

Detekcija pregrijavanja i požara fotonaponskih panela

Istraživačko izvješće o linearnim
sustavima za detekciju
pregrijavanja i upozorenja na požar
u fotonaponskim sustavima
Srpanj 2025



Ovo izvješće predstavlja nalaze vodećih
svjetskih istraživanja o ranom otkrivanju
opasnosti od požara u fotonaponskim
instalacijama, s naglaskom na korištenje
tehnologija linearne detekcije topline (LHD).

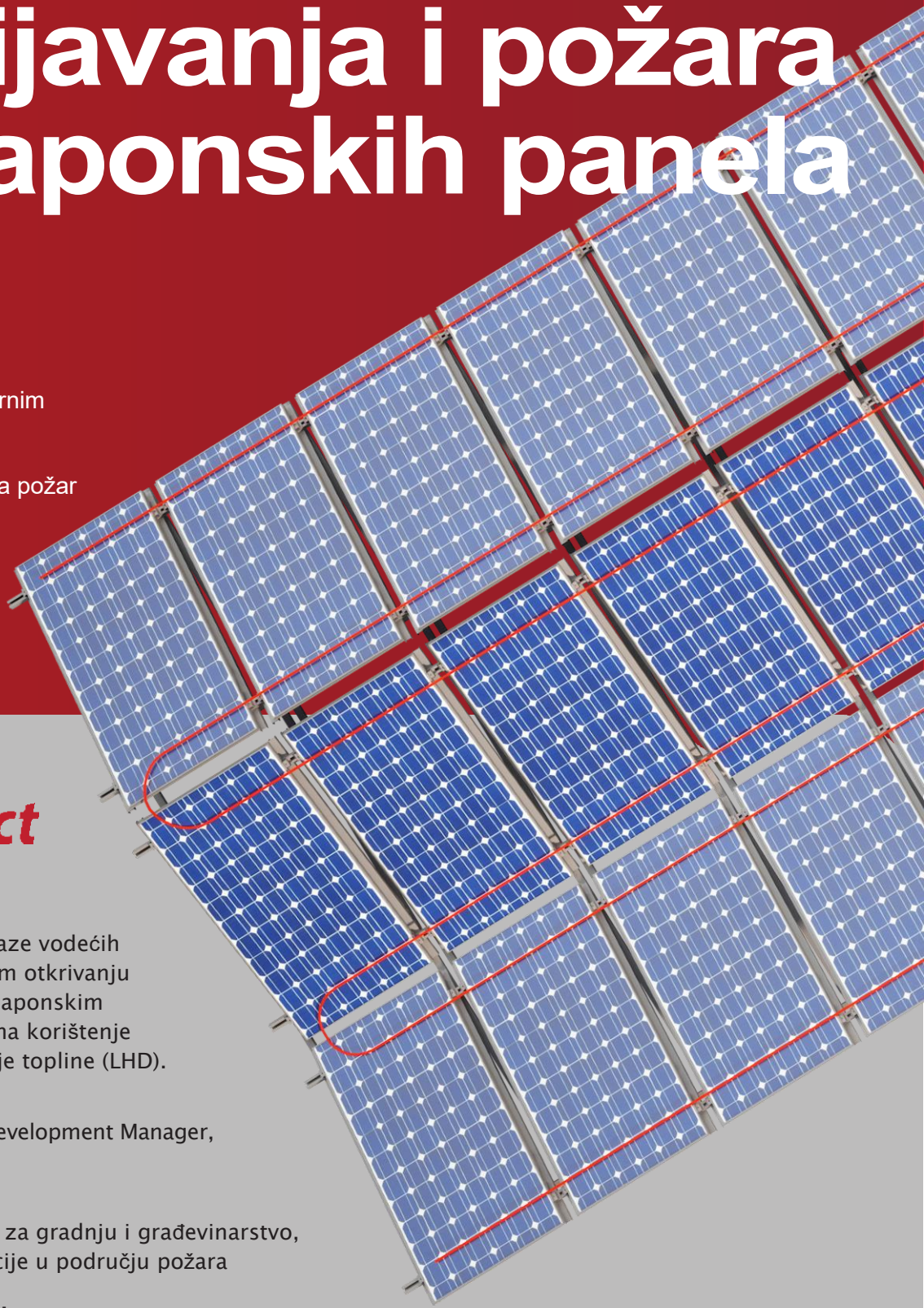
Naručio:

Spike Armstrong, Business Development Manager,
Thermocable Ltd.

Pripremio:

Slovenski nacionalni institut za gradnju i građevinarstvo,
Odjel za istraživanje i inovacije u području požara

Izvještaj br. 366/25-560-1-EN



DEPARTMENT FOR FIRE-SAFE SUSTAINABLE BUILT
ENVIRONMENT

Section for Fire Research and Innovation

REPORT
366/25-560-1-ENAbout using Linear Heat Detection systems in PV-
related firesOrderer: **Thermocable Flexible Elements Ltd**
Pasture Lane, Clayton
Bradford (GB-BD14 6LU) (Great Britain)Order/contract: **10235/25**Responsible
Investigator: **Kirils Simakovs, MSc.**Head of
Laboratory/Section: **ddr. Aleš Jug, univ. dipl. oec., var. inž.**Director: **doc. dr. Aleš Žnidarič, univ. dipl. inž. grad.**Date: **25. 7. 2025**Digitalno podpisano:
ALJOŠA ŠAJNA, ZAG

(po pooblastilu direktorja)

The report has been internally reviewed and approved by all listed persons, which is confirmed by the final electronic signature.
Document authenticity check : www.zag.si/pristnostThe results of the tests refer only to the tested specimens. This report may only be reproduced as a whole.
Complaints will be considered only if received within 15 days from the date of issue of the report.
Total number of pages: 48; total number of annexes : 0.

Sadržaj

1.	Uvod.....	4
2.	Testna matrica, dizajn i izvedba	5
2.1	Testna matrica	5
2.2	Proces dizajniranja i sastavljanja uzorka	5
2.3	Instalacije uzoraka za linearnu detekciju topline (LHD)	6
2.4	Zapisivanje događaja, mjerenja temperature, izvor paljenja i postupak ispitivanja...8	
2.5	Izvor paljenja.....	13
2.6	Postupak ispitivanja	14
2.6.1	Zapaljenje drvene konstrukcije	14
2.6.2	Zapaljenje električnim lukom	14
3.	Rezultati	15
3.1	Opazanja tijekom i nakon ispitivanja	15
3.1.1	LHD-1.....	15
3.1.2	LHD-2.....	20
3.1.3	LHD-3.....	25
3.1.4	LHD-4.....	29
3.1.5	Zračna perspektiva.....	33
3.2	Podaci o temperaturi.....	37
3.2.1	LHD-1.....	37
3.2.2	LHD-2.....	38
3.2.3	LHD-3.....	38
3.2.4	LHD-4.....	40
3.3	Vremena alarma LHD-a	43
3.4	Korelacija između temperatura i vremena detekcije	43
3.4.1	LHD-1.....	43
3.4.2	LHD-2.....	44
3.4.3	LHD-3.....	45
3.4.4	LHD-4.....	46
4.	Zaključak.....	48

Sažetak:

- Nakon paljenja uzorka krovnog fotonaponskog (PV) sustava instaliranog s linearnim sustavom za detekciju topline (LHD), požar se proširio ispod PV modula u sva četiri testa, što znači da je došlo do širenja ispod PV modula u svim različitim postavkama (ravni uzorak srednje veličine, nagnuti uzorak srednje veličine i uzorak velike veličine)
- Površinske temperature fotonaponskih modula u nekim su slučajevima prelazile 600°C (npr. LHD-1), dok su se temperature unutar krovne konstrukcije, blizu njene površine, u trenutku alarma obično kretale između 70°C i 270°C, ovisno o vrsti paljenja i lokaciji kabela.
- Vrsta paljenja utjecala je na početne faze razvoja požara. Kao što se i očekivalo, požari u drvenim konstrukcijama uzrokovali su brže i intenzivnije početno širenje požara, dok je paljenje električnog luka rezultiralo sporijim početnim razvojem požara i nižim vršnim temperaturama zabilježenim na različitim lokacijama.
- Performanse detekcije varirale su ovisno o vrsti kabela i njihovom položaju:
 - Najbrži odzivi LHD alarma uočeni su s 88N (11 sekundi) za ravni krov s paljenjem drvenih konstrukcija (LHD-1).
 - 100+SS je detektirao požar za 37 sekundi na ravnom krovu zapaljenom električnim lukom (LHD-2).
 - EN88 je detektirao požar za 1 minutu i 47 sekundi na kosom krovu zapaljenom električnim lukom (LHD-3).
 - Više alarma reagiralo je za manje od jedne minute, posebno tijekom testova ravnog krova (EN88, 105N, 100+SS i AN za LHD-1 i 88N, EN88, EN88SS i 105N za LHD-2), što ukazuje na snažne performanse ranog otkrivanja u tim scenarijima, a svi su imali najbrži odziv u 'dugoj' konfiguraciji.
- U velikom testu s električnim lukom zapaljenim krovom (LHD-4), vrijeme odziva bilo je dulje (u rasponu od 3 minute i 43 sekunde do 8 minuta i 42 sekunde), pri čemu se EN88SS u Q1 prvi aktivirao. Treba napomenuti da je položaj detektora varirao u usporedbi s drugim testovima.
- Nagib krova i položaj kabela utjecali su na vrijeme alarma. U uzorku s nagibom (LHD-3), detekcija je bila brža za kabele postavljene blizu gornjeg ruba – 'kratka' konfiguracija.
- Iako su kabeli s opletom od nehrđajućeg čelika (npr. EN88SS, ANSS) dizajnirani za veću mehaničku otpornost i otpornost na okoliš zbog opleta od nehrđajućeg čelika preko LSZH ili PVC osnovnih premaza, općenito su pokazali odgođeno otkrivanje u LHD-1, gdje se izvor paljenja (drvena konstrukcija) nalazio izravno ispod kabela. Nasuprot tome, kabel 100+SS, koji također ima oplet od nehrđajućeg čelika, ali koristi LSZH osnovni premaz, pokazao je ranu aktivaciju u istom testu. Nadalje, u LHD-2 i LHD-3, gdje je izvor paljenja (električni luk) bio pomaknut od kabela, kabeli s opletom od nehrđajućeg čelika nisu pokazali odgođeni odziv. Zapravo, EN88SS (u LHD-2) pokazao je neka od najbržih vremena aktivacije, čak i bolje od svojih pandana koji nisu od nehrđajućeg čelika.
- Rezultati ukazuju na to da LHD sustavi mogu podržati rano otkrivanje požara povezanog s fotonaponskim sustavima, ako se pažljivo usklade vrsta kabela, položaj i scenarij požara, čime se naglašava potreba za prilagođenim dizajnom specifičnim za scenarij, a ne za standardnim rasporedima.

1. Uvod

Prava kombinacija krovnih i fotonaponskih sustava, proizvoda i materijala, njihova debljina, raspored i razmatranje njihovih svojstava u različitim uvjetima ključni su za minimiziranje posljedica u slučaju požara.

ZAG je proveo niz testova kako bi procijenio učinkovitost linearnih sustava za detekciju topline (LHD) kada požar započne na krovu s instaliranim fotonaponskim sustavom.

Za procjenu opsega oštećenja u testovima korištene su različite metode:

- Vizualni pregled ispitivanja promatranjem ponašanja požara i različitih dijelova sustava
- Video snimci iz različitih kutova
- Mjerenje temperature (mjereno termo senzorima (TC) postavljenim na različitim slojevima krovne konstrukcije tijekom i nakon ispitivanja)
- Mjerenja linearnog sustava za detekciju topline
- Vizualni pregled oštećenja fotonaponskog sustava i podložnih materijala (dubina i opseg) procijenjen je nakon završetka ispitivanja.

Rezultati ispitivanja analiziraju se kako bi se bolje razumjela učinkovitost LHD sustava tijekom početnih faza širenja požara ispod PV modula.

Detalji o ZAG-ovoj metodi ispitivanja mogu se dostaviti na zahtjev.

2. Testna matrica, dizajn i izvedba

2.1 Testna matrica

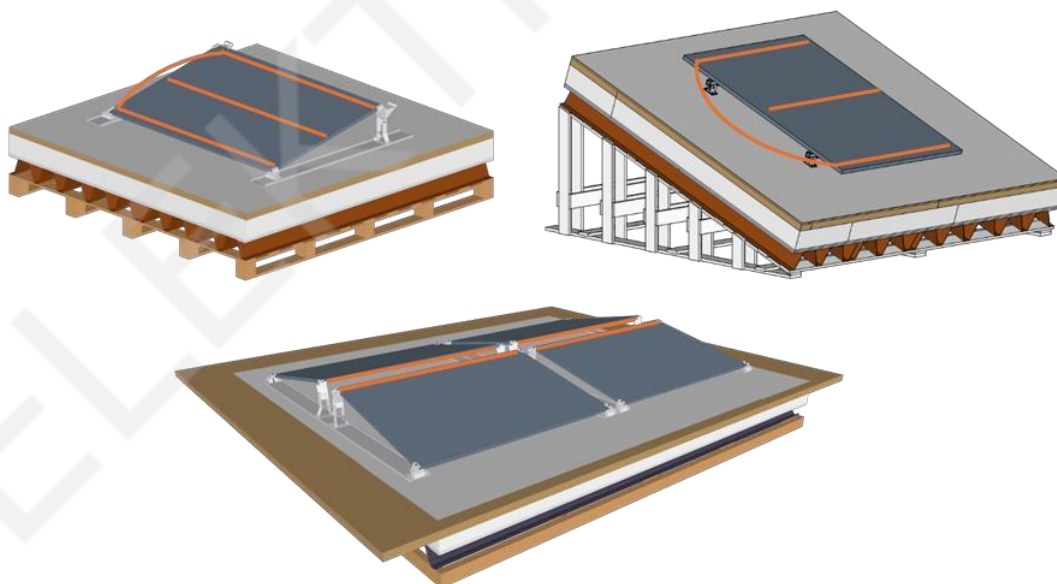
Uzorci su izrađeni prema Tablici 1. Kombinacija materijala korištenih u krovnom dijelu uzoraka predstavlja neke od uobičajenijih krovnih konstrukcija.

Tablica 1 Ispitna matrica za 4 uzorka

Primjerak srednje veličine, (2.5 × 2.5) m			Veliki uzorak, (4 × 3.5) m
LHD-1	LHD-2	LHD-3	LHD-4
Flat		20-nagib	Bez nagiba
Drvena konstrukcija	Električni luk	Električni luk	Paljenje električnog luka
JinKo Solar JKM450N-54HL4R-V		Panel vision GM 3.0	JinKo Solar Tiger Neo JKM440N-54HL4R-V
S-Dome 6.15 (15 stupnjeva)	PMT EVO 2.1 (15 stupnjeva)	K2 SingleRail System	D-Dome 6.15 sa S komponentama (15 stupnjeva)
PVC Sikaplan G-18 (1.8 mm)			
-		OSB ploče (12 mm)	-
Rockwool Hardrock Max (50 mm)			
Fragmat EPS 150 W30 (150 mm)			

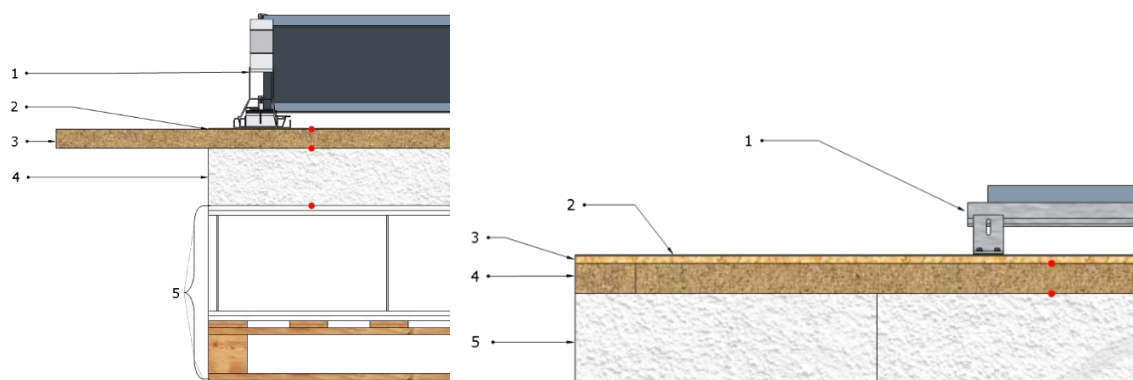
2.2 Proces dizajniranja i sastavljanja uzorka

Shematski prikazi uzoraka srednje i velike veličine prikazani su na slici 1. Gornji red prikazuje shemu ravnog uzorka srednje veličine (gore lijevo) i uzorka srednje veličine s nagibom (gore desno), a donji red prikazuje shemu uzorka ravnog krova velike veličine. Narančaste linije označavaju položaje LHD komponenti.



Slika 1 Ilustracije uzoraka srednjeg (gore) i velikog (dolje) uzorka s položajima LHD-a prikazanim narančastom bojom

Presjeci strukture uzoraka prikazani su na slici 2.



Slika 2 Uzorak presjeka (bočni pogled) za ravne krovove (lijevo) i kose krovove (desno)

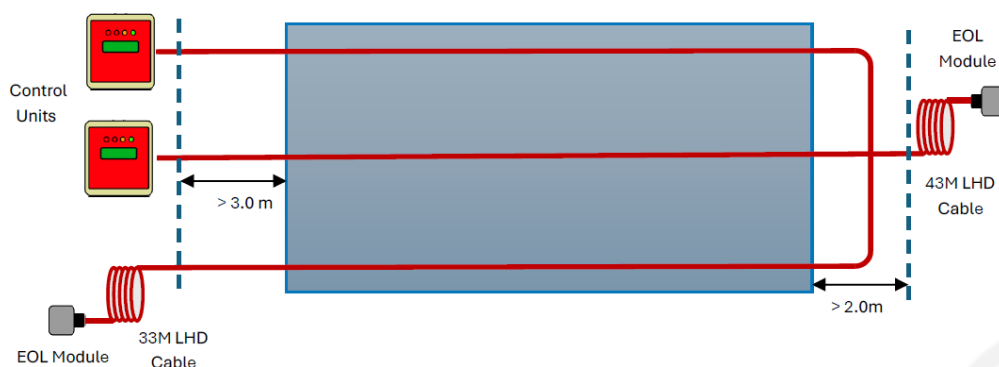
1. Fotonaponski sustav
2. Krovna membrana
3. Mineralna vuna (lijevo) i OSB ploča (desno)
4. EPS (lijevo) i mineralna vuna (desno)
5. Krovna konstrukcija (lijevo) i EPS (desno)

2.3 Instalacije uzoraka za linearnu detekciju topline (LHD)

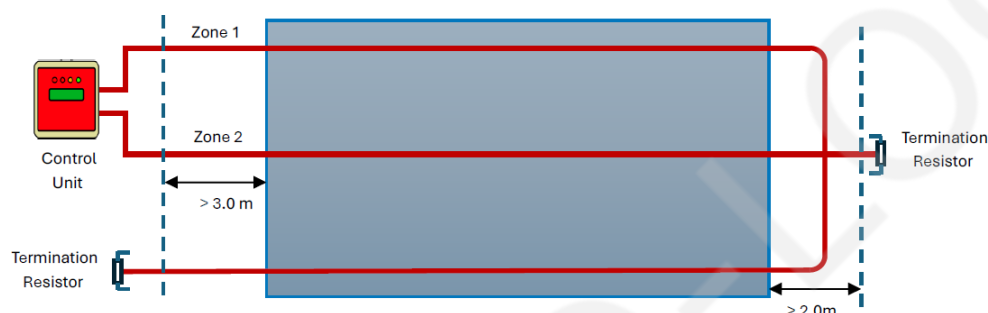
Linearne sustave za detekciju topline (LHD) instalirao je klijent, koristeći standardizirane rasporede za digitalne i analogne konfiguracije. Instalacije su osmišljene kako bi se procijenilo kako se performanse detekcije mijenjaju ovisno o vrsti kabla, geometriji usmjeravanja i mjerilu ispitivanja. Korištene su tri postavke instalacije: analogna srednja veličina (slika 3), digitalna srednja veličina (slika 4) i mješovita analogno/digitalna postavka velikog uzorka (slika 5).

Za digitalnu postavku srednje veličine, svaka testna ploča uključivala je dvije zone detekcije koristeći isti digitalni LHD kabel, što je rezultiralo s deset digitalnih zona po modulu. Korištene su dvije strategije usmjeravanja kabla: dugi kabel, koji je dva puta prolazio preko modula otprilike 100 mm od gornjeg i donjeg ruba (ukupna duljina 17 m), i kratki kabel, koji je jednom prolazio niz središte modula (7 m). Svaki kabel bio je spojen na dvozonsku digitalnu kontrolnu jedinicu - ili digitalnu senzorsku kontrolnu jedinicu (DSCU) ili dvostruki linijski memorijski modul (DiMM) - i završnim otpornikom od 3,6 k Ω (DSCU) ili 1 k Ω (DiMM). Digitalni sustavi nisu imali minimalnu potrebnu duljinu kabla.

U analognoj konfiguraciji srednje veličine, svaki modul sadržavao je dvije analogne zone detekcije, što je rezultiralo s četiri analogne zone po modulu. Korištene su iste konfiguracije dugih i kratkih kabla (17 m odnosno 7 m), ali zbog minimalnog zahtjeva od 50 m kabla za analogne sustave, dodane su dodatne duljine spiralnih kabla: 33 m na kraj svakog dugog dijela i 43 m na svaki kratki dio. Ovi kabeli bili su spojeni na jednozonske analogne kontrolne jedinice (ACCU) i završeni pomoću analognih završnih (EOL) modula.



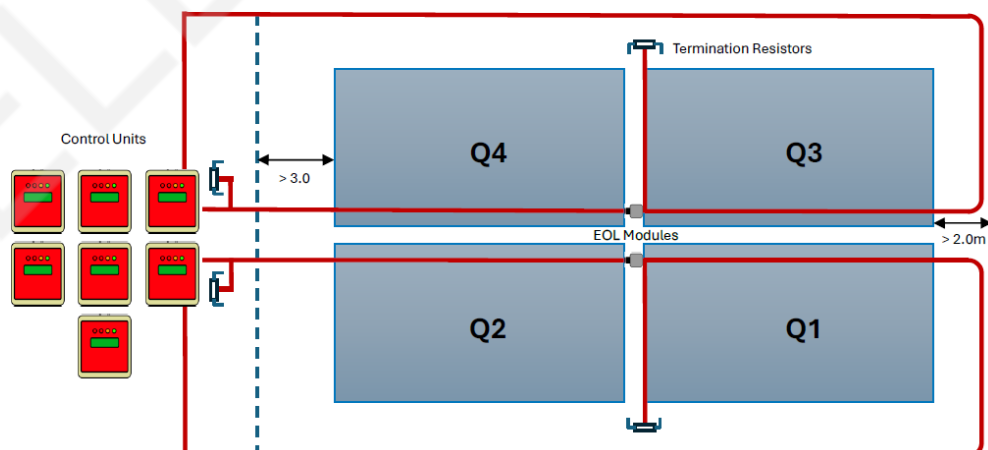
Slika 3 Dizajn analognog LHD sustava (srednja veličina)



Slika 4. Dizajn digitalnog LHD sustava (srednja veličina)

Velika instalacija kombinirala je digitalne i analogne sustave. Svaki modul bio je opremljen s dvije digitalne zone i jednom analognom zonom, što su ukupno tri zone po modulu. U ovoj postavci, svaka zona bila je dodijeljena jednom modulu, a uzorak je podijeljen u četiri odvojene zone (Q1-4). Ovaj raspored omogućio je procjenu koliko brzo bi određena LHD konfiguracija reagirala kada požar nastane na susjednom modulu. Svi kabelski snopovi koristili su kratku konfiguraciju, prolazeći jednom duž vrha svakog modula s približnom duljinom od 7 m.

Ukupno je testirano sedam varijanti LHD kabela: pet digitalnih i dvije analogne. To je uključivalo razlike u osnovnom materijalu (PVC ili bezhalogeni), vrsti plašta (najlonski ili oplet od nehrđajućeg čelika) i kompatibilnosti s odgovarajućim digitalnim ili analognim sustavima. Sažetak konstrukcija kabela i upravljačkih jedinica dan je u Tablici 2.



Slika 5. Dizajn digitalnog i analognog LHD sustava (velikog opsega)

Tablica 2 Pregled testiranih varijanti LHD kabela

Sistem	Kontrolna jedinica	Ser. br.	Zone	Oznaka	LHD opis kabela	Metar
1	ProReact Digital DiMM*	1081478	1	F1072	ProReact Digital 88 PVC Nylon	17
			2			7
2	ProReact Digital DiMM	1081481	1	F1073	ProReact Digital 105 PVC Nylon	17
			2			7
3	ProReact Digital DiMM	1081480	1	F1131	ProReact Plus Digital 100 LSZH SS	17
			2			7
4	ProReact EN DSCU**	1080856	1	F1181	ProReact EN Digital EN88 LSZH	17
			2			7
5	ProReact EN DSCU	1080925	1	F1191	ProReact EN Digital EN88 LSZH SS	17
			2			7
6	ProReact EN ACCU***	1082754	Kratka	F3052	ProReact EN Analogue PVC SS	50
	ProReact EN ACCU	1084140	Duga	F3051	ProReact EN Analogue PVC Nylon	50
7	ProReact EN ACCU	1084159	Duga	F3052	ProReact EN Analogue PVC SS	50
	ProReact EN ACCU	1084145	Kratka	F3051	ProReact EN Analogue PVC Nylon	50

* - Modul digitalnog sučelja za praćenje

** - Digitalna senzorska upravljačka jedinica

*** - Analogna kompozitna upravljačka jedinica

2.4 Zapisivanje događaja, mjerenja temperature, izvor paljenja i postupak ispitivanja

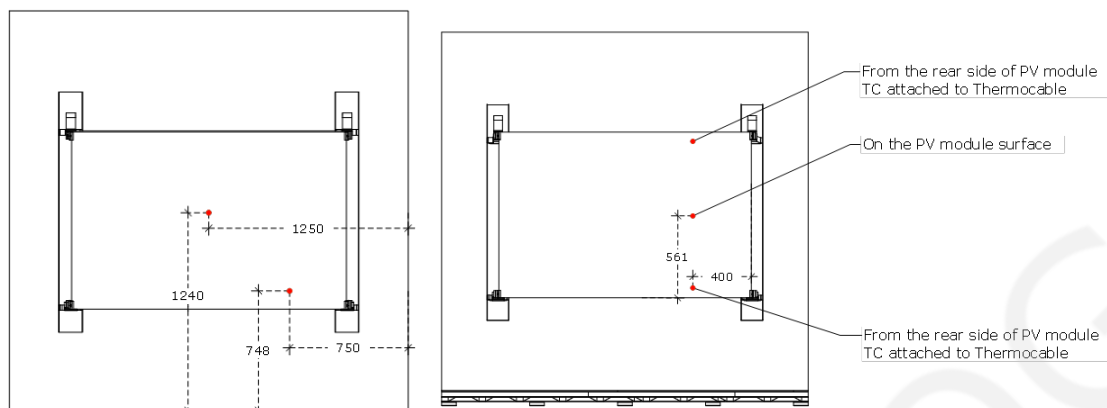
Vremenska crta svih opaženih događaja i pojava tijekom faze požara svakog eksperimenta sastavljena je kako bi se pružio sveobuhvatan pregled procesa (vidi odjeljak 3.1). Za snimanje videozapisa eksperimenata korištene su i kamere iz različitih kutova.

Za procjenu opsega štete korištene su foto i video snimke tijekom cijele faze požara i tijekom rastavljanja uzoraka kako bi se dokumentiralo stanje linearnog sustava za detekciju topline, fotonaponskih modula, sustava za montažu i krovni materijala.

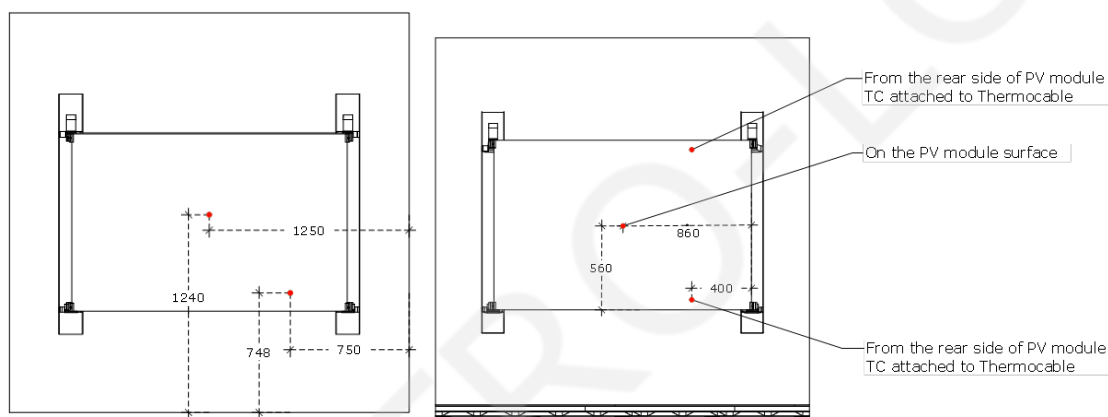
Različiti linearni kabeli za detekciju topline korišteni su za usporedbu opsega požara u trenutku detekcije.

Za mjerenje razvoja temperature unutar segmenata krova i na nekim mjestima na/ispod fotonaponskih modula korišteni su termo senzori (TC) tipa K. TC-ovi u segmentima krova postavljeni su na različitim dubinama kako bi se procijenio prodor topline i njezini učinci na krovne materijale tijekom i nakon izgaranja.

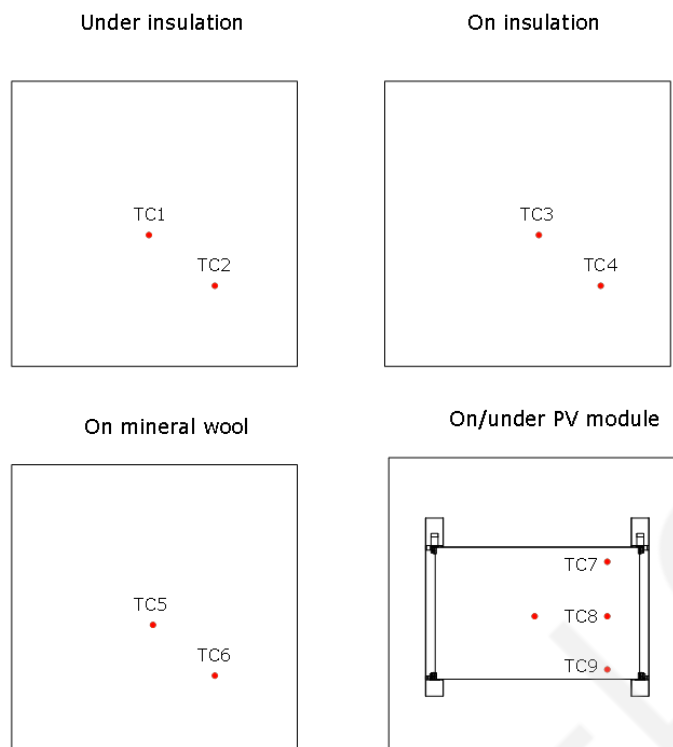
Položaj termo senzora između materijala označen je crvenim točkama na slikama 6, 7, 9, 11 i 12. Sustav numeriranja termo senzora prikazan je na slikama 8, 10 i 13.



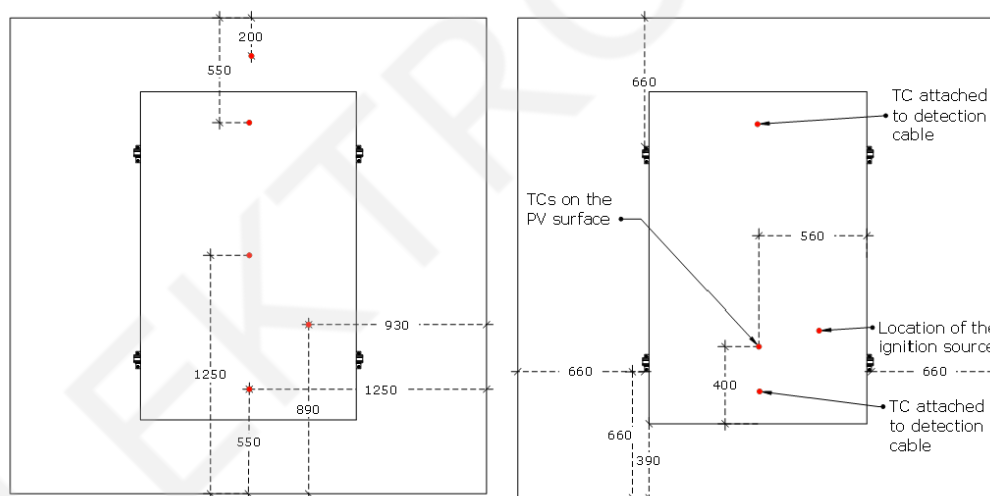
Slika 6. Položaji TC-ova na uzorcima ravnog krova srednje veličine (LHD-1): unutar krova (lijevo) i na/ispod PV modula (desno)



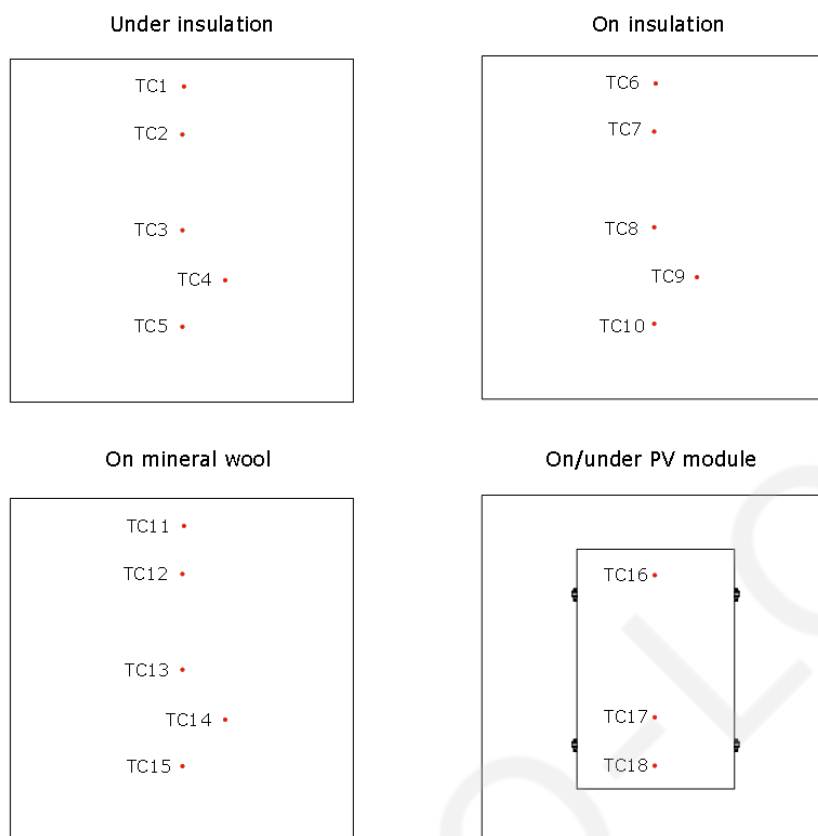
Slika 7. Položaji TC-ova na uzorcima ravnog krova srednje veličine (LHD-2): unutar krova (lijevo) i na/ispod PV modula (desno)



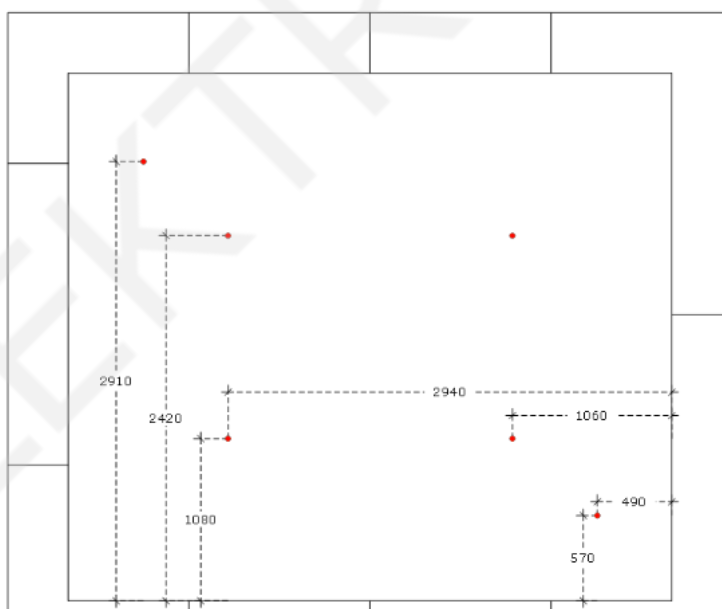
Slika 8 Numeriranje TC-ova na uzorcima ravnog krova srednje veličine (LHD-1 i LHD-2)



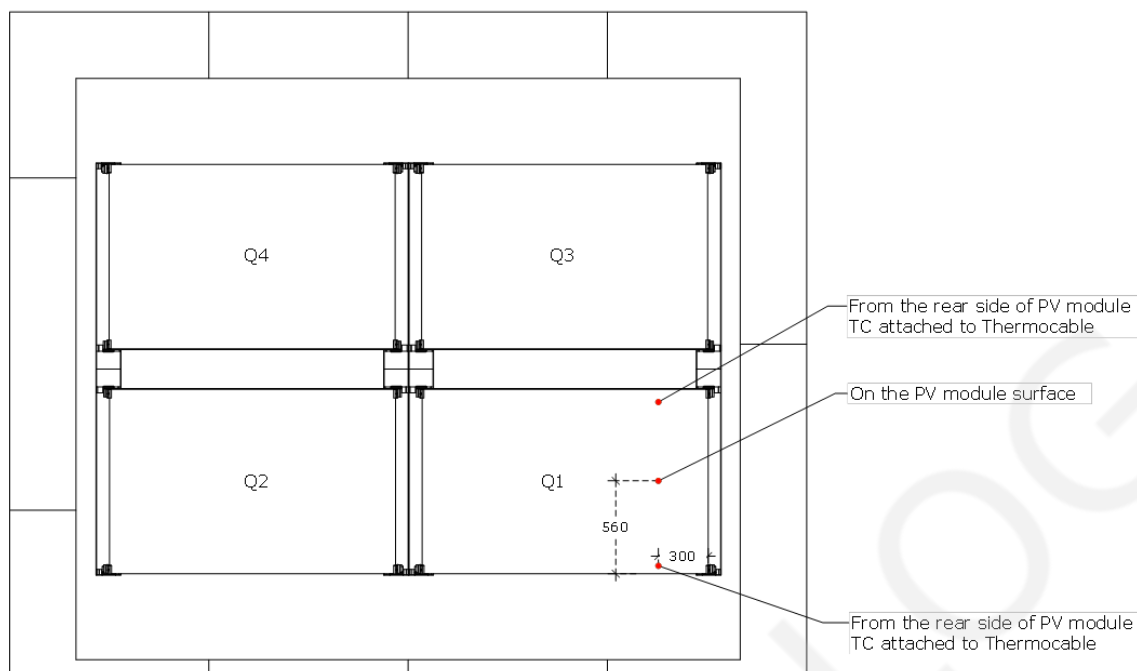
Slika 9. Položaji TC-ova na uzorku kosog krova srednje veličine (LHD-3): unutar krova (lijevo) i na/ispod PV panela (desno)



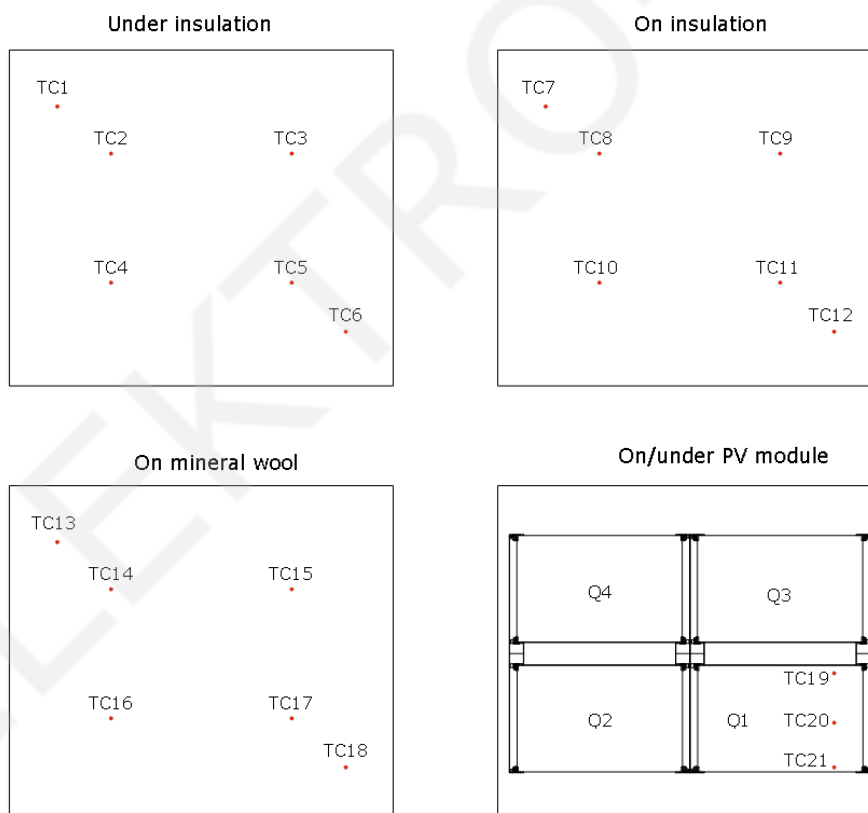
Slika 10 Numeriranje TC-ova na testu srednje veličine kosog krova (LHD-3)



Slika 11 Položaji TC-ova na velikom uzorku (LHD-4): unutar krova



Slika 12 Položaji TC-ova na velikom uzorku (LHD-4): na/ispod PV modula

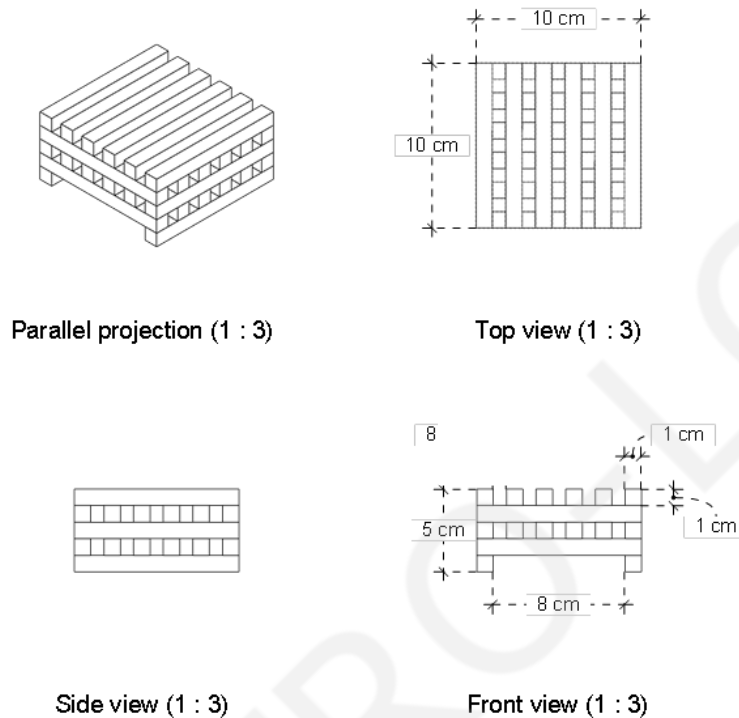


Slika 13 Numeriranje TC-ova na velikom uzorku (LHD-4)

2.5 Izvor paljenja

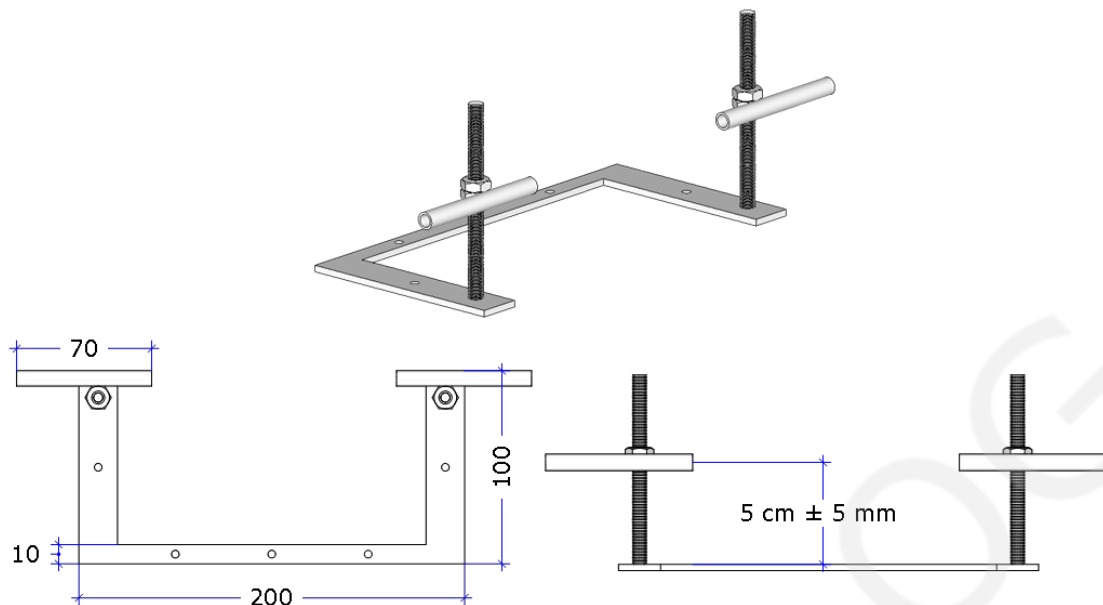
Za paljenje u ispitivanjima korištena su dva različita izvora paljenja - drvena konstrukcija i električni luk formiran pomoću fotonaponskog konektora.

Shema korištenog izvora paljenja – drvene konstrukcije – prikazana je na slici 14.



Slika 14 Ilustracija drvene konstrukcije

Električni luk generiran pomicanjem DC konektora korišten je za oponašanje scenarija kvara konektora. Ilustracija uređaja držača konektora za ručno generiranje luka prikazana je na slici 15.



Slika 15. Priključni uređaj

2.6 Postupak ispitivanja

Sljedeći koraci opisuju opći eksperimentalni postupak.

2.6.1 Zapaljenje drvenom konstrukcijom

- Osušena drvena konstrukcija natopljena je u ≈ 6 mL izopropilnog alkohola i postavljena ispod PV modula u definiranom položaju (odjeljak 2.4).
- Konstrukcija se pali upaljačem.
- Zabilježeno je vrijeme detekcije pomoću LHD-a.
- Ispitivanje je nastavljeno sve dok cijelo područje ispod PV modula nije bilo uključeno u požar.

2.6.2 Zapaljenje električnim lukom

- Držač konektora s kabelima i Staubli MC4 konektorima postavljenim u položaj definiran u odjeljku 2.4.
- Aparat za zavarivanje korišten je kao izvor napajanja za generiranje električnog luka.
- Struja je postavljena na 45 A.
- Konektori su pomicali naprijed-natrag dok se nije pojavio luk i zapalio krovnu membranu.
- Zabilježeno je vrijeme detekcije s LHD-om.
- Ispitivanje je zaustavljeno na temelju vizualnih opažanja i u konzultaciji s klijentom.

3. Rezultati

3.1 Opažanja tijekom i nakon ispitivanja

Sljedeća poglavlja predstavljaju izvještaj svih zapažanja tijekom i nakon ispitivanja. Rezultat su zapažanja tehničara koji su promatrali ispitivanja, s fotografija uočenih pojava i sa snimaka s videozapisa snimljenih kamerama. Vizualni materijal popraćen je komentarima koji detaljnije objašnjavaju prikazane događaje.

3.1.1 LHD-1

Datum i vrijeme testiranja: 15.06.2025., 14:24.

Temperatura/relativna vlažnost: 21°C / 41%.

Dokumentirana opažanja i događaji LHD-1 testa sažeti su u Tablici 3. Najvažniji događaji ilustrirani su fotografijama i video snimkama snimljenim tijekom testa kada je sustav detekcije bio aktiviran.

Tablica 3 Opažanja za test LHD-1

Vrijeme (min)	Događaji
1	Detektorski kabeli su uključeni u požar.
3	Uočena je delaminacija PV ćelija.
4	Plamen je izbio s vrha i desne strane.
4.5	Detektorski kabel smješten na gornjem rubu ispuštao je hlapljive spojeve koji su se zapalili, stvarajući efekt »mlaznog plamena«. Plamenovi su bili plavo-zelene boje zbog prisutnosti različitih kemijskih komponenti u strukturi LHD kabela.
5	LHD kabel prenosi plamen.
8.5	Požar je dosegnuo kraj lijeve strane uzorka.
14	Požar se usporava. Većina plamenova je na desnoj strani uzorka.
17	Staklo fotonaponskog panela se razbilo.
22.5	Nema više plamena na krovu.

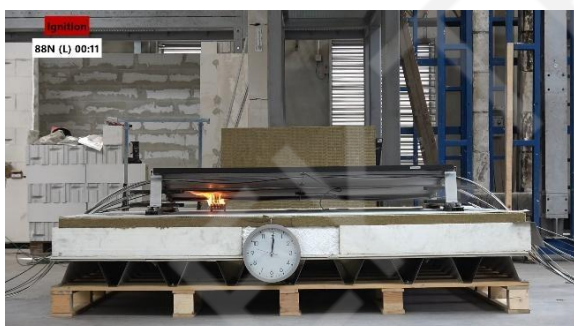
Požar je zahvatio detekcijske kabele unutar prvih minuta ispitivanja (slika 13). Raslojavanje fotonaponskih ćelija u fotonaponskom modulu uočeno je do 3. minute, nakon čega su ubrzo uslijedili plamenovi koji su izbijali s gornje i desne strane fotonaponskog modula. Oko 4,5 minute nakon paljenja, detekcijski kabeli smješteni blizu gornjeg ruba uzorka ispuštali su hlapljive spojeve koji su se zapalili, stvarajući izrazit efekt mlaznog plamena s plavim i zelenim plamenom, što se pripisuje prisutnosti različitih kemijskih komponenti prisutnih u LHD kablama. Zbog karakteristika ovih plamenova, njihovo snimanje kamerom bilo je teško s dostupnim kamerama. Do 8,5 minuta požar se proširio na krajnji lijevi rub uzorka. Intenzitet požara počeo se smanjivati nakon 14 minuta i uglavnom se nalazio na desnoj strani uzorka. Nakon 17 minuta staklo fotonaponskog panela puklo je kao što je prikazano na slici 14. Nakon 22,5 minute više nije uočen plamen na površini krova.



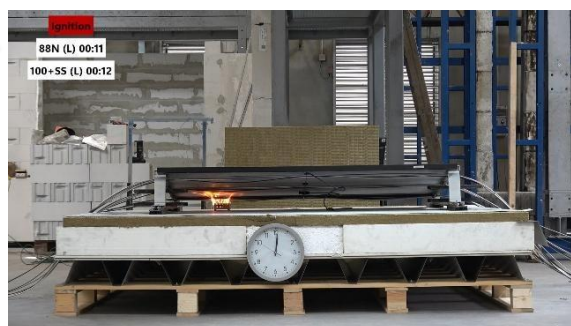
Slika 16 Detektorski kabeli u plamenu 1 minutu (lijevo) i 6 minuta (desno) nakon paljenja (Fotografija (lijevo 050522d-001, desno 050522d-002))



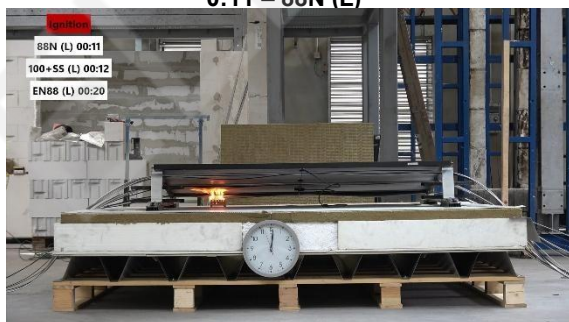
Slika 17 Uzorak pred kraj ispitivanja (Fotografija 050522d-003)



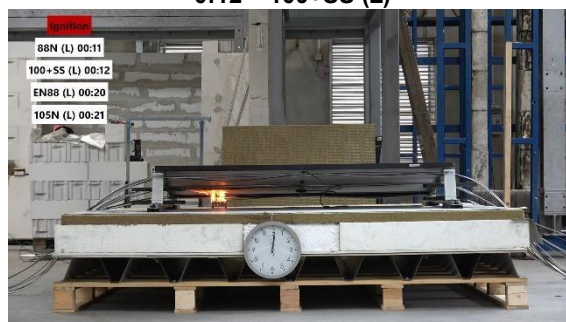
0:11 – 88N (L)



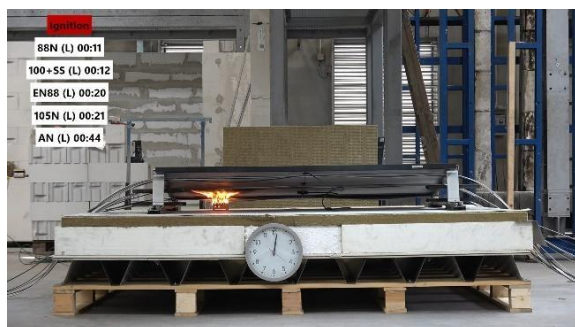
0:12 – 100+SS (L)



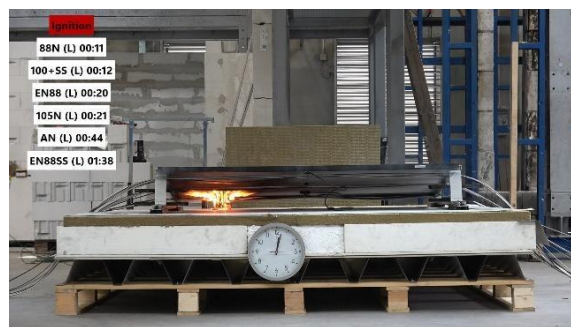
0:20 – EN88 (L)



0:21 – 105N (L)



0:44 – AN (L)



01:38 – EN88SS (L)



01:44 – ANSS (L)



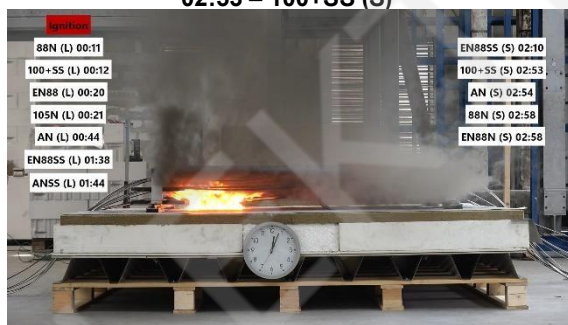
02:10 – EN88SS (S)



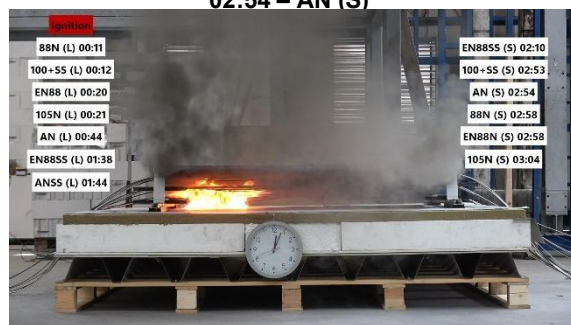
02:53 – 100+SS (S)



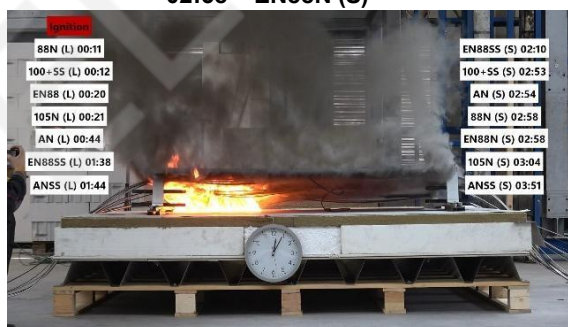
02:54 – AN (S)



02:58 – EN88N (S)

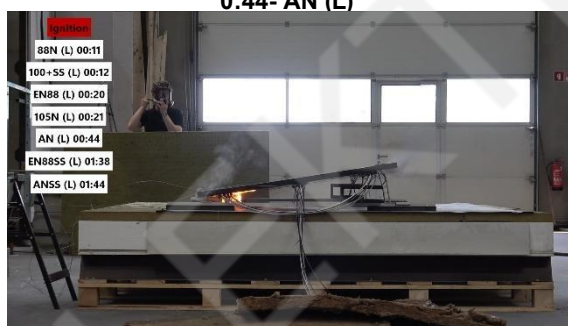
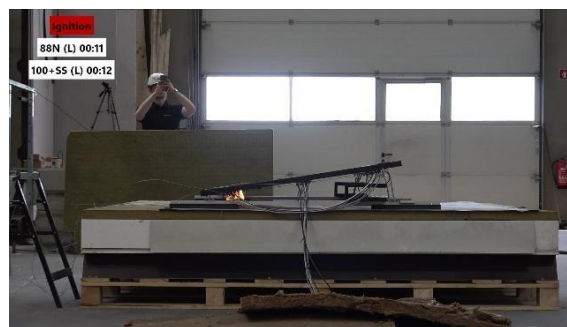
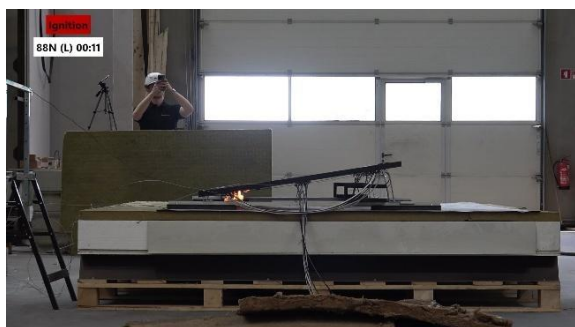


03:04 – 105N (S)



03:51 – ANSS (S)

Slika 18 Snimke s kamere usmjerene prema dugom rubu uzorka (bijeli okviri prikazuju vrstu LHD kabela i njihova vremena detekcije). Vremena su data u min:s. (Fotografije od 050522d-004 do 050522d-016)



**02:58 – EN88N (S)****03:04 – 105N (S)****03:51 – ANSS (S)**

Slika 19 Snimke s kamere usmjerene prema kratkom rubu uzorka (bijeli okviri prikazuju vrstu LHD kabela i njihova vremena detekcije). Vremena su data u min.:s. (Fotografije od 050522d-017 do 050522d-029)

3.1.2 LHD-2

Datum i vrijeme testiranja: 16.06.2025., 10:04.

Temperatura/Relativna vlažnost: 17°C / 41%.

Dokumentirana opažanja i događaji LHD-2 testa sažeti su u Tablici 4. Najvažniji događaji ilustrirani su fotografijama i video snimkama zaslona snimljenim tijekom testa kada je sustav detekcije bio aktiviran.

Tablica 4 Opažanja za test LHD-2

Vrijeme (min)	Događaji
3	Generiranje električnog luka zaustavljeno.
2-4	Plamen je izbijao s gornje i desne strane. Uočeno je raslojavanje PV ćelija.
4.5	Primijećeno da kablovi proizvode goruće kapljice.
5	Detektorski kabel smješten na gornjem rubu ispuštao je hlapljive spojeve koji su se zapalili, stvarajući efekt »mlaznog plamena«. Plamenovi su bili plavo-zelene boje zbog prisutnosti specifičnih kemijskih komponenti u LHD kabelu.
6-7	Požar je dosegao kraj lijeve strane uzorka.
9	Požar se usporava. Staklo fotonaponskog panela se razbilo.
20	Plamen je samo oko plastične podloge montažnog sustava.
21	Posljednji plamenovi ugašeni su vodom.

Generiranje električnog luka zaustavljeno je u 3. minuti ispitivanja, otprilike u isto vrijeme kada su se plamenovi pojavili s vrha i desne strane fotonaponskog modula, uz vidljivo raslojavanje fotonaponskih ćelija. Do 4. i 5. minute uočene su goruće kapljice koje kapaju s kabela. Nakon 5 minuta, detekcijski kabel blizu gornjeg ruba ispuštao je hlapljive spojeve, ponovno stvarajući efekt mlaza plamena s plavim i zelenim nijansama (Slika 20).

Nakon otprilike 6-7 minuta ispitivanja, požar je dosegnuo krajnji lijevi rub uzorka. Do 9. minute požar se aktivno počeo gasiti, a staklo fotonaponskog panela se raspalo. Ubrzo nakon toga, plamen se ograničio na polimernu podlogu montažnog sustava i krovnu membranu (Slika 21).



*Slika 20. Fotonaponski modul obavijen plamenom, uz plave plamenove koji dolaze iz kabela (gornji desni kut)
(Fotografija 050522d-030)*



Slika 21 Razbijena fotonaponska ploča i ostaci plamena na krovnoj membrani (Fotografija 050522d-031)



0:37 – 100+SS (L)



0:41 – EN88SS (L)



0:45 – 88N (L)



0:49 – EN88 (L)



0:59 – 105N (L)



01:28 – AN (L)



02:10 – EN88SS (S)



02:46 – EN88N (S)



02:49 – 100+SS (S)



02:58 – 88N (S)



03:00 – 105N (S)



03:08 – AN (S)



03:10 – ANSS (L)

Slika 22 Snimke s kamere usmjerene prema dugom rubu uzorka (bijeli okviri prikazuju vrstu LHD kabela i njihova vremena detekcije). Vremena su navedena u min:s. (Fotografija od 050522d-032 do 050522d-044)



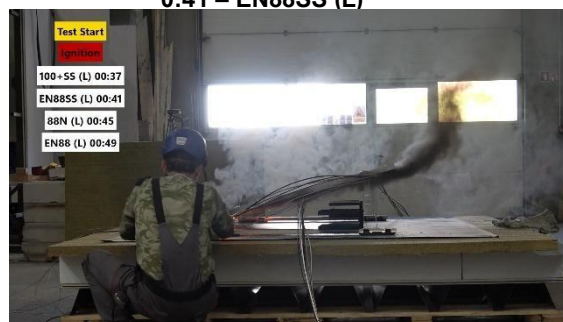
0:37 – 100+SS (L)



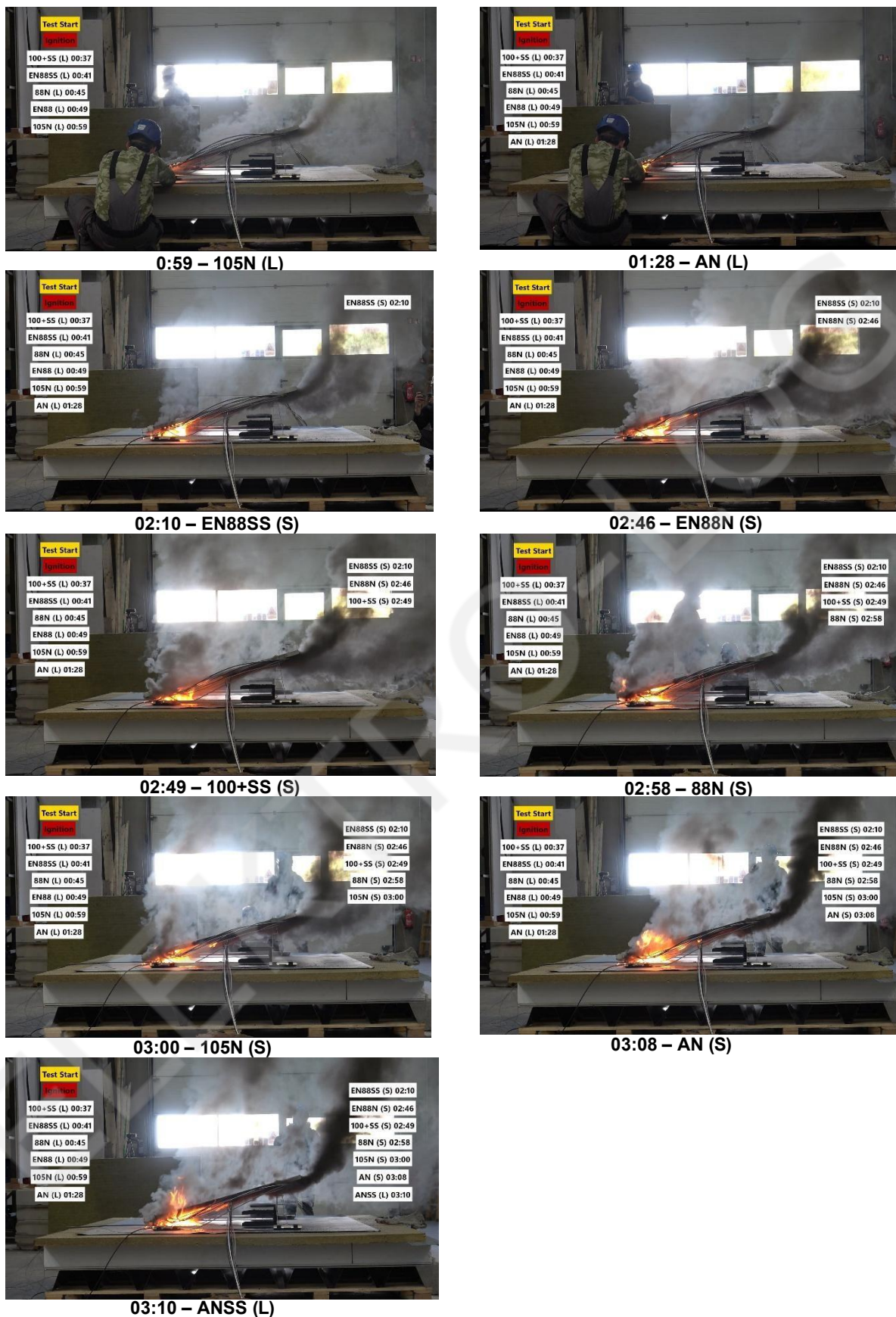
0:41 – EN88SS (L)



0:45 – 88N (L)



0:49 – EN88 (L)



Slika 23 Snimke s kamere usmjerene prema kratkom rubu uzorka (bijeli okviri prikazuju vrstu LHD kabela i njihova vremena detekcije). Vremena su navedena u min:s. (Fotografija od 050522d-045 do 050522d-057)

3.1.3 LHD-3

Datum i vrijeme testiranja: 15.06.2025., 17:16.

Temperatura/Relativna vlažnost: 17°C / 41%.

Dokumentirana opažanja i događaji LHD-3 testa sažeti su u Tablici 5. Najvažniji događaji ilustrirani su fotografijama i snimkama zaslona iz videozapisa snimljenih u trenucima tijekom testa kada je aktiviran određeni senzor sustava detekcije.

Tablica 5 Opažanja za test LHD-3

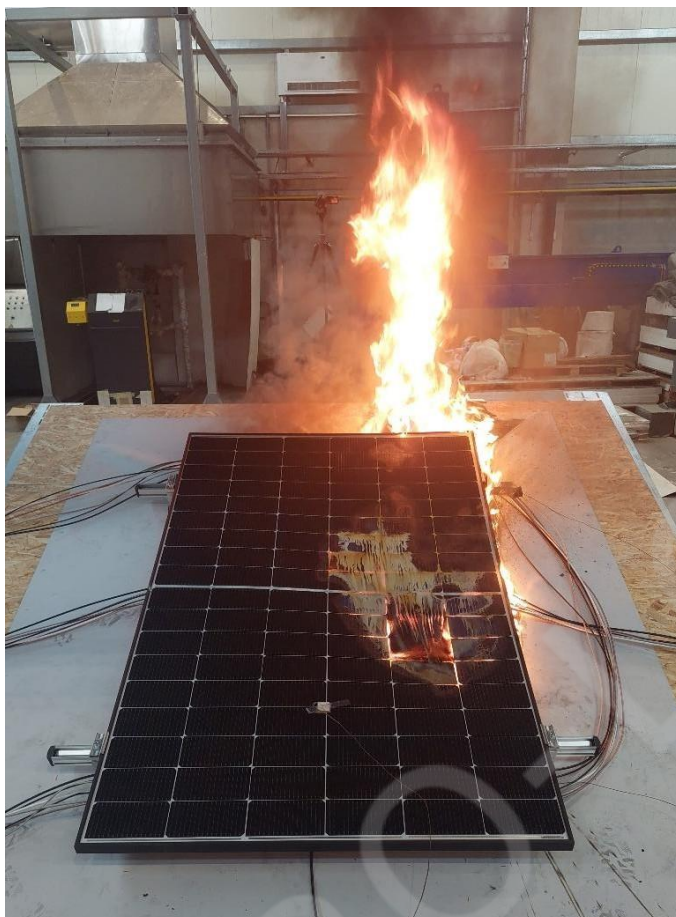
Vrijeme (min)	Događaji
2	Generiranje električnog luka zaustavljeno.
4	Plamen se proširio do vrha fotonaponskog modula.
6	Četiri stanice su se odvojile.
11	Staklo fotonaponskog panela se razbilo.
13	Gornji aluminijski rub fotonaponskog panela pukao je u sredini, rastopio se.
16	Požar je dosegnuo kraj lijeve strane uzorka.
25	Požar se usporava.
30	Test je zaustavljen. Mali plamenovi su ugašeni.

Generiranje električnog luka prestalo je nakon 2 minute (Slika 24). Ubrzo nakon toga, plamen se proširio prema gore i dosegao gornji rub fotonaponskog modula do 4. minute. Nakon 6 minuta uočeno je raslojavanje fotonaponskih ćelija (Slika 25), nakon čega je uslijedio lom fotonaponskog stakla u 11. minuti. Dvije minute kasnije, gornji aluminijski rub modula pukao je u središtu i počeo se topiti.

Do 16. minute plamenovi su dosegli krajnji lijevi rub uzorka. Intenzitet požara postupno se smanjivao nakon 25 minuta, a ispitivanje je završeno u 30. minuti, s preostalim malim plamenovima koji su ručno ugašeni.



Slika 24 Opseg požara na uzorku odmah nakon zaustavljanja stvaranja luka nakon 2 minute (Fotografija 050522d-058)



Slika 25. Raslojavanje fotonaponskih ćelija i širenje plamena preko vrha PV panela (Fotografija 050522d-059)



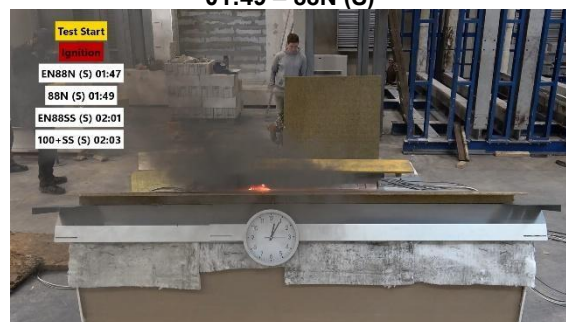
01:47 – EN88N (S)



01:49 – 88N (S)



02:01 – EN88SS (S)



02:03 – 100+SS (S)



02:06 – 105N (S)



02:29 – AN (L)



03:24 – 100+SS (L)



03:25 – AN (S)



03:28 – 88N (L)



03:31 – EN88 (L)



03:37 – ANSS (S)



03:43 – EN88SS (L)

Slika 26 Snimke s kamere usmjerene prema dugom rubu uzorka (bijeli okviri prikazuju vrstu LHD kabela i njihova vremena detekcije). Vremena su navedena u min:s. (Fotografija od 050522d-060 do 050522d-071)



01:47 – EN88N (S)



01:49 – 88N (S)



02:01 – EN88SS (S)



02:03 – 100+SS (S)



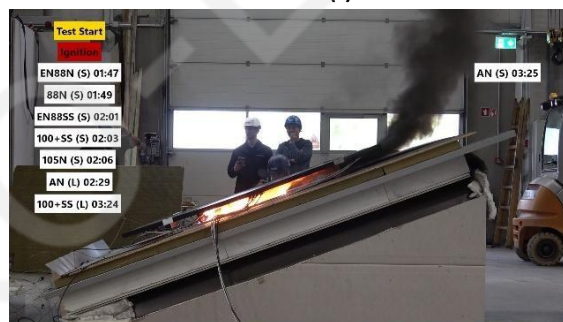
02:06 – 105N (S)



02:29 – AN (L)



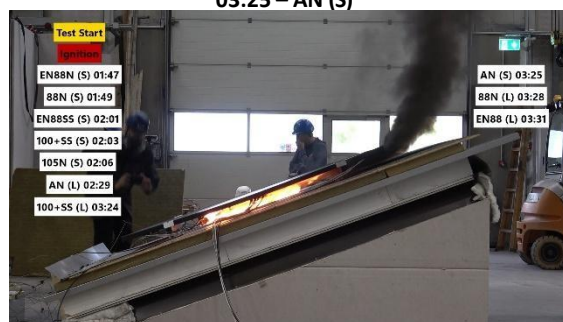
03:24 – 100+SS (L)



03:25 – AN (S)



03:28 – 88N (L)



03:31 – EN88 (L)



03:37 – ANSS (S)



03:43 – EN88SS (L)

Slika 27 Snimke s kamere usmjerene prema kratkom rubu uzorka (bijeli okviri prikazuju vrstu LHD kabela i njihova vremena detekcije). Vremena su navedena u min:s. (Fotografija od 050522d-072 do 050522d-083)

3.1.4 LHD-4

Datum i vrijeme testiranja: 16.06.2025., 16:20.

Temperatura/Relativna vlažnost: 18°C / 40%.

Dokumentirana opažanja i događaji LHD-4 testa sažeti su u Tablici 6. Najvažniji događaji ilustrirani su fotografijama i video snimkama zaslona snimljenim tijekom testa kada je sustav detekcije bio aktiviran.

Tablica 6 Opažanja za test LHD-4

Vrijeme (min)	Događaji
3	Generiranje električnog luka zaustavljeno.
5	Plamen je nestao s desnog ruba 1. PV modula.
6	Plamen je nestao s gornjeg ruba 1. PV modula.
6.5	Primijećene su goruće kapljice s kablova.
8	Plamen je dosegao sjecište 3. i 4. PV modula.
9	Požar se počeo širiti ispod 3. PV modula.
10	Požar se proširio ispod 4. PV modula.
12	Požar je ugašen iz sigurnosnih razloga. Kraj testa.

Generiranje električnog luka prestalo je nakon 3 minute. Do 5. minute, plamen se pojavio s desnog ruba prvog fotonaponskog modula, a ubrzo nakon toga, u 6. minuti, i s njegovog gornjeg ruba (Slika 28). Oko 6,5. minute uočene su goruće kapljice koje su padale s kablova. U 8. minuti, požar je dosegao sjecište između trećeg i četvrtog fotonaponskog modula, zatim se proširio ispod trećeg modula do 9. minute i nastavio se ispod četvrtog do 10. minute (Slika 29).

Iz sigurnosnih razloga, požar je ugašen u 12. minuti, što je označilo kraj testa.



Slika 28 Širenje plamena preko LHD sustava nakon 5-6 minuta: prednji (lijevo) i bočni (desno) pogled (Fotografija (lijevo 050522d-084, desno 050522d-085))



Slika 29. Plamen se proširio preko prvog PV modula (lijevo) i prema trećem i četvrtom modulu (desno), 8 minuta nakon paljenja (Fotografija (lijevo 050522d-086, desno 050522d-087))



03:34 – Q1 EN88SS



04:22 – Q1 100+SS



04:50 – Q1 AN



07:02 – Q3 EN88SS



07:03 – Q3 100+SS



07:10 – Q2 100+SS



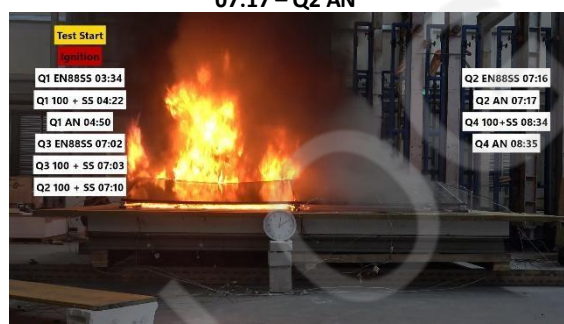
07:16 – Q2 EN8855



07:17 – Q2 AN



08:34 – Q4 100+SS



08:35 – Q4 AN



08:42 – Q4 EN8855

Slika 30 Snimke s kamere usmjerene prema dugom rubu uzorka (bijeli okviri prikazuju vrstu LHD kabela i njihova vremena detekcije). Vremena su navedena u min:s. (Fotografija od 050522d-088 do 050522d-098)



03:34 – Q1 EN8855



04:22 – Q1 100+SS



04:50 – Q1 AN



07:02 – Q3 EN8855



07:03 – Q3 100+SS



07:10 – Q2 100+SS



07:16 – Q2 EN8855



07:17 – Q2 AN



08:34 – Q4 100+SS



08:35 – Q4 AN



08:42 – Q4 EN8855

Slika 31 Snimke s kamere usmjerene prema kratkom rubu uzorka (bijeli okviri prikazuju vrstu LHD kabela i njihova vremena detekcije). Vremena su navedena u min:s. (Fotografija od 050522d-099 do 050522d-109)

3.1.5 Zračna perspektiva

Ovaj odjeljak prikazuje zračne snimke testne postavke. Ove vizualizacije nadopunjuju promatranja kamerom s razine tla nudeći širi prostorni pregled razvoja požara i položaja LHD kabela. Zračne snimke uključene su za LHD-1, LHD-3 i LHD-4 i prikazane su na slici 32, slici 33 i slici 34. Zbog ograničenja tijekom prikupljanja podataka, zračni materijal za LHD-2 nije dostupan.



00:11 – 88N (L)



00:12 – 100+SS (L)



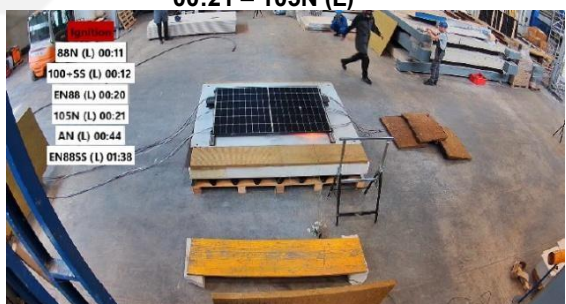
00:20 – EN88 (L)



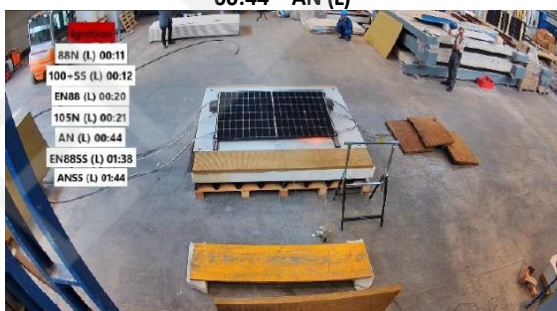
00:21 – 105N (L)



00:44 – AN (L)



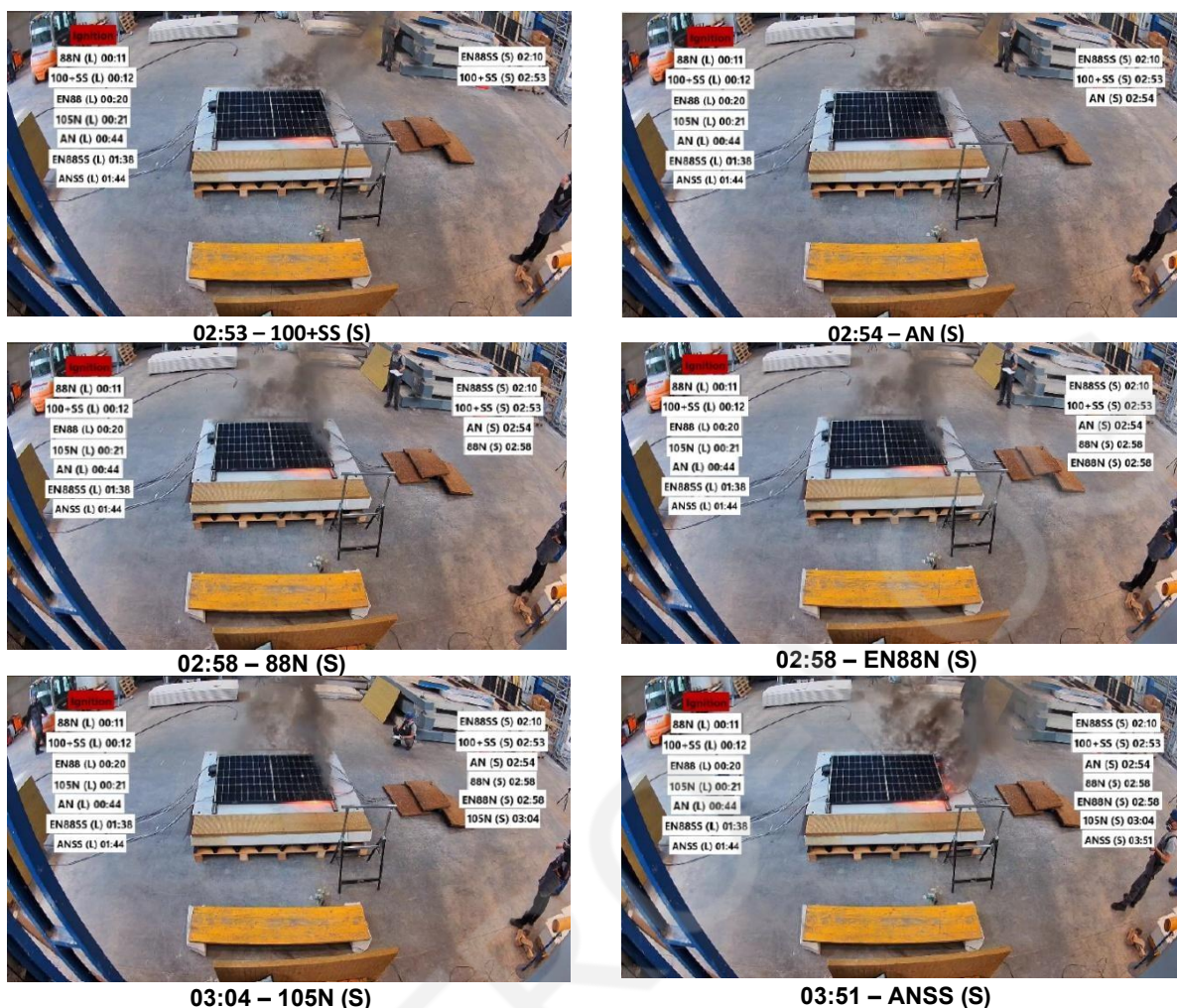
01:38 – AN88SS (L)



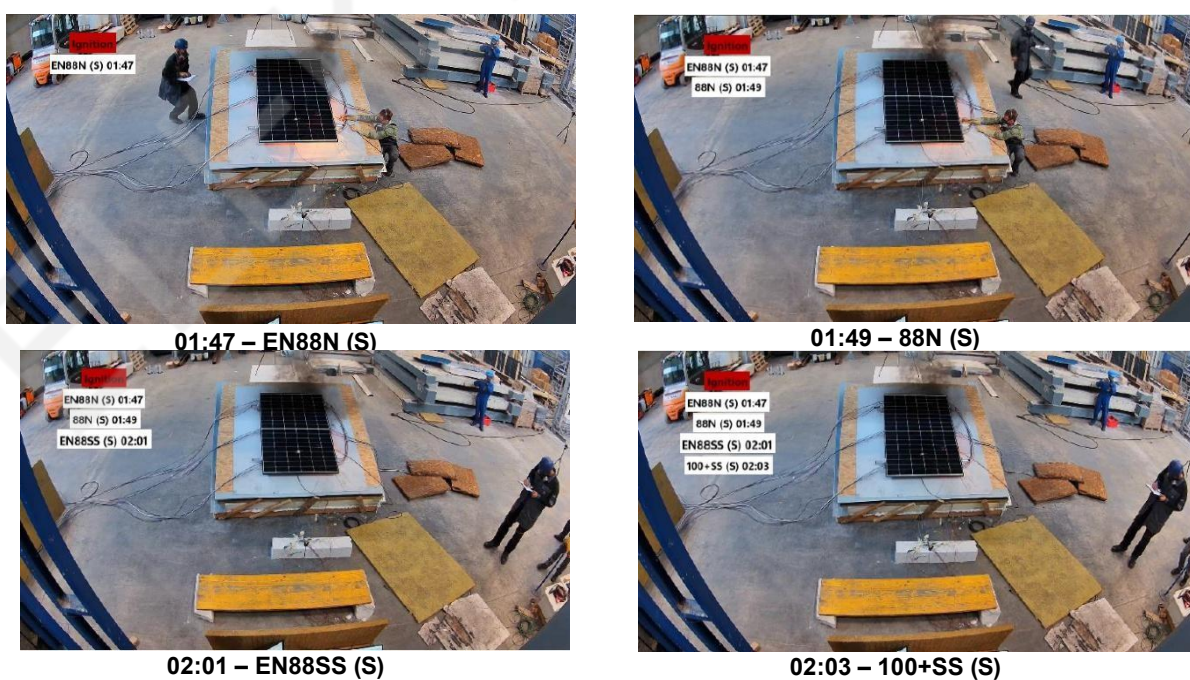
01:44 – ANSS (L)

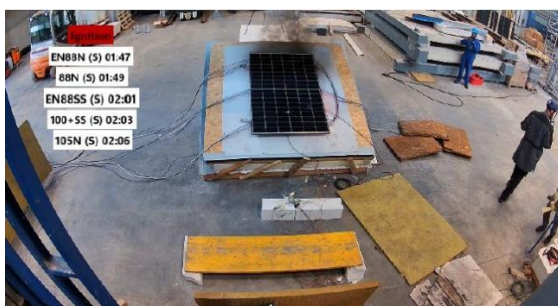


02:10 – EN88SS (S)



Slika 32 Snimke LHD-1 snimljene iz zraka tijekom aktiviranja alarma (bijeli okviri prikazuju vrstu LHD kabela i njihova vremena detekcije). Vremena su navedena u min:s.
(Fotografija od 050522d-110 do 050522d-123)





02:06 – 105N (S)



02:29 – AN (L)



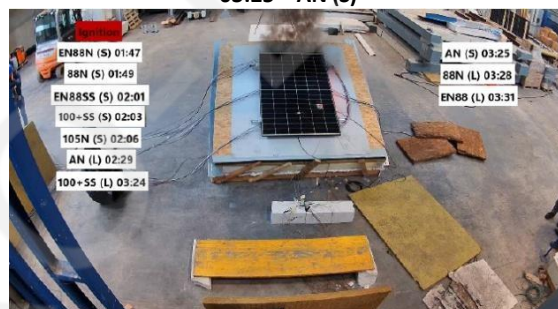
03:24 – 100+SS (L)



03:25 – AN (S)



03:28 – 88N (L)



03:31 – EN88 (L)



03:37 – 105N (L)



03:37 – ANSS (S)



03:43 – EN88SS (L)



N/A – ANSS (L)

Slika 33 Snimke LHD-3 snimljene iz zraka tijekom aktiviranja alarma (bijeli okviri prikazuju vrstu LHD kabela i njihova vremena detekcije). Vremena su data u min:s. (Fotografija od 050522d-124 do 050522d-137)



03:34 - Q1 EN88SS



04:22 - Q1 100+SS



04:50 - Q1 AN



07:02 - Q3 EN88SS



07:03 - Q3 100+SS



07:10 - Q2 100+SS



07:16 - Q2 EN88SS



07:17 - Q2 AN



08:34 - Q4 100+SS



08:35 - Q4 AN



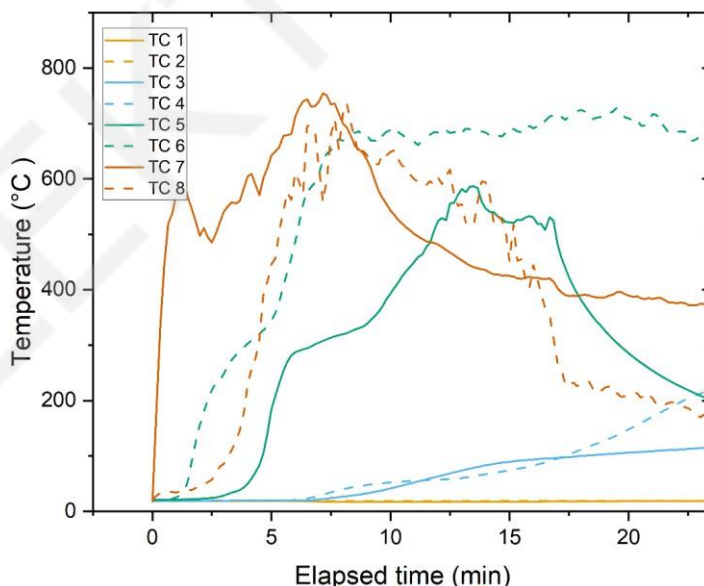
Slika 34 Snimke LHD-4 snimljene iz zraka tijekom aktiviranja alarma (bijeli okviri prikazuju vrstu LHD kabela i njihova vremena detekcije). Vremena su data u min:s. (Fotografija od 050522d-138 do 050522d-149)

3.2 Podaci o temperaturi

Temperaturni dijagrami prikazuju raspodjelu temperature izmjerenu na određenom sloju krova i na/ispod PV modula. Numeracija TC-a u temperaturnim grafovima korelira s numeracijom TC-a na slici 8, slici 10 i slici 13 za srednje, kose srednje i velike krovove. Faza hlađenja nije zabilježena. Neispravni TC-i isključeni su iz grafova ako su potpuno otkazali. Međutim, zadržani su neki TC-i koji su pokazivali nepravilnosti samo tijekom dijela mjerenja, jer su pogreške bile ograničenog opsega, a ukupni trendovi se još uvijek mogu predvidjeti.

3.2.1 LHD-1

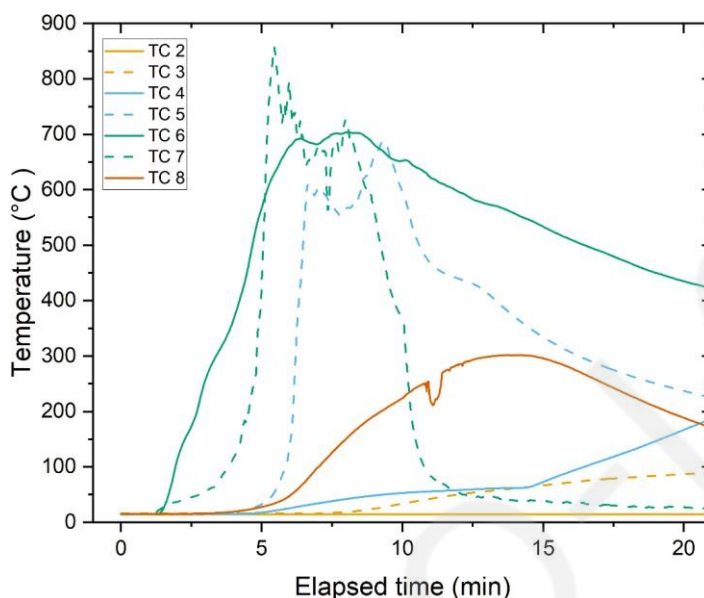
Slika 35 prikazuje raspodjelu temperature po svim slojevima tijekom LHD-1 testa. Svaki sloj je predstavljen jednom bojom, koristeći punu i isprekidanu liniju za dva različita termo senzora. Termo senzori 7 i 8 nalaze se unutar PV modula.



Slika 35 Raspodjela temperature na svim slojevima (boja predstavlja jedan sloj, puna ili isprekidana linija predstavlja lokaciju TC-a)

3.2.2 LHD-2

Slika 36 prikazuje raspodjelu temperature po svim slojevima tijekom LHD-2 testa. Svaki sloj je predstavljen jednom bojom, koristeći punu i isprekidanu liniju za dva različita termo senzora. Termo senzori 7 i 8 nalaze se unutar PV modula.

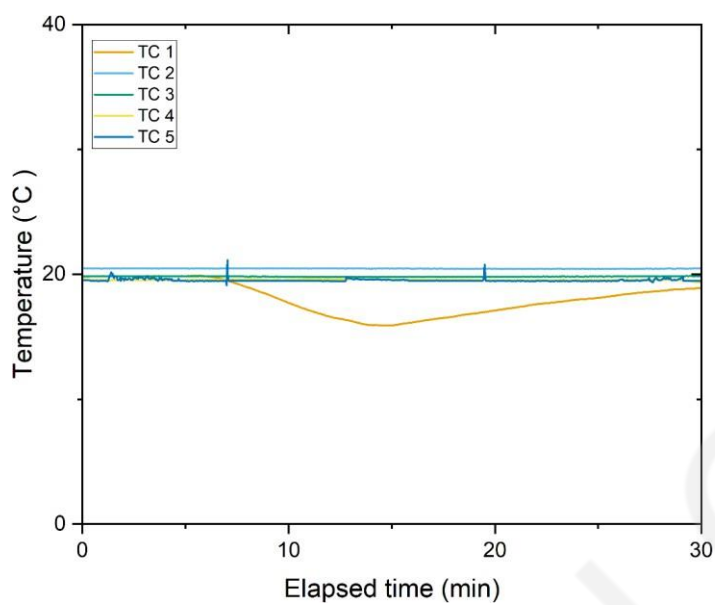


Slika 36 Raspodjela temperature na svim slojevima (boja predstavlja jedan sloj, puna ili isprekidana linija predstavlja lokaciju ATC-a)

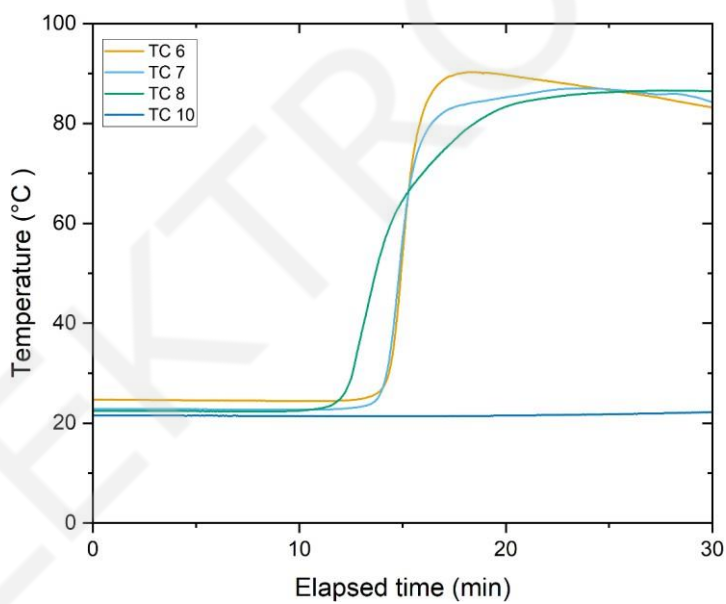
3.2.3 LHD-3

Raspodjela temperature tijekom LHD-3 testa prikazana je na slici 37, 38, 39 i 40. Svaka slika prikazuje drugačiji sloj krova, s termo senzorima podijeljenim na više grafova zbog njihovog velikog broja. Slika 40 posebno prikazuje TC-ove instalirane na PV modulu.

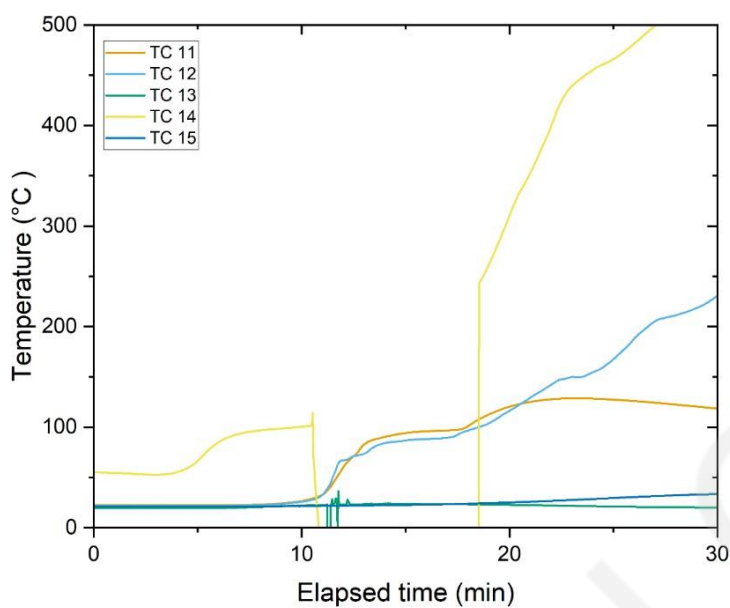
Na slici 39 TC14 pokazuje višu osnovnu temperaturu od ostalih termo senzora - približno 50 °C. To je bilo povezano s neuspjelim pokušajem paljenja prije ispitivanja, tijekom kojeg su se konektori električnog luka rastopili. Iako do paljenja nije došlo, došlo je do lokaliziranog zagrijavanja, a TC14, budući da je bio postavljen izravno ispod električnog luka, zabilježio je povišene temperature kao rezultat toga.



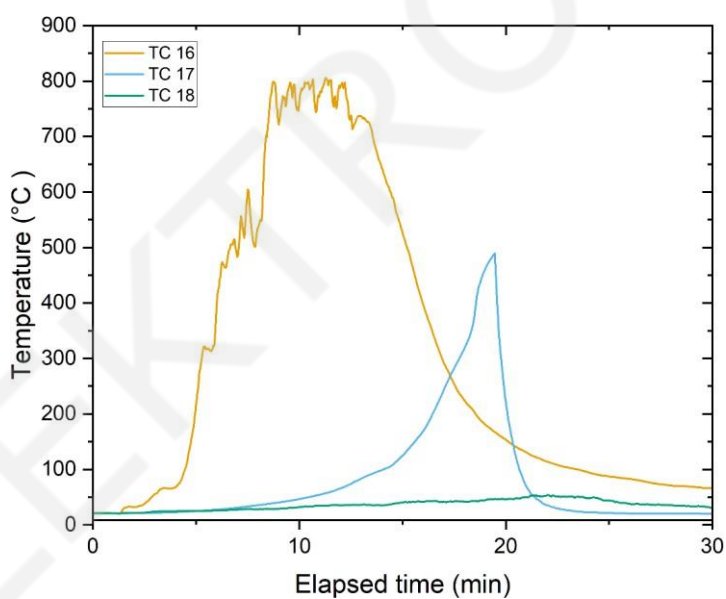
Slika 37 Raspodjela temperature ispod izolacije



Slika 38 Raspodjela temperature na izolaciji



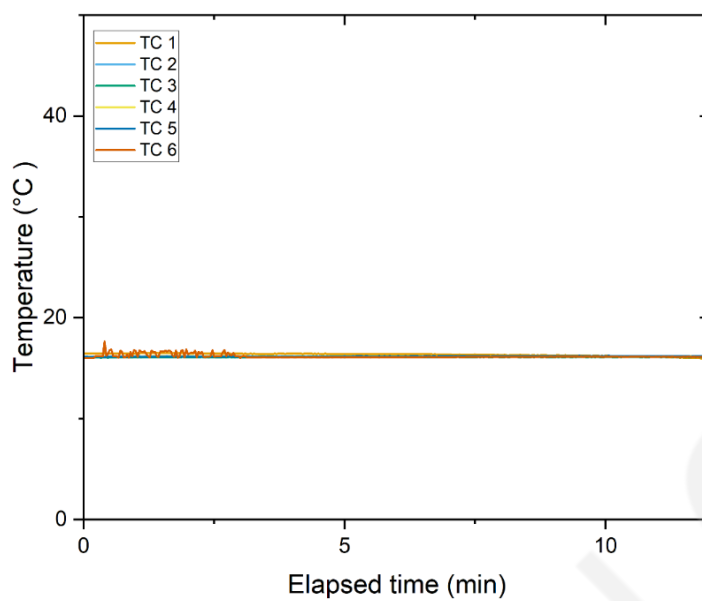
Slika 39 Raspodjela temperature na mineralnoj vuni



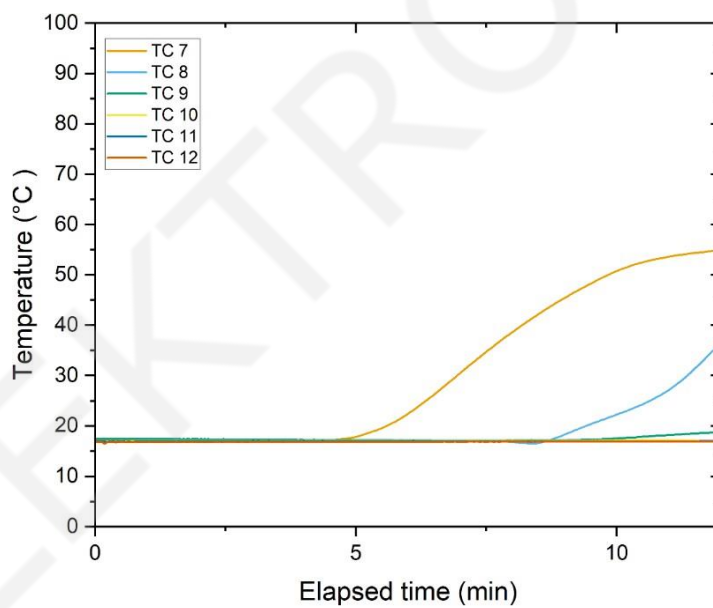
Slika 40 Raspodjela temperature na PV modulu

3.2.4 LHD-4

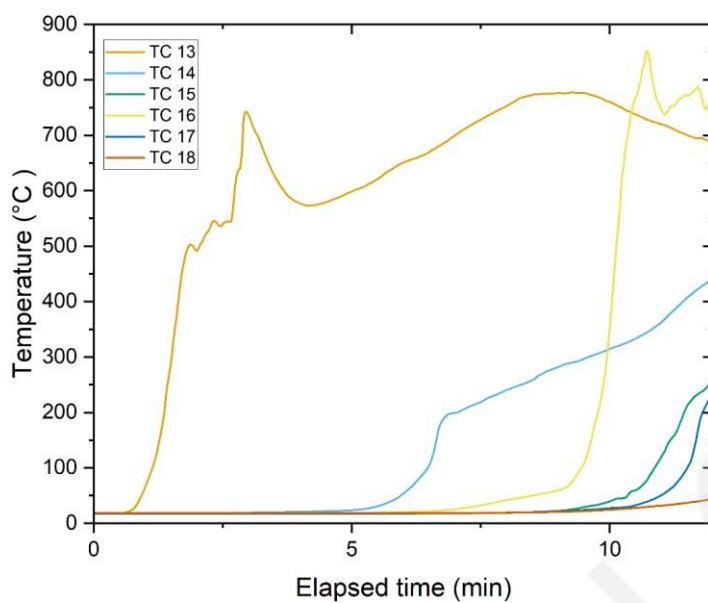
Raspodjela temperature tijekom LHD-4 testa prikazana je na slikama 41, 42, 43 i 44. Svaka slika prikazuje drugačiji sloj krova, s termo senzorima podijeljenim na više grafova zbog njihovog velikog broja. Slika 44 posebno prikazuje TC-ove instalirane na PV modulu.



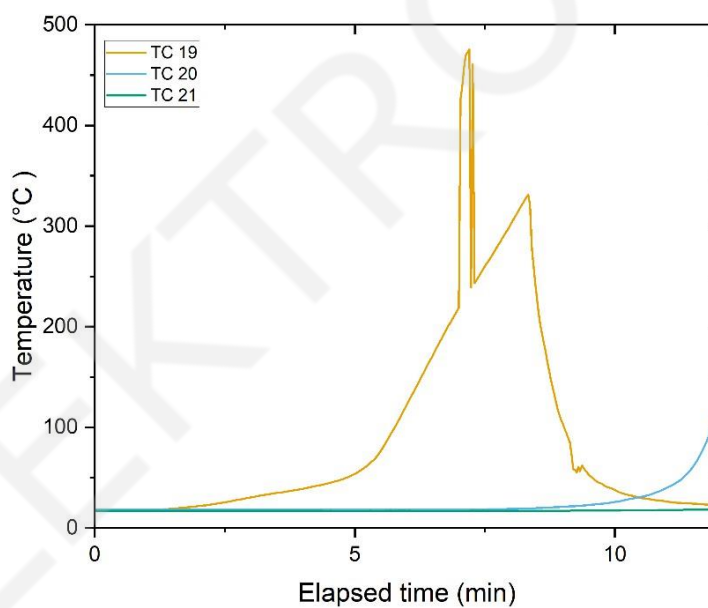
Slika 41 Raspodjela temperature ispod izolacije



Slika 42 Raspodjela temperature na izolaciji



Slika 43 Raspodjela temperature na mineralnoj vuni



Slika 44 Raspodjela temperature na PV modulu

3.3 Vremena alarma LHD-a

Ovaj odjeljak predstavlja pregled vremena aktivacije alarma zabilježenih za svaki kabel za linearnu detekciju topline (LHD) tijekom ispitivanja. Sastavljanjem vremena alarma na jednom mjestu, ovaj odjeljak omogućuje jasniju usporedbu između različitih LHD sustava i njihovog odgovora na porast temperature zbog razvoja uvjeta požara. Rezultati su prikazani u Tablici 7.

Tablica 7 Vremena alarma LHD-a

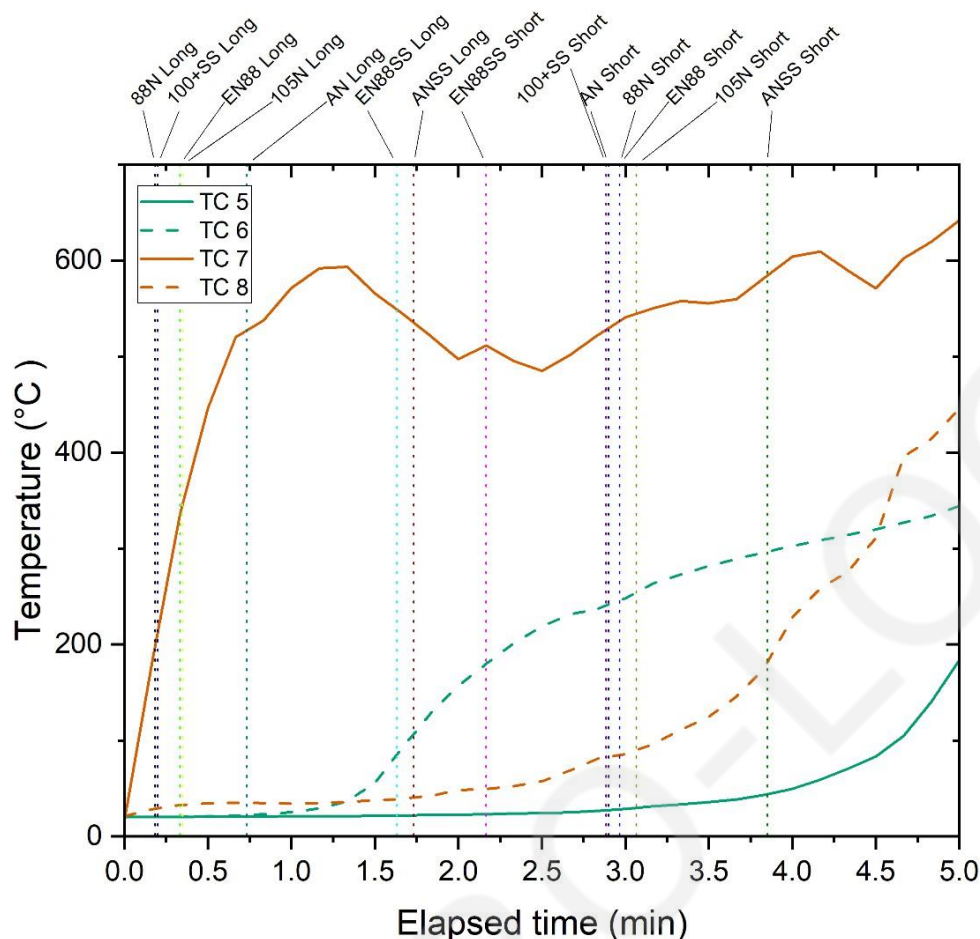
Kabel/ Test	88N		EN88		EN88SS		105N		100+SS		ANSS		AN	
	Dugi	Kratki	Dugi	Kratki	Dugi	Kratki	Dugi	Kratki	Dugi	Kratki	Dugi	Kratki	Dugi	Kratki
LHD-1	00:11	02:58	00:20	02:58	01:38	02:10	00:21	03:04	00:12	02:53	01:44	03:51	00:44	02:54
LHD-2	00:45	02:58	00:49	02:46	00:41	02:10	00:59	03:00	00:37	02:49	03:10	ND	01:28	03:08
LHD-3	03:28	01:49	03:31	01:47	03:43	02:01	03:37	02:06	03:24	02:03	ND	03:37	02:29	03:25
LHD-4 Q1 Q2 Q3 Q4					EN88SS				100+SS				AN	
					03:43				04:22				04:50	
					07:16				07:10				07:17	
					07:02				07:03				ND	
					08:42				08:34				08:35	

3.4 Korelacija između temperatura i vremena detekcije

Kako bi se bolje razumjela vremena detekcije i njihov odnos s razvojem temperature koju su zabilježili instalirani TC-ovi, nacrtani su dodatni grafovi. Oni se fokusiraju na prvih 3 do 10 minuta eksperimenata, ovisno o vremenu detekcije, i prikazuju temperature koje su zabilježili najbliži TC-ovi, kako na krovu (najgornji sloj) tako i na PV modulima. Svi detekcijski kabeli korišteni u testovima (88N, EN88, EN88SS, 105N, 100+SS, ANSS i AN) prikazani su na istim grafovima radi usporedbe.

3.4.1 LHD-1

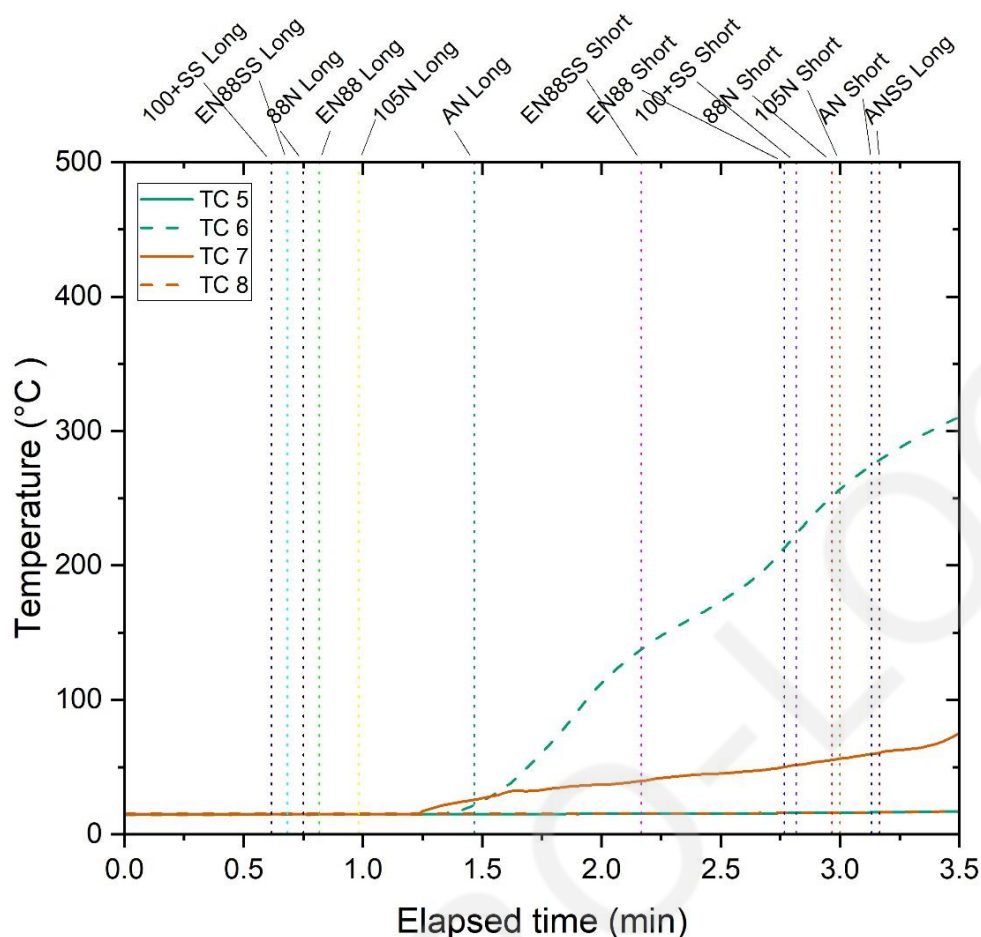
Razvoj temperature u blizini detektora tijekom LHD-1 testa prikazan je na slici 45. U ovom testu, najranija aktivacija registrirana je kod kabela 88N u dugoj konfiguraciji. Zbog paljenja drvene podloge, brzi razvoj požara doveo je do visokih temperatura unutar prve minute, blizu 600°C na površini PV modula. Ova intenzivna toplinska izloženost rezultirala je kratkim vremenima alarma za nekoliko kabela, posebno one postavljene bliže točki paljenja.



Slika 45 Vremena detekcije (vertikalne isprekidane linije) i temperature najbližih TC-ova za LHD-1

3.4.2 LHD-2

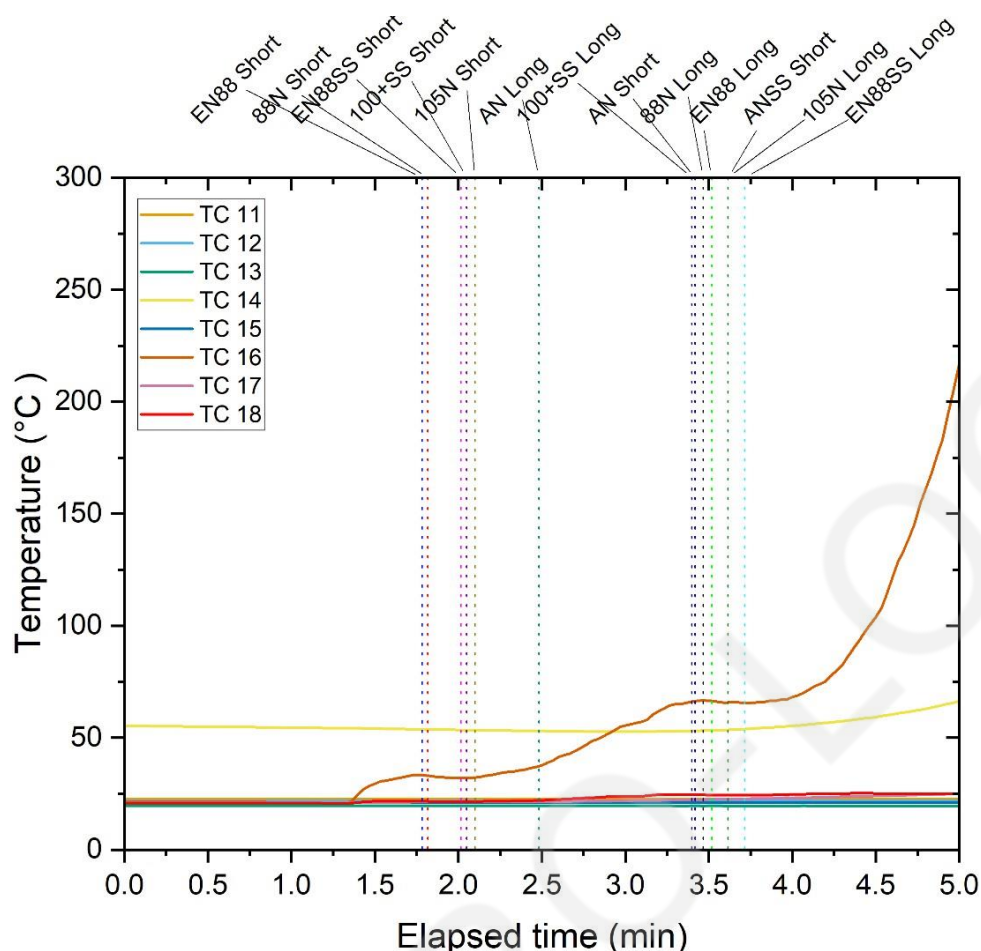
Razvoj temperature u blizini detektora tijekom LHD-2 testa prikazan je na slici 46. Za razliku od LHD-1, izvor paljenja bio je električni luk, što je rezultiralo sporijim i lokalnim razvojem požara. Najranija detekcija zabilježena je kabelom 100+SS u dugoj konfiguraciji. Za razliku od LHD senzora, TC instrumentacija oko PV modula nije detektirala tako brz porast temperature, potencijalno zbog lokalne prirode električnog luka kao izvora paljenja, u usporedbi s drvenim konstrukcijama. Kašnjenje i niža toplinska izloženost ističu važnost osjetljivosti kabela u manje agresivnim scenarijima paljenja.



Slika 46 Vremena detekcije (okomite isprekidane linije) i temperature najbližih TC-ova za LHD-2

3.4.3 LHD-3

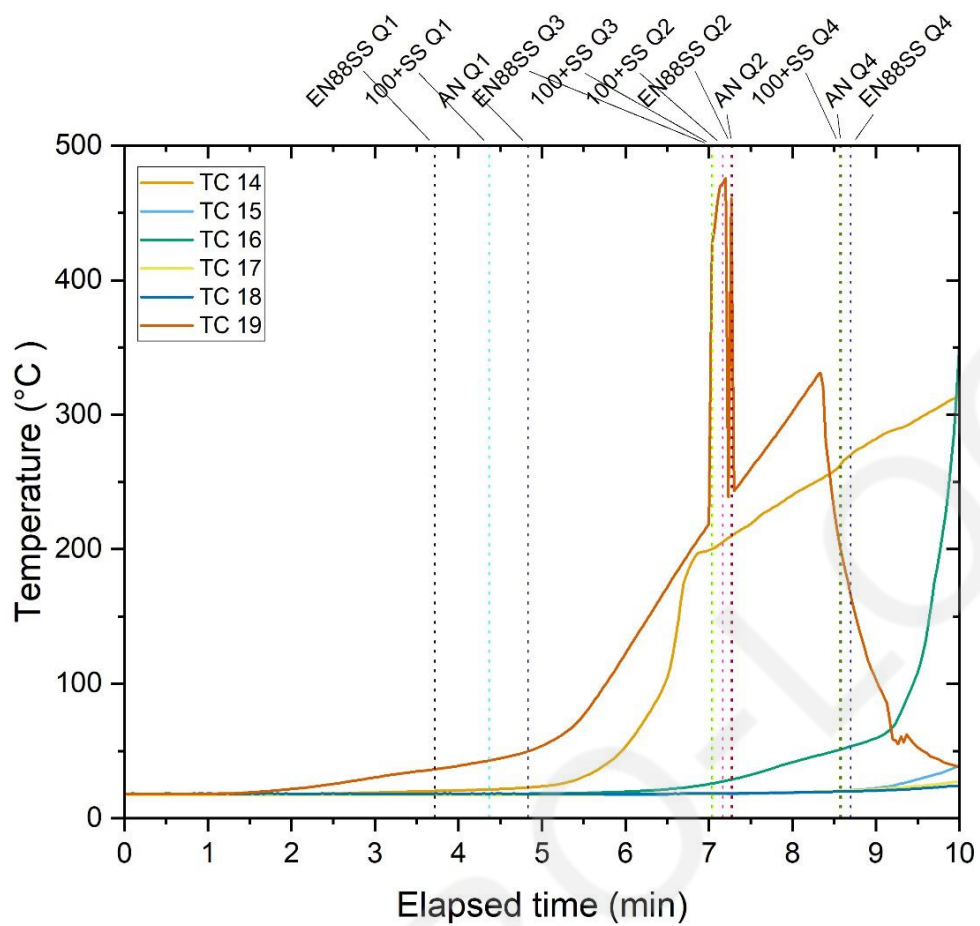
Razvoj temperature u blizini detektora tijekom LHD-3 testa prikazan je na slici 47. U ovom testu, najranija aktivacija registrirana je kod EN88 kabela u kratkoj konfiguraciji. Postavka testa uključivala je nagib od 20°, što je utjecalo na dinamiku požara - vrući plinovi i plamenovi nakupljali su se prema gornjem dijelu PV modula, gdje je bio postavljen kratki kabel. Posljedično, detekcija se dogodila na niskim temperaturama (oko 30°C na PV modulu), pri čemu su neki kratki kabeli aktivirali alarme ranije od dužih kabela. To naglašava značajan utjecaj geometrije i kretanja toplinskog vala na vrijeme detekcije.



Slika 47 Vremena detekcije (isprekidane linije) i temperature najbližih TC-ova za LHD-3

3.4.4 LHD-4

Razvoj temperature u blizini detektora tijekom LHD-4 testa prikazan je na slici 48. U ovom testu, najranija aktivacija registrirana je kabelom EN88SS na Q1, koji se nalazio najbliže izvoru paljenja. Q1 do Q4 odgovaraju kvadrantima – fotonaponskim modulima na testiranom krovu velikih razmjera, prikazanim na slici 13. Unatoč sličnom paljenju kao i u prethodnim testovima, požar se sporije širio po uzorku zbog svoje veličine, što je rezultiralo kasnijim detekcijama i općenito nižim temperaturama u vrijeme alarma, često ispod 100°C. Kašnjenje u detekciji na modulima Q2 do Q4 naglašava utjecaj i položaja kabela i udaljenosti od izvora paljenja, posebno u velikim fotonaponskim instalacijama s više zona.



Slika 48 Vremena detekcije (isprekidane linije) i temperature najbližih TC-ova za LHD-4

4. Zaključak

Sva četiri testa požara (LHD-1 do LHD-4) pokazala su dosljedne obrasce razvoja požara ispod i oko fotonaponskih modula, s primjetnim zahvaćanjem membranskog sloja, delaminacijom modula i eventualnim lomom stakla. Unatoč varijacijama u metodi paljenja (drvena konstrukcija ili električni luk), geometriji modula i kutu nagiba, požar se obično proširio preko krova unutar prvih 5-10 minuta.

Kako bi se bolje razumjela veza između razvoja požara i učinkovitosti detekcije, analizirana su mjerenja temperature u blizini detekcijskih kabela. Vremena detekcije zatim su uspoređena u sedam različitih sustava linearne detekcije topline (LHD).

Rezultati potvrđuju da rano otkrivanje ovisi i o vrsti instalacije kabela i o njihovom položaju u odnosu na izvor paljenja. U LHD-1, gdje se paljenje dogodilo izravno ispod duge kabelske trase, 88N je aktivirao alarm za samo 11 sekundi, što predstavlja najbrže uočeno otkrivanje u svim testovima. Drugi kabeli, poput EN88, 105N, 100+SS i AN, također su reagirali za manje od minute, posebno u 'dugoj' konfiguraciji, pokazujući učinkovito rano upozorenje na ravnim krovovima ispod paljenja drvenih konstrukcija.

U LHD-2, s paljenjem električnog luka na ravnom krovu, uočeno je slično rano otkrivanje. 100+SS reagirao je za 37 sekundi, a 88N, EN88, EN88SS i 105N detektirali su požar unutar jedne minute. To potvrđuje nalaz da instalacije na ravnom krovu s dugim kabelskim trasama postavljenim neposredno iznad ili blizu izvora paljenja omogućuju brzu aktivaciju alarma.

Nasuprot tome, LHD-3 je imao krov nagnut od 20° gdje se paljenje događalo blizu donjeg ruba. Ovdje je najbrža detekcija postignuta s kratkih dionica postavljenih u sredini nagiba. EN88, u ovoj konfiguraciji, alarmirao je za 1 minutu i 47 sekundi. Značajno je da su se relativni položaji dugih kabelskih dionica razlikovali od konfiguracija s ravnim krovom, što izravnu usporedbu s LHD-1 i LHD-2 čini netočnom bez uzimanja u obzir položaja detektora i puta toplinskog vala.

Ispitivanje s paljenjem električnog luka velikih razmjera (LHD-4) dodatno ilustrira utjecaj rasporeda i mjerila. Vrijeme odziva kretalo se od 3 minute i 43 sekunde do 8 minuta i 42 sekunde. Najraniji alarm u ovom slučaju došao je od EN88SS instaliranog u kvadrantu Q1. Međutim, položaji detektora znatno su se razlikovali od prethodnih postavki, što dodatno naglašava da se prostorna konfiguracija i toplinska dinamika moraju uzeti u obzir prije usporedbe performansi različitih geometrija ispitivanja.

Zaključno, učinkovito rano upozorenje na požare fotonaponskih sustava na krovovima može se postići korištenjem LHD sustava, ali performanse ovise o geometriji instalacije, mjestu nastanka požara, nagibu krova i konstrukciji kabela. Buduća primjena stoga bi trebala prilagoditi položaj i vrstu kabela specifičnoj dinamici požara koja se očekuje u ciljanoj konfiguraciji.

Pripremili: dr. Andrea Jurov, mag. educ. phys., Kirils Simakovs, MSc., Nik Rus, mag. inž. teh. var.

Recenzirao: Prof. Grunde Jomaas, PhD.

O nama

Osnovan 1963. godine kao proizvođač grijaćih kabela za tržišta rashladnih uređaja i električnih pokrivača, Thermocable je nastavio s inovacijama i razvojem, postavši vodeći svjetski proizvođač linearnih detekcijskih kabela i sustava za nadzor.

Ovu transformaciju potaknula je naša bezgranična želja za rješavanjem problema, kao i temeljne vrijednosti naše tvrtke, što nam omogućuje opskrbu multidisciplinarnih kupaca na globalnoj razini.

Prepoznajući našu predanost stvaranju sigurnijeg svijeta, Thermocable je preuzela poznata tvrtka Halma, dio FTSE 100 plc indeksa,

u veljači 2023. Kao globalna grupa tvrtki za tehnologiju koja spašava živote, tvrtke Halma teže stvaranju sigurnije, čišće i zdravije budućnosti za sve.

Djelujući unutar Apollo Grupe, nastavljamo s inovacijama u visokokvalitetnim, certificiranim proizvodima za linearnu detekciju, osmišljenima za podizanje ljestvice u industriji.

Kao međunarodno kvalificirani pružatelj rješenja s akreditacijom ISO 9001:2015, Thermocable nudi vertikalno integrirani pristup kroz dizajn, razvoj i proizvodnju, pružajući jamstvo fleksibilnog i odgovornog pristupa potrebama naših kupaca.

Naše akreditacije



Ovlašteni distributer za Republiku Hrvatsku



ELEKTRO-LOG d.o.o.

Kralja Zvonimira 14
47000 Karlovac
OIB 38247968909

Prodaja

djani@elektro-log.hr

091 6122 673

Projektiranje

karolina@elektro-log.hr

098 9465 136

Tehnička podrška

marko@elektro-log.hr

091 6148 241

