeni stručnjaci. Redovnim se ispitivanjem osigurava utvrđivanje tehničkih nedostataka, kvarova, onečišćenja te time veća učinkovitost. (31)

4.3 CFPA E Guideline No 37:2018 F Photovoltaic systems: Recommendations on loss prevention

Confederation of Fire Protection Associations Europe (CFPA-E) odlučila je izraditi zajedničke smjernice kako bi postigla slično tumačenje u europskim zemljama i pružila primjere prihvatljivih rješenja, koncepata i modela. CFPA-E ima cilj olakšati i podržati rad u zaštiti od požara u europskim zemljama. Tržište postavlja nove zahtjeve za kvalitetu i sigurnost. Danas, zaštita od požara predstavlja integralni dio modernih strategija za opstanak i konkurentnost. Ove smjernice odražavaju najbolju praksu razvijenu od strane zemalja članica CFPA Europe. Smjernice bi trebale pružiti upute za pravilno projektiranje, instalaciju, rad i održavanje kako bi se osiguralo sigurno funkcioniranje fotonaponskih sustava. Trenutne smjernice obuhvaćaju fotonaponske sustave povezane na mrežu instalirane na zgradama. Pružaju informacije o prevenciji gubitaka u vezi s zaštitom od požara, gašenjem požara, mehaničkim, električnim i sigurnosnim aspektima. Ove smjernice su primarno usmjerene prema: planerima, instalaterima i revizorima električnih instalacija, operaterima fotonaponskih sustava i vlasnicima zgrada. Ova publikacija temelji se na trenutačnim spoznajama i prethodnom iskustvu u prevenciji gubitaka i upravljanju rizicima, s planom redovitih pregleda i ažuriranja kad dođe do značajnih poboljšanja ili promjena u ovom području. (11)

4.3.1 Opasnosti i rizici

Pri instalaciji fotonaponskog sustava, koji je složen tehnički sustav, mogu se stvoriti opasnosti, na primjer, zbog pogrešaka u planiranju, instalaciji i radu. Osim toga, izloženi su brojnim vanjskim prijetnjama koje mogu utjecati na njihovu strukturu i funkciju, kao što su: vjetar (slika 20), snijeg (slika 21) i led, tuča, munje i prenaponski udari, požar (slika 23), krađa, glodavci itd. Time se redovita proizvodnja energije i upotreba zgrada može negativno utjecati. Također, požar uzrokovan instalacijom fotonaponskog sustava, na primjer, FN modulima, može oštetiti susjednu građevinsku konstrukciju, kao što su pokrov i fasada. (11)



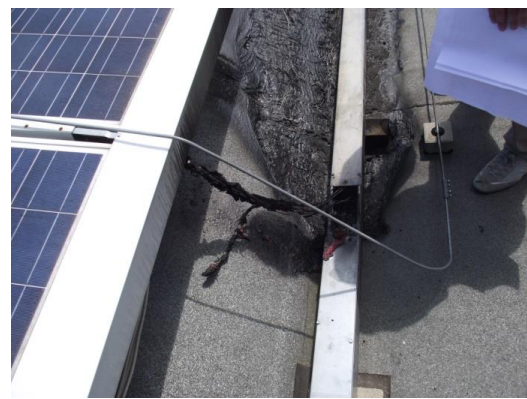
Slika 20 Uništeni moduli u oluji (11)



Slika 21 Uništeni moduli zbog snijega (11)



Slika 22 Uništen krovni pokrov kukom koja drži FN module (11)



Slika 23 Uništen krov požarom uzrokovanim FN modulima (11)

4.3.2 Preventivne mjere

U planiranju, instalaciji i radu fotonaponskih sustava uvijek je potrebno paziti da izvedba ne utječe negativno na komponente zgrade, kao što su krovni pokrivač ili fasada, i njihovu upotrebu. Zaštitne mjere koje su potrebne zbog instalacije fotonaponskih sustava, njihovog rada i očekivanih vanjskih prijetnji na lokalnoj razini trebaju biti prilagođene postojećem konceptu zaštite i mjerama za zgradu i njezinu upotrebu. Sve zaštitne mjere trebaju se pridržavati prihvaćenih pravila i standarda prema potrebi. Kako bi se osiguralo optimalno planiranje, instalacija i rad fotonaponskih sustava, iskustvo ukazuje na to da je prikladno razmotriti koncepte zaštite i mjere s svim uključenim stranama. (11)

Za učinkovitu konfiguraciju fotonaponskog sustava potrebno je odgovoriti na sljedeća pitanja:

- lokacija

- u pogledu optimalnog hvatanja sunčeve svjetlosti (raspored FN modula na krovu ili fasadi, paralelno ili pod kutom prema krovu ili fasadi, izbjegavanje zasjenjivanja)
- mogućnost širenje požara izazvano instalacijom FN sustava na krovu ili na fasadi
- koje su potencijalne okolišne opasnosti na lokaciji (npr. udari groma, oluje, tuča, požar, poplava)
- kakva su dodatna opterećenja uzrokovana instalacijom (npr. statička opterećenja na krovu ili fasadi vlastitom težinom FN modula, moguće izmijenjene rasporede opterećenja vjetrom i snijegom) (11)

4.3.3 Planiranje i instalacija

Prilikom planiranja i instalacije, operator bi trebao provjeriti imaju li planeri i izvođači potrebno znanje i iskustvo. Ako ne trebali bi angažirati odgovarajuće stručnjake, poput inženjera za konstrukciju, električara i stručnjaka za krovove. Svi aspekti planiranja i instalacije fotonaponskih sustava trebaju biti potpuno dokumentirani, uključujući sve promjene ili prilagodbe koje su potrebne tijekom instalacije, kako bi se osigurala sigurna i bez problema operacija. Ako nosivost postojeće konstrukcije, poput krovnih konstrukcija, nije dovoljna, pogođena konstrukcija mora se prikladno nadograditi ili instalacija mora biti premještena na neko drugo mjesto. (11)

Pri odabiru odgovarajućeg sustava za montažu za instalaciju, treba uzeti u obzir sljedeće stavke:

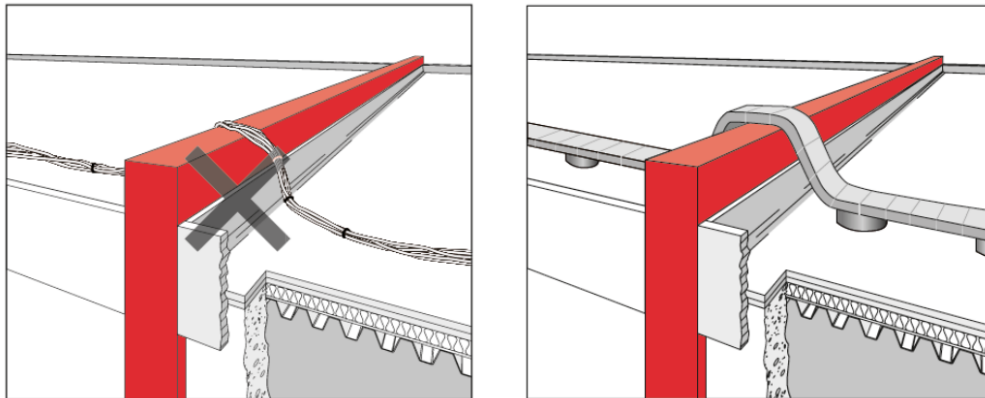
- oblik krova (da li je krov kosi ili ravan)
- sustav i materijali krovne obloge
- mogućnost prijenosa opterećenja instalacijom FN modula i eventualno drugih dijelova sustava
- posebni zahtjevi proizvođača za montažu modula
- dopušteno opterećenje okvira i spojeva prema informacijama koje je pružio proizvođač

Fotonaponski sustavi i njihove komponente, kao što su moduli, kabeli, pretvarači, mjere za zaštitu od udara groma i prenapona i njihovu instalaciju, moraju se pridržavati općenito priznatih pravila za električne instalacije i upute proizvođača. (11)

FN sustavi trebaju biti zaštićeni od udara groma i prenapona, i gdje je primjereno, ugrađeni u postojeći sustav zaštite od udara groma. Na postojeći sustav zaštite od groma ne smije utjecati fotonaponski sustav. Upravo zbog toga oba sustava bi trebala biti pravilno povezana. FN moduli bi trebali biti postavljeni unutar zaštićenog područja postojećeg sustava zaštite od udara groma. U tom slučaju treba poštivati dovoljno razmaka. (11)

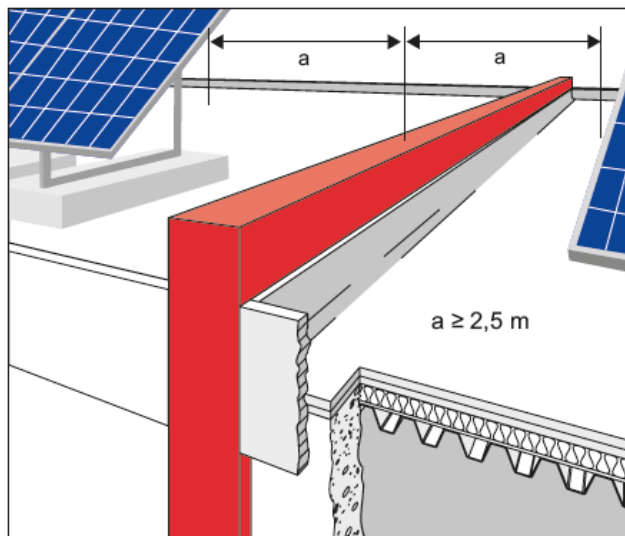
Komponente FN sustava često sadrže zapaljive materijale. Kako bi se učinkovito ograničilo širenje požara putem komponenata sustava, potrebne su sljedeće mjere:

- komponente FN sustava sa zapaljivim elementima, poput kabela, ne smiju se postavljati preko požarnog zida, ukoliko se to ne može izbjeći, trebale bi se instalirati u vatrootpornim cijevima i kanalima za kabele kako je prikazano na slici 24



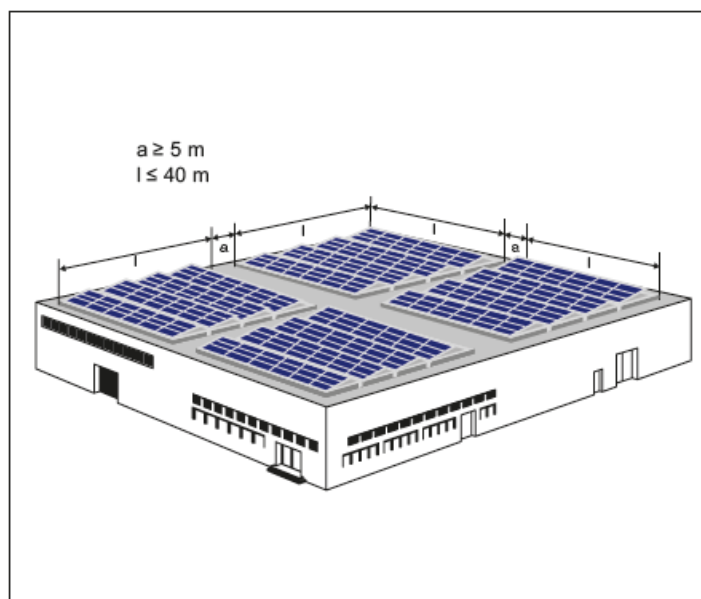
Slika 24 Položaj kabela u vezi sa požarnim zidom (11)

- na krovovima bi trebalo biti minimalno 2,5 metara udaljenosti između FN modula s obje strane požarnog odjeljka ili požarnog zida, osim ako se dopušta smanjenje udaljenosti zbog potencijalnog širenja požara preko odjeljka prikazano na slici 25



Slika 25 Položaj FN modula u odnosu na vatrootporni zid

- neprekidna područja instalacije i redovi FN modula trebali bi biti podijeljeni područjima dovoljne širine kako bi se omogućio pristup za gašenje požara i održavanje krova, ali i samih FN modula (slika 26)



Slika 26 Položaj FN modula na krovu

- ako su sustavi za ventilaciju dima i topline instalirani na krovu, FN moduli moraju biti dovoljno udaljeni od njih kako bi se osiguralo učinkovito odvođenje dima i topline u slučaju požara

- ako su FN moduli instalirani na fasadi, moraju zadovoljiti zahtjeve lokalnih i odgovarajućih građevinskih propisa koji se odnose na ograničenje širenja požara duž fasade te moraju zadovoljiti iste zahtjeve kao i ostatak fasade (11)

4.3.4 *Prije početka rada*

Fotonaponski sustav, nakon što je instaliran, treba odobriti prije nego što počne s radom od strane odgovarajuće osobe. Tijekom ovog odobrenja trebaju se izvršiti sljedeće provjere:

- potpuna vizualna inspekcija sustava, uključujući montažu mehaničke konstrukcije, sve električne veze i polaganje kabela
- testiranje funkcionalnosti, na primjer, provjera otvorenog strujnog napona i polariteta prije spajanja pretvarača, usporedba s podacima uređaja, mjerenje izolacije s dovoljnim ispitnim naponom i mjerenje kratkog spoja svih nizova
- provjera kompletne dokumentacije, uključujući planiranje, potporu opreme, sve protokole mjerenja i potrebne informacije za rad

Osim toga, termografska kamera može se koristiti za otkrivanje grešaka u modulima ili električnim vezama. Ove provjere treba provoditi certificirani termograf. Dokumentacija sustava trebala bi biti predana operatoru. (11)

4.3.5 *Rad*

Rad fotonaponskog sustava trebao bi se provoditi i nadzirati od strane kvalificiranog električara s posebnim obukama. Fotonaponski sustav, kao i svaka tehnička oprema, treba redovito pregledavati i održavati u odgovarajućim intervalima. Osobe s odgovarajućom kvalifikacijom trebale bi biti angažirane za obavljanje svih poslova inspekcije, održavanja i popravaka. Operator može poduzeti sljedeće mjere kako bi osigurao da sustav sigurno i zadovoljavajuće radi tijekom mnogo godina: redoviti vizualni pregledi, vizualni pregledi koji ovise o događajima (npr. nakon oluje), redovito čišćenje, ako je potrebno čišćenje snijega. (11)

Vizualni pregledi koji ovise o događajima trebali bi se provoditi nakon oluje ili grmljavine. Potrebno je obratiti pažnju na to je li, na primjer, drveće palo na krov i prouzrokovalo oštećenja, je li potporni sustav/konstrukcija FN sustava oštećen olujom ili deformiran ili je li vidljiva bilo kakva oštećenja uzrokovana udarom groma. Ako se pronađu oštećenja, trebale bi biti angažirane kompetentne osobe za popravke. (11)

4.3.6 Posebne informacije o gašenju požara

Fotonaponski moduli i dalje proizvode istosmjernu struju tijekom dana, čak i kada su izdvojeni iz mreže, a izloženi su i drugim izvorima svjetlosti poput svjetala za automobile, što može otežati ručno gašenje požara. U slučaju požara u zgradi, vatrogasci bi trebali biti u mogućnosti isključiti napajanje iz modula. Vatrogasni prekidač trebao bi se nalaziti na prikladnom i lako dostupnom mjestu kako bi omogućio vatrogascima izolaciju napajanja od modula. Potrebno je osigurati odgovarajuće oznake kako bi se usmjerili vatrogasci prema mjestu prekidača. Funkcionalnost ovog uređaja trebala bi se redovito potvrđivati putem ispitivanja. Općenito, vatrogasci su obučeni za borbu protiv požara uključujući i električne uređaje i instalacije, što uključuje i FN sustave. Stoga, požar koji uključuje FN sustav ili zgradu može se kontrolirati kada su ispunjeni odgovarajući konstrukcijski i tehnički uvjeti, kao i uvjeti za učinkovitu borbu protiv požara. (11)

Zgrade s FN sustavima trebaju biti označene znakom u električnom razvodnom ormaru ili na spojnom mjestu s mrežom. Oznake bi se trebale nalaziti na: početku električne instalacije, mjestu mjerenja ako je udaljeno od početka instalacije, potrošačkom uređaju ili razvodnoj ploči na koju je spojen izlaz iz invertera. U planovima za gašenje požara, posebno za komercijalne i industrijske zgrade, trebalo bi prikazati kako su postavljeni kablovi FN sustava kako bi podržali vatrogasce u njihovim taktičkim odlukama i intervencijama. (11)

4.4 RC62: Recommendations for fire safety with PV panel installations

Nove instalacije fotonapona na krovovima trebale bi biti postavljene na posebno napravljenim sustavima nosača koji su predviđeni za prihvat fotonaponskog sustava. Sustavi postavljeni na kosim krovovima obično su mehanički pričvršćeni za temeljnu konstrukciju krova. Sustavi postavljeni na ravne krovove obično su zalijepljeni. Takvi sustavi nemaju probleme sa propusnošću, ali mogu biti problematični ako se konstrukcija krova savija pod težinom opterećenja. Savijanje može rezultirati zadržavanjem kišnice, što će povećati opterećenje na krovu i prekoračiti dopušteno opterećenje koje je prvotno bilo proračunato, što u najgorem slučaju može dovesti do urušavanja. (32)

Svi električni sustavi zahtijevaju prisutnost protoka struje, potencijalne napetosti i električnih polja. Fotonaponski sustavi nisu drugačiji. Također, u takvim sustavima prisutna je kombinacija izolacijskih i provodnih materijala. Propadanje izolacijskih i provodnih materijala bilo je glavni uzrok većine požara uzrokovanih električnim kvarom od izuma električne energije. Fotonaponski sustavi su uglavnom tihi i općenito bezopasni, ali ipak

predstavljaju opasnosti koje nisu odmah očite vlasnicima i vatrogascima pozvanima na lokaciju. Zabilježeno je nekoliko požara gdje su sami vatrogasci izrazili zabrinutost u vezi električnim instalacijama i samom sigurnošću sustava. Time su potaknute upotrebe obrambenih mehanizama poput preventivnog gašenja požara, pri čemu se požar sprječava da se proširi na obližnje građevine umjesto da se ugasi na izvoru. (32)

Ovaj vodič ima za cilj pružiti referencu na postojeće relevantne propise i smjernice primjenjive na FN instalacije kako bi pružio sveobuhvatnu referencu za osiguravatelje i njihove klijente. Također će pružiti praktične smjernice za osiguravatelje i njihove klijente za nabavu, vlasništvo i rad sigurnih i učinkovitih FN sustava, obuhvaćajući i prihvaćajući smjernice dobre prakse iz industrije fotonapona, kako za same FN sustave tako i za šire izloženosti koje bi mogle rezultirati zahtjevima za osiguranjem. Ovaj dokument ima za cilj pružiti praktične smjernice osigurateljima i njihovim klijentima o zahtjevima za nabavu, vlasništvo, rad i održavanje sigurnih i učinkovitih FN sustava kako bi se osigurala dobra praksa kontrole rizika i upravljanja sa opasnosti od požara. (32)

Iako je osnovna tehnologija ista, često postoje značajne razlike između FN sustava na krovovima i sustava na tlu. FN sustavi na krovovima obično se nalaze na vrhu zgrada koje su nastanjene, dok su sustavi na tlu obično veliki i pričvršćeni izravno na tlo, obično s malo ljudi u neposrednoj blizini. Sustavi na tlu često imaju opremu visokog napona za povezivanje na električnu distribucijsku mrežu, što donosi dodatnu složenost i rizike. FN sustavi na krovovima i sustavi na tlu postavljaju različite izazove u smislu požarne sigurnosti, tehničke usklađenosti i zahtjeva za rad i održavanje. (32)

Ove preporuke obrađuju požarne opasnosti koji se odnose na FN instalacije, kao i probleme koji mogu dovesti do drugih oblika gubitaka ili prijetiti vatrogascima. Temeljni zahtjev je da se sustavi projektiraju i instaliraju prema priznatim tehničkim standardima, a ključne komponente certificiraju prema priznatim standardima. Ovaj dokument ne obuhvaća obložene ili fasadne FN sustave niti sustave integrirane u krovove. (32)

Razmatraju se preporuke za mjesto i montažu panela na zgradama, kao i aspekti električne sigurnosti, ako to utječe na prevenciju požara. Postoje opisi i tehnički standardi koji su dostupni, a ove preporuke se upravo pozivaju na te standarde. Osim zaštite imovine, razmatra se ublažavanje prijetnje životu, s obzirom na sigurnost vatrogasaca, električna opasnost. Naglasak se stavlja na potrebu da se FN sustavi, uključujući slobodnostojeće panele, pravilno planiraju, pažljivo projektiraju, ispravno instaliraju od strane obučениh i

kompetentnih tehničara, te upravljaju i održavaju u skladu sa svim ispravnim smjernicama. (32)

Postoje dvije osnovne vrste FN sustava: sustavi na krovu i sustavi na tlu. Sustavi na krovu variraju po veličini, od nekoliko FN modula na pojedinačnim stambenim građevinama, do nekoliko tisuća FN modula na većim konstrukcijama poput skladišta. Sustavi na tlu mogu varirati od nekoliko kW do nekoliko stotina MW i mogu pokrivati jako velike površine zemlje. (32)

Većina sustava na krovu spojena je na niski napon. Veći FN sustavi (poput onih na skladištima ili farmama) obično su spojeni na visoki napon i zahtijevaju dodatnu opremu visokog napona, uključujući transformatore, s povećanom složenosti i rizicima. (32)

Sustavi na krovu FN visoko su podignuti, pa je rizik od poplava gotovo zanemariv. Sustavi na tlu obično se nalaze na zemljištima koja su osjetljiva na poplave. Općenito pravilo je da se sustavi na tlu ne bi trebali instalirati na područjima s umjerenim do visokim rizikom od poplava, osim ako se ne poduzmu posebne mjere za zaštitu FN niza i električnih sustava od vode (na primjer, upotrebom povišenog montažnog sustava). U svakom slučaju, potrebno je provesti analize poplava kako bi se osiguralo da su lokacije predviđene za instalacije sustava na tlu prikladne. (32)

4.4.1 Usklađenost s propisima o zaštiti od požara

Za svaki relevantan FN projekt treba provesti odgovarajuću procjenu rizika od požara, koju će izraditi i zabilježiti odgovorna osoba. Procjena rizika identificirat će potencijalne rizike, odgovarajuće mjere za ublažavanje tih rizika i zahtjeve kako bi se postigla željena razina sigurnosti zaštite od požara. (32)

Radnje bi trebale uključivati:

1. Kada je potrebno, unaprijed se konzultirati s lokalnom vatrogasnom postrojbom. To je važno jer je ona odgovorna za rješavanje svakog požara, a mogu postojati posebni projekt-specifični problemi, npr. vrijeme dolaska vatrogasaca na požarište ili pristup krovu, koji mogu utjecati na lokalne protupožarne zahtjeve.
2. Razgovor o projektu s trenutnim/budućim osiguravateljem zgrade/zemljišta. Osiguravatelj može imati određene zahtjeve. Trebalo bi utvrditi vlasništvo nad zgradom i vlasništvo nad FN sustavom, jer vlasnici možda nisu isti.

3. Povijesna ili kulturna zgrada može zahtijevati dodatne mjere zaštite od požara koje su specifične u tom pogledu. Svi posebni dodatni zahtjevi trebali bi biti utvrđeni unaprijed.
4. Postići suglasnost o tome je li odabrana lokacija/krov optimalno mjesto za dodatak FN sustavu ili bi druga lokacija mogla pojednostaviti i smanjiti rizike od požara i odgovor u slučaju požara.
5. Utvrdite jesu li postojeći/predloženi materijali krovišta prikladni za dodatak FN sustava i osigurajte da ih neće ugroziti utjecaj slučajnih električnih struja.

Nove instalacije FN sustava, uključujući panele i sustave za pričvršćivanje, ne smiju sniziti otpornost na požar samog krova. Ako instalacija na zapaljivom ili djelomično zapaljivom krovu nije izbjegnuta, tada bi se trebala primijeniti vatrootporna obloga. Građevinski propisi također se odnose na britanski standard BS 5839: *Fire Detection and Fire Alarm Systems for Buildings* (37) i preporučuju instalaciju električnog sustava za detekciju dima na mreži ako su instalirani FN moduli/baterije u potkrovlju. Utvrditi je li obavezno dodati tehnologiju za isključivanje DC struje i sučelje s postojećim vatrogasnim sustavima prema zakonu. Provjeriti hoće li se razmotriti mjere za podršku vatrogascima, npr. pristupne staze i putevi. (32)

Neki elementi FN instalacija predstavljaju potencijalni izvor paljenja, pa se ti potencijalni rizici trebaju razmotriti u procjeni (ili pregledu postojeće procjene) u skladu s propisima o opasnim tvarima i eksplozivnim atmosferama. To se odnosi na slučajeve kada se planira instalacija FN panela na području gdje se može formirati potencijalno eksplozivna atmosfera. (32)

4.4.2 Sigurnost u slučaju požara

Temeljito planiran i sveobuhvatan režim upravljanja sigurnošću prilikom požara, koji se poštuje i prihvaća od svih zaposlenika, uz adekvatnu obuku osoblja je nužan. (32)

Osim ako nije neizbježno, ne smiju se obavljati radovi poput zavarivanja, rezanja plamenom i slično unutar ili uz FN instalacije. Ako iz opravdanih takav rad mora biti obavljen, sve takve aktivnosti trebaju se provoditi uz učinkovit sustav dozvola za rad i strogo u skladu sa smjernicama. Tijekom procesa instalacije, svi otpadni materijali trebaju biti pospremljeni i sigurno pohranjeni na kraju svakog radnog razdoblja. (32)

Tijekom faze puštanja u pogon, operator sustava treba imati funkciju i sami sustav objašnjene od strane instalatera. Uz to, sve pojedinosti o sustavu i njegovom radu trebaju biti dostupne, uključujući:

- ciljevi redovitih vizualnih pregleda
- priroda oštećenja koja se mogu primijetiti nakon oluje ili grmljavinske oluje
- čišćenje i svakodnevno održavanje sustava
- potreba za budnošću kako bi se identificirala oštećenja izolacije kabela i pregrijavanje komponenti
- potreba za redovitim planiranim održavanjem

Svi tehničari/inženjeri za instalaciju trebali bi primiti upute po dolasku na lokaciju vezano za zvuk požarnog alarma i postupaka koje trebaju poduzeti ako čuju alarm ili otkriju požar. Automatsko otkrivanje požara trebalo bi biti instalirano u svim prostorima unutar zgrada u kojima se nalazi električna kontrolna oprema (inverteri, izolatori i razvodne ploče). Postavljanje sprinklera izuzetno je korisno za zaštitu imovine i trebalo bi razmotriti postavljanje u prostorima unutar zgrada gdje je instalirana oprema povezana s FN sustavima, kao i u susjednim prostorima koji su izloženi požaru ili izlažu te prostore požaru. (32)

FN instalacije trebaju se servisirati i održavati prema uputama instalatera i prema smjernicama. Treba utvrditi utjecaj FN sustava na požarno opterećenje zgrade i utvrditi adekvatnost protupožarne zaštite. (32)

FN instalacije trebaju se postavljati na negorivim krovovima koji zadovoljavaju razred A1/A2 s1, d0 prema normi BS EN 13501-1:2018 - *Fire classification of construction products and building elements – Part 1: Classification using data from reaction to fire tests* (38). Požari koji uključuju zapaljive krovove širit će se brzo, bez koristi od bilo kakve zaštite postavljene unutar zgrade. Susjedne ili obližnje zgrade također potencijalno mogu biti u opasnosti. Širenje požara može se ubrzati efektom dimnjaka ispod FN panela. Položaj panela također može ometati otvaranje krova radi ventilacije. Treba paziti na osiguravanje sigurnih i čistih pristupnih putova za servisiranje, održavanje, čišćenje i gašenje požara. (32)

Pokriivanje krovova visokom gustoćom FN panela može ograničiti vatrogasce u provjetranju i gašenju požara unutar zgrade te to treba izbjegavati. Veliki nizovi FN panela mogu značajno povećati opterećenje na krovu, povećavajući potencijal za urušavanje krova tijekom požara. Statički pregled treba bi provesti stručna osoba prije instalacije kako bi se procijenila nosivost krova. Prostori između FN panela i krova mogu postati dijelovi u kojima

dolazi do nakupljanja snijega i leda, uzrokujući dodatne probleme s nakupljanjem i raspodjelom težine. Prostori između FN panela i krova također mogu skladištiti otpadne materijale, lišće, gnijezda ptica/glodavaca itd., a isto tako moglo bi doći do povećanog rasta mahovine i lišaja na površinama krova ispod panela. Ovi faktori mogu stvarati točke s visokom temperaturom koje predstavljaju izvore paljenja. Nakon svakog ekstremnog vremenskog događaja krovovi bi trebali biti pregledani. Takvi vremenski događaji mogu uključivati:

1. Prostori između FN panela i postojećeg krova izloženi su povećanim silama koje stvaraju visoke brzine vjetra. Sustavi su projektirani za brzine vjetra od 54 m/s, ali veće brzine vjetra su moguće.
2. Vremenski uvjeti s neuobičajeno velikim tučom koja može znatno oštetiti FN module.
3. Neprestana obilna kiša koja može poplaviti područje gdje su instalirani FN moduli.

Potrebno je uvesti snažne kontrole na licu mjesta za osoblje koje pristupa područjima FN instalacija (kao što su operateri održavanja), npr. strogo je zabranjeno pušenje (čak i ako je područje na otvorenom). Projekt FN sustava trebao bi uključivati odgovarajuća rješenja za minimiziranje rizika. (32)

U kontekstu FN sustava, definicija sustava kao niskog napona ili visokog napona ovisit će o pojedinom odabranom inverteru; trebalo bi potražiti pojašnjenje od proizvođača invertera o tome kako se DC odnosi na inverter tla i može li DC napon između vodiča i tla biti veći od 900 V. Ako je to slučaj, sustav će se klasificirati kao visoki napon i mora se dizajnirati prema tome. Kako bi se osiguralo da se FN sustav definira kao niski napon, moguće je dizajnirati DC module nizove kako bi se maksimalni DC napon između tla i vodiča održavao ispod 900 V ili se može uključiti elektronika na razini modula unutar dizajna. Ako se dizajn ne može klasificirati kao niski napon, tada se u dizajn moraju uključiti dodatni zahtjevi za požarnu zaštitu. Primjeri mjera uključuju:

- Izolaciju DC nizova na modulima putem daljinskog prekidača dostupnog na razini tla.
- Uporabu elektronike na razini modula koja prelazi na 'izuzetno niski napon' kada je isključena AC opskrba.

Promjene klimatskih uvjeta, s povećanom vlagom i češćim olujama s munjama, čine metalne okvire FN sustava izloženima udarima groma. (32)

Komponente FN sustava često sadrže gorive materijale. Kako bi se učinkovito ograničilo širenje požara putem komponenata FN sustava, potrebne su sljedeće mjere:

- komponente FN sustava s gorivim elementima, npr. kablovi, ne smiju prolaziti preko vatrootpornih zidova, ukoliko se to ne može izbjeći, trebali bi se instalirati u vatrootporne kabelske kanale i okna
- na krovovima, između FN modula s obje strane odjeljka/vatrootpornih zidova trebalo bi biti minimalno udaljenosti od 2,5 m; smanjena udaljenost dopuštena je ako se smatra da je potencijal za širenje požara preko granice odjeljenja nizak

Kod FN instalacija gdje se smatra da je potencijal širenja požara preko granice požarnog odjeljka nizak (tj. svi krovni elementi su nezapaljivi, a FN paneli sustavi imaju malu mogućnost za širenje požara s minimalnom ili nikakvom mogućnosti za stvaranje gorućih kapljica), preporučuje se minimalna udaljenost od 1,2 m između FN modula s obje strane odjeljka/vatrootpornih zidova. Ova minimalna udaljenost od 1,2 m s obje strane također se primjenjuje na zgrade koje se nadovezuju na prodajne jedinice u središtu grada i urede gdje bi udaljenost od 2,5 m sa svake strane svakog odjeljka/vatrootpornih zidova spriječila izvedbu FN sustava, a gdje je malo vjerojatno da će se požar proširiti na više zgrada. Gdje je to moguće, duljina unutarnjih DC kabela trebala bi biti minimalna. Ako su kabeli u područjima koja se mogu koristiti, trebala bi postojati odgovarajuća mehanička zaštita (npr. pokrivena kabelska ladica kako bi se zaštitili vatrogasci i drugi korisnici gdje bi FN kabeli još uvijek mogli biti napunjeni). (32)

Štakori, vjeverice, gnijezda ptice (za sustave na tlu i farme - divlje životinje) mogu uzrokovati štetu i promijeniti svojstva sigurnosti od požara FN sustava. Treba razmotriti potencijalni utjecaj i poduzeti odgovarajuće mjere.

Tijekom instalacije trebalo bi provesti privremene inspekcije kako bi se osiguralo da DC kabel nije osjetljiv na pritisak ispod FN modula. Ovaj tip kvara je teško otkriti nakon što su FN moduli instalirani i može uzrokovati oštećenje u ranoj fazi koje može potrajati nekoliko godina da se identificira. Treba paziti da konektori leže horizontalno, a ne vertikalno; vertikalna orijentacija olakšava prodor vode u konektor gravitacijom, što omogućava nakupljanje vode unutar konektora. Treba paziti da su konektori pozicionirani iznad površine krova i osigurani kako bi se smanjio rizik od prodora vode. Kabeli se trebaju vezati kako bi se spriječilo pretjerano kretanje na vjetru, ali ne toliko čvrsto da uzrokuju

napetost. Kablovi su vodootporni određeno vrijeme, ali nisu dizajnirani da leže u vodi tijekom duljeg razdoblja, stoga bi trase kabela trebale izbjegavati ovakve situacije. (32)

Paneli i kablovi trebaju se postaviti na mjesta gdje nisu skloni oštećenju od strane glodavaca (i kod sustava na tlu ovaca ili goveda). Na poljoprivrednim objektima gdje je to poseban problem, treba razmotriti postavljanje kabela u sigurne i zapečaćene kanale ili cijevi. (32)

FN projekt treba biti pregledan u različitim fazama tijekom instalacije. Nakon postavljanja modula, puni pregled nije uvijek moguć. To otežava identifikaciju mnogih uobičajenih problema koji mogu uzrokovati požar i otežava ispravljanje problema kada se identificiraju. Sve trase kabela treba provjeriti na oštre rubove i druge aspekte koji mogu oštetiti kabel tijekom vremena. Važno je provjeriti kompatibilnost i ocjene DC konektora, kao i kompatibilnost modela svih komponenata opreme. Gdje je DC kabel izložen UV svjetlu, kabele bi trebalo prekriti (zaštititi) kako bi se smanjila degradacija izolacije. (32)

Tehnički izvještaj IEC TR 63226:2021 - *Managing fire risk related to photovoltaic (PV) systems on buildings* (39) navodi da je 33% pregledanih požara na fotonaponskim sustavima uzrokovano kvarom proizvoda. Stoga su informacije i mjere za prepoznavanje naznaka kvara u ranoj fazi vrlo važni za minimiziranje rizika od požara. Praćenje uživo putem interneta i slanje poruka o indikacijama grešaka omogućava jednostavan pristup podacima o radu FN sustava i greškama. To je vrlo korisno za svakodnevno praćenje FN sustava i može pružiti rano upozorenje na potencijalne probleme. Ovo se odnosi na sve sustave, od kućnih do većih sustava. (32)

FN sustavi s većim kutom nagiba modula imaju veći učinak samočišćenja, iako će i dalje trebati povremeno čišćenje - učestalost temelji se na procjeni rizika. Pri nižim kutovima nagiba treba provesti planirani program čišćenja. Osim utjecaja na prinos, filmovi ukorijenjene prljavštine mogu se nakupiti na dnu svakog panela i mogu prouzročiti dugoročna oštećenja zbog pregrijavanja zahvaćenih FN ćelija. Tijekom vremena, to može oštetiti izolacijska svojstva FN modula, što može dovesti do potencijalnog otkaza modula i požara. Veliki problem za FN module su ptičji izmeti koji će se pridržavati modula bez obzira na kut nagiba. Ptičji izmeti uzrokuju djelomično zasjenjenje pojedinih FN ćelija, što dovodi do vrućih točaka, a takve vruće točke poznate su da se razvijaju u kvarove koji dovode do požara. Sustave smiju čistiti samo osoblje koje ima znanje o rizicima povezanim s čišćenjem panela. Čistači prozora možda imaju odgovarajuću opremu potrebnu za čišćenje panela, ali vjerojatno nemaju znanje o rizicima od požara. (32)

S promjenom vremenskih obrazaca i sve vlažnijim i sunčanijim ljetima, vegetacija može brzo rasti tijekom ljetnih mjeseci. Kao posljedica toga, rast vegetacije može u relativno kratkom vremenu ući u električnu opremu i prekriti FN module. Redovite inspekcije i reaktivno uklanjanje vegetacije su neophodni. (32)

Predaja je faza koja dolazi nakon instalacije i puštanja u pogon, tijekom koje se relevantna dokumentacija i upute predaju i komuniciraju kupcu. Opseg predaje ovisit će o veličini sustava i tome hoće li kupac angažirati izvođače za održavanje i upravljanje. Bez obzira na aranžmane, potrebno je osigurati potpunu dokumentaciju za sve sustave. Zahtjevi za održavanje značajno variraju ovisno o veličini sustava. Međutim, temeljni principi su isti za sve fotonaponske sustave, a trenutno znanje o operativnom stanju svakog sustava ključno je, kako s aspekta generiranja energije, tako i u pogledu općeg stanja sustava. Ako sustav ne radi ispravno zbog potencijalnog kvara, vjerojatno će postojati rizik od naknadnih kvarova koji bi mogli rezultirati požarom. Infracrvena termografija već je godinama korištena na većim FN sustavima. To je ekonomičan način za utvrđivanje ispravnosti FN modula. Ako nije moguć siguran pristup krovu, tada se mogu koristiti bespilotne letjelice opremljene termalnim kamerama. (32)

Ako je došlo do požara u FN sustavu, preporučeni prvi korak je isključiti sustav na svim izolacijskim točkama i uspostaviti zone isključenja oko nekontroliranih dijelova FN instalacije, budući da dijelovi sustava mogu ostati ranjivi na ponovno zapaljenje uslijed kratkog spoja ili stvaranja iskri unutar niza. Sve preostale gorive tvari trebaju biti uklonjene. Potrebno je primijeniti mjere za sprječavanje ponovnog spajanja, kao što su zaključavanje prekidača u otvorenom položaju i upotreba upozoravajućih naljepnica. Također treba provesti vizualnu inspekciju niza. Procijeniti integritet izolacije kabela i opreme, pričvršćivanje FN modula i opreme, te bilo kakvu štetu na FN opremi. Čak i ako nema vizualnih znakova oštećenja, izvršiti provjeru izolacije na svim nizovima i izolirati sve sumnjive nizove koji su identificirani. (32)

Izvješća ne pokazuju povećanje rizika od požara tijekom vremena, no kako materijali stare, vjerojatno je da će loše izrađeni konektori možda biti uzrok budućih požara. Testiranje izolacijskog otpora i otpora niza je relativno jeftin postupak, i obvezni zahtjevi za rutinsko testiranje trebali bi biti uvedeni kako bi se uredilo postojeće imovine instalacija FN-a koja je vjerojatno pogođena. Mogućnost provođenja ispitivanja otpora niza relativno je nova tehnička inovacija koja još nije formalno obvezna u priznatim tehničkim standardima. Ona

ne zahtijeva postavljanje skele kako bi se odredilo stanje FN sustava i može pomoći u identificiranju nizova FN modula koji bi mogli biti izloženi riziku od pregrijavanja. (32)

Trebaju se uspostaviti aranžmani kako bi se osigurao brz pristup lokaciji po dolasku vatrogasne službe. Vatrogasci trebaju biti dočekani od strane osoblja za sigurnost ili drugih određenih članova osoblja. Izvana treba održavati jasan put kako bi se omogućilo vozilima s visokim dohvatom prikladan pristup svim zgradama s FN instalacijama na krovu. Također bi trebala biti dostupna odgovarajuća mjesta za okretanje. Informacije trebaju biti dostupne vatrogasnoj službi na istaknutom mjestu, kao što je ulaz na lokaciju FN instalacije ili na recepciji ili na porti, uključujući:

- raspored lokacije, uključujući planove velikih zgrada, koji prikazuju položaje FN panela i kontrolne opreme
- lokaciju prekidača za izolaciju FN panela
- lokaciju glavnih električnih priključaka i potrošačkih sklopki
- lokaciju alarma
- pojedinosti o sustavima automatskog gašenja požara i lokaciju njihovih kontrola ili ventila
- pojedinosti o sustavima za ventilaciju
- prirodu i lokaciju opasnih tvari na lokaciji
- kontakt podatke osoblja koje bi trebalo kontaktirati
- lokaciju hidranata, uspravnih vodova i drugih izvora vode na lokaciji ili u blizini, u svrhu gašenja požara.

Prisutnost FN sustava na zgradi nije uvijek očita s razine tla. "FN na krovu" oznaka trebala bi biti jasno vidljiva za vatrogasnu službu po dolasku na zgradu, oznaka veličine najmanje 100 mm × 100 mm postavljena na sklopkama. U slučaju većih instalacija, vatrogasci bi trebali biti pozvani na posjete prostor kako bi se upoznali s lokacijama FN panela na lokaciji. (32)

Gdje je to propisano za usklađivanje sa standardom ili zbog posebnih zahtjeva klijenta za komercijalne FN instalacije, treba osigurati prekidač (ili prekidače) na istaknutom mjestu lako dostupnom vatrogascima za daljinsko isključivanje DC strane FN sustava. Takvi prekidači za vatrogasne službe pomažu osigurati sigurnost vatrogasnom osoblju. Prekidač bi se trebao testirati tijekom rutinskog održavanja, s rezultatima koji se bilježe. Ti prekidači trebali bi se nalaziti na sigurnim mjestima udaljenim od niza FN panela i dodatni su u odnosu

na operativne AC i DC izolacijske prekidače. Osim ako to nije izričito zahtijevano, prekidači za vatrogasne službe nisu potrebni u stambenim objektima s jednofaznim AC napajanjem. Vatrogasno osoblje trebalo bi isključiti FN instalacije iz mrežne električne energije na priključku kako bi izmjenična strana instalacije bila bez napona i upravljati prekidačem za vatrogasne službe ako je instaliran. Vatrogasno osoblje treba biti svjesno da FN paneli proizvode napon pomoću dnevne svjetlosti i drugih izvora svjetlosti, uključujući svjetla za osvjetljavanje požarnog područja, čak i ako je izmjenična strana sklopa izolirana od mrežnog električnog napajanja. (32)

4.5 SZPV 512 Smernica o požarni varnosti sončnih elektrarn

Ove smjernice su namijenjene investitorima i projektantima kao vodič u prepoznavanju opasnosti i kao alat za odabir odgovarajućih tehničkih rješenja. U njima su sustavno uređeni zahtjevi za postizanje sljedećih ciljeva zaštite od požara:

- sprečavanje nastanka požara
- sprečavanje širenja požara unutar zgrade i na susjedne zgrade
- omogućavanje spašavanja ljudi i životinja
- omogućavanje sigurnog gašenja požara

Smjernice detaljno opisuju osnove planiranja, izvođenja i održavanja solarnih elektrana s gledišta zaštite od požara. Također, postavljaju minimalne zahtjeve za pojedine elemente konstrukcije, na koje se može postaviti solarna elektrana, inženjerski sustavi koji pripadaju tome, zaštita od električnih udara i gromova, kao i opisane mjere ispitivanja kako bi se potvrdila ispravnost samih solarnih elektrana. Također, smjernica nudi upute za periodično provjeravanje solarnih elektrana kako bi se osigurala prihvatljiva razina protupožarne i električne sigurnosti tijekom cijelog životnog vijeka solarne elektrane. (33)

Pri postavljanju solarne elektrane na postojeću zgradu, važno je uzeti u obzir postojeći koncept protupožarne zaštite, s naglaskom na očuvanju nivoa sigurnosti u slučaju požara u zgradi. Kod novogradnje, solarna elektrana se tretira kao sistem ili instalacija koja se integrira u koncept protupožarne zaštite zgrade.(33)

Ključno je odabrati elemente solarnih elektrana koji su prilagođeni njihovom opterećenju i koji se podudaraju s konceptom protupožarne zaštite zgrade. Moderne solarne elektrane su projektirane za životni vijek od 25 godina ili više. U tom periodu, izložene su uobičajenim vremenskim uvjetima (kiša, vjetar, snijeg, temperaturne promjene, agresivni

plinovi u atmosferi), a također moraju izdržati i ekstremne vremenske nepogode (jake oluje, grmljavine...). Također, mogu biti izložene koroziji, i oštećenjima od strane životinja (npr. glodavaca, ptica). Oštećenja mogu izazvati električni lukovi koji predstavljaju izvor požara. (33)

Pažljivo planiranje može biti poništeno lošom instalacijom. Solarni paneli moraju biti montirani samo od strane iskusnih instalatera. Odgovorni projektant protupožarne zaštite, koji je izradio analizu sigurnosti od požara, trebao bi nadgledati instalaciju solarnih panela kako bi na kraju mogao pripremiti izvještaj o protupožarnoj sigurnosti. Ovaj izvještaj čini dio dokumentacije za nove zgrade, a za postojeće zgrade investitori dobivaju izvještaj o protupožarnoj sigurnosti solarnih elektrana kao potvrdu da su pri planiranju i instalaciji sustava poštovane odgovarajuće mjere koje osiguravaju željeni nivo protupožarne sigurnosti. (33)

Vlasnici ili korisnici stambenih, poslovnih i industrijskih objekata koji su povezani s javnom električnom mrežom i koji posjeduju solarnu elektranu, dužni su imati plan protupožarne zaštite za tu solarnu elektranu. Plan protupožarne zaštite je također potreban prema ovoj smjernici i za solarne elektrane koje neprekidno ili povremeno rade izvan električne mreže, pod uvjetom da postoje rizici od požara, kako su opisani u ovoj smjernici. (33)

4.5.1 Konstrukcija

4.5.1.1 Statički proračun

Nosiva konstrukcija zgrade mora podnijeti opterećenje od solarne elektrane, uključujući i terete za redovito održavanje sustava. Gdje je potreban izravan pristup vatrogascima, također treba uzeti u obzir njihova opterećenja i opterećenje njihove opreme. Ovi podaci moraju biti uključeni u statičku analizu. (33)

4.5.1.2 Odabir odgovarajućih materijala

Solarne elektrane i instalacije koje su uključene u krovnu konstrukciju ne smiju se postaviti izravno na nosivi okvir koji je goriv. Treba odabrati materijale i proizvode koji, što se tiče požarnih svojstava, odgovaraju konstrukciji, ili ih odgovarajuće zaštititi. Prilikom odabira materijala, treba uzeti u obzir da tražene karakteristike treba osigurati tijekom cijelog životnog vijeka solarnih elektrana. Ako se solarna elektranu gradi na krovu s tankim gorivim hidroizolacijskim materijalom (folijom) i gorivom toplinskom izolacijom, nužna je upotreba negorivih izolacijskih materijala na putevima za održavanje i pristup vatrogascima. (33)

4.5.1.3 Prozračivanje

Razmak između donje strane modula i gornjeg sloja krovišta omogućava prozračivanje sprečava pregrijavanje materijala. Ovaj razmak, mjereno od sredine krovišta (primjer: valoviti krov), prema iskustvu mora biti minimalno 6 cm. (33)

4.5.2 Fotonaponski (FN) moduli

4.5.2.1 Izbor fotonaponskih modula

Fotonaponski moduli moraju biti u skladu sa zahtjevima standarda u pogledu opterećenja kojima su izloženi, kako bi se spriječile oštećenja koja bi mogla izazvati požar. Preporučuje se korištenje modula koji su razvrstani u razred A prema normi SIST EN IEC 61730-1:2018 *Photovoltaic (PV) module safety qualification -- Part 1: Requirements for construction* (40). Moduli su u nekim slučajevima izloženi agresivnim okolinama koje uzrokuju koroziju. Na primjer, na farmama može doći do korozije zbog vodene otopine amonijaka. U tim slučajevima, potrebno je koristiti elemente otporne na koroziju. Osim toga, nužno je periodično održavanje, redoviti pregledi i mjerenja za kontrolu mogućih oštećenja sustava. Pri odabiru modula, dimenzioniranju polja i konstrukcije, također treba uzeti u obzir mehaničke karakteristike modula, npr. savijanje zbog težine snijega. Ovi podaci moraju biti uključeni u statičku analizu. (33)

4.5.2.2 Požarne karakteristike materijala od kojih su fotonaponski moduli napravljeni

Moduli solarnih elektrana sastoje se od materijala koji su nezapaljivi i zapaljivi. Nezapaljivi materijali, poput stakla i metala koji čine kućište i pod konstrukciju, zapaljivi materijali uključuju smole, plastične mase itd., korišteni za kablove, izolaciju. Požarne karakteristike se dokazuju ispitivanjem reakcije na požar i klasificiraju se u razrede od A1 do F. Proizvodi razreda F, koji imaju najlošije požarne karakteristike, ili proizvodi koji su klasificirani u razred F jer imaju nepoznate požarne karakteristike, mogu se koristiti samo ako ne čine vanjski sloj građevinskog proizvoda. (33)

4.5.2.3 Uputstva za pravilnu montažu modula

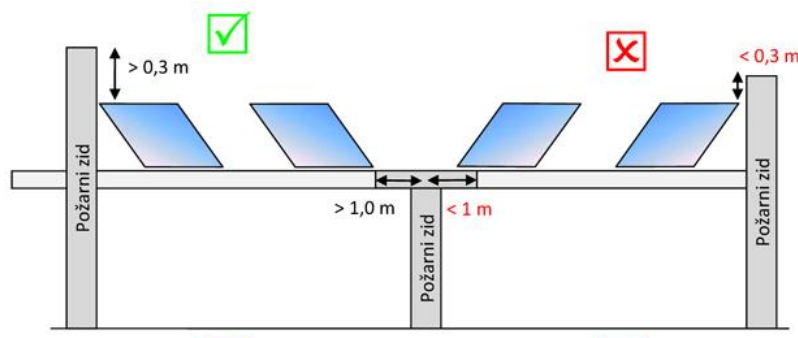
Fotonaponske module treba instalirati u skladu s uputama proizvođača i niskonaponskim instalacijama, Tehničkom smjernicom za električne instalacije i slovenskim standardima. Rastavljanje spojeva izmjeničnih krugova pod opterećenjem može izazvati stvaranje električnih lukova.

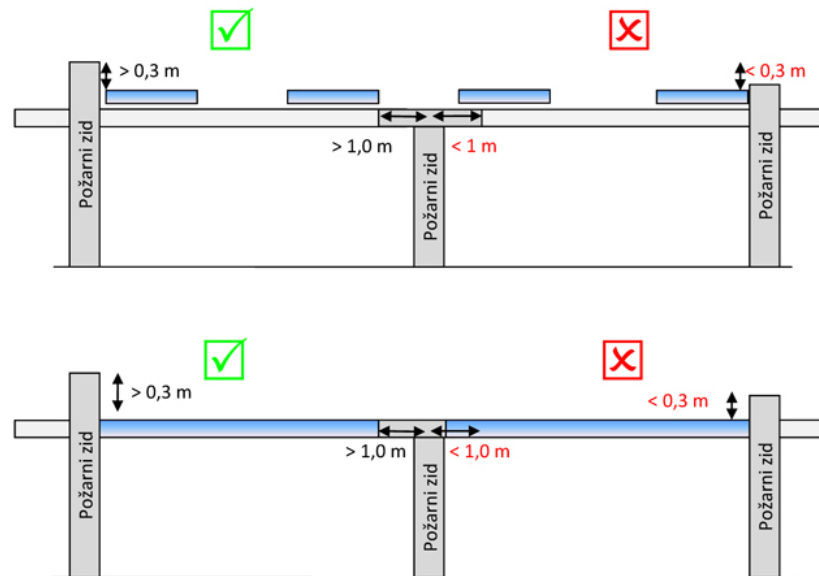
4.5.3 Lokacija i raspored modula

4.5.3.1 Lokacija modula uz požarne zidove i požarno nezaštićene otvore

Prilikom postavljanja solarnih elektrana na zgradu, potrebno je uzeti u obzir podjelu zgrade na požarne odjeljke. Module je potrebno postaviti oko požarnih zidova tako da ne doprinose širenju požara iz odjeljka u odjeljak, a prolazi za instalacije moraju biti postavljeni na način koji ne smanjuje požarne sigurnosti zgrade. Ove zahtjevi se ispunjavaju na sljedeći način:

1. Moduli ili drugi zapaljivi (građevinski) elementi se ne postavljaju na požarne zidove ili slične požarne pregrade na krovu ili fasadi zgrade.
2. Postavljanje modula ili drugih građevinskih elemenata iznad otvora ili uređaja za odvod dima i topline, te požarno nezaštićenih otvora nije dozvoljeno.
3. Omogućava se pristup dimnjacima, ventilacijskim uređajima na krovu, krovnim ventilatorima itd., i oko njih se planira slobodna površina u skladu s zahtjevima za održavanje, širina slobodne površine oko uređaja na krovu ne smije biti manja od 1,0 m.
4. Planira se da udaljenost između modula solarnih elektrana i ruba požarnog zida uvijek bude 1,0 m, osim kada požarni zid izlazi više od 0,3 m iznad gornje površine modula.
5. Fotonaponski moduli razreda A prema SIST EN 61730-1 *Photovoltaic (PV) module safety qualification -- Part 1: Requirements for construction* (40) se uključuju u krov za koji nije zahtijevana požarna otpornost, a požarni zid mora se prostirati barem 0,3 m iznad modula, integrirani moduli mogu biti postavljeni do ruba požarnog zida, također je prikladno izvesti s trakom širine 1,0 m na kojem nema integriranih modula, na svakoj strani požarnog zida (slika 27).





Slika 27 Primjeri pravilnog i nepravilnog postavljanja FN modula (33)

4.5.3.2 Osiguravanje slobodnih prolaza za održavanje i gašenje između polja modula

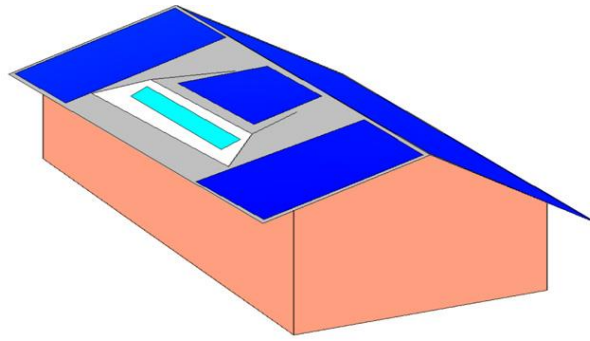
Potrebno je omogućiti pristup onima koji održavaju sustav i vatrogascima, do ugrađenih sistema aktivne zaštite od požara (npr. za odvod dima i topline), gromobrana itd., ispod krova ili na krovu. (33)

1. Kosi krovovi

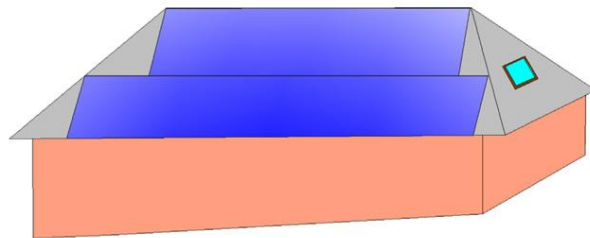
a. Krov s dvostrukim padom potpuno je prekriven modulima s jedne strane - pristup potkrovlju ili na krov je sa te strane.

b. Kos krov (jedan ili dvostruki pad) je potpuno prekriven modulima - pristup potkrovlju ili na krov je kroz prozor širine najmanje 0,9 m i visine najmanje 1,2 m.

c. Na kosom krovu (jedan ili dvostruki pad) gdje nema prikladnog prozora za pristup, za gašenje je potrebno osigurati prostor širine najmanje 1,0 m od ruba krova sa barem jedne strane i istu širinu ispod grebena.



Slika 28 Primjer kada je pristup krovu ili prostoru ispod krova moguć kroz prozorsko otvor veličine najmanje 0,9 m x 1,2 m, u potkrovlju (33)



Slika 29 Primjer kada se na krov ili ispod krova može pristupiti kroz prozorsko otvor, čija minimalna veličina iznosi 0,9 m x 1,2 m; u ovom slučaju, s modulima se može potpuno prekriti i druga strana krova (33)



Slika 30 Primjer kada pristup krovu ili ispod krova nije moguć kroz prozor ili direktno s terena (33)

2. Ravni krovovi

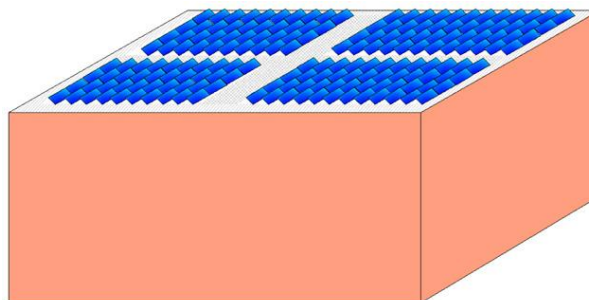
Na ravnim krovovima s površinom manjom od 40,0 m x 40,0 m bez prikladnog pristupa na krov, potrebno je osigurati prolaz širine najmanje 1,0 m za pristup održavateljima i vatrogascima s barem jedne strane krova. (33)

Na ravnim krovovima s površinom većom od 40,0 m x 40,0 m, polja modula treba ograničiti na maksimalno 40,0 m x 40,0 m. Između ruba krova i takvog polja mora biti

najmanje 1,0 m širok prolaz. Između dvaju takvih polja mora biti slobodan prolaz širine najmanje 2,0 m. (33)



Slika 31 Primjer postavljanja četiri panela modula na ravnini krova, kroz koju protupožarni zidovi ne dosežu (33)



Slika 32 Primjer postavljanja nagibnih panela na ravnoj krovnoj površini bez požarnih pregrada (33)

3. Posebni slučajevi krovova

Kod krovova od lima koji je samo tretiran protiv kondenzacije, kod krovova koji su zaštićeni samo hidroizolacijom, kod sivih i sličnih krovova, potrebno je konzultirati se s inženjerom za požarnu sigurnost i smjernice primijeniti na odgovarajući način, jer u ovim smjericama nije moguće obuhvatiti sve čimbenike koji se pojavljuju kod takvih krovova. (33)

4.5.4 Montaža električnih instalacija sunčane elektrane

4.5.4.1 Požarni rizici i opasnosti za vatrogasce uslijed grešaka pri montaži električnih instalacija

Oštećenja kablova, spojeva ili drugih komponenata električnih instalacija solarnih elektrana mogu dovesti do izbijanja požara. Oštećeni dijelovi koji su pod naponom predstavljaju opasnost za održavatelje i vatrogasce. Ispravnom montažom električnih

instalacija možemo smanjiti rizik od oštećenja tijekom ugradnje i tijekom životnog vijeka elektrane. Ako kablovi prolaze kroz granice požarnih odjeljaka (požarni zidovi, stropovi itd.), prolasci instalacija ne smiju smanjiti požarnu otpornost takvih granica. (33)

4.5.4.2 *Mjere za sprečavanje opasnosti od oštećenja instalacija*

Kablovi, priključci i ostali dijelovi instalacija moraju biti prikladni za solarne elektrane. Uobičajeni zahtjevi za kabele solarnih elektrana koji su izloženi vremenskim uvjetima uključuju:

- materijal: bronca
- zaštitni razred barem II
- dvostruka izolacija
- boja: crvena, plava, crna
- otpornost na vremenske uvjete i UV svjetlo
- otpornost na ozon
- bez halogena
- otpornost na kiseline i lužine
- otpornost na abraziju

Prilikom montaže solarnih elektrana ne smijemo smanjiti vatrootpornost konstrukcije ili omogućiti širenje požara između požarnih odjeljaka zgrade putem elemenata solarnih elektrana. Prolasci kroz granice požarnih odjeljaka mogu se provesti samo kroz vatrootporne proboje koji moraju biti zaštićeni tako da imaju istu vatrootpornost kao i konstrukcija. Zaštita prolaza mora imati odgovarajuću dokumentaciju, a montažu treba obaviti kvalificirani instalater. Prolaz kabela kroz vatrootporni zid također treba zaštititi kako bi se spriječio prijenos požara. (33)

Tipka za aktiviranje prekidača istosmjerne struje mora biti na lako dostupnom i vidljivom mjestu. Na zaštićenim evakuacijskim putevima u svim vrstama zgrada, na stepenicama kuća te u prostorima koji vode sa stepenica prema van, nije dopušteno postavljanje nezaštićene instalacije istosmjerne struje. Kod polaganja DC - kablova izvan objekta, potrebno je paziti da su kablovi:

- pravilno označeni i njihov položaj je ucrtan i na protupožarnom planu
- odgovarajuće izolirani, a izolacija je zaštićena od oštećenja
- na krovu postavljeni izvan područja za prikupljanje kišnice ili oluka

Ako su pravila za sprječavanje nastanka električnog luka poštovana tokom planiranja, instalacije i održavanja sunčanih elektrana, požarni rizik kod tih elektrana je nizak.

U Europskoj uniji ne postoji sličan stručni dokument, standard ili propis koji se odnosi na detekciju električnih lukova u sunčanim elektranama. Ipak, preporučuje se da se takvi koraci uzmu u obzir prilikom izgradnje sunčanih elektrana jer se ne može jamčiti da do nastanka električnog luka neće doći. To je posebno važno kod zgrada ili drugih objekata sa visokim rizikom od požara za ljude i vrijednost, kao što su objekti za čuvanje i brigu o djeci, domovi za starije. (33)

4.5.4.3 Montaža pretvarača i priključnih ormara

Pri određivanju mjesta za pretvarače i priključne ormariće, treba uzeti u obzir upute proizvođača i zahtjeve ovih smjernica. Pretvarače treba postaviti izvan zona evakuacije i pristupa vatrogascima te ih odgovarajuće zaštititi od prašine, vlage i vode. (33)

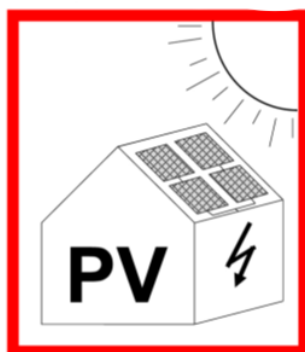
Pri odabiru vrste pretvarača, treba uzeti u obzir uvjete okoline u kojoj će biti postavljeni: temperaturu, vlažnost prostora ili uvjete na otvorenom. Ako su pretvarači u zgradi, moraju se nalaziti u suhom prostoru gdje nema prašine i gdje nisu izloženi visokim temperaturama. Ako su kablovi do pretvarača postavljeni u protupožarnim kanalima, prostor s pretvaračima mora biti protupožarno odvojen od susjednih prostora. Pretvarači moraju imati osigurano prozračivanje i hlađenje potrebno za njihov ispravan rad (zahtjevi su navedeni u uputama proizvođača). Pretvarači također trebaju biti dovoljno udaljeni jedan od drugoga. (33)

U radijusu od 1,0 m oko pretvarača ne smiju se nalaziti zapaljivi materijali. Pretvarači ne smiju biti izloženi isparavanju i plinovima agresivnih tvari, vodenoj pari, sitnim prašnim česticama, izljevu vode ili poplavama. Na područjima sklona poplavama, pretvarače treba postaviti iznad razine vode, a njihovo pričvršćivanje mora osigurati čvrstoću čak i tijekom poplava. Pretvarači se ne smiju postavljati izravno na drvene građevinske elemente ili druge zapaljive materijale. Između zapaljivog materijala i pretvarača, treba postaviti negorive izolacijske ploče odgovarajuće debljine, koje se protežu najmanje 1,0 m sa svih strana pretvarača. Na primjer, odgovarajuća je izolacijska ploča od kalcijevog silikata debljine 15 mm ili suha izolacijska ploča s usporedivom izolacijskom svojstvom. Kao i kod modula, oko pretvarača se ne može uvijek osigurati zaštita okoline od pregrijavanja, rizika od dodira na dijelove pod naponom i slično. U takvim slučajevima, treba osigurati zaštitno područje od 1,0 m, u koje se ne smije pristupiti u slučaju kvara. (33)

4.5.4.4 Označavanje zgrada i pojedinih dijelova solarnih elektrana

Svrha označavanja je upozoriti osobe koje nisu dovoljno upoznate s instaliranom solarnom elektranom, ali kojima su takve informacije potrebne u slučaju požara. Moraju znati lokacije pojedinih ključnih komponenata solarnih elektrana: fotonaponskih modula, DC prekidača, invertera, vodova jednosmjerne struje, priključnih ormara, prekidača strujnih krugova i slično. Na vidljivim mjestima moraju biti postavljene jasne oznake. Veličina ploče ili naljepnice na odgovarajućoj podlozi mora biti takva da crveni rubni znak nije manji od formata A6 (slika 33). (33)

SOLARNA ELEKTRANA NA OBJEKTU



POZOR!

**UPOZORENJE: OPASNOST OD
ELEKTRIČNOG UDARA TIJEKOM
GAŠENJA VODOM!**

**DIREKTNNA STRUJA - NAKON
ISKLUČENJA, NEKI DIJELOVI
MOGU OSTATI POD NAPONOM**

Slika 33 Oznaka zgrade s solarnom elektranom (33)

U posljednjim godinama na tržištu raste ponuda sustava za pohranu električne energije koji mogu zamijeniti klasične sustave s olovnim baterijama s tekućim elektrolitom ili gelom za pohranu električne struje iz solarnih elektrana. Moderni Li-ionski akumulatori postižu mnogo veće energetske gustoće, ali istovremeno donose nova rizika od požara i eksplozija koji se mogu pojaviti pri mehaničkim oštećenjima i pregrijavanju zbog intenzivnih ciklusa punjenja i pražnjenja ili kratkih spojeva. Termičko preopterećenje Li-ionski akumulator može uzrokovati unutarnji kratki spoj i požar ili eksploziju, reakcija je vrlo nasilna i predstavlja veliku opasnost za okolinu. Ove opasnosti također zahtijevaju odgovarajuće sigurnosne oznake koje se postavljaju ispred prostorija i na uređajima za pohranu. Za siguran rad ovih uređaja, potrebno je osigurati adekvatno hlađenje prostora u kojem su postavljeni. U slučaju požara može doći do izuzetno intenzivnog gorenja visokom

temperaturom ili čak eksplozije. U Li-ionskim akumulatorima prisutni su alkalni metali i grafit, a tijekom gorenja stvara se fluorovodična kiselina. Ispravna označavanja takvih uređaja za pohranu električne energije iz solarnih elektrana, posebno su važna kod malih solarnih elektrana u individualnim stambenim i sličnim zgradama, gdje nema posebnih prostorija za njihovo smještaj, pa se stoga postavljaju i u prostorijama u kojima se često zadržavaju ljudi. U takvim slučajevima upozorenja o mogućim opasnostima su posebno važna. Treba napomenuti da se moderni sustavi za pohranu znatno razlikuju od klasičnih akumulatorskih, stoga nije nužno da ih osobe koje će intervenirati kod požara prepoznaju kao sastavni dio solarnih elektrana. Po izgledu, ormari za pohranu obično su slični električnim ormarićima. Mogu biti montirani na zidu ili slobodno stajati u prostoru, obično u podrumima ili drugim prostorijama unutar zgrade. S obzirom na brzi rast tržišta takvih proizvoda i činjenicu da još uvijek nisu dostupni svi potrebni međunarodni standardi proizvoda koji bi obvezivali proizvođače na poštivanje sigurnosnih kriterija, za korisnike i kupce je izuzetno važno da budu svjesni potencijalnih požarnih rizika i da se pri odabiru proizvoda savjetuju s stručnjacima. (33)

4.5.5 Posebni i dodatni zahtjevi u pogledu požarne sigurnosti

4.5.5.1 Odvod dima i topline iz zgrade

Solarna elektrana ne smije ometati, smanjivati ili na bilo koji drugi način ograničavati odvod dima i topline iz zgrade u slučaju požara. (33)

4.5.5.2 Zahtjevi za postavljanje akumulatora električne energije

Potrebno je pažljivo razmisliti o lokaciji prostora s akumulatorima. U obiteljskim ili manjim poslovnim zgradama često se koriste garaže i slični prostori za tu svrhu. Potrebno je provjeriti jesu li ti prostori odgovarajuće požarno izdvojeni od dijelova zgrade u kojima se redovito zadržavaju ljudi. Tako prostor treba biti poseban požarni odjeljak, od ostalih prostora ga moraju razdvajati konstrukcije koje imaju najmanje istu razinu požarne otpornosti kao nosiva konstrukcija zgrade, ali ne manje od (R)EI 30. Taj prostor također treba procijeniti s obzirom na protueksplozijsku zaštitu, ovisno o odabranom sustavu pohrane energije. Također treba razmotriti rizik od mogućih poplava, posebno ako je taj prostor u podrumu. Potrebno je osigurati odgovarajuću ventilaciju. Otvori moraju omogućiti da se prostor ventilira izravno na otvoreno, a da pri ventilaciji plinovi iz prostora ne mogu prodirati u druge dijelove zgrade. Ako prirodno prozračivanje prostora nije moguće, potrebno je prisilno prozračivanje ventilatorima. Otvora za prozračivanje moraju biti

najmanje dva, postavljeni na suprotnim zidovima udaljeni najmanje dva metra jedan od drugoga, kako bi se osigurao odgovarajući protok zraka kroz prostor. (33)

U zgradama koje su nepropusne za zrak, kako je zahtijevano za pasivne i niskoenergetske zgrade gdje je prozračivanje riješeno rekuperacijom, akumulatori se moraju postaviti tako da prozračivanje bude odvojeno i neovisno o zgradi. Ako to nije moguće, akumulatori se ne smiju postavljati. (33)

4.5.6 *Zahtjevi za instalacije u zgradi s solarnom elektranom*

Kućne instalacije za ventilaciju, klimatizaciju, odvod plinova iz motora s unutarnjim sagorijevanjem, dimnjaci itd. moraju biti postavljeni na način koji osigurava da odvojeni zrak neće biti usmjeren prema fotonaponskim modulima. Njihov razmak od modula mora biti u skladu s uputama proizvođača instalacija, ali ne manje od 1,0 m. Ispušni otvori gorivih plinova iz instalacija ili sigurnosnih ventila ne smiju biti postavljeni bliže modulima nego što je određeno u procjeni ili izvješću o opasnosti od eksplozije. (33)

4.5.7 *Dodatne smjernice za instalaciju solarnih elektrana na višestrukim krovovima*

Kada se postavlja solarna elektrana na višestrukim krovovima, potrebna je posebna pažnja u izvedbi kako bi se spriječila prijenos požara sa nižih na više dijelove zgrade.

Za module na najvišem dijelu zgrade nema posebnih zahtjeva, ako se zgrada nalazi najmanje 10 metara udaljena od relevantne granice zemljišta ili ako je visina zgrade veća od 10 metara. Ako je odstupanje od relevantne granice manje od 10 metara ili manje od visine zgrade, tada se mogu instalirati samo moduli razreda A prema standardu SIST EN 61730-1 *Photovoltaic (PV) module safety qualification -- Part 1: Requirements for construction* (40). (33)

4.5.8 *Dodatne smjernice za samostojeće solarne elektrane*

Smjernice za montiranje i postavljanje električnih vodova istosmjernog toka su uglavnom identične onima za solarne elektrane na zgradama. Vodovi koji su položeni na tlu moraju biti zaštićeni od mehaničkih oštećenja koja bi mogla nastati, primjerice, prilikom košenja trave. Također, potrebno je zaštititi ih od glodavaca i ostalih životinja. (33)

Potrebno je posvetiti pozornost spojnim mjestima transformatora i uređaja za pretvaranje izmjenične u jednosmjernu struju. Oko solarnog generatora i ispod njega, potrebno je smanjiti požarni teret i izvore paljenja:

- travu i druge biljke treba redovito kositi, a pokošenu travu ukloniti odmah ili što je prije moguće
- nosive konstrukcije modula i drugih uređaja ne smiju biti zapaljive

- nakon instalacije solarnog elektrana, svi zapaljivi materijali koji nisu dio elektrane (npr. kartoni i druga ambalaža) moraju biti uklonjeni

Ako su samostojeće solarne elektrane spojene na javnu mrežu, potrebno je izraditi plan zaštite od požara i dostaviti ga nadležnoj vatrogasnoj jedinici. Transformatori i uređaji za pretvaranje s naponom iznad 1 kV dodatno moraju biti zaštićeni od pristupa i označeni za visoki napon. Prilikom planiranja, moraju se osigurati pristupne staze i radne površine za vatrogasce. Razmaci između pojedinih generatora moraju biti takvi da ih mogu koristiti vatrogasna vozila. Vatrogasci moraju imati pristup transformatorskim stanicama, uređajima za pretvaranje i sustavima za pohranu električne energije. Pametno je oblikovati generatore na velikim solarnim elektranama kao odvojene požarne odjeljke. Razmake između pojedinih polja treba odrediti od slučaja do slučaja jer ovise o različitim čimbenicima kao što su zemljište s zapaljivim materijalima, mogućnost ranog otkrivanja požara, nagib terena, požarna svojstva ugrađenih modula i drugih dijelova solarnih elektrana. (33)

4.5.9 *Dodatne smjernice za puteve evakuacije*

Sigurnost puteva evakuacije ne smije se smanjiti postavljanjem solarnih elektrana. Na putevima evakuacije ne smiju biti uređaji poput uređaja za pretvaranje izmjenične u jednosmjernu struju, razdjelni ormari, kućni priključci i drugo. Postojeće dimenzije elemenata puteva evakuacije ne smiju se mijenjati. Na zidove, stropove ili krovove evakuacijskih puteva, posebno na zaštićenim stepenicama, nije dopušteno ugraditi integrirane solarne elektrane. Ako se solarna elektrana postavi na konstrukciju gdje se nalaze evakuacijski putevi, posebno ako se radi o zaštićenim stepenicama, konstrukcija mora imati minimalnu požarnu otpornost od (R)EI 60. Na takvom zidu iznad modula i u širini od 1,5 metara oko modula ne smiju biti nepropusne otvore. (33)

4.5.10 *Potvrda o ispravnosti izvođenja solarne elektrane s požarnog stajališta*

Prije upotrebe solarne elektrane i također nakon njenih promjena, popravaka ili proširenja, instalater mora potvrditi sigurnost osoba i životinja i to da je sustav dovršen provođenjem ispitivanja prema SIST HD 60364-6 *Low-voltage electrical installations -- Part 6: Verification* (41) i SIST EN 62446 *Photovoltaic (PV) systems - Requirements for testing, documentation and maintenance- Part 1: Grid connected systems - Documentation, commissioning tests and inspection* (42) uz pomoć odgovarajuće mjerna oprema. Požarna sigurnost i sigurnost od električnog udara se ispituje inspekcijom, mjerenjima i testiranjem. (33)

Inspekcija uključuje provjeru postavljanja uređaja i njegovo stanje prije mjerenja, što je jedan od ključnih koraka kod kojeg se može otkriti većina grešaka.

Mjerenja pomoću odgovarajućih instrumenata koriste se za ocjenu učinkovitosti sigurnosnih mjernih instrumenata. Rezultate mjerenja treba dokumentirati, tumačiti i arhivirati. Testiranje također obuhvaća ispitivanje rada sigurnosnih i alarmnih uređaja, kao što su pritisak testnih tipki, prebacivanje prekidača itd. (33)

Pregled, mjerenja i ispitivanje međusobno su povezani postupci koji se provode u pravom trenutku. Testiranje prati montažu od početka do predaje sustava za uporabu. Samo putem mjerenja nakon završetka montaže ne može se osigurati pravilna izvedba instalacija i sigurna upotreba solarne elektrane. (33)

4.5.11 Predaja, označavanje i tehnička dokumentacija solarne elektrane te obrazovanje o njima

Izvođač je dužan predati besprijekornu solarnu elektranu, mora korisnika osposobiti za uporabu uređaja i predati mu dokumentaciju o sustavu. Obuka i predaja odnosno preuzimanje solarne elektrane moraju se evidentirati zapisnikom ili ekvivalentnim dokumentom. Time korisnik također potvrđuje da je upoznat s uređajem, sigurnosnim uređajima i mjerama te svojim obvezama. (33)

Osoba koja prati rad uređaja mora biti osposobljena od strane izvođača dovoljno da prepozna eventualne greške koje se javljaju na pretvaraču ili priključnom ormariću te da poduzme odgovarajuće mjere. (33)

Solarnu elektranu treba označiti prema SIST EN 62446 *Photovoltaic (PV) systems - Requirements for testing, documentation and maintenance - Part 1: Grid connected systems - Documentation, commissioning tests and inspection* (42):

- svi električni krugovi, osigurači, prekidači i spojne stezaljke moraju biti označeni
- svi jednosmjerni razvodni ormarići (lokalni i glavni razvodni ormarići) moraju imati upozoravajući znak da su unutar ormarića aktivni dijelovi solarne elektrane i da su dijelovi uređaja i dalje pod naponom unatoč isključenom pretvaraču i vanjskom napajanju
- glavni izmjenični prekidač mora biti jednoznačno označen
- na mjestu zajedničkog prekidača mora postojati znak za dvostruko napajanje
- na mjestu mora biti dostupna jednofazna shema
- na mjestu moraju biti dostupna upute za sigurnosne postavke pretvarača i detalji instalacije

- na mjestu moraju biti dostupne upute za nužni isključenje
- sva upozorenja i oznake moraju biti trajna i trajno pričvršćena

4.5.12 Održavanje

Tijekom svog životnog vijeka, solarna elektrana izložena je brojnim vremenskim utjecajima (npr. ozonu, UV zračenju, snijegu, olujama) i iako su dugogodišnja iskustva s solarnim elektranama koje su postavljene tijekom 80-ih i 90-ih godina prošlog stoljeća pokazala da dobro dizajnirani i postavljeni uređaji su otporni i gotovo ne zahtijevaju održavanje. (33)

Redovito održavanje nužno je zbog sigurnosti i besprijekornog rada uređaja tijekom cijelog životnog vijeka. Prodavatelj solarnih elektrana mora najkasnije tijekom obuke obavijestiti korisnika, vlasnika ili upravitelja zgrade o pravilima održavanja i definirati termine redovitih pregleda. Nakon iznimnih vremenskih događanja, poput snažnih oluja ili velike količine snijega, potreban je iznimni pregled. Slabe nosače potrebno je pregledati i izvesti potrebna mjerenja. Pravilno stručno održavanje solarnih elektrana koje provodi održavatelj električnih uređaja mora uključivati: nadzor, održavanje, popravke. (33)

4.6 Sažetak analize smjernica za fotonaponske panele

Nakon pregleda, obrade i prikaza smjernica, koje obuhvaćaju upute za postavljanje fotonaponskih sustava, u prethodnim poglavljima, u nastavku je dan kratki sažetak i prikaz sličnosti i razlika u obrađenim smjernicama. Svaka od ovih smjernica ima niz mjera koje se većinski slažu i predlažu iste postupke, neke detaljnije od drugih.

. Smjernice obrađuje fotonaponske sustave priključene na električnu mrežu (FN sustavi). Namijenjeno je ponajviše projektantima, instalaterima i ispitivačima električnih sustava, operaterima te iznajmljivačima zgrada. Služe kao vodič u prepoznavanju grešaka i/ili potencijalnih opasnosti prilikom instalacije i radnog vijeka samog fotonaponskog sustava. Kao glavni cilj smjernica se nameće sprečavanje nastanka požara, sprečavanje širenja požara unutar zgrade i na susjedne građevine, spašavanje života ljudi i životinja, zaštita imovine i omogućavanje sigurnog gašenja požara. Vrlo bitno je da se prilikom planiranja, instalacije i rada fotonaponskih sustava pazi da izvedba ne utječe negativno na postojeću građevinu i njenu okolinu. Prilikom planiranja i izvođenja vrlo je bitno da sudjeluju stručnjaci iz tog područja. Također pri ugradnji samog sustava, uvijek je potrebno osigurati da se elementi koji se koriste prema napucima proizvođača, da se pridržava

smjernica koje je dao proizvođač, da se ne oštećuju postojeći građevinski dijelovi. Za svaki projekt fotonaponskog sustava treba provesti odgovarajuću procjenu rizika od požara, koju će izraditi i zabilježiti odgovorna osoba. Procjena rizika identificirat će potencijalne rizike, odgovarajuće mjere za ublažavanje tih rizika i zahtjeve kako bi se postigla željena razina protupožarne sigurnosti. To uglavnom uključuje razgovor s nadležnom vatrogasnom postrojbom kako bi bili upućeni u sami sustav i bili spremni u slučaju eventualnog požara.

Instalacije fotonaponskog sustava ne smiju sniziti otpornost na požar samog krova. Ukoliko se instaliranje odvija na zapaljivom ili djelomično zapaljivom krovu trebala bi se primijeniti vatrootporna obloga. Pokrivanje krovova visokom gustoćom FN panela može ograničiti vatrogasce u provjetravanju i gašenju požara unutar zgrade te to treba izbjegavati. Sami prostor koji se nalazi između modula i dijela krova može postati dio u koji se nakuplja lišće, snijeg/led što dovodi do novog problema s neočekivanom težinom na koju konstrukcija nije bila projektirana. Uz to, treba paziti na opasnost koju predstavljaju životinje poput glodavaca i ptica koje mogu oštetiti instalacije te izazvati požar, dok je ptičji izmet opasan ukoliko se ne očisti sa samog panela pošto može izazvati zasjenjenje te tako potaknuti razvitak *hot spota* koji može biti izvor požara. Nakon svakog ekstremnog vremenskog događaja, poput tuče ili oluje, krovovi bi trebali biti pregledani.

Sve se više FN sustava opremaju sa sustavima za baterijsko skladištenje. Zbog toga je preporuka da se koristiti samo certificiran baterijski sustav. U skladu s pravilima, baterije moraju biti ugrađene u zaštićene prostore, npr. u baterijski prostor ili ormar. Zahtjevi opisani o postavljanju i pogonu baterija moraju se ispuniti i poštivati, npr. potrebno je pridržavati se uvjeta za postavljanje koje je izdao proizvođač, baterijski sustav ne smije biti postavljen u području gdje postoji opasnost od požara i eksplozije, mjesto postavljanja mora osiguravati zaštitu od ekstremnih okolišnih uvjeta. Za siguran rad ovih uređaja, potrebno je osigurati adekvatno hlađenje prostora u kojem su postavljeni. U slučaju požara može doći do izuzetno intenzivnog gorenja visokom temperaturom ili čak eksplozije. S obzirom na veliki i brzi rast tržišta ovih proizvoda i činjenicu da još uvijek nisu dostupni svi međunarodni standardi proizvoda koji bi obvezivali proizvođače na poštivanje sigurnosnih kriterija, za korisnike i kupce je izuzetno važno da budu svjesni potencijalnih požarnih rizika i da se pri odabiru proizvoda savjetuju s stručnjacima. Solarna elektrana ne smije ometati, smanjivati ili na bilo koji drugi način ograničavati odvod dima i topline iz zgrade u slučaju požara. Kod zgrada koje su više izložene požaru, treba razmotriti mogućnost postavljanja sustava automatskog otkrivanja i dojave požara u prostorijama ispod donje strane modula.

Zgrade s fotonaponskim sustavom trebale bi imati jasne oznake da imaju fotonaponski sustav. Sama oznaka prikazana je u poglavlju 3.5.4.4. na slici 33. Oznake bi se trebale nalaziti na samoj građevini, ali i početku električne instalacije, mjestu mjerenja ako je udaljeno od početka instalacije, potrošačkom uređaju ili razvodnoj ploči na koju je spojen izlaz iz invertera. U planovima za gašenje požara trebalo bi prikazati kako su postavljeni kablovi FN sustava kako bi podržali vatrogasce u njihovim intervencijama. U slučaju većih instalacija, vatrogasci bi trebali biti pozvani na posjete prostor kako bi se upoznali s lokacijama FN panela na lokaciji. Kutije za priključak generatora moraju biti označene znakom upozorenja jer aktivni dijelovi i nakon odvajanja od FN invertera mogu biti pod naponom. Izvana treba održavati jasan put kako bi se omogućilo vozilima s visokim dohvatom prikladan pristup svim zgradama s FN instalacijama na krovu. Također bi trebala biti dostupna odgovarajuća mjesta za okretanje. U Tablici 1 prikazane su sličnosti po pojedinim stavkama za svaku od obrađenih smjernica.

Tablica 1 Prikaz smjernica

	VdS 3145	CFPA E Guideline No 37:2018 F	RC62	SZPV 512
opasnosti	Sve smjernice kao potencijalne opasnosti za oštećenje i/ili uzrok požara, za sami fotonaponski sustav, navode: kiša, vjetar, snijeg, temperaturne promjene, jake oluje, grmljavine, oštećenja od strane životinja (glodavci, ptice), loše postavljanje i instalacija, agresivne tvari, nakupljanje lišća itd.			
konstrukcija	FN moduli za ugradnju u kovne površine moraju u skladu sa lokalnom regulativom ispunjavati zahtjeve „čvrstog krovišta“.	-	Veliki nizovi FN panela mogu značajno povećati opterećenje na krovu, povećavajući potencijal za urušavanje krova tijekom požara. Statički pregled treba provesti stručna osoba prije instalacije kako bi se izračunala nosivost krova, kako bi se točno znalo da li konstrukcija može podnesti novi teret fotonaponskog sustava.	Nosiva konstrukcija zgrade mora podnijeti opterećenje od solarne elektrane, uključujući i terete za redovito održavanje sustava. Gdje je potreban izravan pristup vatrogascima, također treba uzeti u obzir njihova opterećenja i opterećenje njihove opreme.
materijali konstrukcije	Načelo: korištenje najmanje zapaljivih (gorivih)	-	FN instalacije trebaju se postavljati na negorivim krovovima koji zadovoljavaju razred	Solarne elektrane i instalacije koje su uključene u

	građevinskih materijala.		A1/A2 s1, d0 prema normi BS EN 13501-1:2018.	krovnu konstrukciju ne smiju se postaviti izravno na nosivi okvir koji je goriv. Treba odabrati materijale i proizvode koji, što se tiče požarnih svojstava, odgovaraju konstrukciji, ili ih odgovarajuće zaštititi.
postavljanje kablova	FN moduli i nezaštićeni kablovi ne smiju voditi preko požarnog zida, u skladu s postojećim zakonom. Ako se polaganje kablova preko ili kroz požarni zid ne može izbjeći u iznimnim slučajevima, kablove je potrebno sigurno postaviti, npr. pomoću pregrada ili negorivih kanalic. Opasnost od oštećenja kablova ili vodova potrebno je izbjeći tako da se kablovi ne postavljaju preko oštih rubova. Kablove i vodove treba zaštititi od ugriza životinje.	Kablovi se ne smiju se postavljati preko požarnog zida, ukoliko se to ne može izbjeći, trebali bi se instalirati u vatrootpornim cijevima i kanalima za kabele.	Kablovi, ne smiju slobodno prelaziti preko vatrootpornih zidova, ukoliko se to ne može izbjeći, trebali bi se instalirati u vatrootporne kableske kanale i okna.	Uobičajeni zahtjevi za kabele solarnih elektrana koji su izloženi vremenskim uvjetima uključuj: materijal – bronca, zaštitni razred barem, dvostruka izolacija, boja: crvena, plava, crna, otpornost na vremenske uvjete i UV svjetlo, otpornost na ozon, otpornost na kiseline i lužine, otpornost na abraziju.
inverter	Na temelju potencijalne opasnosti od požara, inverteri se ne smiju ugrađivati na zapaljivom postolju potrebno je odabrati mjesto montaže koje je zaštićeno od vlage i agresivnog okolišnog zraka, po mogućnosti suho područje i bez prašine, kako bi se spriječila korozija.	-	-	Pretvarače treba postaviti izvan zona evakuacije i pristupa vatrogascima te ih odgovarajuće zaštititi od prašine, vlage i vode. Pretvarači moraju imati osigurano prozračivanje i hlađenje potrebno za

	Razmak između invertera i zida i/ili invertera minimalno 0,5 m.			njihov ispravan rad. U radijusu od 1,0 m oko pretvarača ne smiju se nalaziti zapaljivi materijali. Između zapaljivog materijala i pretvarača, treba postaviti negorive izolacijske ploče odgovarajuće debljine, koje se protežu najmanje 1,0 m sa svih strana pretvarača.
udaljenost sustava od požarnog zida	-	Na krovovima bi trebalo biti minimalno 2,5 metara udaljenosti između FN modula s obje strane požarnog odjeljka ili požarnog zida, osim ako se dopušta smanjenje udaljenosti zbog manjeg potencijalnog širenja požara preko odjeljka	na krovovima, između FN modula s obje strane odjeljka/vatrootpornih zidova trebalo bi biti minimalno udaljenosti od 2,5 m; smanjena udaljenost dopuštena je ako se smatra da je potencijal za širenje požara preko granice odjeljenja nizak	Planira se da udaljenost između modula solarnih elektrana i ruba požarnog zida uvijek bude 1,0 m, osim kada požarni zid izlazi više od 0,3 m iznad gornje površine modula.
sigurnost u slučaju požara	U slučaju požara u zgradi, vatrogasci bi trebali biti u mogućnosti isključiti napajanje iz modula. Vatrogasni prekidač trebao bi se nalaziti na prikladnom i lako dostupnom mjestu kako bi omogućio vatrogascima izolaciju napajanja od modula. Općenito, vatrogasci su obučeni za borbu protiv požara uključujući i električne uređaje i instalacije, što uključuje i FN sustave			
puštanje u pogon	Samo od strane električara s posebnom obukom i iskustvom rada na danom radnom području. Ispitivanje uz pomoć termografske kamere može otkriti neispravne izvore topline nastale na kratko spojenim čelijama, krivim lemovima, pukotinama na kojoj se nakuplja topline, električnim spojevima itd. koji mogu uzrokovati požar.			

FN sustav ne smije utjecati na već dostupan sustav zaštite od groma. Zbog toga se uređaji za zaštitu od udara groma moraju međusobno uskladiti s FN sustavom. FN moduli bi trebali biti postavljeni unutar zaštićenog područja postojećeg sustava zaštite od udara groma.

Važno je napomenuti još neke upute koje su opisane u svakoj od smjernica pojedinačno. Smjernica RC62 navodi kako je vrlo bitno, osim ako nije neizbježno, da se ne

obavljaju radovi poput zavarivanja, rezanja plamenom u blizini fotonaponskog sustava. Također preporučeno je da se postavi automatsko otkrivanje požara u svim prostorima unutar građevine u kojima se nalazi električna kontrolna oprema (inverteri, izolatori i razvodne ploče). Postavljanje sprinklera izuzetno je korisno za zaštitu imovine i trebalo bi razmotriti postavljanje u prostorima unutar zgrada gdje je instalirana oprema povezana s FN sustavima, kao i u susjednim prostorima koji su izloženi požaru ili izlažu te prostore požaru. Iako se u ovoj smjernici spominje da je preporučena udaljenost između panela i vatrootpornog zida ili požarnog odjeljka 2,5 m, dopuštena je manja udaljenost kod FN instalacija gdje se smatra da je potencijal širenja požara preko granice požarnog odjeljka nizak ili bi udaljenost od 2,5 m sa svake strane svakog odjeljka/vatrootpornih zidova spriječila izvedbu FN sustava, a gdje je malo vjerojatno da će se požar proširiti na više zgrada.

Smjernica CFPA i SZPV preporučuju da područja instalacije i FN redovi modula, na ravnim krovovima, ne budu neprekidni i da budu podijeljeni tako da između ima dovoljno širine kako bi se omogućio pristup za gašenje požara, ali i održavanje krova. U obje smjernice preporuča se da se polje modula ograniči na 40 m x 40 m. Smjernica CFPA preporuča da prolaz između polja bude barem 5 metara širine, dok je u smjernici SZPV 512 preporuka da između dva polja bude slobodan prolaz širine od najmanje 2 metra, a između ruba krova i modula 1 metar širine.

U smjernici SZPV 512 navodi se kako na ravnim krovovima, površine manje od 40 m x 40 m, bitno osigurati prolaz širine najmanje 1 metar barem s jedne strane. Kod kosih krovova koji su potpuno prekriveni modulima, bitno je osigurati pristup kroz prozor širine 0,9 m i visine 1,2 m. Nije dozvoljeno postavljanje modula iznad otvora ili uređaja za odvod dima i topline te se ne smiju postavljati na požarne zidove. Bitno je omogućiti pristup dimnjacima, ventilacijskim uređajima na krovu te širina slobodne površine ne smije biti manja od 1 m. Razmak između donje strane modula i gornjeg sloja krovišta omogućava prozračivanje sprečava pregrijavanje materijala. Ovaj razmak, mjereno od sredine krovišta (valoviti krov), mora biti minimalno 6 cm.

4.7 Održavanje

Kao i sve tehničke sustave, i fotonaponski je potrebno pravilno održavati i ispitivati kako bi se osigurao sigurni daljnji rad. Redovito održavanje nužno je zbog sigurnosti i rada samog sustava tijekom cijelog projektiranog radnog vijeka. Rad fotonaponskog sustava trebao bi se provoditi i nadzirati od strane kvalificiranog električara s posebnim obukama. Fotonaponski sustav, treba redovito pregledavati i održavati u odgovarajućim intervalima. Zgrade se moraju održavati u skladu propisanim pravilima i normama na način da ne ugrožavaju zdravlje i život. Ovo vrijedi i za FN sustave i dijelove sustava koji su ugrađeni na i u zgradi te su time sastavni dio te zgrade. Za održavanje (servisiranje, ispitivanje, stavljanje u pogon) te siguran pogon uvijek je odgovoran operater/vlasnik sustava. Osobe s odgovarajućom kvalifikacijom trebale bi biti angažirane za obavljanje svih poslova inspekcije, održavanja i popravaka. Operator može poduzeti sljedeće mjere kako bi osigurao da sustav sigurno i zadovoljavajuće radi tijekom godina: redoviti vizualni pregledi, vizualni pregledi koji ovise o događajima (npr. nakon oluje, tuče, velike količine snijega), redovito čišćenje. Redovnim vizualnim kontrolama mogu se pravovremeno otkriti oštećenja kao npr. oštećenja na izolaciji kablova, kućištu razdjelnika i invertera, FN generatorima i dr. Pri izvanrednim vizualnim kontrolama potrebno je obratiti pažnju na to je li, na primjer, drveće palo na krov i same module i prouzrokovalo oštećenja, je li potporni sustav/konstrukcija FN sustava oštećen olujom ili deformiran ili je li vidljiva bilo kakva oštećenja uzrokovana udarom groma. Pošto sva ta oštećenja mogu dovesti do kvara i potencijalnog požara. Ako se pronađu oštećenja, trebale bi biti pozvana adekvatno osoblje za popravke.

Redovitim čišćenjem FN sustava smanjuje se opasnost od pregrijavanja primjerice invertera ili pojava *hot spota*, a istovremeno se osigurava optimalna ventilacija. Time se osigurava daljnji ispravni rad sustava, dugotrajnost elektronike te se smanjuje opasnost od požara. Treba napomenuti da onečišćeni FN moduli daju manji doprinos. Koliko je potrebno čistiti module ovisi o vanjskim utjecajima, prisutnosti životinja.

5 DOM ZA STARIJE I NEMOĆNE OSOBE SVETI ANTUN

5.1 Uvod

U nastavku rada prikazan je primjer građevine na koju se postavlja fotonaponski sustav poštujući zahtjeve analiziranih smjernica. Odabrana građevina je Dom za starije i nemoćne osobe Sveti Antun u Karlovcu. Cilj je uspostaviti siguran sustav s namjerom proizvodnje određene količine električne energije za potrebe kućanstva, s ciljem smanjenja potrošnje energije iz javne mreže.

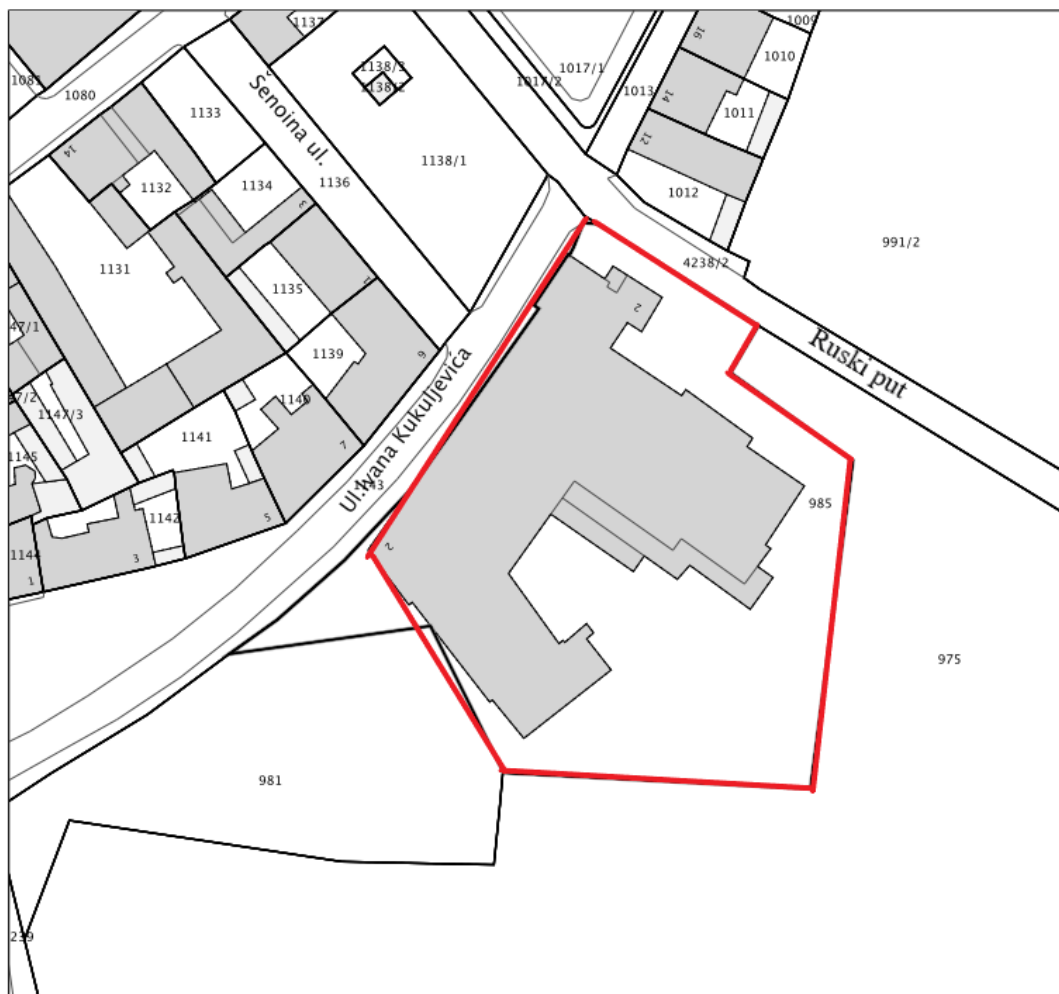


Slika 34 Dom za starije i nemoćne osobe sv. Antun (43)

5.2 Opis zgrade

5.2.1 Lokacija građevine

Dom za starije i nemoćne osobe Sveti Antun smješten je na uglu Kukuljevićeve ulice i Ruskog puta na bastionu Svete Elizabete, unutar spomeničke cjeline „Zvijezda“ u gradu Karlovcu. Lokacija je prikazana na katastarskom planu na slici 35, a broj čestice je 985.



Slika 35 Izvod iz katastarskog plana (Izvor: DGU)

5.2.2 Namjena građevine i način korištenja

Zgrada je namjenski građena za zbrinjavanje starijih ljudi u pogledu stanovanja i zdravstvene njege. Smještajni kapacitet građevine je 225 osoba, od toga 90 u stacionaru (nepokretni).

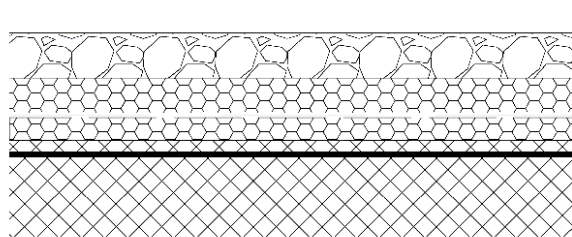
Radno vrijeme Doma umirovljenika je od 0:00 do 24:00 h, u kojem je ukupno zaposlen 71 radnik. U intenzivnoj njezi je zaposleno 24 radnika, dok je ostalih 47 radnika raspoređeno u tri smjene. U prvoj smjeni radi 37 radnika, u drugoj smjeni 8 radnika i u trećoj smjeni 2 radnika.

5.2.3 Građevinski i arhitektonski elementi građevine

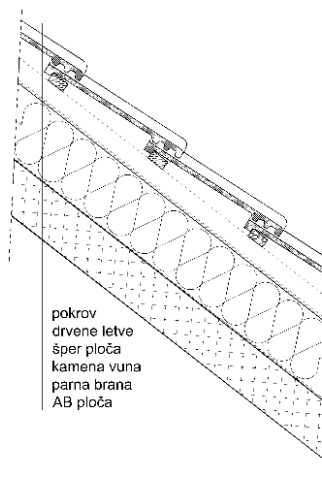
Zgrada Doma za starije i nemoćne Sveti Antun je prostorno koncipirana kao samostojeća, a sastoji se od podruma, prizemlja i tri kata. Podrum se proteže samo jednim dijelom građevine. Prostorije u podrumu su namjenski raspoređene na spremište, prostor za čistačice, električarske i stolarske radionice, kuhinjska spremišta i hladnjače te praonicu rublja.

U prizemlju nalazi se veliki broj sadržaja i prostora raspoređenih na uslužne djelatnosti (frizer, pediker, trgovina), administrativne prostore, smještajne jedinice, kuhinja i blagovaonica. Na prvom katu su smješteni prostori zdravstvene zaštite (dežurna sestra, glavna sestra, soba za previjanje, terapijska soba), intenzivna njega, zajednički prostori (dnevni boravak s čajnom kuhinjom, TV sala, spremište za čistačice i sanitarni čvor) i smještajne jedinice. Na drugom i trećem katu se uglavnom nalaze smještajne jedinice. Drugi kat sadrži 8 dvokrevetnih i 50 jednokrevetnih soba dok su na trećem katu koji je ujedno i potkrovlje, uglavnom smještene jednokrevetne sobe.

Nosiva konstrukcija građevine se sastoji od trakastih temelja i nekoliko temelja samaca koji se nalaze ispod nosivih stupova, te nosivih armiranobetonskih zidova. Dio podruma i sklonište nije grijano, te ovojnici grijanog prostora čine vanjski zidovi, zidovi prema negrijanom prostoru, podovi prema podrumu, podovi prema tlu, ravni i kosi krov. Vanjski zidovi, debljine 30 i 35 cm su podijeljeni u dvije vrste, armiranobetonske i zidove od opeke. Svi vanjski zidovi su ožbukani s vanjske strane vapneno-cementnom žbukom debljine 2 – 2,5 cm, te obloženi toplinskom izolacijom od okipora debljine 3 – 6 cm. Armiranobetonski zidovi u sebi, kao dodatan sloj sadrže sačastu opeku debljine 7 – 12 cm. Ravni krov zgrade je konstruktivno izveden kao ostale međukatne konstrukcije zgrade – armiranobetonska ploča na kojoj se nalazi parna brana, beton za pad, toplinska izolacija debljine 3,0 cm, hidroizolacija, toplinska izolacija debljine 6,0 cm zaštićena uvaljanim šljunkom (slika 36). Kosa krovna konstrukcija se sastoji od drvene konstrukcije od meke građe II klase, izolirane sa 6,0 cm toplinske izolacije, a pokrov je biber crijep (slika 37). Izvedba podova je uglavnom ista, plivajući pod gdje je na armiranobetonskoj ploči toplinska izolacija debljine 2,0 cm, PVC folija i cementi estrih minimalne debljine 3,5 cm. Podovi na tlu sadrže hidroizolaciju i toplinsku izolaciju debljine 5,0 cm. Završni slojevi podova si izvedeni kamenim pločama na stubištu i hodnicima i predvorju, drvenom oblogom u kancelarijama i smještajnim jedinicama, betonskom glazurom u tehničkim prostorima, keramičkim pločicama u sanitarnim prostorima. (44)



šljunak
 toplinska izolacija 6 cm
 hidroizolacija
 toplinska izolacija 3 cm
 beton za pad
 parna brana
 AB ploča



pokrov
 drvene letve
 šper ploča
 kamena vuna
 parna brana
 AB ploča

Slika 36 Presjek slojeva ravnog krova

Slika 37 Presjek slojeva kosog krova

5.3 Postojeći plan zaštite od požara

Požarni odjeljci su definirani namjenama pojedinih prostora i otpornosti građevinskih elemenata na požar. Centralnim smještanjem prostorija uprave i njege, postignuto je odvajanje stambenih u dva krila čime je smanjena mogućnost širenja eventualnog požara po građevini. Građevina je podijeljena u sljedeće požarne odjeljke, prikazani u prilogima 1-5:

- podrum (prilog 1)
 - požarni odjeljak PS-1 (ukupna površina 320 m²)
 - požarni odjeljak PS-2 (ukupna površina 87 m²)
 - požarni odjeljak PS-3 (ukupna površina 250 m²)
 - požarni odjeljak PS-4 (ukupna površina 71,20 m²)
- prizemlje (prilog 2)
 - požarni odjeljak PS-3 (ukupna površina 1379,5 m²)
 - požarni odjeljak PS-5 (ukupna površina 29,7 m²)
 - požarni odjeljak PS-6 (ukupna površina 36 m²)
 - požarni odjeljak PS-7 (ukupna površina 39,2 m²)
 - požarni odjeljak PS-8 (ukupna površina 6,1 m²)

- požarni odjeljak PS-9 (ukupna površina 70,48 m²)
- požarni odjeljak PS-10 (ukupna površina 456,29 m²)
- 1. kat (prilog 3)
 - požarni odjeljak PS-3 (ukupna površina 931 m²)
 - požarni odjeljak PS-11 (ukupna površina 607 m²)
 - požarni odjeljak PS-12 (ukupna površina 348,8 m²)
- 2. kat (prilog 4)
 - požarni odjeljak PS-3 (ukupna površina 467,6 m²)
 - požarni odjeljak PS-13 (ukupna površina 400,8 m²)
 - požarni odjeljak PS-14 (ukupna površina 381,4 m²)
 - požarni odjeljak PS-15 (ukupna površina 321,8 m²)
- 3. kat (prilog 5)
 - požarni odjeljak PS-3 (ukupna površina 515,5 m²)
 - požarni odjeljak PS-16 (ukupna površina 373,75 m²)
 - požarni odjeljak PS-17 (ukupna površina 263,7 m²)

Građevna je udaljena 2,3 km od Javne vatrogasne postrojbe Grada Karlovca koja ima organizirano 24 satno dežurstvo profesionalnih vatrogasaca, a vrijeme potrebno za intervenciju je 5 minuta. Profesionalna vatrogasna postrojba je povezana direktnom telefonskom linijom sa vatrodojavnom centralom Doma umirovljenika tako da se u slučaju dojava u Domu impuls automatski prenosi na Vatrogasnu postrojbu. (45)

Vatrogasni pristup omogućen je sa četiri strane, a problem jedino predstavlja parking koji se nalazi ispred samog doma u Kukuljevićevoj ulici. Vatrogasni putevi prikazani su u prilogu 6. (45)

Hidrantska mreža sastoji se od unutarnje i vanjske (prilog 6). Unutra je izvedena kao 30 zidnih hidranata pravilno razmještenih i pravilno opremljenih. Izvan građevine je 5 nadzemnih hidranata ispravno izvedenih i pravilno opremljenih. Izvor vode je priključak na gradsku vodovodnu mrežu. U građevini je izveden vatrodojavni sustav. Dojava požara signalizira se na recepciji, gdje je smještena i vatrodojavna centrala, uz dežurstvo od 24 sata na dan. Svaki hidrantski ormarić unutar građevine je propisno označen, te se unutar njega nalazi sva potrebna oprema za gašenje od požara. (45)

U Domu ne postoji vatrogasna služba već samo preventivna osoba za zaštitu od požara. To je osoba koja vodi računa o redovnom održavanju i servisiranju vatrogasnih aparata.

Iz građevine je omogućena evakuacija korisnika i zaposlenih izvan ugroženog prostora. Najveća udaljenost do izlaza iznosi 25 m. (45)

5.4 Idejno rješenje fotonaponskog sustava

U nastavku rada daje se prikaz idejnog rješenja (prilog 7) za izgradnju sunčane elektrane koja je predviđena na dijelu krova postojeće građevine Doma za starije i nemoćne osobe Sveti Antun u Karlovcu. Sunčana elektrana namijenjena je za proizvodnju energije u svrhu samoopskrbe s mogućnosti predaje viška energije u mrežu.

Planirani sustav sastoji se od sljedećih elemenata:

- fotonaponskih modula
- ukupno 4 izmjenjivača
- razvodni ormar
- kabelska infrastruktura
- sustav za daljinski nadzor elektrane

Odabrane krovne konstrukcije građevine su kosi krov pod nagibom u iznosu od 45° pokriven crijepom te ravni krov prekriven uvaljanim kulirom.

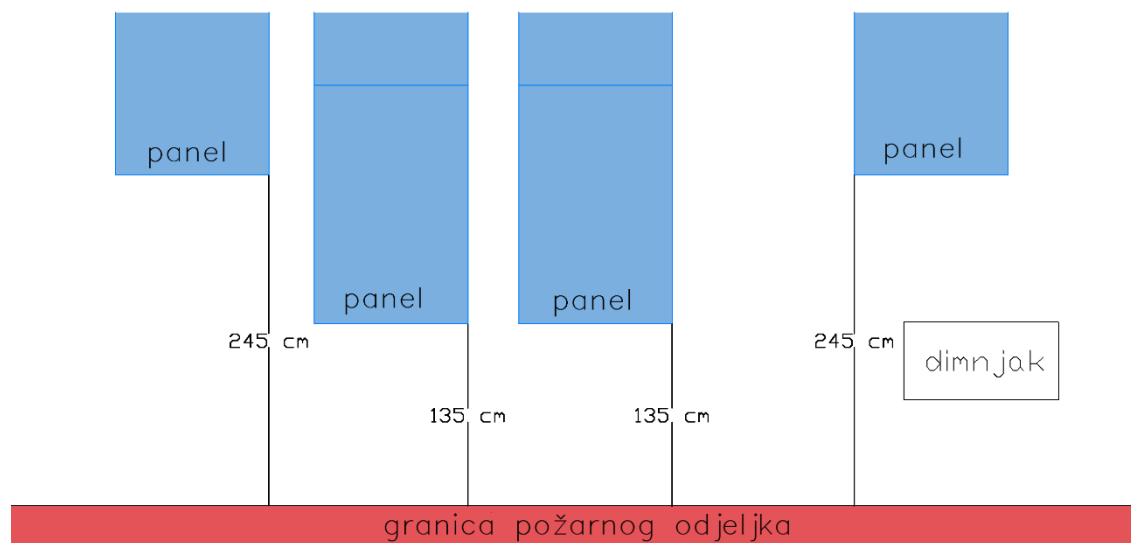
5.4.1 Projektiranje fotonaponskog sustava

Prvi i najbitniji korak pri izradi sunčane elektrane u Domu za starije i nemoćne Sv. Antun je zajedničko sudjelovanje svih uključenih strana. Pri izradi ovog projekta trebala bi sudjelovati vatrogasna postrojba grada Karlovca, kako bi bili upućeni u sami sustav i kako pravilno postupiti u slučaju požara. Nadalje, u samom postavljanju sustava moraju sudjelovati stručnjaci te se moraju pratiti upute koje su izdane od strane proizvođača za proizvode koji se koriste. Ovaj idejni projekt je napravljen tako da nema negativni utjecaj na okolinu, živote i građevinu i prati upute dane u smjernicama obrađenim u prethodnoj točki. Potrebno je provesti procjenu rizika, u kojoj sudjeluje vatrogasna služba. Na samu građevinu potrebno je staviti oznaku da je to građevina na kojoj se nalazi fotonaponski sustav, kao što je preporučeno u slovenskoj smjernici SZPV 512 (slika 33).

5.4.1.1 Položaj dijelova FN sustava

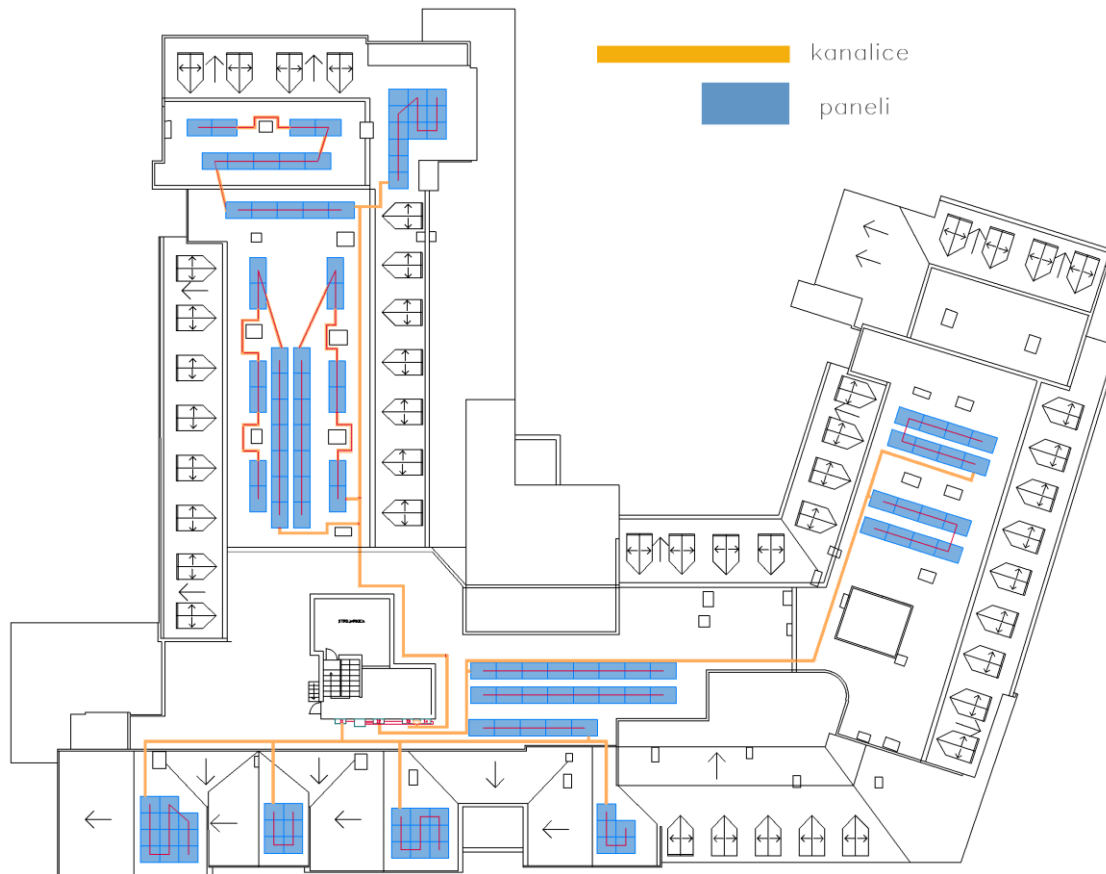
Položaj i količina fotonaponskih modula odabrani su tako da ne utječu nepovoljno na stabilnost građevine. Prije nastavka radova potrebno je izračunati potencijalni utjecaj opterećenja vatrogasaca i njihove opreme u slučaju požara na konstrukciju. Paneli (prikazani u prilogu 7 plavom bojom) su postavljeni tako da su dovoljno udaljeni od rubova krova i od granica požarnih odjeljaka kako su određeni na 3. katu (1 m ili više po smjernici SZPV 512).

U smjernici RC62 preporučena udaljenost je 2,5 m, ali je dopuštena i manja udaljenost ukoliko se drukčije fotonaponski sustav ne bi mogao postaviti i nema veće opasnosti od širenja požara na okolne objekte. Odabrana je udaljenost koja zadovoljava smjernicu SZPV 512 jer je napisana u nama najbližoj državi, susjednoj Sloveniji pa je pretpostavka da imamo slične postojeće građevinske zakone i smjernice, ali i infrastrukturu. U nastavku, na slici 38 prikazan je detalj udaljenosti panela od ruba požarnog odjeljka, ali je isti princip primijenjen i u ostatku idejnog rješenja.



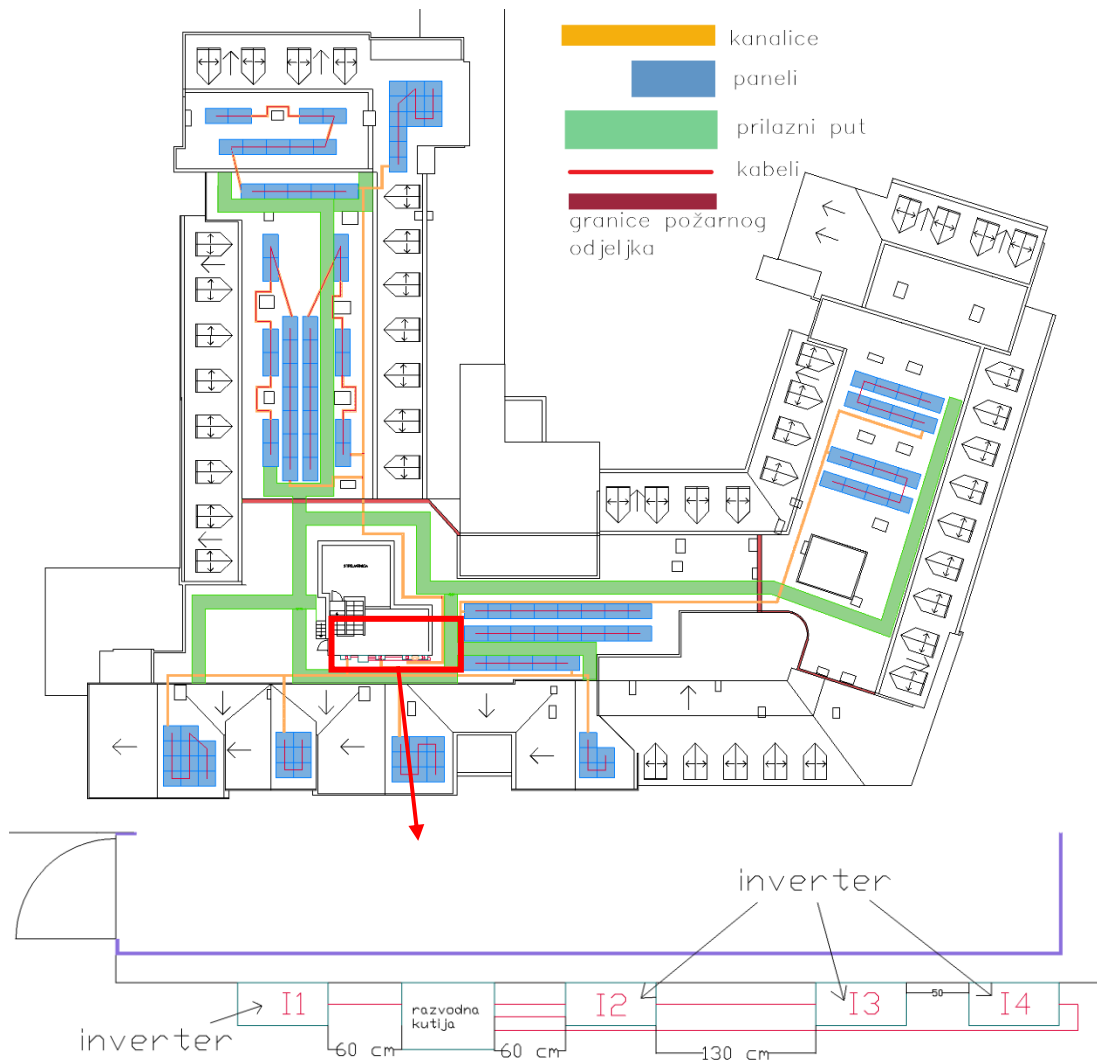
Slika 38 Udaljenost panela od granice požarnog odjeljka

Kabli povezuju fotonaponske module s inverterima, inverter s niskonaponskim razvodom i konačno s priključkom na elektroenergetsku javnu mrežu. Svi kablovi sustava su postavljeni u zaštitne kanalice (prikazane na slici 39 i označene narančastom bojom) otporne na požar i samim time kablovi nisu slobodno postavljeni. Time se štite od oštih rubova koje prelaze, kako se ne bi oštetili, štite se od utjecaja životinja poput ugriza glodavaca itd. Kanalice pružaju zaštitu od vlage i vode koja se može nakupljati na krovu, ali i štite ostatak objekta ukoliko dođe do požara na samim kablovima.



Slika 39 Položaj kanalica

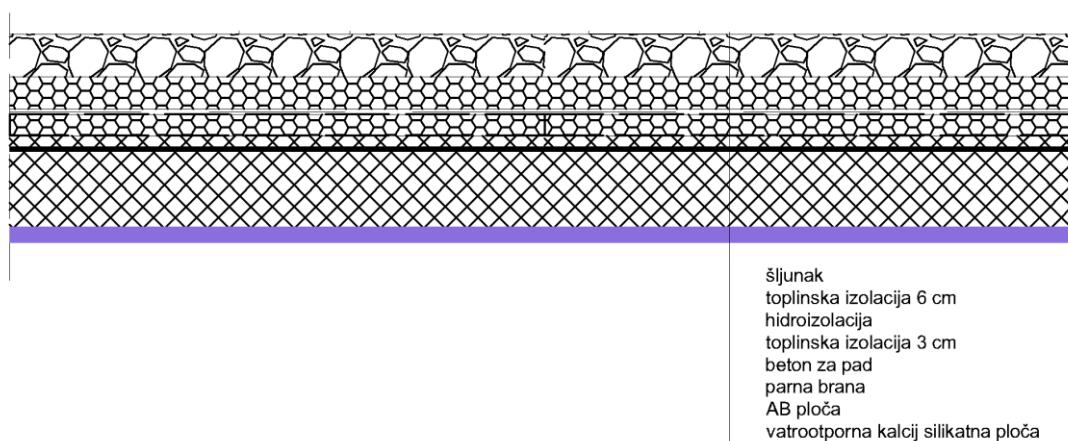
Inverteri su postavljeni na vanjskoj strani dijela zgrade na krovu, gdje se nalazi stubište te se na drugoj razini nalazi strojarnica, u smjeru sjeverozapada kako bi bili zaštićeni od dodatnog zagrijavanja, te su oni sami odvojeni više od 0,5 m jedan od drugog, kako je prikazano na slici 40, po smjernici VdS 3145 u kojoj je uputa da se inverteri minimalno odvoje jedan od drugog 0,5 m. Od stubišta su odvojeni vatrootpornim pločama po smjernici SZPV 512, kako bi ono bilo zaštićeno u slučaju požara koji bi izbio u inverterima. Inverteri se nalaze na mjestu gdje se prozračuju, a po potrebi se može postaviti nadstrešnica iznad kako bi se smanjio utjecaj vode, sve po uputama proizvođača.



Slika 40 Položaj i razmak invertera

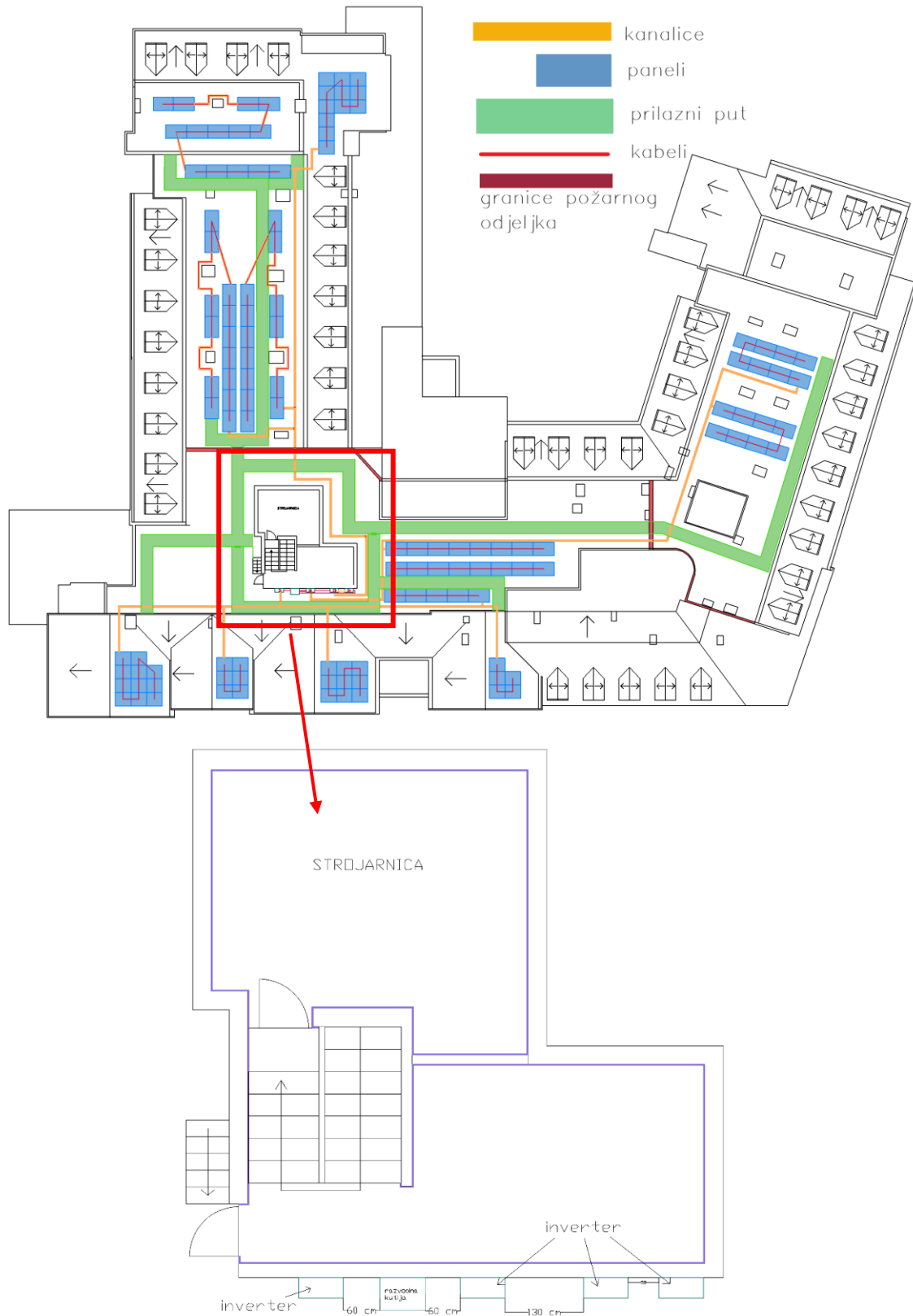
5.4.1.2 Materijali

Što se tiče korištenih materijala, preporuka je postavljanje kalcij silikatne protupožarne ploče s cementnim vezivom (reakcija na požar građevinskog materijala A1), kao zaštita od eventualnog požara, na stropove iznad kojih će se nalaziti moduli na ravnom krovu, prikazano na slici 41.



Slika 41 Prikaz slojeva ravnog krova

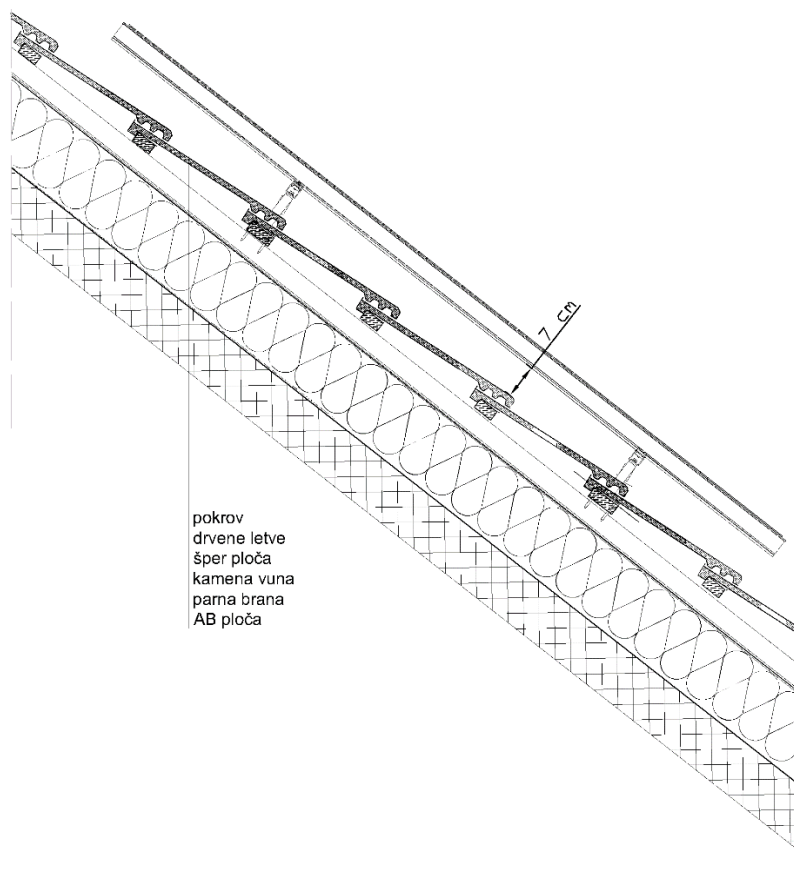
Dio ugrade na krovu u kojem se nalazi stubište kojim se dolazi do krova, treba također obložiti vatrootpornim kalcij silikatnim pločama (slika 42) kako bi bila osigurana sigurna evakuacija i prolaz vatrogasnom osoblju te se time zadovoljava zahtjev za korištenjem materijala koji zadovoljavaju razred A1/A2 s1, d0, prema uputi smjernice RC62.



Slika 42 Prikaz dijela građevine na krovu u kojem se nalazi stubište

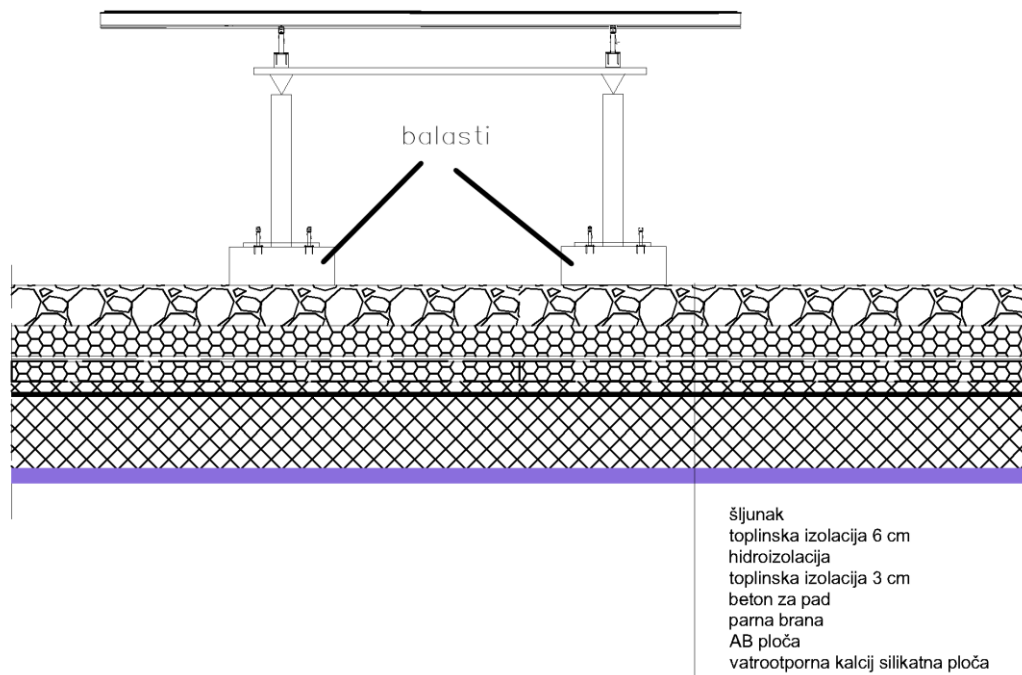
5.4.2 Izvedba

Na kosi krov predviđeno je pričvršćivanje aluminijske podkonstrukcije na krovne elemente, kao što je prikazano na slici 43. Nosači na koje se postavljaju paneli su dvostruki što osigurava da će udaljenost od gornjeg sloja krovišta do donje strane modula biti veći od 6 centimetara (po smjernici SZPV 512), a i povoljnije je u slučajevima jačeg vjetra. U ovom slučaju zadovoljena je minimalna udaljenost od 6 cm te ona iznosi 7 cm od najvišeg ruba pokrova do donje strane modula (prikazano na slici 38). Time što je zadovoljena minimalna udaljenost smanjuje se vjerojatnost za pregrijavanjem, a samim time je smanjena mogućnost za nastanak požara.



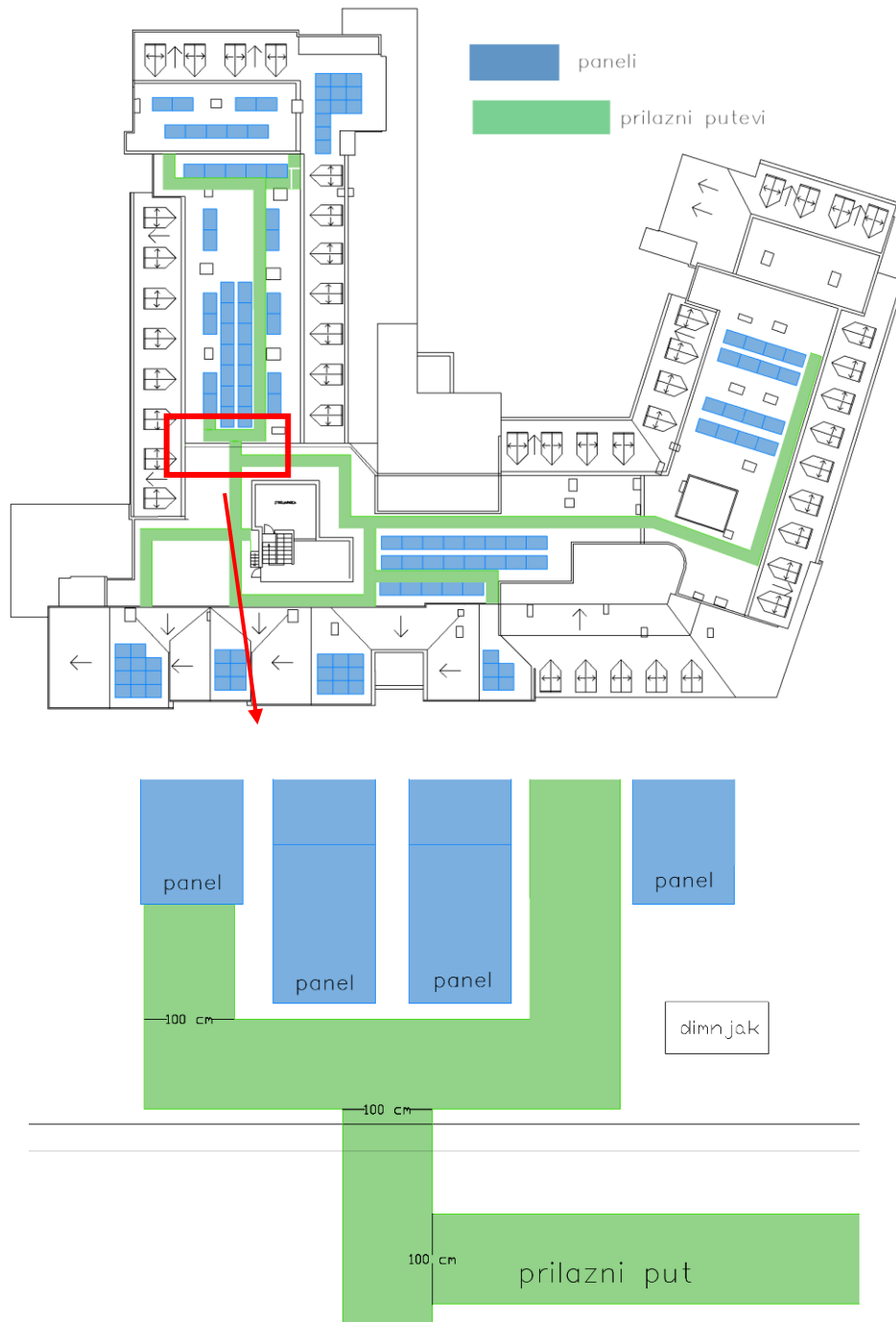
Slika 43 Presjek kosog krova s panelom

Na ravnom krovu je predviđeno pričvršćivanje aluminijske podkonstrukcije balastima (slika 39). Balasti svojom težinom drže aluminijsku podkonstrukciju na koju je postavljen fotonaponski sustav.



Slika 44 Ravni krov s panelom

Vatrogascima je omogućen put do svih polja fotonaponskih modula barem s jedne strane u širini od 1 m (prikazano u prilogu 7, označeno zelenom bojom). Uvjet od 1 metra barem s jedne strane postavljen je u smjernici SZPV 512, primjenjivo je na ovom krovu, pošto se postavlja sustav gdje polja ne prelaze 40 m x 40 m te im je dovoljan pristup s jedne strane. Ovako postavljenim prilaznim putevima, u slučaju požara, može se doseći svaki panel. Detalj prilaznih puteva prikazan je na slici 44, a sami putevi označeni su zelenom bojom.



Slika 45 Prilazni putevi

Panely su postavljeni na zadovoljavajuću udaljenost (1 m i više) od svih sustava odvoda dima, topline i ventilacijskih sustava. Ova preporuka preuzeta je iz smjernice SZPV 512 jer ona jedina navodi točnu udaljenost od sustava odvoda dima, topline i ventilacijskih sustava. Svi sustavi su označeni na slici 45 crvenom bojom, gdje je i izvučen detalj

udaljenosti dimnjaka od panela gdje se vidi da je zadovoljena tražena udaljenost. Isti princip je bio primijenjen na ostatku krova pri postavljanju panela.



Slika 46 Položaj dimnjaka u odnosu na panele

Građevina ima postojeći sustav dojave požara koji je direktno povezan s vatrogasnom službom te je preporuka postavljanje sprinkler sustava u svim prostorijama na zadnjem katu iznad kojih se nalazi fotonaponski sustav, po preporuci smjernice RC62.

5.4.3 Održavanje sustava

Kako bi sustav sigurno radio najvažnije je održavanje i redoviti pregledi. Prije puštanja u pogon obavezno je izvršiti pregled sustava, ali poželjno je da se sustav kontrolira i u procesu postavljanja kako bi se cijelo vrijeme imao uvid u situaciju. Oprema predviđena za ugradnju u projektiranu sunčanu elektranu treba biti vrhunske kvalitete i tehnologije te zbog toga zahtijeva minimalno održavanje. Održavanje treba izvoditi prema uputama i

preporukama proizvođača opreme i zahtjevima tehničkih propisa i normi u pogledu zaštite na radu. Proizvođač opreme u svojim uputama propisuje periodičnost i opseg pregleda, servisiranja, ispitivanja i kontrolnih mjerenja. Osnovne radnje održavanja su: vizualni pregled fotonaponskih modula, čišćenje filtera na ventilatoru izmjenjivača, pritezanje spojeva, čišćenje područja ispod ili oko panela gdje bi se mogla skupljati nečistoća. Rad fotonaponskog sustava trebao bi se provoditi i nadzirati od strane kvalificiranog električara s posebnim obukama. Izvanredni pregledi moraju se obavljati nakon svakog većeg nevremena, oluje ili tuče. Vatrogasna služba mora biti upoznata sa samim radom fotonaponskog sustava. Preporuča se da vatrogasni prekidač stoji na dostupnom mjestu, npr. na centrali, kako bi vatrogasci mogli lako do njega i njime isključiti sustav u slučaju požara. Uz to vatrogasci bi unaprijed trebali znati točnu lokaciju samog prekidača. Vatrogascima je osiguran put za dolazak vozilima sa svih strana građevine kako je prikazano u prilogu 6.

5.4.4 Zaključak

Na krov Doma za starije i nemoćne osobe Sveti Antun u Karlovcu, ovim idejnim rješenjem, predviđeno je postavljanje 120 fotonaponskih panela. Ukoliko bi dodali još panela ne bi bili ispoštovani sigurnosni zahtjevi za fotonaponski sustav u pogledu zaštite od požara. Sustav instaliran na ovaj način i ovako postavljeni paneli i ostala infrastruktura bili bi sigurni za građevinu, za sve njene korisnike i okoliš.

6 ZAKLJUČAK

Ovaj rad kao glavni cilj ima obradu i usporedbu međunarodno priznatih smjernica i regulative u području zaštite od požara u građevinama koje imaju postavljen fotonaponski sustav te nakon toga primjenu samih smjernica na primjeru postojeće građevine, u ovom slučaju Doma za starije i nemoćne Sveti Antun u Karlovcu.

Prvi dio rada obuhvatio je upoznavanje sa fotonaponskim sustavom, kakav može biti, koji su dijelovi i koje opasnosti postoje vezane uz sami sustav. Kao najveća opasnost za nastajanje požara kod fotonaponskih sustava ističe se greška u instalaciji sustava kao posljedica od manjka pažnje od strane instalatera ili greška u samom proizvodu. Do požara može doći zbog električnih kvarova u nekom od dijelova sustava, na samom modulu, inverterima ili kabelskoj infrastrukturi. Opasnost predstavlja zasjenjivanje modula do kojeg može doći smetnjom okolnog drveća ili zgrada, ptičjim izmetom itd. te tako dolazi do pojave *hot spota* što u konačnici dovodi do požara.

U nastavku rada napravljen je kratki pregled požara koji su se do sad dogodili, a da su uključivali fotonaponske sustave. Neki od požara koji su se dogodili uzrok nisu bili FN sustavu, ali su oni u konačnici bili zahvaćeni što je rezultiralo velikim posljedicama i imovinskim štetama. Opisan je i jedan požar do kojeg je došlo zbog djelovanja ptica, koje su uzrokovale električni kvar što je dovelo do velikog požara, s teškim posljedicama za jedan muzej.

U narednom poglavlju rada obrađene su međunarodno priznate smjernice iz područja zaštite od požara kod građevina s instaliranim fotonaponskim sustavom. Sve smjernice imaju isti cilj, samo što su neke detaljnije od drugih. Smjernice su namijenjene investitorima/vlasnicima građevine, projektantima i svima koji su uključeni u projekt, popun instalatera sustava. Pri projektiranju i izvođenju bitno je koristiti proizvode provjerene kvalitete, na građevini koja to može izdržati u statičkom smislu, sagrađena je od odgovarajućih materijala ili ima mogućnost biti obnovljena po uputama. Također od velike važnosti je pravilna instalacija sustava od strane stručnjaka specijaliziranog u tom području. No, sve to neće biti značajno ukoliko se sustav neće održavati nakon postavljanja. To uključuje redovite kontrole i održavanje sustava po predloženim smjernicama. Na kraju, ono što se ističe je da je bitno imati dobar plan od zaštite od požara ako do samog požara i dođe. Vatrogascima mora biti omogućen adekvatan pristup građevini, ali i samom sustavu uz napomenu da oni i ranije moraju biti upoznati sa sustavom i njegovim glavnim dijelovima kako bi bili što efikasniji u borbi s požarom.

Zadnje poglavlje, bavi se primjenom obrađenih smjernica na primjeru građevine u Karlovcu – Dom za starije i nemoćne osobe Sveti Antun. Prikazano je idejno rješenje postavljanja fotonaponskog sustava u skladu sa predloženim smjernicama. U rješenju najviše su praćene slovenske smjernice SZPV 512 zbog pretpostavke o najbližijoj postojećoj infrastrukturi i načinu građenja, zbog toga što ta smjernica dolazi iz geografski najbliže zemlje Republici Hrvatskoj.

Danas, kad se u svijetu, Europi, ali i Hrvatskoj sve više investira u energetske obnovljive sustave, solarnu energiju i fotonaponske sustave vrlo je bitno da se prate preporučene smjernice za sigurniju izgradnju. Pošto u Hrvatskoj trenutno nema važećih smjernica, preporuka je da se odabere jedna od međunarodno priznatih na tu temu s ciljem projektiranja i postavljanja fotonaponskih sustava na način siguran u pogledu zaštite od požara.

7 LITERATURA

1. United Nations. Renewable energy – powering a safer future | United Nations. [citirano 02. kolovoz 2023.]; Dostupno na: <https://www.un.org/en/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>
2. Energetska tranzicija EU dobro napreduje - MENE A [Internet]. [citirano 02. kolovoz 2023.]. Dostupno na: <https://www.menea.hr/energetska-tranzicija-eu-dobro-napreduje/>
3. What are the different types of renewable energy? | National Grid Group [Internet]. [citirano 02. kolovoz 2023.]. Dostupno na: <https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained/what-are-different-types-renewable-energy>
4. European Commission-Press release REPowerEU: A plan to rapidly reduce dependence on Russian fossil fuels and fast forward the green transition*.
5. European Commission. Press release REPowerEU: A plan to rapidly reduce dependence on Russian fossil fuels and fast forward the green transition* [Internet]. [citirano 13. studeni 2023.]. Dostupno na: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_hr#dokumenti
6. Lovrić M, Lovrić D. Obnovljivi izvori energije u Hrvatskoj: prednosti i nedostaci [Internet]. Sv. 62, Kem. Ind. 2013. Dostupno na: <http://www.iea.org/76DA0555-2013-460F-B33B-F71201CBA5AD/>
7. How Solar PV Systems Work [Internet]. [citirano 09. studeni 2023.]. Dostupno na: <http://www.ews-solarpower.co.uk/24-how-does-the-system-work>
8. Kunz N. What Are Photovoltaic Systems and How Do They Work? [Internet]. [citirano 10. studeni 2023.]. Dostupno na: <https://www.greenmatch.co.uk/solar-energy/photovoltaics/photovoltaic-system#components>
9. Čotar A, Filčić A. Fotonaponski sustavi [Internet]. 2012 [citirano 10. studeni 2023.]. Dostupno na: https://www.irena-istra.hr/uploads/media/Fotonaponski_sustavi.pdf
10. Aram M, Zhang X, Qi D, Ko Y. A state-of-the-art review of fire safety of photovoltaic systems in buildings. Sv. 308, Journal of Cleaner Production. Elsevier Ltd; 2021.
11. CFPA Europe. Photovoltaic systems: Recommendations on loss prevention [Internet]. [citirano 09. studeni 2023.]. Dostupno na: <https://cfpa-e.eu/photovoltaic-systems-recommendations-on-loss-prevention/>
12. Wohlgemuth JH, Kurtz SR. How can we make PV modules safer? U: 2012 38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference. IEEE; 2012. str. 003162–5.
13. Waqar Akram M, Li G, Jin Y, Chen X. Failures of Photovoltaic modules and their Detection: A Review. Appl Energy. svibanj 2022.;313:118822.
14. Mrežni FN sustavi - Solarprojekt d.o.o. [Internet]. [citirano 03. kolovoz 2023.]. Dostupno na: <https://solarprojekt.hr/usluge/fotonaponski-sustavi/mrezni-fn-sustavi-2/>
15. Manzini G, Gramazio P, Guastella S, Liciotti C, Baffoni GL. The Fire Risk in Photovoltaic Installations - Test Protocols For Fire Behavior of PV Modules. Energy Procedia. prosinac 2015.;82:752–8.
16. Cancelliere P, Manzini G, Traina G, Cavriani MG. PV modules on buildings – Outlines of PV roof samples fire rating assessment. Fire Saf J. ožujak 2021.;120:103139.
17. Šipuš M. Extinguishing fires in buildings with integrated photovoltaic systems. Vatrogastvo i upravljanje požarima. 15. prosinac 2015.;V.(2.):41–56.

18. Cancelliere P. PV electrical plants fire risk assessment and mitigation according to the Italian national fire services guidelines. *Fire Mater.* 05. travanj 2016.;40(3):355–67.
19. Mohd Nizam Ong NAF, Sadiq MA, Md Said MS, Jomaas G, Mohd Tohir MZ, Kristensen JS. Fault tree analysis of fires on rooftops with photovoltaic systems. *Journal of Building Engineering.* travanj 2022.;46:103752.
20. We The Curious fire: Everything we know about the major blaze - Bristol Live [Internet]. [citirano 01. kolovoz 2023.]. Dostupno na: <https://www.bristolpost.co.uk/news/bristol-news/curious-fire-everything-know-major-6931554>
21. Bristol's We The Curious fire - everything we know about the blaze so far - Somerset Live [Internet]. [citirano 01. kolovoz 2023.]. Dostupno na: <https://www.somersetlive.co.uk/news/bristols-curious-fire-everything-know-6932175>
22. First look inside We The Curious' fire-damaged venue and multi-million-pound repair programme | We The Curious [Internet]. [citirano 01. kolovoz 2023.]. Dostupno na: <https://www.wethecurious.org/news/reopening-update>
23. First look inside fire damaged Bristol's We The Curious - BBC News [Internet]. [citirano 01. kolovoz 2023.]. Dostupno na: <https://www.bbc.com/news/uk-england-bristol-64747336>
24. Amazon took solar rooftops offline last year after fires, explosions [Internet]. [citirano 01. kolovoz 2023.]. Dostupno na: <https://www.cnbc.com/2022/09/01/amazon-took-solar-rooftops-offline-last-year-after-fires-explosions.html>
25. Amazon warehouse fire in Maryland ignited by solar panels: investigators | Fox News [Internet]. [citirano 01. kolovoz 2023.]. Dostupno na: <https://www.foxnews.com/us/amazon-warehouse-fire-maryland-solar-panels>
26. 6-alarm fire rips through Dietz & Watson warehouse in Burlington County - WHYY [Internet]. [citirano 01. kolovoz 2023.]. Dostupno na: <https://whyy.org/articles/6-alarm-fire-rips-through-dietz-a-watson-warehouse/>
27. O'Sullivan J. Multiple-alarm fire tears through roof of Delanco plant [Internet]. 2013 [citirano 09. studeni 2023.]. Dostupno na: <https://www.burlingtoncountytimes.com/story/news/2013/09/02/multiple-alarm-fire-tears-through/17446727007/>
28. Augenstein S. Dietz & Watson warehouse blaze: solar panels hampered firefighting, officials say - nj.com [Internet]. [citirano 01. kolovoz 2023.]. Dostupno na: https://www.nj.com/burlington/2013/09/dietz_and_watson_warehouse_fire_solar_panels_make_battling_blaze_much_harder_officials_say.html
29. Sipe J. Development of Fire Mitigation Solutions for Photovoltaic (PV) Systems Installed on Building Roofs-Ph. 1 FINAL REPORT BY. 2016.
30. Wisconsin: Fire ravages Organic Valley co-op's headquarters – Twin Cities [Internet]. [citirano 01. kolovoz 2023.]. Dostupno na: <https://www.twincities.com/2013/05/14/wisconsin-fire-ravages-organic-valley-co-ops-headquarters/>
31. VdS Schadenverhütung GmbH. Photovoltaikanlagen [Internet]. [citirano 09. studeni 2023.]. Dostupno na: <https://shop.vds.de/publikation/vds-3145>
32. Fire Protection Association. RC62: Recommendations for fire safety with PV panel installations The Joint Code of Practice for fire safety with photovoltaic panel

- installations, with focus on commercial rooftop mounted systems [Internet]. [citirano 09. studeni 2023.]. Dostupno na: <https://www.thefpa.co.uk/>
33. Slovensko združenje za požarno varstvo. Smernica SZPV 512 [Internet]. Dostupno na: www.szpv.si
 34. DIN VDE 0100 Low-voltage electrical installation [Internet]. [citirano 22. studeni 2023.]. Dostupno na: <https://www.vde-verlag.de/standards/0100632/din-vde-0100-vde-0100-beiblatt-5-2021-06.html>
 35. DIN EN 62109-1 VDE 0126-14-1:2011-04 Safety of power converters for use in photovoltaic power systems [Internet]. [citirano 22. studeni 2023.]. Dostupno na: <https://www.vde-verlag.de/standards/0126036/din-en-62109-1-vde-0126-14-1-2011-04.html>
 36. DIN VDE V 0126-1-1 VDE V 0126-1-1 Automatic disconnection device between a generator and the public low-voltage grid [Internet]. [citirano 22. studeni 2023.]. Dostupno na: <https://www.vde-verlag.de/standards/0100178/din-vde-v-0126-1-1-vde-v-0126-1-1-2013-08.html>
 37. BS 5839: fire detection & alarm systems for buildings [Internet]. [citirano 22. studeni 2023.]. Dostupno na: <https://www.fia.uk.com/resources/british-standards/bs-5839-series.html>
 38. BS EN 13501-1:2018 Fire classification of construction products and building elements - Classification using data from reaction to fire tests [Internet]. [citirano 22. studeni 2023.]. Dostupno na: <https://knowledge.bsigroup.com/products/fire-classification-of-construction-products-and-building-elements-classification-using-data-from-reaction-to-fire-tests?version=tracked>
 39. IEC TR 63226:2021 - Managing fire risk related to photovoltaic (PV) systems on buildings [Internet]. [citirano 22. studeni 2023.]. Dostupno na: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iec/c34d1720-972f-4d89-93cd-5d955ce3d671/iec-tr-63226-2021>
 40. SIST EN IEC 61730-1:2018 Photovoltaic (PV) module safety qualification - Part 1: Requirements for construction [Internet]. [citirano 22. studeni 2023.]. Dostupno na: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/d4fd02fe-aafe-4263-934a-b2c024dbc440/sist-en-iec-61730-1-2018>
 41. SIST HD 60364-6:2016 Low-voltage electrical installations - Part 6: Verification [Internet]. [citirano 22. studeni 2023.]. Dostupno na: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a247c5ce-ab69-437b-b1b1-a157c22db3c4/sist-hd-60364-6-2016>
 42. SIST EN 62446-1:2016 Photovoltaic (PV) systems - Requirements for testing, documentation and maintenance - Part 1: Grid connected systems - Documentation, commissioning tests and inspection [Internet]. [citirano 22. studeni 2023.]. Dostupno na: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/74375338-68af-4635-816b-f324dfc4e455/sist-en-62446-1-2016>
 43. Dom za starije i nemoćne osobe Sveti Antun [Internet]. [citirano 20. studeni 2023.]. Dostupno na: <https://www.domsvantun.hr/>
 44. Izvješće o energetsom pregledu građevine Dom za starije i nemoćne osobe Sveti Antun.
 45. Plan zaštite od požara Dom za starije i nemoćne Sveti Antun.

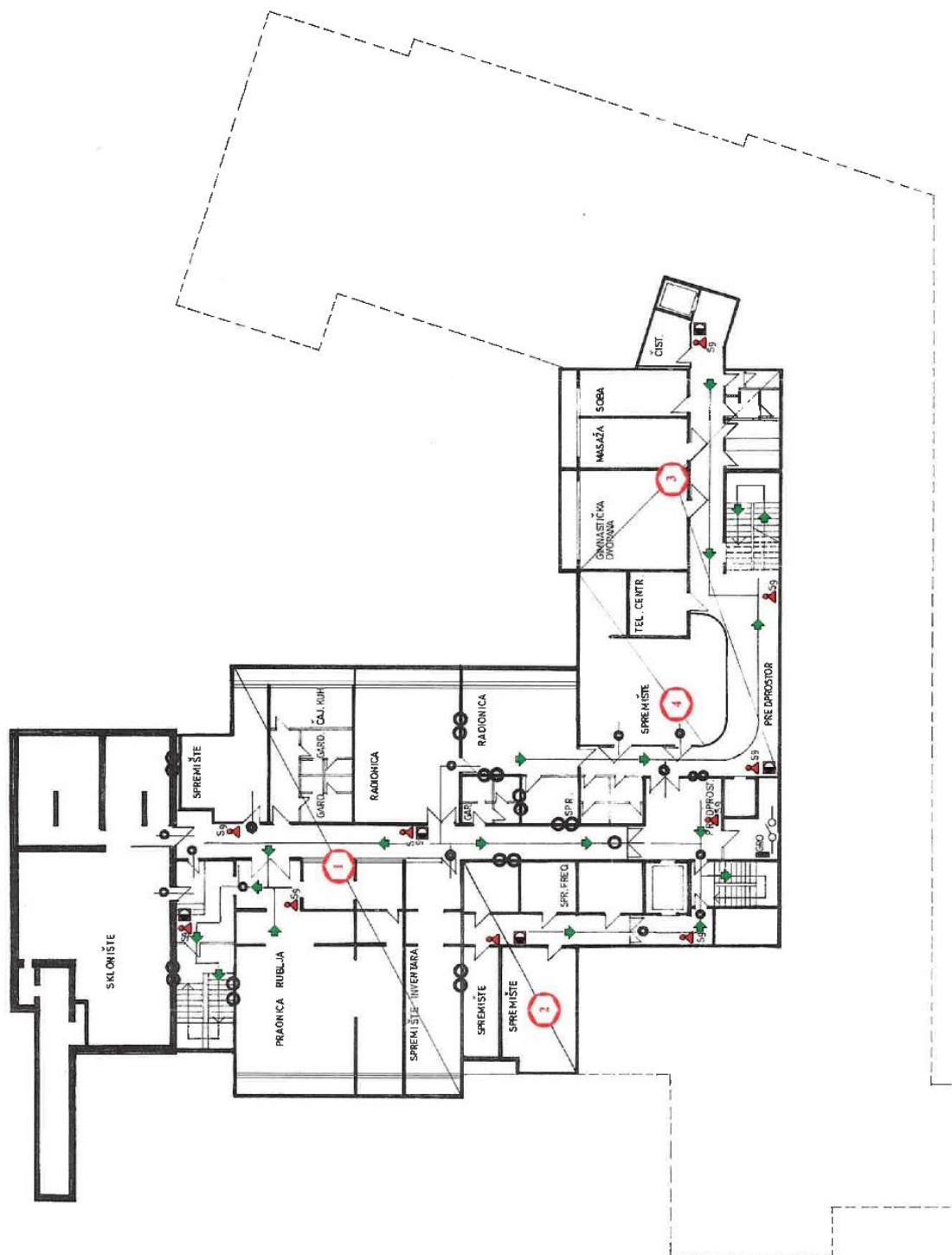
POPIS SLIKA I TABLICA

Popis slika:

Slika 1 Energetska tranzicija (2).....	1
Slika 2 Obnovljivi izvori energije (3).....	2
Slika 3 Integrirani FN sustav (15).....	6
Slika 4 FN sustav postavljen na zgradu (11).....	6
Slika 5 Shema mrežnog FN sustava (14).....	7
Slika 6 Dim koji se širio iznad muzeja tijekom požara (20).....	11
Slika 7 Vatrogasci na dizalicama gase požar (20).....	11
Slika 8 Pogled na oštećeni krov (23).....	12
Slika 9 Širenje požara na krovu (24).....	13
Slika 10 Gusti, crni dim uzrokovan požarom (25).....	13
Slika 11 Dim uzrokovan požarom (27).....	14
Slika 12 Posljedica požara (28).....	15
Slika 13 Komponente fotonaponskog sustava (31).....	18
Slika 14 Nedozvoljeno postavljanje kablova preko požarnog zida (31).....	21
Slika 15 Postavljanje kablova preko požarnog zida uz pomoć protupožarnih kanala (31).....	21
Slika 16 Sigurnosni razmaci invertera (25).....	24
Slika 17 Oštećenje vodova (31).....	26
Slika 18 Nestručno postavljanje vodova (31).....	26
Slika 19 Varijante FN sustava i zaštite od udara groma (31).....	29
Slika 20 Uništeni moduli u oluji (11).....	32
Slika 21 Uništeni moduli zbog snijega (11).....	32
Slika 22 Uništen krovni pokrov kukom koja drži FN module (11).....	32
Slika 23 Uništen krov požarom uzrokovanim FN modulima (11).....	32
Slika 24 Položaj kabela u vezi sa požarnim zidom (11).....	34
Slika 25 Položaj FN modula u odnosu na vatrootporni zid.....	35
Slika 26 Položaj FN modula na krovu.....	35
Slika 27 Primjeri pravilnog i nepravilnog postavljanja FN modula (33).....	51
Slika 28 Primjer kada je pristup krovu ili prostoru ispod krova moguć kroz prozorsko otvor veličine najmanje 0,9 m x 1,2 m, u potkrovlju (33).....	52
Slika 29 Primjer kada se na krov ili ispod krova može pristupiti kroz prozorsko otvor, čija minimalna veličina iznosi 0,9 m x 1,2 m; u ovom slučaju, s modulima se može potpuno prekriti i druga strana krova (33).....	52
Slika 30 Primjer kada pristup krovu ili ispod krova nije moguć kroz prozor ili direktno s terena (33).....	52
Slika 31 Primjer postavljanja četiri panela modula na ravnini krova, kroz koju protupožarni zidovi ne dosežu (33).....	53
Slika 32 Primjer postavljanja nagibnih panela na ravnoj krovnoj površini bez požarnih pregrada (33).....	53
Slika 33 Oznaka zgrade s solarnom elektranom (33).....	56
Slika 34 Dom za starije i nemoćne osobe sv. Antun (34).....	68
Slika 35 Izvod iz katastarskog plana (Izvor: DGU).....	69
Slika 36 Presjek slojeva ravnog krova.....	71
Slika 37 Presjek slojeva kosog krova.....	71
Slika 38 Udaljenost panela od granice požarnog odjeljka.....	74
Slika 39 Položaj kanalic.....	75
Slika 40 Položaj i razmak invertera.....	76
Slika 41 Prikaz slojeva ravnog krova.....	77
Slika 42 Prikaz dijela građevine na krovu u kojem se nalazi stubište.....	78
Slika 43 Presjek kosog krova s panelom.....	79
Slika 44 Ravni krov s panelom.....	80
Slika 45 Prilazni putevi.....	81
Slika 46 Položaj dimnjaka u odnosu na panele.....	82

Popis tablica:

Tablica 1 Prikaz smjernica..... 63

POPIS PRILOGA*Prilog 1: Požarni odjeljci u podrumu(45)*

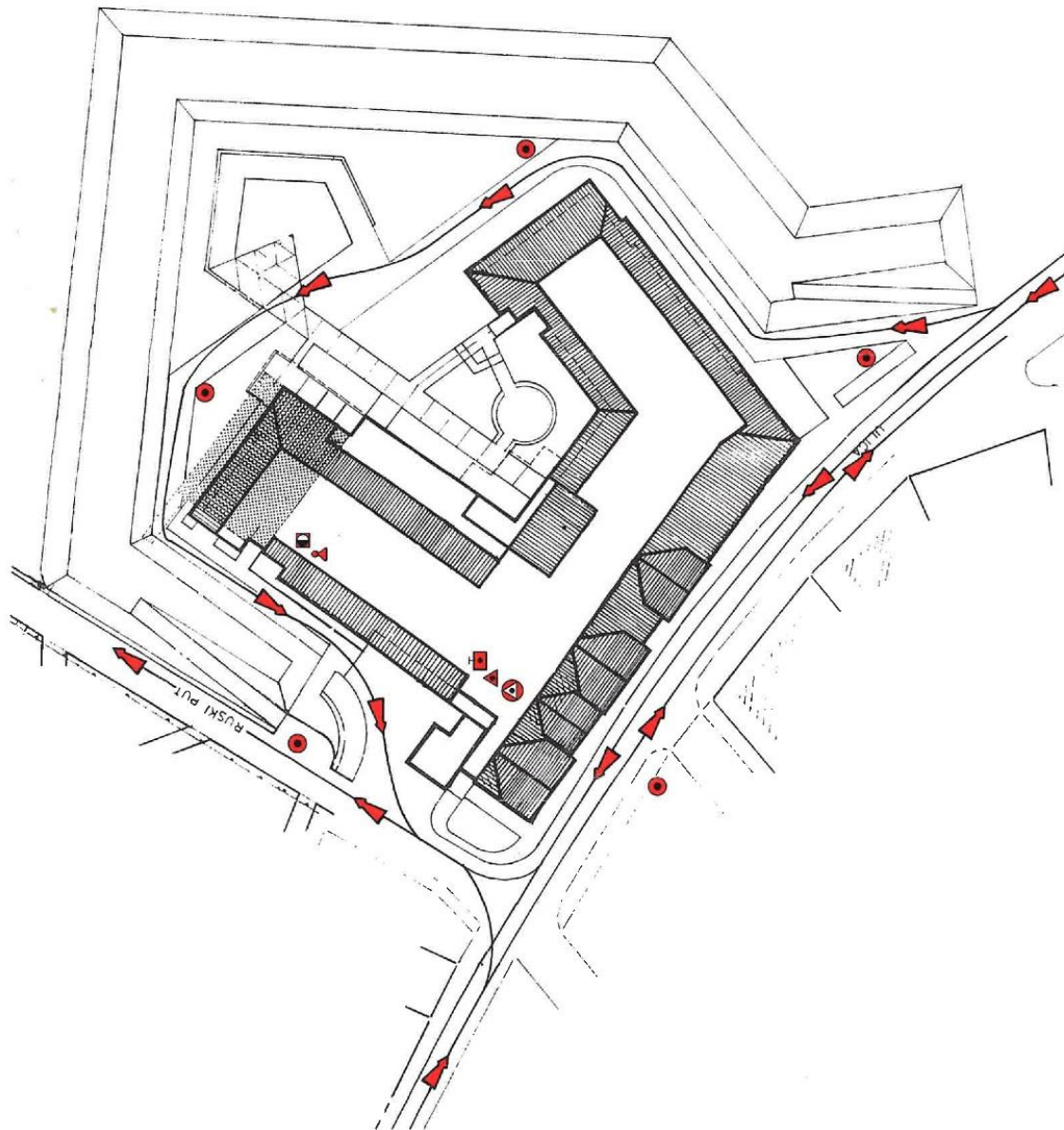
Prilog 3: Požarni odjelci na 1. katu (45)



Prilog 4: Požarni odjeljci na 2. katu (45)



Prilog 6: Vatrogasni putevi (45)



Prilog 7: Idejno rješenje sunčane elektrane

