



Smjernice za zaštitu od požara fotonaponskih sustava na ravnim krovovima





Smjernica za zaštitu od požara fotonaponskih sustava na ravnim krovovima

Grunde Jomaas, Aleš Jug, Nik Rus
Zavod za gradbeništvo Slovenije
Ljubljana 2025.



Naslov: Smjernica za zaštitu od požara fotonaponskih sustava na ravnim krovovima

Autori: Grunde Jomaas, Aleš Jug, Nik Rus

Informacija o izdanju: 1. elektronsko izdanje

Način pristupa (URL): <https://www.zag.si/dl/smjernice-fn.pdf>

Objavljeno i kao tiskana publikacija.

Mjesto i izdavač: Ljubljana, Zavod za gradbeništvo Slovenije

Godina izdanja: 2025

Izvorni naslov dokumenta: Fire Safety Guideline for Building Applied Photovoltaic Systems on Flat Roofs

© Zavod za Gradbeništvo Slovenije, 2024

Prevela na hrvatski jezik: izv.prof.dr.sc. Marija Jelčić Rukavina, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Lektorica: Amalija Milovac, prof.

Projekt FRISSBE financiran je iz programa Europske unije za istraživanje i inovacije Horizon 2020 u okviru ugovora o dodjeli bespovratnih sredstava br. 952395.

Međunarodni identifikator (ISBN): 978-961-7125-17-7 (PDF)

Cijena: besplatno

Kataložni zapis o publikaciji (CIP) pripravili v Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani

COBISS.SI-ID 231426307

ISBN 978-961-7125-17-7 (PDF)



Sadržaj

Sažetak.....	1
Područje primjene	2
1. Uvod	3
2. Rizik od požara zbog FN sustava na ravnim krovovima	8
3. FN sustavi na ravnim krovovima	13
4. Gašenje požara.....	19
5. Opće dileme	22
6. Bibliografija	26

Fotografija na naslovnici: Požar u skladištu ASKO u Vestbyju (Norveška) 2017.; autorska prava: Tor Aage Hansen/Rockwool Group

Sadržaj odražava isključivo stavove autora. Europska komisija nije odgovorna za bilo kakvu upotrebu informacija sadržanih u ovom dokumentu. Ovaj dokument sadrži informacije koje su vlasničke. Ni ovaj dokument ni informacije sadržane u njemu ne smiju se koristiti, duplicirati ili komunicirati na bilo koji način trećoj strani, u cijelosti ili djelomično, osim uz prethodni pisani pristanak ZAG-a. Ova ograničenja ne smiju se mijenjati ili uklanjati s ovog dokumenta. Ni Europska komisija ni ZAG nisu odgovorni za bilo kakvu upotrebu informacija koje sadrži.





Sažetak

Instalacija fotonaponskih (FN) sustava na krovu zgrade uvodi nove rizike vezane uz pojavu i širenje požara u zgradi ili oštećenje sustava. Za početak, pokazalo se da FN instalacije povećavaju mogućnost izbijanja požara uslijed kvara na nekoj od električnih komponenti sustava. Drugo, FN sustavi mogu povećati posljedice požara jer omogućavaju njegovo brže širenje i zahvaćanje veće površine krova. Dakle, FN sustavi ne samo da povećavaju vjerojatnost izbijanja požara nego i potencijalne posljedice djelovanja požara na krovu. Također, instalacije FN sustava na krovu zahtijevaju prilagodbu taktika gašenja požara s obzirom na to da predstavljaju značajnu fizičku prepreku za manevar vatrogasaca tijekom intervencije, uz dodatni oprez zbog gašenja požara u blizini instalacije koja je pod naponom.



Kako bi se učinkovito smanjile posljedice požara povezanih s FN sustavima i smanjila njihova vjerojatnost, nužno je primijeniti učinkovite sigurnosne mjere. Učinkovitost tih sigurnosnih mjera treba biti potvrđena pouzdanim znanstvenim istraživanjima ili relevantnim statističkim podacima. Dok ne steknemo dovoljno znanja o rizicima požara i načinima njihova ublažavanja, projektiranju FN sustava treba pristupiti s posebnim oprezom.

Kad je riječ o FN instalacijama na ravnim krovovima, rizik se može ublažiti smanjenjem vjerojatnosti izbijanja požara i njegovih posljedica. Za smanjenje rizika svakako je nužna dobra praksa ugradnje i održavanja tih sustava. Kvaliteta i raspored slojeva krovne konstrukcije od presudne su važnosti za smanjenje posljedica požara i sigurnost vatrogasaca. Prema istraživanjima, krovna membrana (hidroizolacija) i tip FN panela imaju manji utjecaj na posljedice od požara u usporedbi s vrstom korištenog toplinskoizolacijskog materijala. Stoga se prilikom renovacije i novogradnje preporučuje korištenje negorivih toplinskoizolacijskih materijala kako bi se spriječilo da požar zahvati veliku površinu krova i izbjeglo da zahvaćeni toplinsko-izolacijski materijal dodatno doprinese razvoju požara. Ako se razmatraju druga rješenja, ona trebaju biti dodatno potvrđena opsežnim ispitivanjima cijelog sustava (koji uključuje i segment krova i FN module) prema projektu ugradnje i u mjerilu koje obuhvaća nekoliko FN modula.



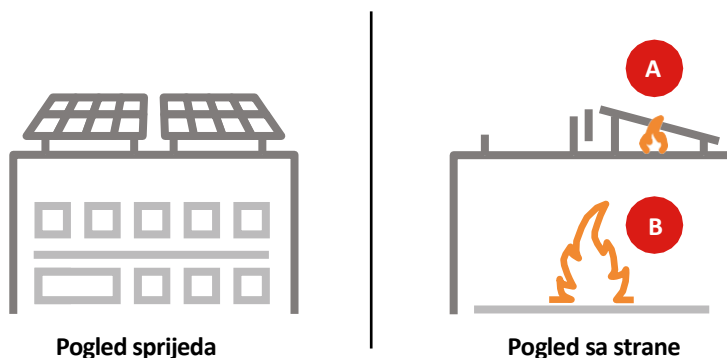
Područje primjene smjernica

U ovim smjernicama fokus će biti na zgradama s ravnim krovovima na kojima su ugrađeni fotonaponski (FN) sustavi tj. na zgradama s pričvršćenim fotonaponskim sustavima (engl. *Building Applied Photovoltaics*, BAPV). Integrirani fotonaponski sustavi (engl. *Building Integrated Photovoltaics*, BIPV) nisu razmatrani u ovim smjernicama, ali nekoliko se aspekata odnosi i na takve sustave, posebno ako su instalirani u krovovima. Vertikalno instalirani BIPV sustavi trebaju uzeti u obzir i zahtjeve zaštite od požara vezane uz fasade.

Požari povezani s FN sustavima na krovovima mogu se podijeliti u dvije glavne kategorije (prikazane na slici dolje).

A: Požari koji nastaju na krovu zgrade

B: Požari koji nastaju unutar zgrade



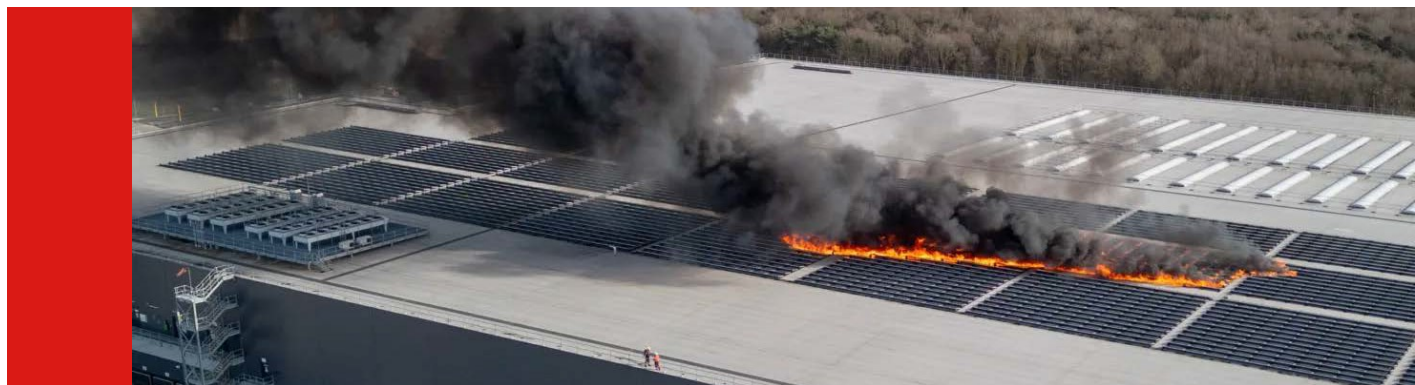
Budući da bi požari koji nastaju unutar zgrade već trebali biti obrađeni u nacionalnoj građevinskoj regulativi i/ili u propisima o zaštiti od požara, ovdje su manje obrađeni, ali se spominju kada se govori o konfiguraciji niza modula. Ako se razmatraju požari nastali unutar zgrade, za potrebe smanjenja rizika osiguravajuća društva često postavljaju zahtjeve. Na primjer, u Ujedinjenom Kraljevstvu bit će potrebno ispitivanje prema LPS-1181-1 kako bi se dobilo odobrenje Odbora za certifikaciju prevencije gubitaka (eng. *Loss Prevention Certification Board* - LPCB). Za pozitivan ishod spomenutog ispitivanja, krovna konstrukcija mora biti negoriva.

Budući da su specifičnosti zapaljenja detaljno opisane u nekoliko drugih smjernica i izvješća, fokus će ovdje biti više na ostala tri a aspekta: dinamici požara, krovnoj konstrukciji i gašenju požara.



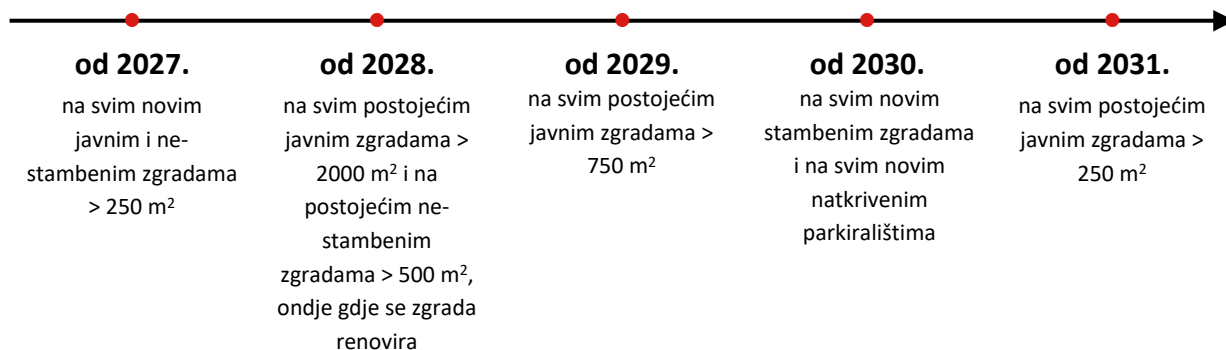
1. Uvod

Kao dio plana *REPowerEU*, Europska komisija definirala je ambicioznu strategiju za obveznu ugradnju instalacija za solarnu energiju na krovovima za sve zgrade. To se sada provodi putem *Direktive o energetske učinkovitosti zgrada* (EPBD), prema kojoj se za ubuduće zahtijeva ugradnja instalacija za prikupljanje solarne energije na većini zgrada.



Fotografija: Terry Harris, www.cambsnews.co.uk

Države članice trebaju osigurati ugradnju odgovarajućih instalacija solarne energije kako slijedi:



Ovo će rezultirati neviđenom transformacijom europskog građevinskog fonda i značajnim povećanjem tehnologije fotonaponskih panela na krovovima. Spomenuta transformacija donijet će značajne koristi s klimatskog i energetskog aspekta, ali i nove sigurnosne izazove, koje treba predvidjeti i riješiti unaprijed.

Početna istraživanja ukazuju na to da rizik koji se pripisuje ugradnji FN panela nije povezan samo s povećanim požarnim opterećenjem i mogućnošću zapaljenja nego i s načinom na koji se požar razvija na krovu. Ova promjena u ponašanju požara, ako se ne riješi na odgovarajući način, povećat će opseg i brzinu njegova širenja, a time i njegov intenzitet i posljedice. Istodobno, prisutnost FN modula u kojima postoji električna energija i kao fizička prepreka predstavlja izazov za vatrogasce tijekom operacije gašenja požara na krovovima.



Velika međunarodna osiguravajuća društva koja procjenjuju rizik od požara u zgradama već su prepoznala dodatne rizike od požara vezane za FN sustave instalirane na krovovima te su objavile preporuke za ublažavanje tih rizika, s ciljem zaštite zgrada, ulaganja i ljudskih života:

- **Allianz Risk Consulting:** [Fire Hazards of PV systems](#)
- **AXA Property Risk Consulting Guidelines:** [PV systems](#)
- **RSA Risk Control Guide:** [Photovoltaic Panels](#)
- **HIROC Risk Note:** [Rooftop Solar Panel System](#)
- **Zurich Article:** [The challenges and risks of solar panels](#)
- **IF Article:** [Put your roof to work in a safe manner](#)
- **Generali:** [Photovoltaic panels on roofs and fire risks](#) (na francuskom jeziku)
- **FM Global:**
 - [FM 4478 \(Update\), Roof-Mounted Rigid Photovoltaic Module Systems](#)
 - [Systems and FM Global Property Loss Prevention Data Sheets 1-15](#)

Mnoga osiguravajuća društva također priznaju da ponašanje krova s FN sustavima u uvjetima požara do danas nije istraženo dovoljno niti su postojeće metode ispitivanja prikladne za tu svrhu. Uobičajena preporuka za postojeće krovove jest ograničiti širenje požara upotrebom negorivog sloja ispod FN modula.

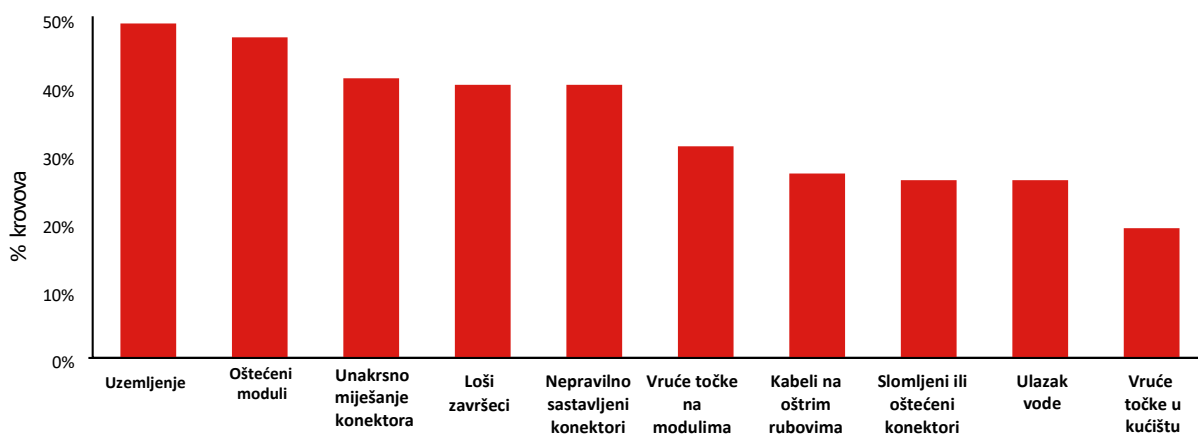
Ključni je cilj osigurati odgovarajuće uvjete za sigurnu i široku primjenu FN sustava. Preporuke osiguravajuće industrije uglavnom se odnose na velike industrijske i komercijalne projekte kao što su trgovački centri. Međutim, ove mjere zaštite od požara trebale bi se primjenjivati i na visoke zgrade te javne zgrade s visokim rizikom od požara, kao što su škole, muzeji i bolnice. Preporuke osiguravajućih društava još nisu uključene u nacionalne propise i zakonodavstvo Europske unije.



Statistike vezane uz požare povezane s FN sustavima

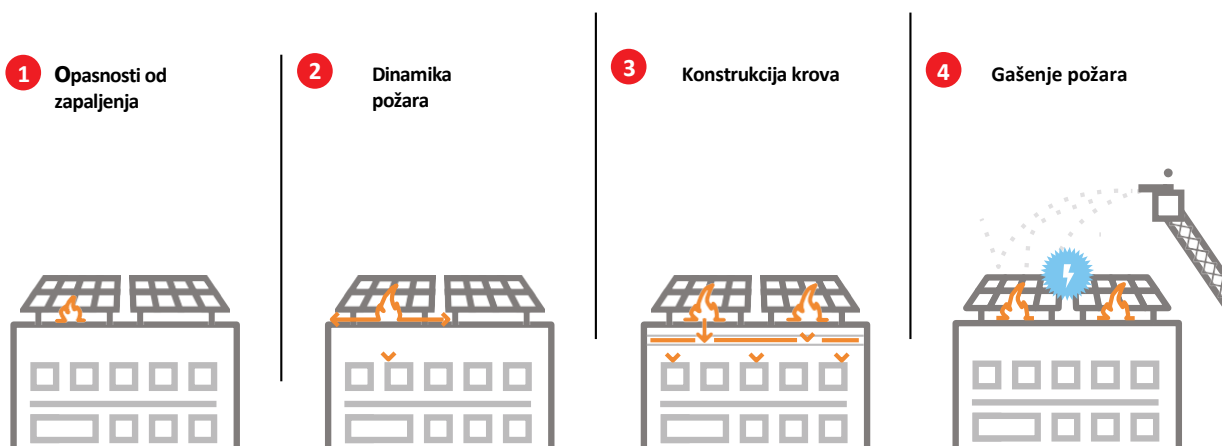
Mohd i suradnici (2022) su u analizi stabla grešaka za požare na krovovima s FN sustavima procijenili kako se očekuje 29 požara po instaliranom 1 GW FN-a godišnje. Prema tome, u EU-u se mogu očekivati deseci tisuća požara povezanih s FN sustavima svake godine. Budući da je očekivani broj požara tako velik, cilj ovog dokumenta jest dati smjernice kako spriječiti da posljedice FN požara na krovu postanu značajne.

Nadalje, organizacija *Clean Energy Associates* (CEA) provela je više od 600 sigurnosnih pregleda FN instalacija na krovovima i utvrdila da 97 posto sustava ima sigurnosne probleme povezane s opasnošću od zapaljenja. Detalji nalaza tih pregleda prikazani su u grafikonu dolje (Slika 1). Na temelju ovih istraživanja može se pretpostaviti da je barem jedan događaj zapaljenja neizbježan tijekom životnog vijeka bilo koje FN instalacije. Ovi su rezultati u skladu s nalazima osiguravajućeg društva FM Global, koje je izvijestilo da i dalje dolazi do zapaljenja i pojave požara u zgradama projektiranim prema njegovim preporukama.



Slika 1: Pregled kvarova koje je prijavila udruga *Clean Energy Associates* (CEA) (<https://www.cea3.com/cea-blog/top-10-pv-rooftop-safety-risks>) 2023. godine.

Međutim, prilikom postavljanja FN sustava na krovove ne treba se ograničiti samo na rizik od zapaljenja. Velik broj instaliranih FN sustava na krovovima izazvao je zabrinutost zbog novih opasnosti od požara, koje se, općenito, mogu svrstati u četiri glavne kategorije, kako je prikazano i objašnjeno u nastavku.





1 Opasnosti od zapaljenja

FN sustavi mogu imati različite potencijalne vrste kvarova koji predstavljaju opasnosti od zapaljenja. Zabilježen je niz slučajeva u kojima su uzroci požara povezani s električnim kvarovima u ožičenju FN nizova, ali i s drugim čimbenicima povezanim s FN instalacijama (poput oštećenja kontakta ili oštećenja kabela i spojeva zbog vremenskih uvjeta – jak vijetar, snijeg). Starenje FN komponenti također može značajno utjecati na sigurnost od požara (Mohd Nizam Ong i suradnici, 2021).

2 Dinamika požara

Ugradnja FN sustava na krov mijenja dinamiku razvoja požara. Ako požar izbije na krovu s ugrađenim FN sustavom, moduli mogu zadržati oslobođenu energiju bliže krovu i povećati temperature i toplinske tokove prema krovu. Zbog toga se požari koji bi se inače razvili na ograničenoj površini u ovim uvjetima šire brže i predstavljaju veću opasnost od požara. Ugradnja FN sustava na krov otporan na djelovanje vanjskog požara dodaje dodatan gorivi materijal konstrukciji krova. FN moduli najčešće su izrađeni od stakla i aluminijskih okvira s polimernim stražnjim oblogama koji predstavljaju dodatno gorivo za krovnu konstrukciju. Instalacija FN sustava na krovu također može omogućiti širenje požara kroz svjetlarnike i preko požarnog zida, posebno ako taj zid nije dovoljno izdignut iznad razine krova.

3 Konstrukcija krova

Mnogo je različitih tipova konstrukcija krova na kojima se razmatra ugradnja FN sustava. U slučaju požara, tip krova i korišteni materijali djeluju međusobno s FN modulima postavljenim na krovu. Ova interakcija može ubrzati širenje požara na krovu. Takav je scenarij drugačiji od onog koji se analizira za konstrukciju krova bez FN sustava. Osim završnih slojeva krova (pokrova), postoje i razne vrste toplinskoizolacijskih materijala, koji se međusobno razlikuju u pogledu gorivosti. Gorivi materijali za hidroizolaciju (membrane) i toplinsku izolaciju mogu doprinijeti razvoju požara i širenju plamena po krovu u uskom području između FN modula i samog krova. Zbog interakcije FN modula i slojeva konstrukcije krova pogrešne kombinacije mogu predstavljati visok rizik u slučaju izbijanja požara te se zbog toga moraju pomno analizirati prije ugradnje na krov.

4 Gašenje požara

FN sustavi mogu predstavljati prepreku vatrogascima pri gašenju požara. Kada se gase požari u zatvorenim prostorima, taktika uključuje ventiliranje zgrade. Tehnike vertikalne ventilacije obično zahtijevaju otvaranje krova iznad žarišta požara, za što je potreban siguran i lagan pristup krovu. Električne opasnosti - FN sustavi i prekidači ponekad nisu pravilno označeni, a vatrogasci možda nisu upoznati s njihovim funkcioniranjem (ako nisu isključeni, mogu nastaviti napajati električne krugove čak i nakon što se glavni prekidač isključi). Opasnosti od eksplozije i kemikalija - požar se može proširiti na velike baterije, a one mogu biti dodatni izvor opasnosti zbog kemikalija koje sadrže (npr. sumpornu kiselinu i vodikov fluorid) i rizik od eksplozije (zbog vodika).



Vjerojatnost izbijanja požara na krovovima s FN sustavima ovisi o kvaliteti ugradnje i načinu upravljanja i održavanja sustava, a posljedice požara ovise o geometriji panela i gorivosti krova. Posebno je važno obratiti pozornost na toplinsko-izolacijski sloj ugrađen neposredno ispod krovne membrane (koja je goriva). Sa stajalište zaštite od požara nije dopušteno izvoditi rekonstrukciju gorivog krova bez negorivog zaštitnog sloja između krova s gorivom izolacijom i FN sustava.

	Preporučuje se	Potrebno ispitivanje	Ne preporučuje se
Posljedice/ozbiljnost	Goriva toplinska izolacija • Kvalificirani instalater • Visokokvalitetne komponente • Redovito održavanje 	Goriva toplinska izolacija • Nekvalificirani instalater • Niskokvalitetne komponente • Loše održavanje 	
	Negoriva toplinska izolacija • Kvalificirani instalater • Visokokvalitetne komponente • Redovito održavanje 	Negoriva toplinska izolacija • Nekvalificirani instalater • Niskokvalitetne komponente • Loše održavanje 	
	Vjerojatno		

Prilagođeno iz ZRS:

<https://www.renew-able.co.uk/wp-content/uploads/2024/03/Zurich-whitepaper-Photovoltaic-systems-on-buildings-20231102-US42.pdf>



KLJUČNE ČINJENICE

Fotonaponski sustavi integrirani u zgrade (BIPV) i fotonaponski sustavi pričvršćeni na zgrade (BAPV) se razlikuju, osobito kada je riječ o zaštiti od požara.

- U fokusu ovih smjernica je zaštita od požara BAPV sustava na ravnim krovovima.

Potrebno je razlikovati požare koji nastaju unutar zgrade od požara koji nastaju na krovu s postavljenim BAPV sustavima, pri čemu je potonji glavni predmet ovih smjernica.

Očekuje se značajan broj požara na krovovima s FN instalacijama.

- Prema istraživanjima, procijenjeno je da se može očekivati 29 požara po instaliranom GW FN solarne energije.
- Tijekom životnog vijeka sustava zapaljenje se čini neizbježnim, stoga je ključno učinkovito upravljati rizicima i ograničiti posljedice požara.
- Potrebno je uzeti u obzir cjelokupan sustav, uključujući materijale korištene za krovnu konstrukciju, s obzirom na to da zapaljive krovne membrane, zapaljive komponente (kao što je sustav nosača) i gorivi toplinskoizolacijski materijali mogu značajno doprinijeti razvoju požara.

Ključni aspekti koje treba razmotriti za zaštitu od požara FN sustava na krovovima su:

- zapaljenje
- dinamika požara
- krova konstrukcija – tip membrane i toplinske izolacije
- gašenje požara od strane vatrogasaca.



2. Rizik od požara zbog FN sustava na ravnim krovovima

Nema dovoljno podataka za razlikovanje rizika od požara povezanih s različitim položajima FN sustava: onih postavljenih horizontalno, onih okrenutih prema jugu ili onih okrenutih u smjeru istok – zapad, stoga se u ovoj smjernici neće uvoditi takva razlika.

Sljedeća tri primjera požara ističu neke od izazova povezanih s požarima na krovovima s FN sustavima.

- Bristol (UK), We the Curious (Millen & Morgan, 2022) – požar je nastao zbog ptice koja se zabila u panel. Zgrada se trenutno obnavlja zbog štete od vode koja je korištena za gašenje požara, a njezino otvorenje planirano je za srpanj 2024.
- McKesson, New Jersey (SAD) (Goldman, 2023) – požar se proširio kroz široko područje između FN panela.
- Traiskirchen (Austrija) (Zach, 2019) – požar u industrijskom kompleksu je zahtijevao intervenciju više od 50 vatrogasaca kako bi se spriječilo širenje na susjedne zgrade.



Bristol, Ujedinjeno Kraljevstvo (Millen & Morgan, 2022)

Foto: Policija Avona i Somerset

Napomena: Kao što je označeno u videu u ovoj vijesti:

<https://www.itv.com/news/westcountry/2022-05-12/we-the-curious-in-bristol-to-remain-closed-after-birds-cause-fire>



McKesson, New Jersey, SAD (Goldman, 2023)

Foto: Vatrogasna postrojba općine Robbinsville

<https://www.facebook.com/RTFD40>



Traiskirchen, Austrija (Zach, 2019)

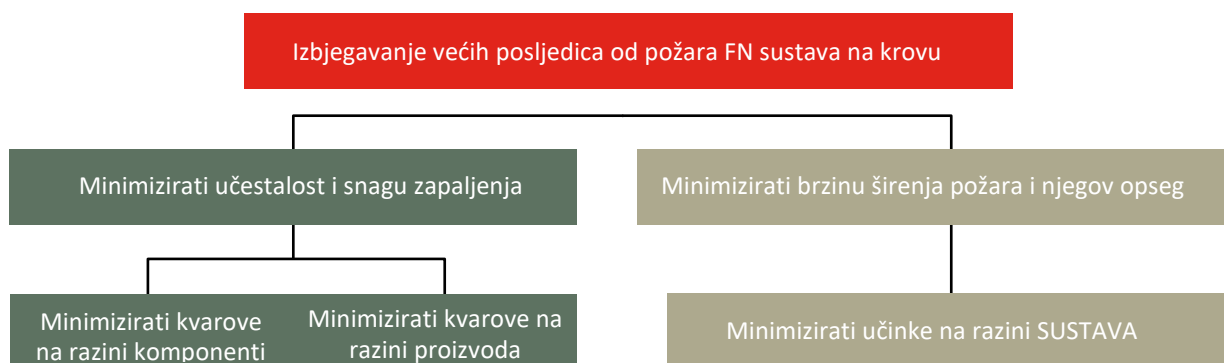
Foto : <https://www.facebook.com/einsatzdoku/>



Kao što je prikazano dolje u temeljnom stablu koncepta zaštite od požara (engl. *Fire Safety Concepts Tree*), metodi analize rizika koju je razvila *Nacionalna udruga za zaštitu od požara* (NFPA), glavna pitanja koja treba riješiti kako bi se spriječile ozbiljne posljedice požara na FN sustavima na krovu odnose se na zapaljenje i širenje požara.

Također je važno istaknuti da se zapaljenje obično odnosi na kvarove na razini komponenata i proizvoda, a širenje požara mora se sagledati kroz učinke na razini cijelog sustava. Iako se komponente i proizvodi strogo kontroliraju prema normama za ispitivanje električnih uređaja, a solarni paneli ispituju na gorivost, statistike pokazuju značajan broj slučajeva zapaljenja FN sustava na krovovima. Međutim, interakcija među komponentama ostaje izazov. To ukazuje na činjenicu da je problem zapaljenja uglavnom povezan s nedovoljnom kvalitetom shema instalacije i održavanja.

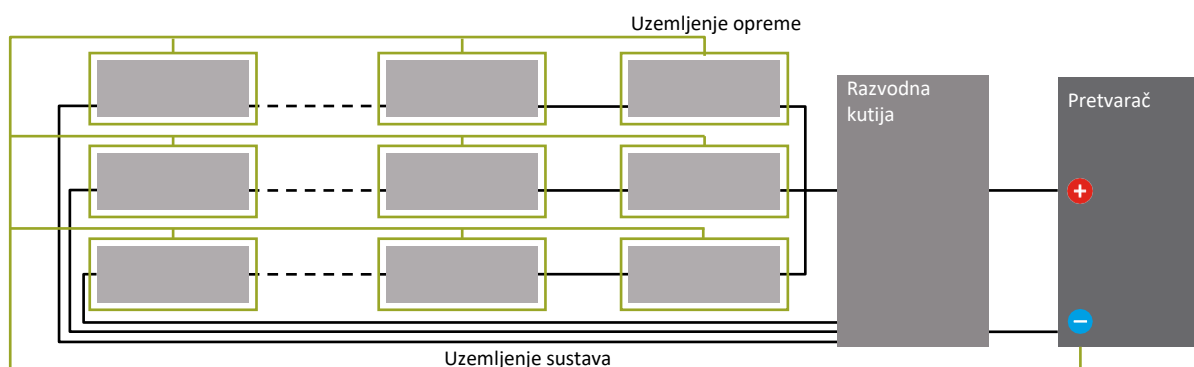
Što se tiče širenja požara, ne postoji norma za ispitivanje cijelog sustava, uključujući krovne membrane i toplinsku izolaciju ispod njih. Zbog toga ovo ostaje najveći neriješeni problem u smanjenju rizika od požara PV sustava na krovovima.



Slika 2: Temeljno stablo koncepta zaštite od požara (NFPA 550) za požare FN sustava na krovovima.

Zapaljenje

Kako bi se osiguralo da proizvodnja električne energije funkcionira prema očekivanjima, svaka FN instalacija uključuje složenu električnu mrežu (AC i DC mreže s brojnim električnim komponentama i uređajima), uz same panele i njihov sustav nosača. Radi lakšeg razumijevanja, pojednostavljeni je shematski prikaz FN sustava na slici 3. FN sustav čine različiti kabeli, razvodne kutije, kontroleri punjenja, zaobilazne diode, pretvarači i druge komponente. Sve nabrojane električne komponente mogu otkazati iz različitih razloga, što može stvoriti izvore zapaljenja i potencijalno dovesti do požara.

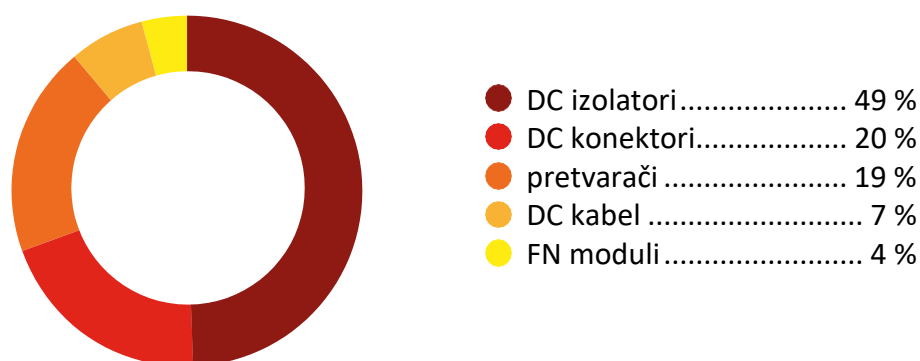


Slika 3: FN sustav je složen sustav s mnogim komponentama. Alam et al., 2013.



Kvar koji dovodi do zapaljenja komponenti može biti unutarnji ili vanjski. Unutarnji uzroci kvarova najčešće su povezani s proizvodima loše kvalitete (npr. pukotine na staklu izazvane mrazom, vruće točke itd.), lošom ugradnjom ili neodgovarajućim održavanjem. Vanjski uzroci kvarova također se značajno razlikuju i mogu uključivati prljavštinu, zasjenjenja, pomake (npr. zbog vjetrova), udarce (npr. ptica, tuče) ili zapaljenje izazvano gorućim česticama iz šumskih požara itd.

Važno je istaknuti da većina ovih izvora zapaljenja ne potječe iz samih FN panela, nego iz drugih dijelova instalacije (vidi Sliku 4). Budući da su identificirani uzroci zapaljenja uglavnom povezani s električnom sklopnom opremom, nužno je zaštititi taj dio sustava. Jedno od rješenja je kontinuirano praćenje prekomjernog razvoja topline, koja može dovesti do zapaljenja.



Slika 4: Izvori požara na FN sustavima prema BRE-u (2017).

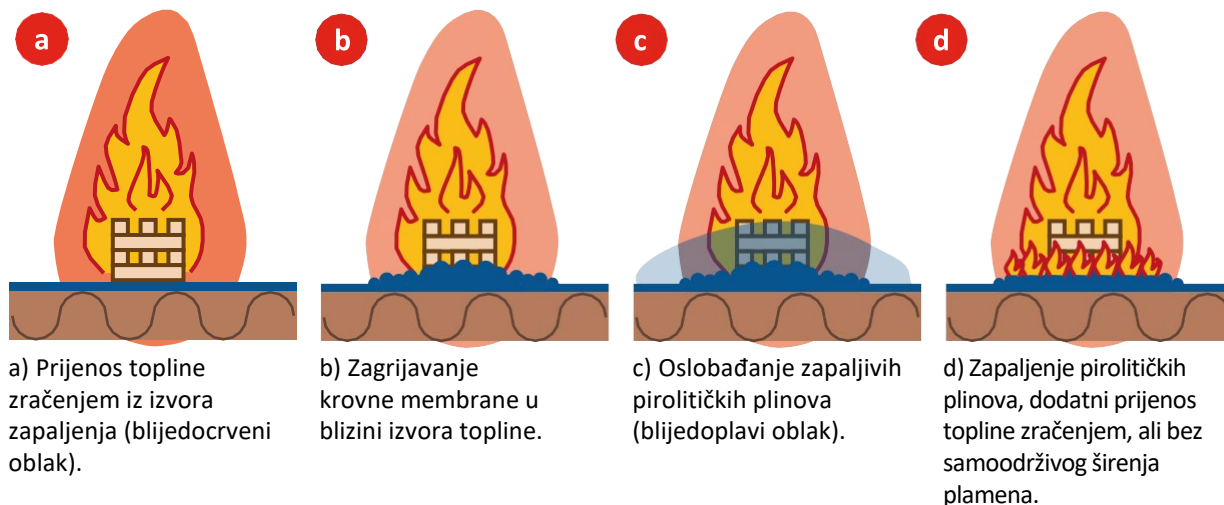
Širenje požara

Dinamikom požara na krovu s FN instalacijom upravlja niz čimbenika. Istraživanja su pokazala da procjena rizika od požara FN instalacije koja se temelji isključivo na analizi pojedinačnih materijala i komponenti proizvoda može dovesti do netočnih zaključaka. Umjesto toga, FN instalaciju potrebno je promatrati kao cjelovit sustav sastavljen od više elemenata, uključujući panele, njihove nosače i konstrukciju krova, kako bi se rizik od požara ispravno procijenio. U tu svrhu osiguravajuća društva trenutno razvijaju postupke odobravanja cjelokupnog sustava.

Ugradnja FN instalacije na krovu mijenja uvjete u slučaju požara jer plamen može prodrijeti ispod panela, pri čemu se značajna količina topline vraća na površinu krova. To može omogućiti širenje plamena tamo gdje ga inače ne bi bilo (pod pretpostavkom da korištena krovna membrana ima odgovarajuću razradbu vezanu za djelovanje vanjskog požara). Na slikama 5 i 6 (Kristensen, 2022) shematski su prikazani scenariji bez ugrađenih panela i s njima (što se također primjenjuje za panele postavljene u ravnoj konfiguraciji).

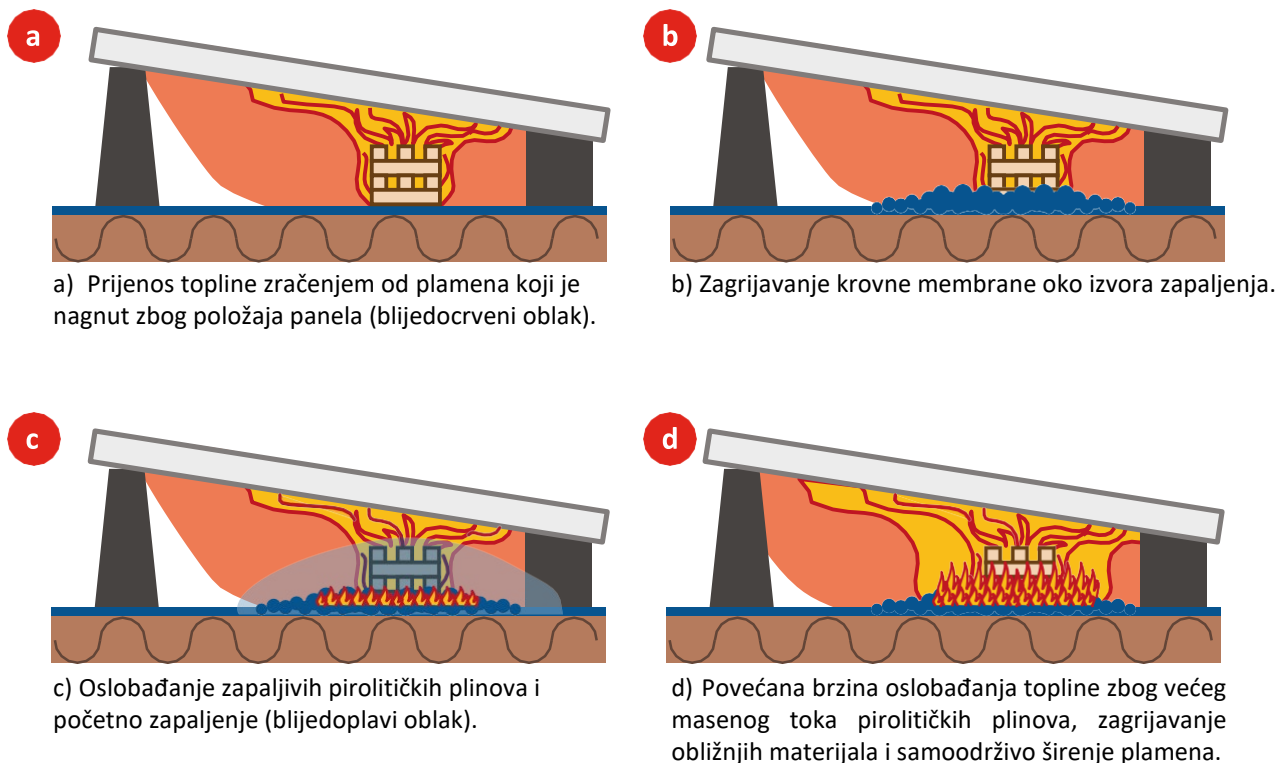


Bez ugrađenog FN panela: Nema širenja plamena (ili je ono zanemarivo) izvan izvora zapaljenja (u ovom slučaju izvor zapaljenja je na bazi drveta, kakav je korišten u ispitivanjima).



Slika 5: Ilustracija procesa zapaljenja drvenog izvora zapaljenja na krovnoj konstrukciji (plavo – krovna membrana, smeđe – toplinska izolacija).

S ugrađenim PV panelom: Dolazi do značajnog širenja plamena ispod PV panela. Važno je napomenuti da su krovna membrana i toplinskoizolacijski materijal ispod panela bili identični u oba slučaja (slike 5 i 6).

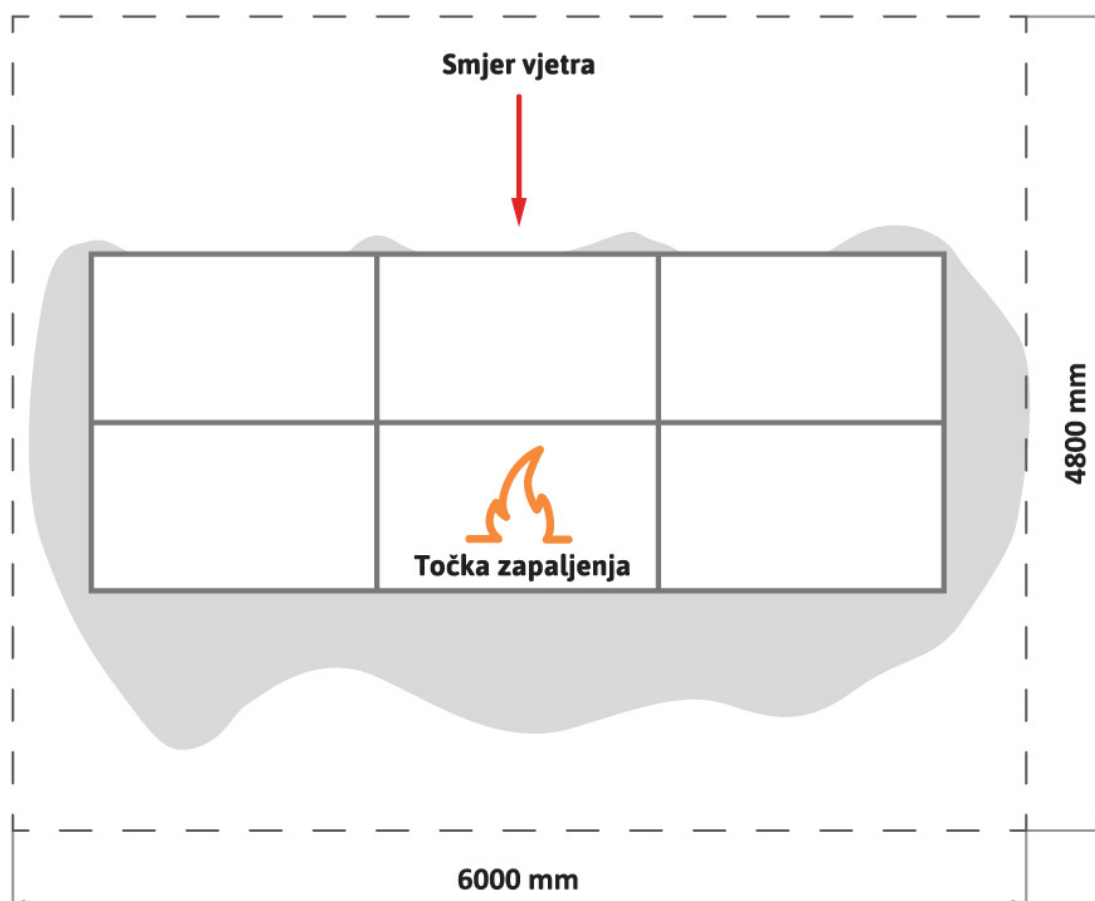


Slika 6: Ilustracija procesa zapaljenja i širenja plamena iz drvenog izvora zapaljenja pod FN modulom na krovnoj konstrukciji (plavo – krovna membrana, smeđe – toplinska izolacija).

Slike 5 i 6 reproducirane su na temelju djela Jensa Steemanna Kristensena (2022.).



Obje konfiguracije pokazale su povećanje opsega širenja požara izvan očekivanog raspona na krovu (koji je inače sličan), što je potvrđeno i u stvarnim požarima i ispitivanjima. Kada se požar proširi izvan područja prekrivenog panelima, njegovo daljnje širenje obično se zaustavi nakon relativno kratke udaljenosti. Na slici dolje (Kristensen i Jomaas, 2018) prikazane su posljedice ispitivanja provedenih na otvorenom, uz utjecaj stvarnih uvjeta vjetra. Sivo područje na slici označava opseg širenja požara.



Slika 7: Ispitivanja požara na krovovima s FN sustavima pokazala su da se požari uglavnom ne šire znatno izvan područja FN polja (Kristensen i Jomaasu, 2018). Ovi su nalazi općenito potvrđeni i u stvarnim slučajevima požara na krovovima.

3. FN sustavi na ravnim krovovima

Kada se radi o požarima na krovovima s FN sustavima, jako je važno uzeti u obzir svojstva požarnog zida (kao što je pokazao požar u skladištu ASKO u Norveškoj), položaj krovne ventilacije, razmak između FN polja (c) i veličinu FN polja (a*b).

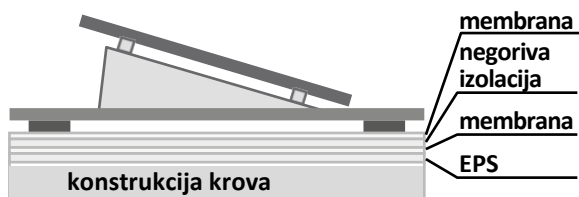


Slika 8: Pogled odozgo na konstrukciju krova s (1) požarnim zidom, (2) krovnim otvorom i (3) FN panelima. Položaj krovnog otvora treba biti u skladu s nacionalnim regulativom koja propisuje udaljenost do požarnog zida.

Što se tiče konstrukcije krova za zgrade s FN instalacijama, potrebno je jasno razlikovati renovacije od izgradnje novih konstrukcija. Prilagodba postojećeg krova za ugradnju solarnih panela na krovu nesporno je najčešća praksa, djelomice i zbog općeprihvaćenog stava da je održivije koristiti postojeće krovove odnosno zgrade nego graditi nove.

Slika dolje prikazuje tipičan sastav za dvije glavne kategorije krovnih konstrukcija.

- Za krovove koji se renoviraju, istraživanja su pokazala da tipična konstrukcija s EPS-om i membranom na krovu zahtijeva dodatni sloj negorivog materijala (engl. *mitigation layer*) kako bi se spriječilo širenje požara na EPS i izbjegao razvoj požara velikih razmjera. Prema većini standarda osiguravajućih društava, taj dodatni sloj obično se sastoji od sloja negorive toplinske izolacije s novom slojem krovne membrane na vrhu. Budući da je ponašanje cijelog FN sustava ključno za sigurnost u slučaju požara, preporučuje se da se svojstva dodatnog negorivog sloja potvrde pouzdanim podacima ispitivanja ili relevantnim statističkim podacima.
- U izgradnji novih krovova potrebno je izbjegavati upotrebu visokozapaljivih toplinskoizolacijskih materijala poput EPS-a na nosivoj konstrukciji krova. Umjesto toga, preporučuje se primjena sigurnijih alternativa, poput negorive izolacije, s krovnom membranom na vrhu. Preporuka za ugradnju negorive toplinske izolacije temelji se na javno dostupnim rezultatima ispitivanja koji pokazuju da širenje požara vezanih za FN module preko membrana ne ovisi o tipu membrane te da su nastali požari dovoljno jaki da zahvate zapaljive toplinskoizolacijske materijale.



Tipična kompozicija krova pri renoviranju



Tipična kompozicija krova za novogradnju



Membrana

Tablica 1 prikazuje tipične membrane (hidroizolacije) korištene za krovove. Prije nego što se stave na europsko tržište, membrane se klasificiraju prema normi EN 13501-5 (*EN 13501-5 Razredba građevnih proizvoda i građevnih elemenata prema ponašanju u požaru - Dio 5: Razredba prema rezultatima ispitivanja izloženosti krovova požaru izvana, 2016*). Na primjer, tablica pokazuje da je PVC stavljen u razred B_{roof} prema tri različite metode ispitivanja s obzirom na to da različite zemlje preferiraju različite metode ispitivanja. Treba napomenuti da se B_{roof} razredba dobiva za sustav krova, a ne samo za hidroizolacijsku membranu.

Istraživanja su pokazala da razredba prema spomenutoj normi nije uvijek pouzdana kada je FN panel postavljen iznad membrane, bez obzira na vrstu membrana. Ovaj problem postaje kritičniji kod manjih visina razmaka između panela i membrane.

Tablica 1: Tipične krovne membrane i metoda ispitivanja prema CEN/TS 1187:2012 korištena za B_{roof} razredbu.

Tip hidroizolacijske membrane	Metoda ispitivanja
TPO (termoplastični poliolefin)	B _{roof} (t1)
TPO/FPA (fleksibilna polipropilenska legura)	B _{roof} (t1)
FPO (fleksibilni poliolefin)	B _{roof} (t2)
PVC (polivinil klorid)	B _{roof} (t2)
PVC (polivinil klorid)	B _{roof} (t3)
Bitumen	B _{roof} (t3)
PVC (polivinil klorid)	B _{roof} (t4)

Izolacija

Ako gorivu izolaciju nije moguće ukloniti s postojećeg krova, potrebno je pažljivo odabrati odgovarajući dodatni sloj negorivog materijala. Predloženo rješenje s dodatnim slojem treba ispitati u uvjetima kako je predviđen za ugradnju, a izvor zapaljenja treba biti dovoljno velik da izazove požar značajnih razmjera ispod FN panela.

Toplinska izolacija igra ključnu ulogu u zadržavanju ili raspršivanju topline koju generira požar. Ako izolacija omogućava brži prodor topline u krov, manje topline ostaje na razini izgaranja, što usporava širenje požara. S druge strane, ako izolacija sprečava prodor topline u krov, više će se topline zadržati na mjestu izgaranja, što ubrzava širenje požara. Važno je napomenuti da brže širenje požara ponekad može biti korisno, primjerice za zaštitu sloja EPS-a ispod membrane. To, međutim, vrijedi pod pretpostavkom da će se požar zaustaviti na rubu FN polja, što možda neće biti slučaj za vrste membrane koje pri visokim temperaturama kaplju ili se tale (npr. bitumen).

Nadalje, ako je prijenos topline (U-vrijednost) različitih izolacijskih rješenja jednak, očekuje se da će doprinos prijenosa topline dinamici požara od različitih izolacijskih materijala biti isti. Međutim, čak i pri istoj U-vrijednosti uočene su razlike u ponašanju toplinskoizolacijskih materijala kada se uzme u obzir trajanje požara. Istraživanja Kristensena i Jomaasa iz 2018. godine su pokazala da su požari duljeg trajanja mogu ugroziti gorive toplinsko-izolacijske



materijale, čime se povećava rizik od širenja požara s ovojnice zgrade u njezinu unutrašnjost.

Važno je razlikovati gradnju novih krovnih konstrukcija od onih koje se obnavljaju. Odabir materijala može značajno utjecati na razinu sigurnosti od požara. Kada se provode promjene na postojećoj zgradi, često se ne razmatraju sigurnosne implikacije tih promjena na istoj razini kao u projektiranju novih zgrada.

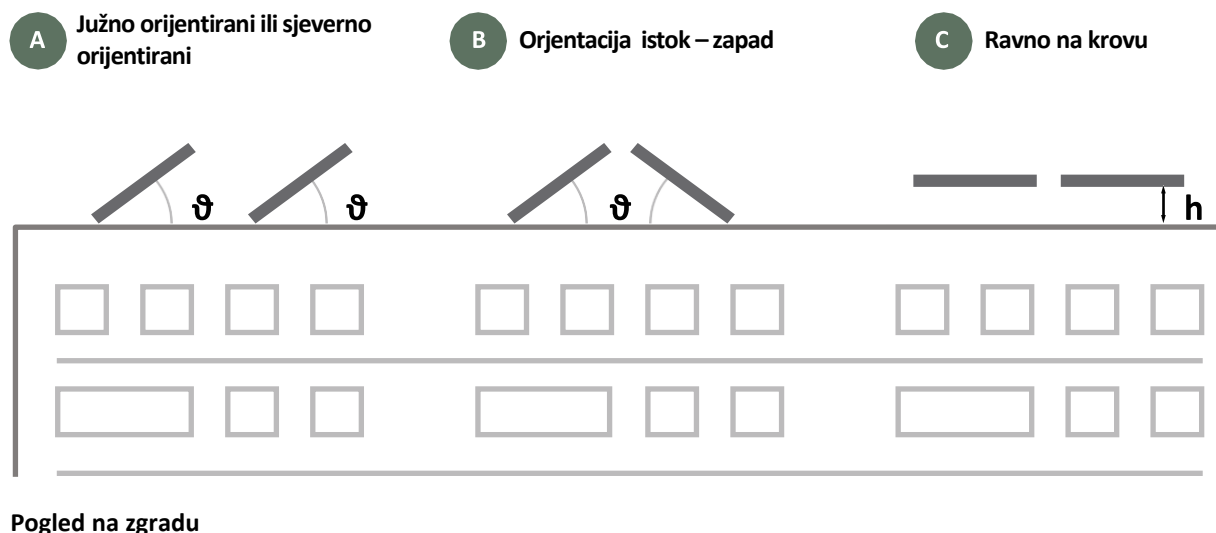
U konačnici, riječ je o ublažavanju rizika. Kada su u krov ugrađeni gorivi toplinskoizolacijski materijali, to znači više goriva koje se može zapaliti i dodatno doprinijeti razvoju požara u slučaju njegova nepredviđenog izbijanja na krovu.

Vrsta FN modula

Postoji više vrsta FN modula, na primjer staklo-folija (UL 790 razred C), staklo-staklo (UL 790 razred C), staklo-staklo (UL 790 razred A). Iako može postojati neka razlika u vezi sa širenjem požara u odnosu na različite vrste modula, sve će vrste modula utjecati na širenje požara. Zapravo, istraživanja su pokazala da čak i čelična ploča postavljena iznad jednakih krovnih materijala utječe na širenje požara slično kao FN modul. Stoga se smanjenje rizika ne bi trebalo temeljiti samo na odabiru FN modula.

FN moduli imaju ključnu ulogu u širenju požara povezanih s FN sustavima na krovovima. Oni mogu biti jedan od izvora zapaljenja ili pridonijeti širenju požara koji je nastao izvan FN instalacije. Njihova prisutnost na krovu predstavlja ključni doprinos većim posljedicama požara u usporedbi s požarom koji nastane na krovu bez ugrađenog FN sustava. Sljedeće točke detaljnije objašnjavaju kako odabir i postavljanje fotonaponskih panela i elemenata oko njih na krovu utječu na rizik od požara u zgradi.

FN sustavi općenito se ugrađuju u tri različite orijentacije, kao dolje, u pojednostavljenom prikazu zgrade s FN panelima na ravnom krovu. Odnedavno su zanimljivi i vertikalno ugrađeni paneli, a početna su istraživanja pokazala da ova orijentacija ne rezultira scenarijem širenja požara prikazanim na slici 6 (Jomaas, Simakovs i Rus, 2024; Bellini, 2024).





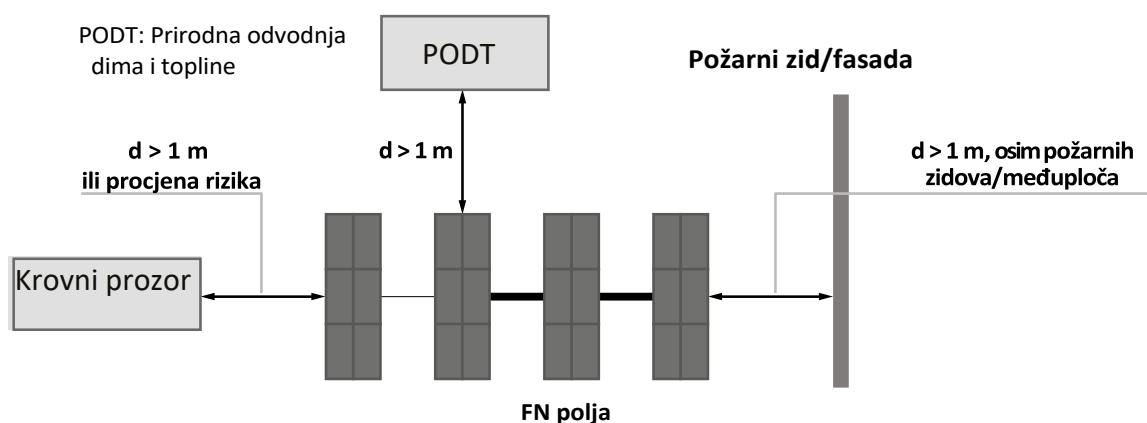
Geometrija panela

Ključni parametri ovdje su visina razmaka između panela i krova i nagib panela. Što je manja visina razmaka to je veća količina prijenosa topline natrag na krovni materijal, što rezultira bržim razvojem požara i bržim širenjem plamena. Istraživanje Kristensena i sur. (2020) pokazalo je da postoji kritična visina razmaka, što znači da je na određenoj visini ponašanje požara na krovu jednako onome koji se razvija na krovu bez FN panela. Ako se uzme u obzir da su krovne membrane pravilno odabrane, postavljanje panela s visinom razmaka koji premašuje spomenutu vrijednost (koja mora biti utvrđena za cijelu konstrukciju) značajno će smanjiti rizik od požara.

Nagib panela dovodi do efekta dimnjaka, što unosi veće količine kisika u požar i povećava brzinu širenja plamena još više. Kao i kod bržeg širenja plamena spomenutog u odjeljku o toplinskoj izolaciji, posljedice nisu tako jednostavne. Brže širenje plamena također će uobičajeno rezultirati kraćim trajanjem požara, čime se krovna konstrukcija izlaže toplini kraće vrijeme, potencijalno dovodeći do manjih posljedica (jer je rizik od širenja požara u krov smanjen).

Konfiguracija polja

Nekoliko nacionalnih smjernica daje zahtjeve za udaljenost između FN polja kao i za maksimalnu veličinu FN polja. Zbog te činjenice jasno je da su ovi zahtjevi važni i pokazuju da FN paneli utječu na širenje požara na krovovima. Na slici dolje primjer je iz Italije (Cancelliere i sur., 2016) u kojem su prikazane zahtjevane udaljenosti između FN polja i udaljenosti do požarnih zidova, krovnih prozora i otvora za odvođenje dima i topline. Zahtjevi donekle variraju od zemlje do zemlje i stoga bi bilo vrlo korisno da se ujednače. Napominjemo da bi se spomenuti ujednačeni zahtjevi trebali temeljiti na istraživanjima i da se očekuje da će udaljenosti biti različite za FN instalacije ovisno o konfiguraciji (sastavu) krova i geometriji FN panela.



Slika 9: Preporučena udaljenost između polja i udaljenost do požarnih zidova, krovnih prozora i otvora odvod dima i topline. Preuzeto iz Cancelliere, 2016.

Primijećeno je da se u većini smjernica o sigurnosti koje su izdala osiguravajuća društava i konzultantske tvrtke definiraju dva parametra, kao što je prikazano u tablici dolje, a to su površina polja i razmak između njih. Površina polja propisana je u rasponu od 40 m x 40 m do 45 m x 45 m, a razmak između polja trebao bi biti od 1 m do 2 m, ovisno o nekim dodatnim zahtjevima navedenim u pojedinačnim smjernicama.



Tablica 2: Preporučena površina polja i razmak između polja prema različitim smjernicama.

Izdavač	Veličina polja	Udaljenost između polja i ostalih elemenata na krovu
Allianz	45 m x 45 m	1,2 m
AXA XL	45 m x 45 m	1,2 m or 1,8 m ¹
RSA Insurance	46 m x 46 m	1,2 m
SZPV	40 m x 40 m	1,0 m or 2,0 m ²
BVS ³	do 1,800 m ² (oko. 42 m x 42 m)	1,0 m or 2,0 m ⁴
VdS 2234	40 x 40 m	> 5 m

1. Za udaljenost od ruba krova do FN instalacije zahtjev je 1,2 m za krovove dužine ili širine manje od 75 m i 1,8 m za dužinu ili širinu veću od 75 m.
2. Za ravne krovove veće od 40 m x 40 m, polja će biti ograničena na maksimalno 40 m x 40 m. Mora postojati najmanje 1,0 m široka pristupna traka između ruba krova i polja. Mora postojati i jasan prolaz širine najmanje 2,0 m između dva takva polja.
3. Dokument je namijenjen samo za krovove površine veće od 1800 m².
4. 1,0 m za slučajeve s negorivim pokrovom (npr. površina od 5 cm debelog šljunka) i ako je krovni pokrov goriv (također razradba B_{roof}(t1) bez zaštite od 5 cm debelog šljunka), mora se održavati horizontalna udaljenost od 2 m.

Požar u zgradi tvrtke ASKO u Norveškoj ("Brannen i ASKO-bygget", 2017) planuo je tijekom punjenja viljuškara. Ovaj je događaj dobar primjer požara koji nastaje unutar zgrade, a potom se širi pod utjecajem FN instalacija. Požar koji je izbio u jednom požarnom odjeljku probio je krov, nakon čega se proširio duž krova s postavljenim FN modulima te dalje u drugi požarni odjeljak. FN sustav (paneli i sastav krova) i izostanak produžetka požarnog zida iznad razine krova bili su ključni čimbenici koji su omogućili razvoj požara takvih razmjera. Posljedica je požara uništenje gotovo od 9000 m² od ukupno 100.000 m² uz procijenjeni gubitak približne vrijednosti od 200 milijuna norveških kruna (s nedavnim ažuriranjima koja udvostručuju taj iznos zbog prekida poslovanja i logističkih problema). Zahvaljujući velikim naporima vatrogasaca požar je ograničen na požarni odjeljak u kojem je bilo skladište zamrznute robe.



Požar skladišta ASKO u Norveškoj proširio se preko mnogih FN polja, pa i preko unutarnjeg požarnog zida, čime je narušena predviđena podjela građevine na požarne odjeljke.

Foto: Požar skladišta ASKO u Vestbyju (Norveška) 2017.; autorska prava: Tor Aage Hansen/Rockwool Group



Foto: CambsNews/Terry Harris

Požar u distribucijskom centru Lidl u Peterboroughu (UK) u veljači 2024. također se proširio preko brojnih razdjelnih prolaza. Osim toga, smjer širenja ukazuje na to da je u južno orijentiranoj konfiguraciji širenje preko razdjelnih prolaza lakše na "višem kraju" nagnutog panela (prema lijevoj strani na fotografiji). Međutim, smjer vjetra u trenutku snimanja fotografije također je pridonio tom smjeru širenja. Čini se da su u ovom požaru polipropilenski (gorivi) nosači dodatno pridonijeli širenju požara, što je u skladu s rezultatima istraživanja Kristensena i Jomaasa (2018).



KLJUČNE TOČKE

- Rizik od požara na krovovima s FN panelima veći je nego na krovovima bez panela.
- Procjena sigurnosti od požara FN instalacije treba se provoditi na razini cijelog sustava jer pojedinačni elementi ne odražavaju nužno cjelokupni rizik. Međutim, stvarni se rizik pojavljuje s kombinacijom različitih elemenata, koji se tada moraju promatrati kao sustav.
- Ključni parametri koji utječu na dinamiku požara povezanih s FN sustavima:
 - visina razmaka između panela i krova
 - nagib panela
 - sastav krova (membrana i toplinskoizolacijski materijali...)
 - konfiguracija FN polja (veličina polja i razmak između polja).
- Vrsta FN panela nije toliko značajan faktor kao prethodno navedeni parametri.
- Sve vrste membrana (hidroizolacija) doprinose požaru i dovode do širenja izvan izvora kada su postavljene ispod FN panela (koji su dovoljno blizu površini krova).
- Na temelju navedenog, za značajno smanjenje rizika preporučuje se ugradnja negorivih toplinskoizolacijskih materijala i pravilna montaža.



4. Gašenje požara

Izazovi povezani s uspješnim i sigurnim gašenjem požara na krovovima s FN instalacijama uglavnom su jednaki bez obzira na to je li požar nastao unutar zgrade ili na krovu. Općenito, gašenje požara zahtijeva:

1. siguran pristup krovu
2. sigurne operacije na krovu
3. uspješnu primjenu sredstva za gašenje (voda, pjena...).



Vatrogasci gase požar na krovu s FN panelima u Robbinsvilleu (New Jersey, SAD) 2023.

Foto: Edmund Haemmerle

Instalacija solarnih panela na krovu može negativno utjecati na ključne sigurnosne aspekte. Stoga je važno osigurati sljedeće.

- 1 FN paneli ne smiju biti ugrađeni uz rub krova s bilo koje strane te se moraju osigurati neprekinuti prolazi za hodanje, koji omogućavaju siguran pristup krovu iz bilo koje točke.
- 2 Produžetak požarnih zidova mora spriječiti neočekivano širenje požara; konstrukcija krova mora biti dovoljno čvrsta, a glavna sklopka za isključenje sustava treba biti dostupna kako bi se smanjila mogućnost strujnog udara.
- 3 Uspješna primjena sredstva za gašenje zahtijeva blizinu jer će FN paneli u protivnom blokirati pristup i tijekom gašenja. Stoga je nužno ispuniti dva prethodna zahtjeva. Ako su ekološka pitanja važna, treba voditi računa o ograničavanju količine vode koja se koristi za gašenje.

FN paneli proizvode potencijalno smrtonosne količine istosmjerne struje kad god su izloženi svjetlu. Svi FN sustavi opremljeni su izolacijskim prekidačima, većina pretvarača (invertera) ima opremu za detekciju luka, a neki novi FN sustavi imaju dodatnu elektroničku opremu za nadzor i "isključivanje" PV sustava u slučaju kvara. U starijim elektranama FN paneli i ožičenje do prve točke elektromehaničke izolacije ostaju aktivni sve dok FN paneli primaju svjetlost.

Bez obzira na to je li FN sustav izravan izvor zapaljenja ili je neizravno uključen (izvor zapaljenja izvan FN sustava), rizici istosmjerne struje predstavljaju značajnu opasnost za vatrogasce koji interveniraju na mjestu požara. Zbog toga požare koji uključuju FN panele ne bi trebali gasiti vatrogasci koji nisu obučeni za takve situacije. Tijekom intervencije FN paneli moraju biti isključeni iz napajanja jer predstavljaju ozbiljnu električnu opasnost. Svi FN sustavi, kada su ugroženi, predstavljaju aktivni rizik istosmjerne struje koji ugrožava živote i potencijalno može eskalirati u požar ako ga se ne ukloni na odgovarajući način. Kako se od vatrogasaca ne može očekivati poznavanje svih tehničkih detalja različitih tehnologija fotonaponskih sustava, potrebna im je jednostavna i učinkovita metoda za sigurno isključivanje solarnih FN sustava na samom izvoru proizvodnje energije.

Veliki požar u skladištu u Noardburgumu u Nizozemskoj 20. svibnja 2021. primjer je dodatnih ekoloških problema koji mogu nastati u požarima povezanim s FN sustavima (Bellini, 2021). Općina je u priopćenju za javnost izjavila da je zaprimila oko 73 prijave zabrinutih stanovnika iz okolnog područja, uznemirenih prisutnošću fragmenata FN modula na njihovim posjedima. Prema Ursu Muntwyleru, stručnjaku za požare FN postrojenja i izvršnom direktoru švicarske inženjerske tvrtke Ingenieurbüro Muntwyler, čestice koje su pronašli stanovnici, a koje su također vidljive na slici objavljenoj u priopćenju općine, slične su onima koje je pronašao nakon sličnog požara na FN sustavu u Lanzenhäusern u Švicarskoj.



Požar u Noardburgumu (Nizozemska) rezultirao je ekološkim problemima nekoliko kilometara udaljenim od mjesta požara.

Foto: NoorderNieuws/de Vries Media

Poput požara koji izbiju unutar zgrade, i vanjski se požari razvijaju u one velikog inteziteta, zbog čega su kod njih ekološki problemi još izraženiji. Velike razvijene količine dima mogu prenositi dijelove FN panela na velike udaljenosti (što je potvrđeno primjerom požara u Nizozemskoj), uzrokujući ekološke probleme na širem okolnom području. Osim toga, s obzirom na intezitet ovakvih požara, vatrogasci će koristiti veće količine vode za gašenje, što povećava rizik od kontaminacije tla i podzemnih voda oko požarišta. U područjima gdje je okoliš posebno osjetljiv, ove aspekte treba posebno pažljivo razmotriti kako bi se umanjio njihov negativni utjecaj.



KLJUČNE TOČKE

- Požari koji započinju unutar zgrade obično zahtijevaju negorivu krovnu konstrukciju kako bi se spriječilo širenje požara prema vanjskoj strani krova.
- Požarni zidovi moraju biti dovoljno produženi iznad razine krova kako bi se spriječilo širenje požara između različitih požarnih odjeljaka.
- Ugrađeni FN sustavi utječu na sposobnost vatrogasne postrojbe u gašenju požara.
 - Potrebno je osigurati siguran pristup krovu i omogućiti sigurnu provedbu intervencije gašenja.
 - Nužno je omogućiti primjenu sredstva za gašenje izravno na izvor požara, a ne samo na panele.



Vatrogasac u oblaku dima tijekom požara na krovu s FN panelima u Robbinsvilleu (NJ, SAD). Ramali i sur. (2023) preporučili su da vatrogasci trebaju slijediti popis sigurnosnih mjera prije, tijekom i nakon požara povezanih s FN sustavima. Jedna od ključnih preporuka bila je nošenje odgovarajuće osobne zaštitne opreme u svakom trenutku .

Foto: Edmund Haemmerle

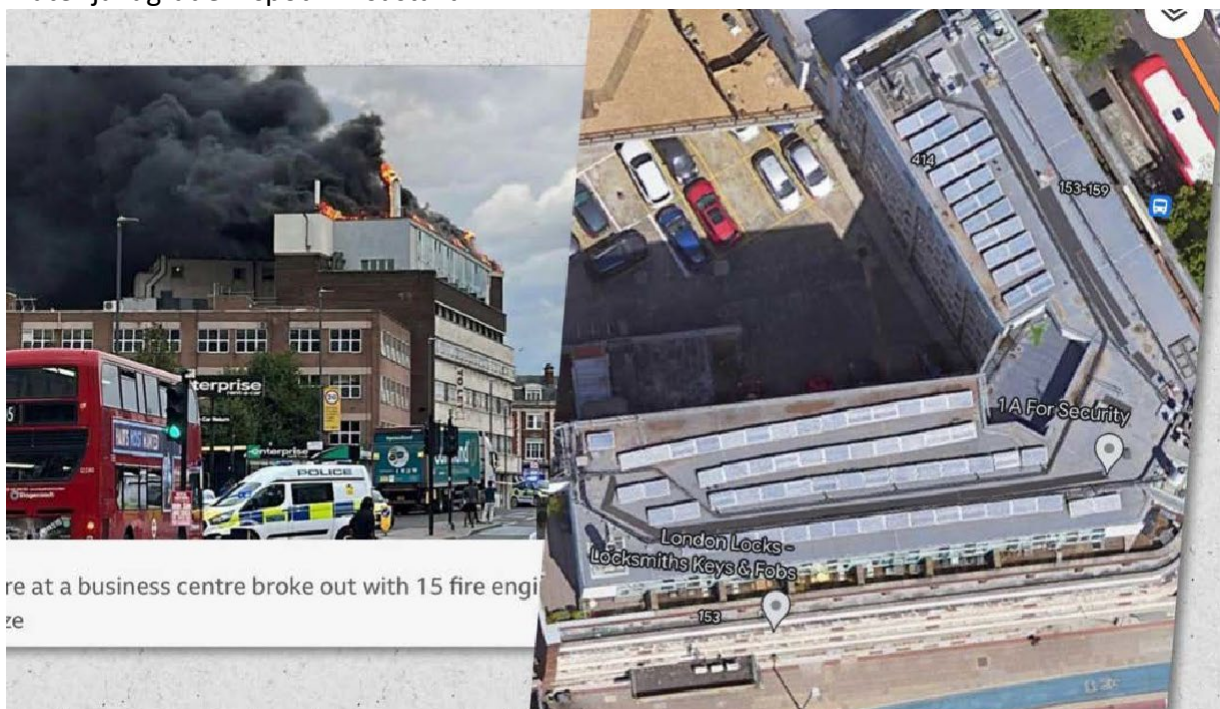


5. Opće dileme

Postoje opći problemi vezani uz zaštitu od požara na krovovima s ugrađenim FN sustavima, o kojima će biti više riječi u nastavku. Primjerice, još nije uobičajeno ugrađivati sustave za rano otkrivanje požara na krovovima, zbog čega se požar može znatno razviti prije nego što bude primijećen, jer se detekcija temelji na vizualnim opažanju ljudi u blizini zgrade. Ostali opći problemi uključuju i lošu praksu prilikom postavljanja panela i izostanak njihova redovitog održavanja.

Do izbijanja većeg požara došlo je u kolovozu 2023. godine na krovu jedne zgrade u Londonu (UK). Pretpostavlja se da je izvor požara bio u FN sustavu ugrađenom na krovu. Požar se brzo proširio kroz krovšte, prisilivši stanare na hitnu evakuaciju, jer su se alarmi u zgradi oglasili tek kada je požar dosegnuo veliki intenzitet. Kao što je vidljivo na fotografijama u nastavku, čini se da sustav nije bio pravilno ugrađen, a izostalo je i dobro održavanje. FN polja bila su ili nepravilno postavljena ili su ih vjetar ili druge sile pomaknuli, što je poznat uzrok naprezanja u električnim kabelima. Takvo naprezanje može rezultirati pojavom električnog luka i dovesti do zapaljenja materijala u krovu.

Poznato je da pomicanje FN polja pod utjecajem jakih vjetrova ili oluja može dovesti do kvarova i povećanog rizika od zapaljenja. Stoga se često dodaje balast za stabilizaciju linijskog sustava opterećenja. Međutim, važno je napomenuti da takav balast može izazvati i druge probleme, uključujući oštećenja od samog balasta te moguće negativne utjecaje na toplinskoizolacijski materijal ugrađen ispod FN sustava.



Izvadak iz vijesti o požaru na krovu u Londonu upotpunjen snimkom rasporeda FN sustava na krovu iz Googleovih karata.

<https://www.bbc.com/news/uk-england-london-66622684>



Kvalifikacije osoblja

Velik broj požara povezanih s FN sustavima (više od 55 %) rezultat je uzroka koji su izravno ili neizravno povezani s njihovom ugradnjom na krovu. Ovaj postotak obuhvaća uzroke zapaljenja povezane s panelima, izolatorima, pretvaračima i konektorima. Za očekivati je da bi se kvalitetnom izvedbom instalacije solarne elektrane znatno smanjio broj požara uzrokovanih ovim greškama.

Pregled certifikacije instalatera koji je proveo BRE (BRE, 2011) pokazao je da u mnogim državama članicama Europske unije ne postoji certifikacijski sustav koji bi omogućio instalaterima FN sustava dokazivanje kompetencije i kvalitete rada potencijalnim klijentima. Prema nalazima BRE-a (BRE, 2011), ključna su područja koja bi trebala biti uključena u programe certifikacijskih treninga: primjenjivi propisi i direktive, zahtjevi za ugradnju i održavanje, specifičnosti lokacije, izvedba sustava, tehničke kompetencije, upravljanje kvalitetom i briga o kupcima.

Nadalje, prema istraživanju BRE-a, provedena je analiza drugih smjernica kako bi se utvrdilo u kojoj se mjeri njima zahtijeva da instalateri budu adekvatno certificirani, kvalificirani ili obučeni. Rezultati ove analize vidljivi su u Tablici 3.

Tablica 3: Pregled smjernica koje zahtijevaju certifikaciju instalatera

Zemlja	Organizacija	Potrebna certifikacija
Njemačka	Allianz (Allianz Risk Consulting, 2019)	DA
Njemačka	VdS (VdS, 2023)	DA
Francuska	AxaXL (AXA XL Risk Consulting, 2021)	DA
UK	RSA (RSA Insurance Group, 2020)	NE
Slovenija	SZPV (SZPV, 2016)	DA
Austrija	BVS (BVS - Brandverhütungsstelle, 2022)	NE
Kanada	Canadian solar (Canadian Solar Inc., 2020)	DA
Kina	Longi (LONGi Solar Technology Co., Ltd., 2023)	DA
Kina	JA solar (Shanghai JA Solar Technology Co., Ltd., 2019)	DA
Južna Koreja	LG (LG Electronics Deutschland GmbH, 2019)	DA



Rad i održavanje

Podaci ukazuju na nekoliko specifičnih područja gdje se standardi održavanja mogu poboljšati (Pester et al., 2017). To su:

- pregledi unutrašnjosti izolatora jednosmjernog toka (uzorkovanje ako ih ima velik broj), uključujući znakove provjere pregrijavanja, vlage i labavih priključaka
- priprema metodologije uzorkovanja i provjeru konektora sastavljenih na licu mjesta (s konektorima sastavljenim u tvornici manje je problema).

Potrebno je uspostaviti fleksibilan mehanizam za preglede i čišćenja ili primijeniti sustav za prikupljanje podataka kako bi se utvrdila potreba za neplaniranim održavanjem. Time bi se smanjio rizik od požara u različitim okruženjima (Wu et al., 2020).

Održavanje FN sustava trebalo bi uključivati sljedeće četiri vrste postupaka održavanja (NREL, 2018):

Upravljanje održavanjem

Podrazumijeva odgovornost za svaki aspekt održavanja i jasno uspostavlja odgovornost za posljedice nastale neodržavanjem.

Preventivno održavanje

Planirano održavanje koje se često provodi u intervalima kako bi se uskladilo s preporukama proizvođača u jamstvu opreme.

Korektivno održavanje

Za otklanjanje oštećenja ili zamjenu neispravnih komponenti potrebno je obaviti korektivno održavanje poput resetiranja pretvarača ili komunikacijskih resetiranja na daljinu. Manje hitni zadaci korektivnog održavanja mogu se kombinirati sa zadacima preventivnog održavanja.

Održavanje prema trenutnom stanju

Koristi informacije u stvarnom vremenu iz uređaja za bilježenje podataka u svrhu planiranja preventivnih mjera ili korektivnog održavanja predviđanjem ili ranijim otkrivanjem kvarova.



Iako nisu regulirani, uobičajeni postupci održavanja, koji mogu biti potrebni za FN instalacije uključuju:

- pregled spojeva i završetaka žica radi provjere eventualne labavosti i korozije
- pregled ožičenja kako bi se osiguralo da su uredno povezana i adekvatno zaštićena
- pregled FN polja radi provjere čistoće, odsutnosti oštećenja i očuvanosti strukturnog integriteta
- inspekciju prodora krova i brtvljenja radi osiguranja otpornosti na vremenske uvjete
- održavanje baterija, uključujući čišćenje, dodavanje elektrolita, balansiranje punjenja i zamjenu prema potrebi.

Održavanje FN sustava definirano je normama IEC 62446-1 i 2. Norma IEC 62446-1 predstavlja međunarodni standard za ispitivanje, dokumentiranje i održavanje FN sustava povezanih na mrežu. Njime se postavljaju zahtjevi prema kojima projektanti i instalateri FN sustava povezanih na mrežu moraju pružiti informacije i dokumentaciju korisnicima.

Nedostatak statističkih podataka

Procjena rizika uvijek uključuje analizu vjerojatnosti razmatranog događaja i njegovih posljedica. Za pravilnu procjenu rizika od požara povezanih s FN sustavima potrebno je raspolagati pouzdanim podacima o učestalosti tih požara te o opsegu šteta koje su prouzročili. Pristupi prikupljanju podataka značajno se razlikuju među zemljama, pa sveobuhvatne procjene rizika ostaju rijetke dok se ne provedu odgovarajuće mjere za poboljšanje i ujednačavanje procesa prikupljanja podataka.

Nedostatak ažuriranih podataka o zgradama

Postoji nedostatak ažuriranih podataka o zgradama, koji bi vatrogascima olakšali pristup na putu do požarišta. Idealno bi bilo da raspolažu niže navedenim informacijama.

1. Instalacija

a. Raspored FN sustava ☒

b. Specifikacije FN sustava ☒

I. Tip ☒

II. Starost ☒

III. Prisutnost sigurnosnih uređaja (npr. mikro-inverteri) ☒

2. Konstrukcija krova

a. Tip membrane ☒

b. Korišteni toplinskoizolacijski materijal (gorivi vs. negorivi) ☒

c. Tip korištenih hodnih staza (gorivi vs. negorivi) ☒

Zahvale

Ovaj je rad nastao na temelju radionice u organizaciji FM Globala, NFPA-a i Rockwoola održane u danskoj ambasadi u Bruxellesu u ožujku 2023. Njegova je realizacija omogućena financijskom podrškom Rockwoola i projektom FRISBE koji je dobio financiranje iz istraživačkog i inovacijskog programa Horizon 2020 EU prema Ugovoru o dodjeli bespovratnih sredstava br. 952395.



6. Bibliografija

Alam, M. K., Khan, F. H., Johnson, J., & Flicker, J. (2013). PV faults: Overview, modeling, prevention and detection techniques. 2013 IEEE 14th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL), 1–7. [POVEZNICA](#)

Allianz Risk Consulting (2019). FIRE HAZARDS OF PHOTOVOLTAIC (PV) SYSTEMS. Allianz Risk Consulting; [POVEZNICA](#)

AXA XL Risk Consulting (2021). Property Risk Consulting Guidelines: PHOTOVOLTAIC SYSTEMS. AXA XL Risk Consulting. [POVEZNICA](#)

Bellini, E. (2021, May 26). Major fire at solar-powered warehouse in the Netherlands raises concerns among nearby residents. PV Magazine International. [POVEZNICA](#)

Bellini, E. (2024, March 15). Tests show rooftop fires propagate slowly with vertical PV systems. PV Magazine International [POVEZNICA](#)

Brannen i ASKO-bygget (2017, August 19). Brann & Redning. [POVEZNICA](#)

BRE (WP leader) (2011). Review of current PV installer certification schemes in Europe (WP5 – D5.1). [POVEZNICA](#)

BVS - Brandverhütungsstelle (2022). PV systems – Fire protection requirements for the installation of PV systems on hall roofs with areas larger than 1,800 m². BVS - Brandverhütungsstelle. [POVEZNICA](#)

Canadian Solar Inc. (2020). Installation manual of standard solar modules. Canadian Solar Inc. [POVEZNICA](#)

Cancelliere, P. (2016). PV electrical plants fire risk assessment and mitigation according to the Italian national fire services guidelines. Fire and Materials, 40(3), 355-367. [POVEZNICA na članak](#)

EN 13501-5 Fire classification of construction products and building elements – Part 5: Classification using data from external fire exposure to roofs tests (p. 38). (2016). [POVEZNICA](#)

Goldman, J. (2023, July 24). Solar Panels Burn in Massive NJ Warehouse Fire – Fire Engineering: Firefighter Training and Fire Service News, Rescue. [POVEZNICA](#)

Jomaas, G., Simakovs, K., Rus, N., (2024). Mitigating PV fire risk. FPA Fire & Risk Management Journal. [POVEZNICA](#)

Kelley, D. (2013, September 6). Rooftop solar panels become new enemy of U.S. firefighters. Reuters. [POVEZNICA](#)

Knarud, J., & Heskestad, A. (2019, January 1). Building fire codes as a part of the national security Emphasizing critical deliveries to industry and consumers. [POVEZNICA](#)

Kristensen, J. S. (2022). Fire risk of photovoltaic installations on flat roof constructions. The University of Edinburgh. [POVEZNICA](#)

Kristensen, J. S.; Jacobs, B.; Jomaas, G. (2022). "Experimental Study of the Fire Dynamics in a Semi-enclosure Formed by Photovoltaic (PV) Installations on Flat Roof Constructions," Fire Technology, Vol. 58, 2017-2054. [POVEZNICA na članak](#)

Kristensen, J. S.; Faudzi, F. B. M.; Jomaas, G. (2020). "Experimental study of flame spread underneath photovoltaic (PV) modules", Fire Safety Journal, Vol. 120. [POVEZNICA na članak](#)

Kristensen, J. S.; Jomaas, G. (2018). "Experimental Study of the Fire Behaviour on Flat Roof Constructions with Multiple Photovoltaic (PV) Panels", Fire Technology, Vol. 54, 1807-1828. [POVEZNICA na članak](#)



Kristensen, J. S.; Merci, B.; Jomaas, G. (2018). "Fire-Induced Re-Radiation underneath Photovoltaic Arrays on Flat Roofs," Fire and Materials, Vol. 42, 316-323. [POVEZNICA na članak](#)

Mohd Nizam Ong, N. A. F.; Sadiq, M. A.; Md Said, M. S.; Jomaas, G.; Mohd Tohir, M. Z.; Kristensen, J.S. (2022). "Fault Tree Analysis of Fires on Rooftops with Photovoltaic Systems." Journal of Building Engineering, 46, 103752. [POVEZNICA na članak](#)

LG Electronics Deutschland GmbH (2019). Installation manual: PV Solar MODULE. LG Electronics Deutschland GmbH. [POVEZNICA](#)

LONGi Solar Technology Co., Ltd. (2023). Installation Manual for LONGi Solar PV Modules. LONGi Solar Technology Co., Ltd. [POVEZNICA](#)

Millen, R., & Morgan, W. (2022, April 10). Bristol's We The Curious fire – Everything we know about the blaze so far. SomersetLive. [POVEZNICA](#)

Mohd Nizam Ong, N. A. F., Mohd Tohir, M. Z. (2021). Investigation of the effects of photovoltaic (pv) system component aging on fire properties for residential rooftop applications, SFPE Europe Magazine, Issue 21. [POVEZNICA](#)

NREL (2018). Best Practices for Operation and Maintenance of Photovoltaic and Energy Storage Systems; 3rd Edition (10.2172/1489002). [POVEZNICA](#)

Pester, S., Coonick, C., Crowder, D., Parsons, J., & Shipp, M. (2017). Fire and Solar PV Systems – Recommendations for the Photovoltaic Industry (P100874-1006 Issue 2.5). BRE. [POVEZNICA](#)

Ramali, M. R., Mohd Nizam Ong, N. A. F., Md Said, M. S., Mohamed Yusoff, H., Baharudin, M. R., Tharima, A. F., Akashah, F. W., Mohd Tohir, M. Z. (2023). A Review on Safety Practices for Firefighters During Photovoltaic (PV) Fire. Fire Technol 59, 247–270. [POVEZNICA na članak](#)

RSA Insurance Group. (2020). Risk Control Guide PHOTOVOLTAIC (SOLAR) PANELS. RSA Insurance Group. [POVEZNICA](#)

Rus, N., Jomaas, G., (2024). PV guidelines – are the recommendations sufficiently evidence-based? SFPE Europe Magazine, Issue 33. [POVEZNICA](#)

Shanghai JA Solar Technology Co., Ltd. (2019). Installation manual for JA Solar photovoltaic modules. Shanghai JA Solar Technology Co., Ltd. [POVEZNICA](#)

SZPV (2016). Smernica SZPV 512: Smernica o požarni varnosti sončnih elektrarn. Slovensko združenje za požarno varstvo. [POVEZNICA](#)

VdS 2234 (2018). Firewalls And Complex Partition Walls. [POVEZNICA](#)

VdS (2023). Photovoltaik-Anlagen auf Dächern mit brennbaren Baustoffen. [POVEZNICA](#)

Wu, Z., Hu, Y., Wen, J. X., Zhou, F., & Ye, X. (2020). A Review for Solar Panel Fire Accident Prevention in Large-Scale PV Applications. IEEE Access, 8, 132466–132480. [POVEZNICA na članak](#)

Zach, K. (2019). Meterhoher Rauch: Brand auf Ex-Semperit-Gelände in Traiskirchen. Kurier [POVEZNICA](#)

ZRS (Zurich Resilience Solutions) (2023). Photovoltaic (PV) systems on buildings - Pre-design, design, installation, and operation [POVEZNICA](#)

