

## **OPINIA TECHNICZNA**

**Dotycząca badań i oceny stopnia rozprzestrzeniania ognia układów dachowych z instalacją fotowoltaiczną w warunkach pożaru**

NUMER: 01416/24/Z00NZP

Warszawa, 07.02.2025

**Zakład Badań Ogniwych**

ul. Ksawerów 21, 02-656 Warszawa  
tel.: 22 5664284, fax: 22 8472311  
e-mail: fire@itb.pl

**Oddział Mazowiecki – Laboratorium**

ul. Przemysłowa 2, 26-670 Pionki  
tel.: 48 3121600, fax: 48 3121601

Tytuł pracy:      Opinia techniczna dotycząca oceny w zakresie stopnia rozprzestrzeniania ognia układów dachowych z instalacją fotowoltaiczną w warunkach pożaru

Nr Rejestru:      01416/24/Z00NZZ

Zleceniodawca: Polski Związek Producentów i Przetwórców Izolacji Poliuretanowych  
PUR PIR SIPUR  
ul. Kaczeńcowa 22  
60-175 Poznań

**Wykonawcy:**

Zespół badawczy:

Mariusz Jeliński  
Łukasz Jarołowicz  
dr inż. Bartłomiej K. Papis

Opracowanie:

dr inż. Bartłomiej K. Papis

Kierownik zespołu i nadzór naukowy:

dr inż. Bartłomiej K. Papis

Pracę rozpoczęto:   Maj 2023

zakończono:       Grudzień 2024

Wykonano w liczbie:      1 w formie elektronicznej w pliku w formacie pdf podpisanym kwalifikowanymi podpisami elektronicznymi

Liczba załączników:      –

Egzemplarz numer:        1

## Spis treści

1 Podstawa formalna .....	4
2 Podstawy merytoryczne .....	4
3 Cel i zakres opracowania .....	4
4 Opis techniczny.....	4
4.1 Budowa układów dachowych.....	4
4.2 Scenariusz pożarowy .....	10
5 Przebieg badań .....	11
6 Wnioski i podsumowanie .....	28

## 1 Podstawa formalna

- Zlecenie Polskiego Związku Producentów i Przetwórców Izolacji Poliuretanowy PUR PIR SIPUR z dnia 14.04.2023.
- Umowa nr 01416/23/Z00NZZ z dnia 12.05.2023

## 2 Podstawy merytoryczne

- [1] Norma CLC/TR 50670:2017 External fire exposure to roofs in combination with photovoltaic (PV) arrays – Test method(s)
- [2] Dokumentacja techniczna i opis badanych i ocenianych układów dachowych

## 3 Cel i zakres opracowania

Opracowanie obejmuje badania studialne dwóch układów dachowych w których zastosowano wyroby hydro i termoizolacyjne z Certyfikatem międzynarodowej firmy ubezpieczeniowej FM Global (Factory Mutual Insurance Company) USA, posiadającej własne laboratoria oraz system badań i certyfikacji materiałów, z zamontowaną na nich instalacją fotowoltaiczną, analizę wyników badań i ocenę wpływu rodzaju izolacji na zachowanie ogniowe ze szczególnym uwzględnieniem stopnia rozprzestrzeniania ognia po zewnętrznej powierzchni badanych układów dachowych w warunkach pożaru instalacji fotowoltaicznej.

## 4 Opis techniczny

Celem pracy była ocena zachowania ogniowego, ze szczególnym uwzględnieniem stopnia rozprzestrzeniania ognia dwóch układów dachowych w których zastosowano wyroby hydro i termoizolacyjne z Certyfikatem międzynarodowej firmy ubezpieczeniowej FM Global, USA, w warunkach pożaru instalacji fotowoltaicznej zainstalowanej na badanych układach dachowych.

### 4.1 Budowa układów dachowych

W obu przypadkach próbkę badawczą stanowił dach płaski o wymiarach zewnętrznych 6000 mm na 6000 mm. Konstrukcję nośną układów dachowych stanowiła blacha trapezowa T 135x 0,75 ustawiona na podstawie z bloczków z betonu komórkowego. Na tak przygotowanej konstrukcji nośnej zamocowane zostało 11 czujników do pomiaru temperatury w trakcie badania w postaci termoelementów płaszczowych (termopar). Pozostałe 19 termoelementów umieszczonych zostało w połowie materiału termoizolacyjnego. Rozmieszczenie termoelementów na konstrukcji nośnej oraz w połowie grubości materiału termoizolacyjnego pokazano na rysunku 1.

Tak jak wspomniano wcześniej badaniu podlegały dwa układy dachowe o tej samej konstrukcji nośnej.

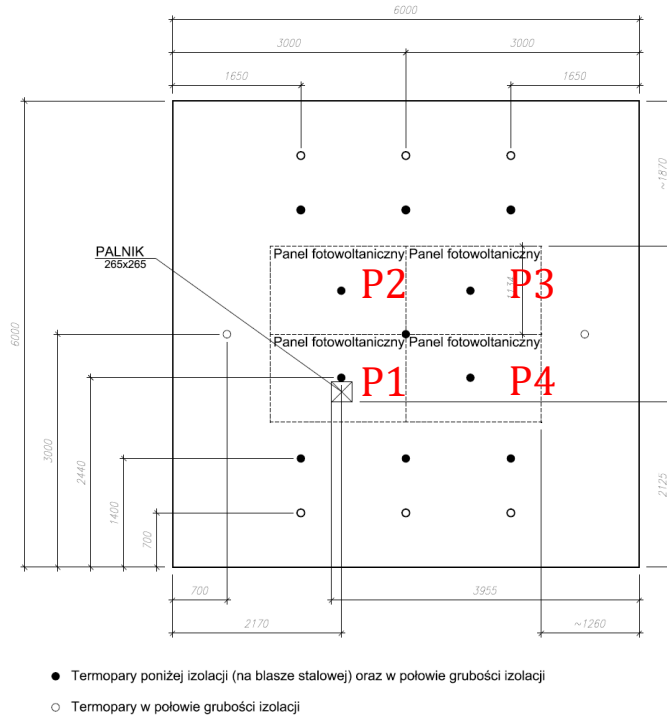
Układ numer 1 składał się z następujących warstw ułożonych na konstrukcji nośnej:

- paroizolacja z folii PE o grubości 0,2 mm,
- termoizolacja z płyt z wełny mineralnej o grubości 130 mm ułożonych w dwóch warstwach (z przesunięciem) tak, że w całości grubość materiału termoizolacyjnego wynosiła 260 mm,
- warstwa wodochronna (hydroizolacja) wykonana z membrany dachowej PVC o grubości 1,5 mm.

Termoizolacja oraz hydroizolacja zostały zamocowane mechanicznie za pomocą łączników dachowych teleskopowych z tworzywa sztucznego z trzpieniem metalowym do konstrukcji nośnej dachu.

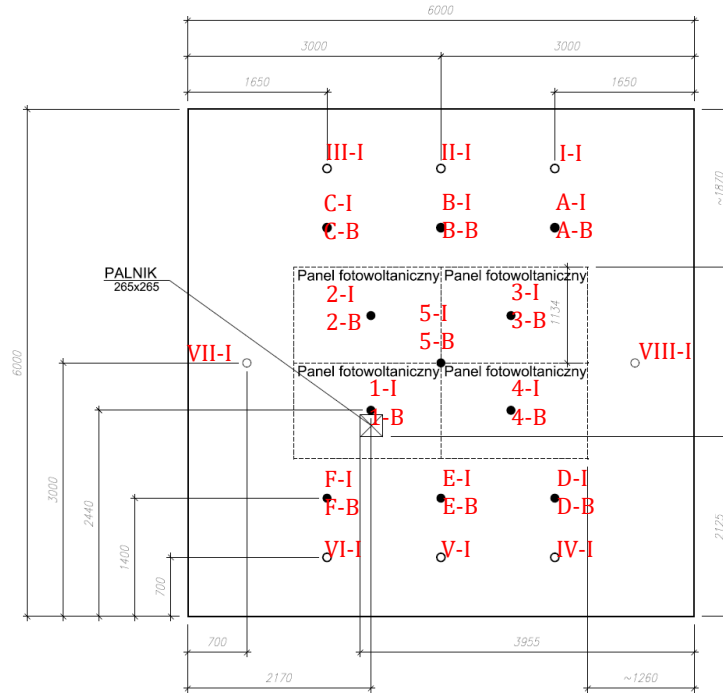
Układ numer 2 składał się z następujących warstw ułożonych na konstrukcji nośnej:

- paroizolacja z folii PE o grubości 0,2 mm,  
 - termoizolacja z płyt z pianki poliuretanowej PIR o grubości 140 mm (styk zakładkowy) ułożonych w jednej warstwie  
 - warstwa wodochronna (hydroizolacja) wykonana z membrany dachowej PVC o grubości 1,5 mm.  
 Termoizolacja oraz hydroizolacja zostały zamocowane mechanicznie za pomocą łączników dachowych teleskopowych z tworzywa sztucznego z trzpieniem metalowym do konstrukcji nośnej dachu.  
 Budowę badanych układów dachowych przedstawiono na rysunkach 2 i 3. Na rysunkach 4 i 5 pokazano rozmieszczenie płyt z wełny mineralnej zaś na rysunku 6 pokazano rozmieszczenie płyt z pianki poliuretanowej.



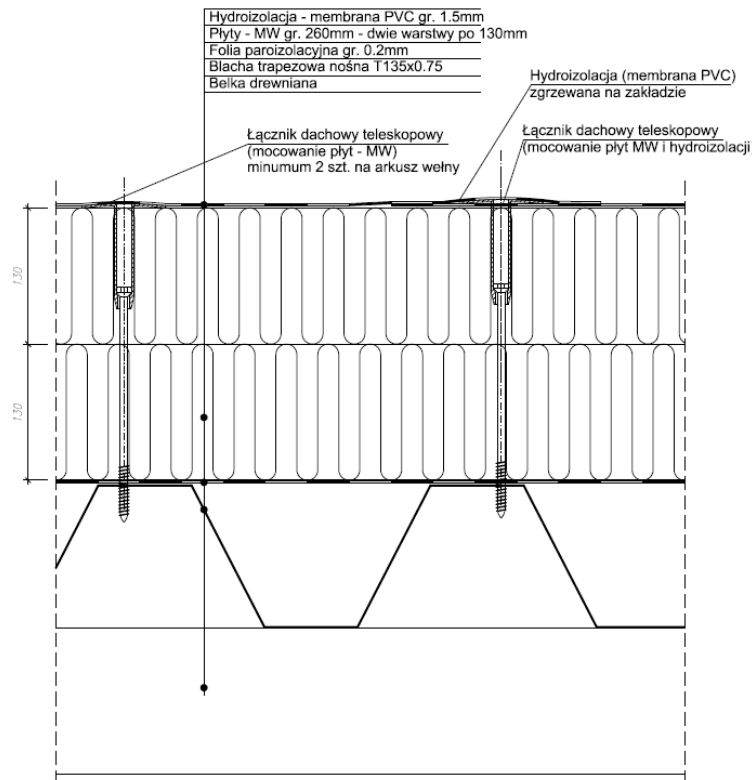
Rys.1 Rozmieszczenie paneli fotowoltaicznych.

(rysunek dostarczony przez Zleceniodawcę; oznaczenie paneli fotowoltaicznych wykonane przez autora opracowania)

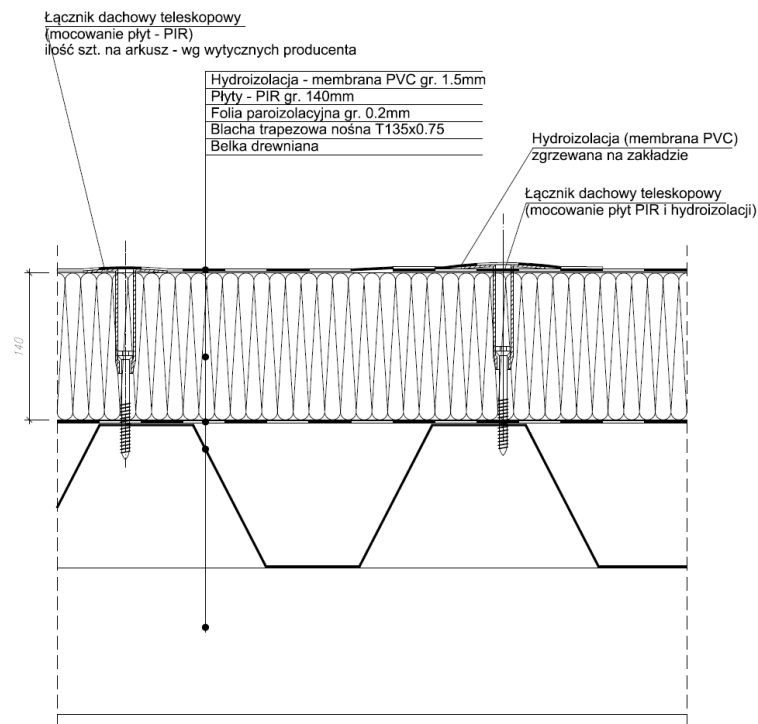


- Termopary poniżej izolacji (na blasze stalowej) oraz w połowie grubości izolacji
- Termopary w połowie grubości izolacji

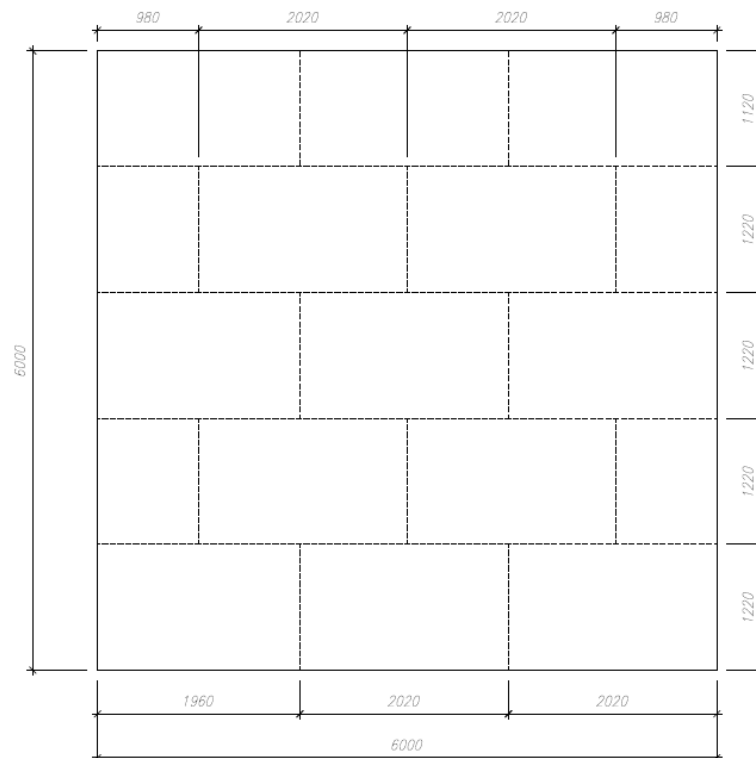
Rys.2 Rozmieszczenie termoelementów na konstrukcji nośnej układów dachowych i w połowie grubości materiału termoizolacyjnego.  
(rysunek dostarczony przez Zleceniodawcę; termoelementów wykonane przez autora opracowania)



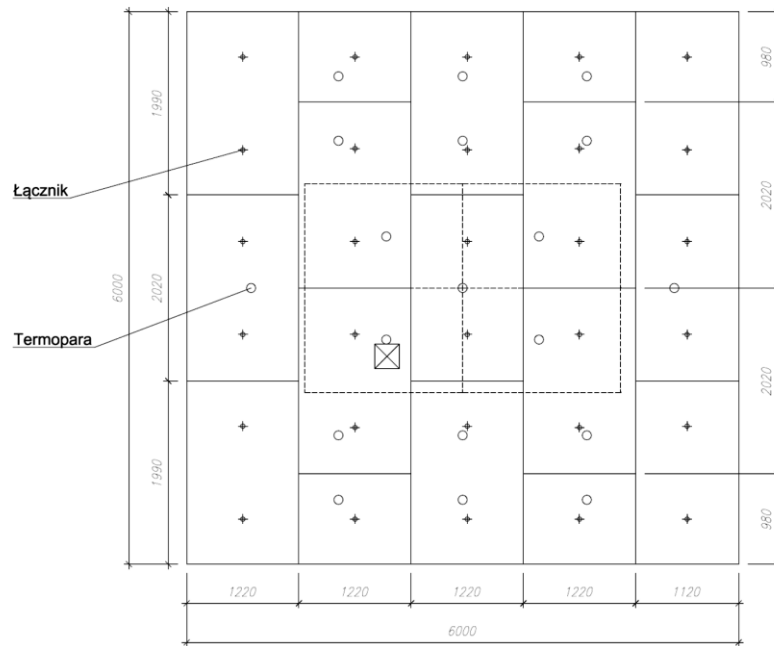
Rys.3 Budowa układu dachowego nr 1.  
(rysunek dostarczony przez Zleceniodawcę)



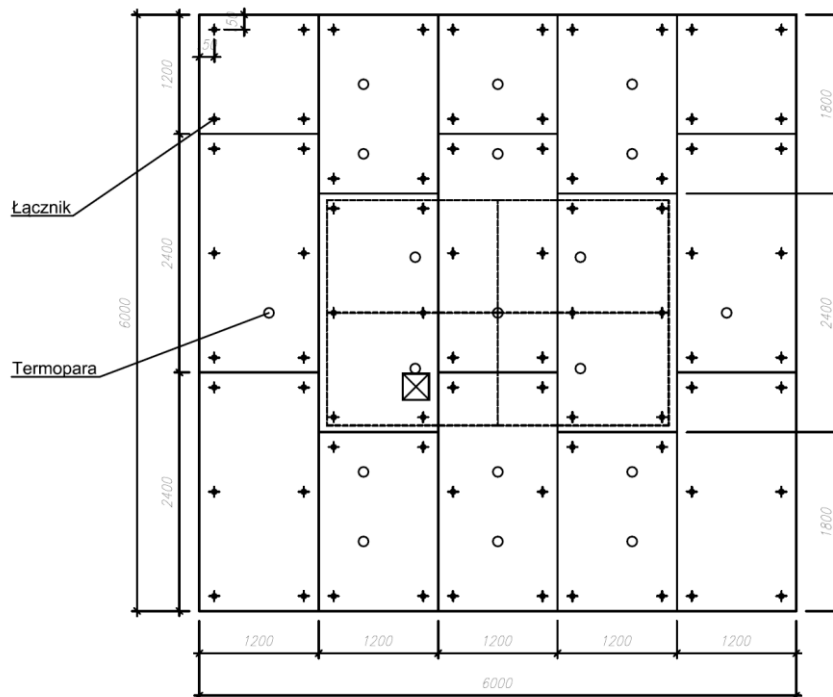
Rys.4 Budowa układu dachowego nr 2.  
(rysunek dostarczony przez Zleceniodawcę)



Rys. 5 Rozmieszczenie płyt z wełny mineralnej w dolnej warstwie termoizolacji.  
(rysunek dostarczony przez Zleceniodawcę)



Rys. 6 Rozmieszczenie płyt z wełny mineralnej w górnej warstwie termoizolacji.  
(rysunek dostarczony przez Zleceniodawcę)



Rys. 7 Rozmieszczenie płyt z pianki poliuretanowej PIR.  
(rysunek dostarczony przez Zleceniodawcę)

W obu przypadkach na powierzchni zewnętrznej w centralnej części układów dachowych zamontowano układ 4 paneli fotowoltaicznych klasy C wg IEC 61730-2 ustawionych pod kątem 10 stopni do powierzchni dachu w konfiguracji back-to-back, (wschód-zachód). Każdy z paneli



fotowoltaicznych miał następujące wymiary: szerokość 1134 mm, długość 1762 mm. Widok paneli PV na układach dachowych oraz ich oznaczenie na potrzeby badania pokazano na rysunku 1, zaś na rysunku 7 przedstawiono położenie paneli fotowoltaicznych w widoku z boku układu dachowego.



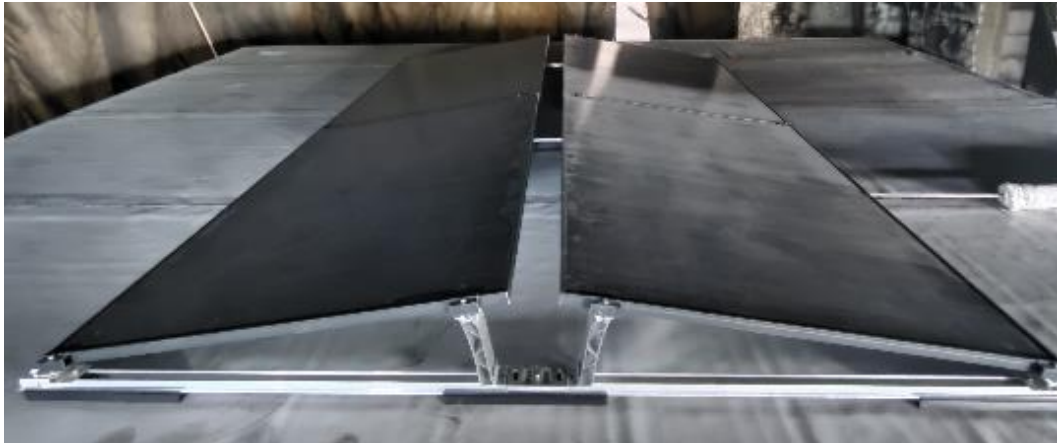
Rys. 8 Układ paneli fotowoltaicznych – widok z boku  
(rysunek dostarczony przez Zleceniodawcę)

Widok układów dachowych przed badaniem pokazano na fotografiach 1 i 2.



Fot. 1 Widok układu dachowego z wełną mineralną przed badaniem  
oraz widok konstrukcji mocującej panele fotowoltaiczne  
(zdjęcie wykonane przez autora opracowania)



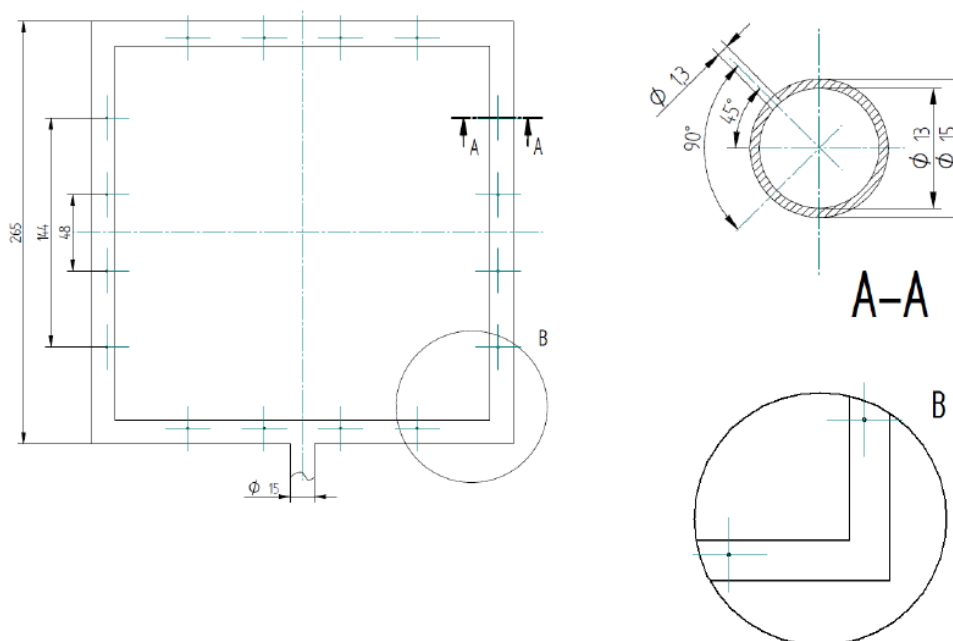


Fot. 2 Widok układu dachowego z płytami z pianki poliuretanowej przed badaniem oraz widok konstrukcji mocującej panele fotowoltaiczne (zdjęcie wykonane przez autora opracowania)

#### 4.2 Scenariusz pożarowy

Badania obu układów dachowych zaplanowano dla pożaru, który rozpoczyna się od panelu fotowoltaicznego czyli źródłem ognia jest palący się panel fotowoltaiczny. W przypadku takiego pożaru ogień pojawia się od spodu panelu fotowoltaicznego dlatego, że od spodu przebiega instalacja elektryczna którą płynie prąd wytwarzany przez panel fotowoltaiczny, którego awaria może być przyczyną zapalenia panelu. Ponieważ na potrzeby badań trudno jest wywołać awarię instalacji aby ta spowodowała zapalenie panelu przyjęto, że początek pożaru a tym samym badania będzie w chwili gdy pod panelem pojawiają się płomienie oddziaływujące na dolną powierzchnię panelu oraz pokrycie dachu. Do zamodelowania takiego pożaru zastosowano palnik gazowy zgodny z normą [1]. Budowę palnika pokazano na rysunku 8. Palnik zasilany był gazem propan o czystości minimum 95%. Gaz podawany był z butli za pośrednictwem kontrolera masowego z prędkością 324 mg/s co generowało moc palnika na poziomie 15 kW.

Palnik umieszczono pod panelem fotowoltaicznym P1. Położenie palnika pokazano na rysunku 1. Palnik ustawiony był równoległe do powierzchni dachu w odległości około 80 mm i w odległości około 100 mm od dolnej powierzchni panelu fotowoltaicznego. Położenie palnika podczas palenia pokazano na fotografii 3. Palnik oddziaływał na badany element przez czas 10 minut. Po tym czasie palnik został zgaszony i usunięty z próbki.



Rys. 9 Budowa palnika użytego w badaniu jako źródło ognia  
(rysunek z normy [1])

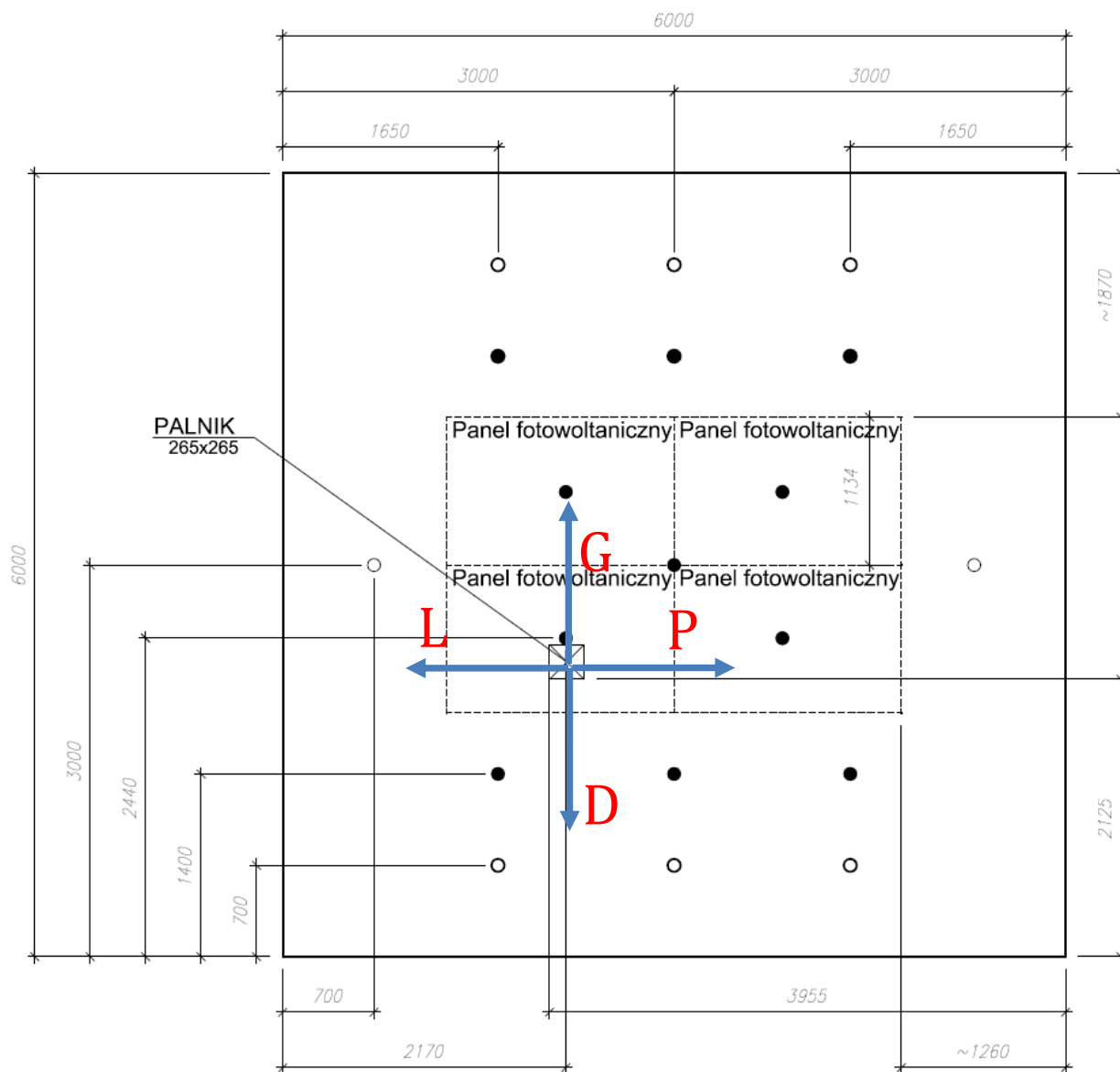


Fot.3 Położenie palnika podczas badania  
(zdjęcie wykonane przez autora opracowania)

## 5 Przebieg badań

Podczas badań w sposób ciągły mierzona była temperatura w punktach pomiarowych oraz obserwowane było rozprzestrzenianie się płomieni po powierzchni próbki. Po zakończeniu badań oceniono zniszczenia w każdej próbce czyli zasięg rozprzestrzeniania płomienia po powierzchni próbki oraz zniszczenia jakie nastąpiły do wewnątrz próbki. Rozprzestrzenianie płomieni po powierzchni próbki obserwowano w 4 kierunkach licząc od palnika zapisywano czas w którym płomień osiągnął znacznik odległości znaczniki rozprzestrzeniania ognia przyjęto co 200 mm. Kierunki rozprzestrzeniania ognia oraz ich oznaczenia pokazano na rysunku 9.

Obserwacje i sam przebieg badań każdej próbki zestawiono w tablicach 1 i 2.



- Termopary poniżej izolacji (na blasze stalowej) oraz w połowie grubości izolacji
- Termopary w połowie grubości izolacji

Rys. 9 Położenie palnika oraz oznaczenie kierunków rozprzestrzeniania ognia (rysunek dostarczony przez Zleceniodawcę; oznaczenie kierunków wykonane przez autora opracowania)

Tablica 1. Rozprzestrzenianie płomieni po powierzchni próbki w trakcie badania – UKŁAD 1

Znacznik odległości [mm]	Czas osiągnięcia znacznika [min' sek.'']			
	Kierunek G	Kierunek D	Kierunek P	Kierunek L
200	2'56''	3'00''	2'23''	2'41''
400	3'32''	-	4'43''	3'43''
600	3'50''	-	5'15''	4'21''
800	4'23''	-	6'26''	5'28''
1000	5'41''	-	7'14''	6'13''
1200	6'08''	-	8'02''	-
1400	7'15''	-	8'19''	-
1600	8'30''	-	8'39''	-
1800	8'30''	-	9'37''	-
2000	8'59''	-	10'05''	-
2200	11'29''	-	10'40''	-
2400	12'21''	-	11'17''	-
2600	-	-	11'46''	-
2800	-	-	12'11''	-
3000	-	-	13'08''	-
„-” – oznacza, że płomień nie osiągnął znacznika				

Tablica 2. Rozprzestrzenianie płomieni po powierzchni próbki w trakcie badania – UKŁAD 2

Znacznik odległości [mm]	Czas osiągnięcia znacznika [min' sek.'']			
	Kierunek G	Kierunek D	Kierunek P	Kierunek L
200	3'11''	-	3'11''	3'41''
400	4'4''	-	3'50''	4'58''
600	4'43''	-	4'25''	5'48''
800	6'44''	-	5'27''	6'31''
1000	6'53''	-	6'00''	7'27''
1200	7'06''	-	6'35''	-
1400	7'42''	-	7'06''	-
1600	9'20''	-	7'50''	-
1800	-	-	8'20''	-
2000	-	-	8'34''	-
2200	-	-	8'54''	-
2400	-	-	9'05''	-
2600	-	-	9'10''	-
2800	-	-	9'24''	-
3000	-	-	10'03''	-
3200	-	-	10'46''	-
3400	-	-	11'50''	-
„-” – oznacza, że płomień nie osiągnął znacznika W 12 minucie badania ze względu na zadymienie hali badawczej została uchylona brama celem uzupełnienia powietrza kompensacyjnego dla układu wentylacji laboratorium				

Tablica 3. Obserwacje zachowania próbki w trakcie badania – UKŁAD 1

Czas [min' sek'']	Obserwacja / zdarzenie
0'0''	Zapalenie palnika
1'25''	Zapalenie membrany pod palnikiem
1'56''	Zapalenie powierzchni panelu P1
4'56''	Pali się panel P1
6'40''	Zapalenie wewnętrznych krawędzi paneli P1, P2, P3 i P4
9'03''	Płomień wychodzą poza krawędź paneli P2 i P3
9'43''	Płomień wychodzą poza krawędź paneli P3 i P4
10'00''	Odsunięcie źródła ognia
10'28''	Pali się panel P3 oraz panel P4
12'35''	Pali się panel P2
17'17''	Pęka panel P4
17'19''	Pęka panel P3
18'14''	Pęka panel P2
18'46''	Pęka panel P1
36'56''	Samoistne zgaśnięcie płomieni na powierzchni próbki i drobne żarzenie na powierzchni membrany w miejscu gdzie konstrukcja wsporcza paneli łączyła się z powierzchnią dachu
40'00''	Brak widocznego spalania i żarzenia na powierzchni próbki

Tablica 4. Obserwacje zachowania próbki w trakcie badania – UKŁAD 2

Czas [min' sek'']	Obserwacja / zdarzenie
0'0''	Zapalenie palnika
1'01''	Zapalenie membrany pod palnikiem
2'20''	Zapalenie powierzchni dolnej panelu P1
4'16''	Pali się panel P1
5'18''	Zapalenie panelu P4
6'15''	Zapalenie wewnętrznych krawędzi paneli P1, P2, P3 i P4
7'58''	Palenie się wszystkich paneli
10'00''	Odsunięcie źródła ognia
11'20''	Płomień wychodzą poza krawędź paneli P2 i P3
12'54''	Płomień wychodzą poza krawędź paneli P3 i P4
15'33''	Pęka panel P1
19'04''	Pęka panel P4
19'38''	Pęka panel P2 i P3
34'18''	Samoistne zgaśnięcie płomieni na powierzchni próbki i drobne żarzenie na powierzchni membrany w miejscu gdzie konstrukcja wsporcza paneli łączyła się z powierzchnią dachu
55'40''	Brak widocznego spalania i żarzenia na powierzchni próbki

Tablica 5. Zasięg zniszczeń powierzchni dachu od krawędzi paneli fotowoltaicznych – UKŁAD 1

Krawędź paneli	Zasięg zniszczenia [mm]
P1;P4	112
P1;P2	290
P2;P3	310
P3;P4	350

Tablica 6. Zasięg zniszczeń powierzchni dachu od krawędzi paneli fotowoltaicznych – UKŁAD 2



Krawędź paneli	Zasięg zniszczenia [mm]
P1;P4	220
P1;P2	150
P2;P3	280
P3;P4	400

W ramach analizy zniszczeń dokonano także oceny zniszczenia materiału w głąb materiału izolacyjnego w kierunku konstrukcji nośnej. W obu badanych układach dachowych zniszczenia materiału izolacyjnego wystąpiły głównie pod panelami fotowoltaicznymi. W miejscach gdzie płomień wyszły poza krawędź paneli fotowoltaicznych zniszczenia materiału izolacyjnego były powierzchowne i sięgały nie głębiej niż 10 mm.

W przypadku UKŁADU 1 zniszczenia materiału izolacyjnego objęły w pełni górną warstwę płyt z wełny mineralnej umieszczoną bezpośrednio pod membraną dachową. Dalej na skutek procesu tlenia w trakcie badania zniszczeniami objęte zostały płyty dolnej warstwy, ale proces ten zatrzymał się na głębokości około 40 mm. Maksymalna głębokość zniszczeń wyniosła łącznie 170 mm (130 mm w górnej warstwie i 40 mm w dolnej). Warstwa paroizolacji oraz konstrukcja nośna dachu z blachy trapezowej nie uległy zniszczeniu. Na fotografiach 4 – 11 pokazano zniszczenia dachu w UKŁADZIE 1 w poszczególnych warstwach.



Fot. 4 Zniszczenia na powierzchni próbkę z panelami UKŁAD – 1  
(zdjęcie autora opracowania)



Fot. 5 Zniszczenia na powierzchni próbkę po zdjęciu membrany dachowej UKŁAD – 1  
(zdjęcie autora opracowania)



Fot. 6 Zniszczenia na powierzchni górnej warstwy płyt z wełny mineralnej po zdjęciu membrany dachowej i paneli fotowoltaicznych UKŁAD – 1  
(zdjęcie autora opracowania)



Fot. 7 Zniszczenia wewnątrz górnej warstwy płyt z wełny mineralnej UKŁAD – 1  
(zdjęcie autora opracowania)



Fot. 8 Zniszczenia na powierzchni dolnej warstwy płyt z wełny mineralnej UKŁAD – 1  
(zdjęcie autora opracowania)





Fot. 9 Zniszczenia wewnątrz dolnej warstwy płyt z wełny mineralnej UKŁAD – 1  
(zdjęcie autora opracowania)



Fot. 10 Zniszczenia paroizolacji UKŁAD – 1  
(zdjęcie autora opracowania)



Fot. 11 Zniszczenia konstrukcji nośnej z blachy trapezowej UKŁAD – 1  
(zdjęcie autora opracowania)

W przypadku UKŁADU 2 zniszczenia materiału izolacyjnego objęły powierzchnię pod panelami fotowoltaicznymi oraz niewielki obszar gdzie płomień wyszły poza krawędź paneli fotowoltaicznych. Było to spowodowane uchYLENIEM bramy do hali w trakcie badania i wywołanym tym podmuchem powietrza. Głębokość zniszczeń warstwy izolacyjnej w próbkę UKŁADU 2 nie przekroczyła 40 mm. Warstwa paroizolacji oraz konstrukcja nośna dachu z blachy trapezowej nie uległy zniszczeniu. Na fotografiach 12 – 16 pokazano zniszczenia dachu w UKŁADZIE 2 w poszczególnych warstwach.

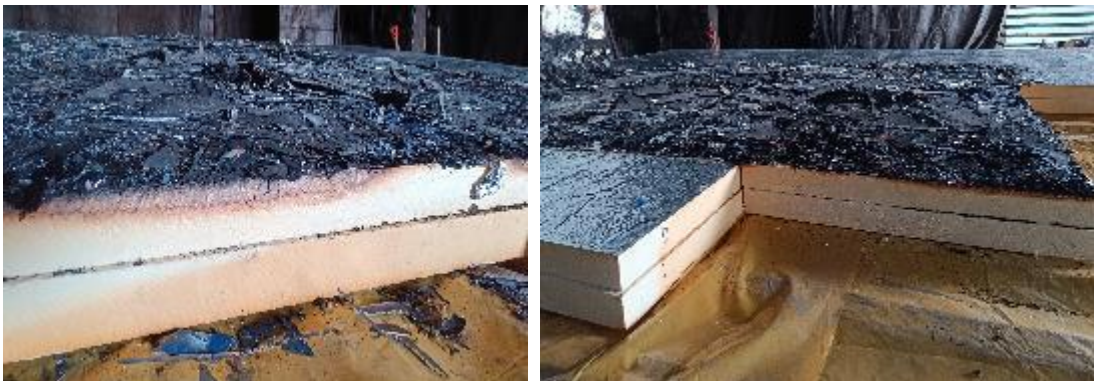




Fot. 12 Zniszczenia na powierzchni próbki próbka z panelami UKŁAD – 2  
(zdjęcie autora opracowania)



Fot. 13 Zniszczenia na powierzchni próbki po zdjęciu membrany dachowej UKŁAD – 2  
(zdjęcie autora opracowania)



Fot. 14 Zniszczenia na wewnątrz warstwy termoizolacyjnej UKŁAD – 2  
(zdjęcie autora opracowania)



Fot. 15 Zniszczenia paroizolacji UKŁAD – 2  
(zdjęcie autora opracowania)



Fot. 16 Zniszczenia konstrukcji nośnej z blachy trapezowej UKŁAD – 2  
(zdjęcie autora opracowania)

Jak wspomniano wcześniej w trakcie obu badań cały czas w sposób ciągły była mierzona temperatura w poszczególnych warstwach próbek badawczych czyli w połowie grubości termoizolacji oraz na konstrukcji nośnej dachu czyli na powierzchni blachy trapezowej.

Na potrzeby analizy wyników wartości i przebiegów mierzonych temperatur mierzone punkty podzielono na dwie grupy. Grupa pierwsza obejmuje pomiary temperatury pod panelami fotowoltaicznymi w połowie grubości termoizolacji oraz na powierzchni blachy trapezowej, a także w połowie grubości termoizolacji oraz na powierzchni blachy trapezowej w odległości 1400 mm od krawędzi zewnętrznej próbki. Drugą grupę stanowią termoelementy umieszczone w połowie grubości termoizolacji poza obrębem pola z panelami fotowoltaicznymi - są to termoelementy umieszczone w odległości 700 mm od krawędzi próbki oraz umieszczone w odległości 700 mm od krawędzi próbki w połowie jej długości. Rozmieszczenie termopar w próbce pokazano na rysunku 1.

Na potrzeby analizy termopary zostały oznaczone w następujący sposób:

Termoelementy grupy pierwszej pod panelami fotowoltaicznymi w połowie grubości termoizolacji oraz na powierzchni blachy trapezowej, a także w połowie grubości termoizolacji oraz na powierzchni blachy trapezowej w odległości 1400 mm od krawędzi zewnętrznej próbki.

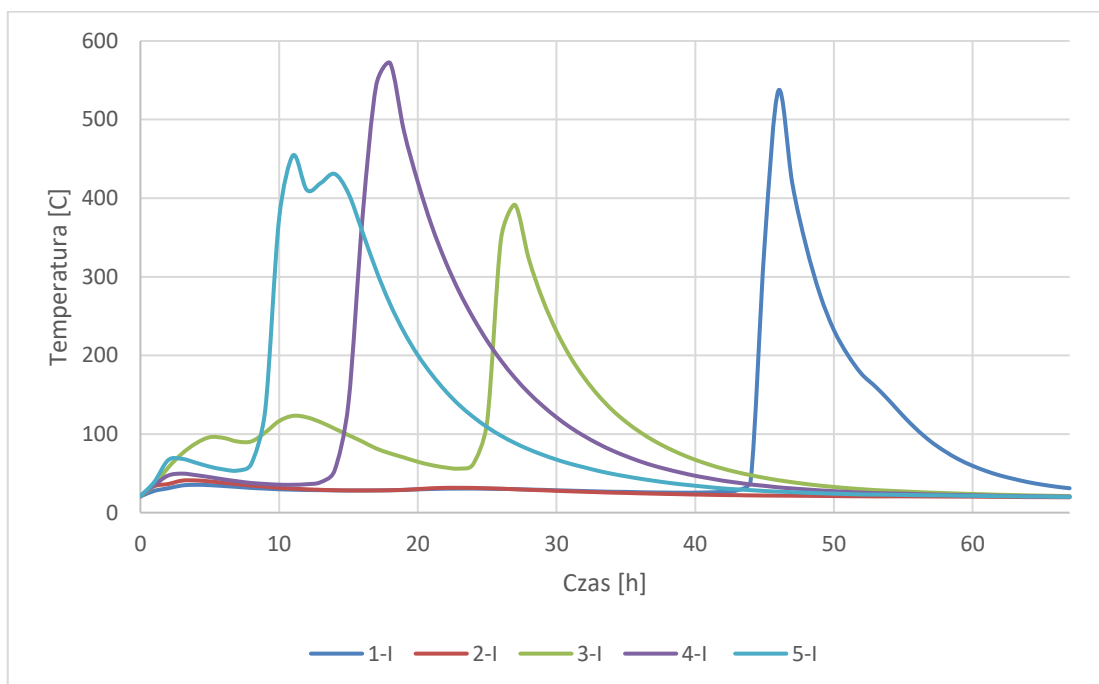


- 1-I Termopara pod panelem P1 w połowie termoizolacji  
1-B Termopara pod panelem P1 na powierzchni blachy trapezowej
- 2-I Termopara pod panelem P2 w połowie termoizolacji  
2-B Termopara pod panelem P2 na powierzchni blachy trapezowej
- 3-I Termopara pod panelem P3 w połowie termoizolacji  
3-B Termopara pod panelem P3 na powierzchni blachy trapezowej
- 4-I Termopara pod panelem P4 w połowie termoizolacji  
4-B Termopara pod panelem P4 na powierzchni blachy trapezowej
- 5-I Termopara pod panelem w połowie termoizolacji (wewnętrzny narożnik paneli P1, P2, P3 i P4)  
5-B Termopara pod panelem na powierzchni blachy trapezowej (wewnętrzny narożnik paneli P1, P2, P3 i P4)
- A-I Termopara przy krawędzi panelu P3 w połowie termoizolacji  
A-B Termopara przy krawędzi panelu P3 na powierzchni blachy trapezowej
- B-I Termopara między panelem P2 i P3 w połowie termoizolacji  
B-B Termopara między panelem P2 i P3 na powierzchni blachy trapezowej
- C-I Termopara przy krawędzi panelu P2 w połowie termoizolacji  
C-B Termopara przy krawędzi panelu P2 na powierzchni blachy trapezowej
- D-I Termopara przy krawędzi panelu P4 w połowie termoizolacji  
D-B Termopara przy krawędzi panelu P4 na powierzchni blachy trapezowej
- E-I Termopara między panelem P1 i P4 w połowie termoizolacji  
E-B Termopara między panelem P1 i P4 na powierzchni blachy trapezowej
- F-I Termopara przy krawędzi panelu P1 w połowie termoizolacji  
F-B Termopara przy krawędzi panelu P1 na powierzchni blachy trapezowej
- Termoelementy grupy drugiej poza obrębem paneli fotowoltaicznych w połowie grubości termoizolacji
- I-I Termopara przy krawędzi panelu P3 w połowie termoizolacji  
II-I Termopara na styku paneli P2 i P3 w połowie termoizolacji  
III-I Termopara przy krawędzi panelu P2 w połowie termoizolacji  
IV-I Termopara przy krawędzi panelu P4 w połowie termoizolacji  
V-I Termopara na styku paneli P1 i P4 w połowie termoizolacji  
VI-I Termopara przy krawędzi panelu P1 w połowie termoizolacji

VII-I Termopara w połowie długości próbki 700 mm od krawędzi próbki od strony paneli P1 i P2 w połowie grubości termoizolacji

VIII-I Termopara w połowie długości próbki 700 mm od krawędzi próbki od strony paneli P3 i P4 w połowie grubości termoizolacji

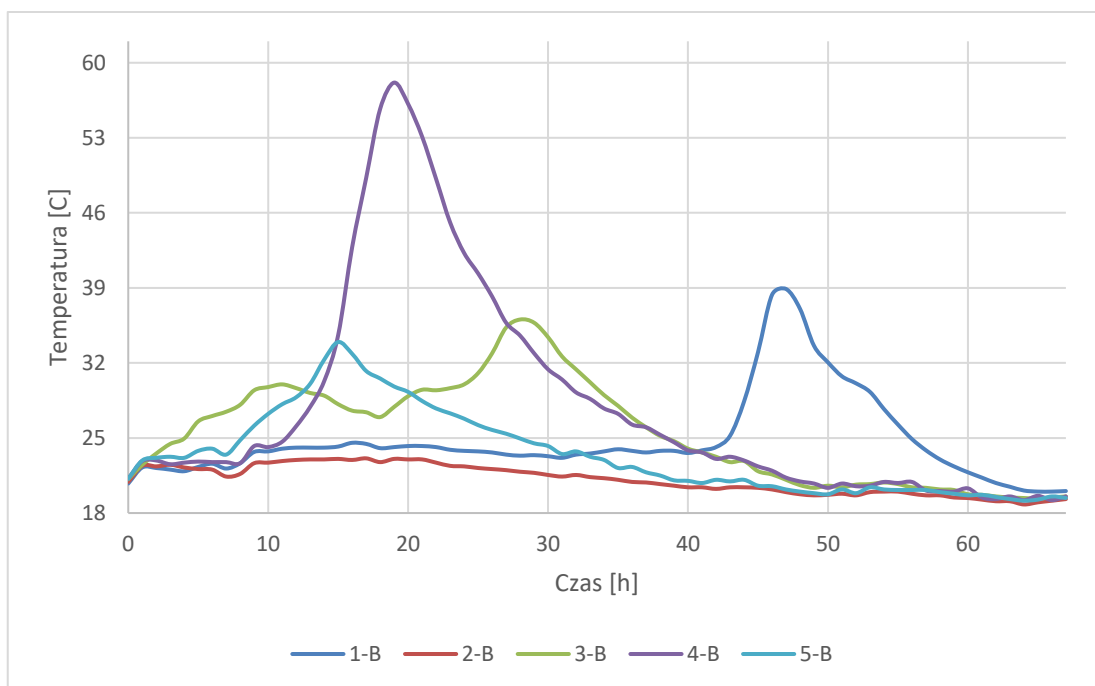
Przebiegi temperatur na poszczególnych termoelementach pokazano na poniższych wykresach.



Rys. 10 Przebieg temperatury w połowie grubości izolacji pod panelami fotowoltaicznymi – UKŁAD1

Tablica 7 Maksymalne wartości temperatur w całym okresie pomiaru

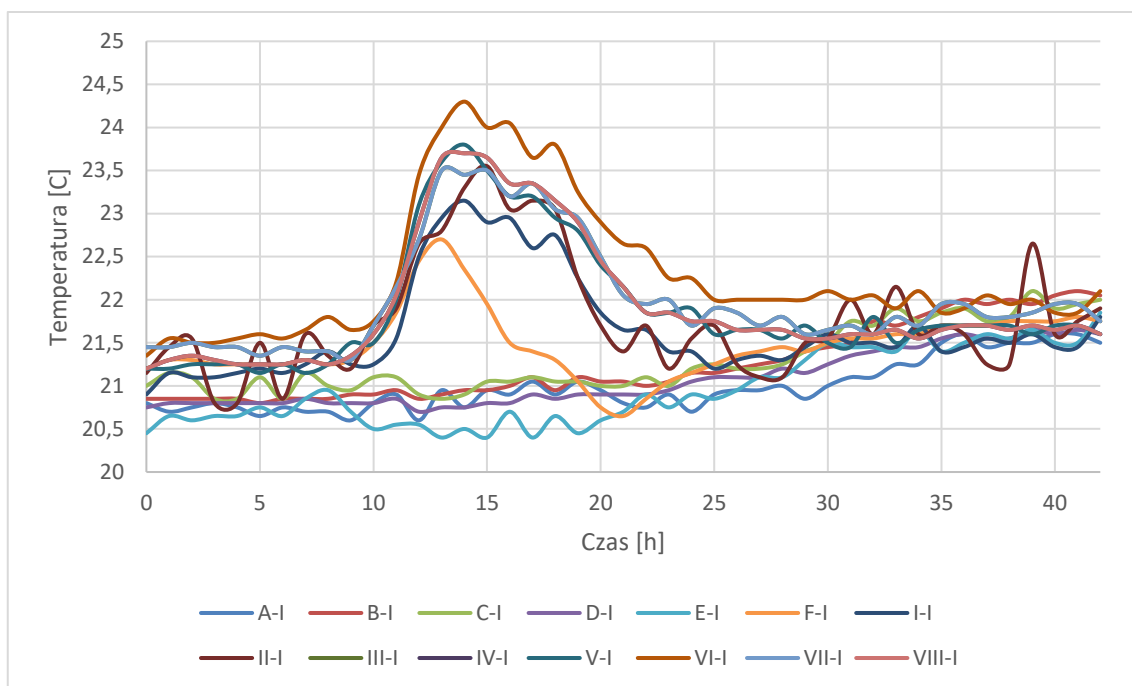
Oznaczenie termoelementu	Wartość maksymalna [°C]	Czas wystąpienia [hh:mm:ss]
1-I	574,68	21:19:42
2-I	41,2	03:21:29
3-I	413,35	02:32:39
4-I	646,19	17:41:17
5-I	457,1	10:45:58



Rys. 11 Przebieg temperatury na powierzchni blachy pod panelami fotowoltaicznymi – UKŁAD1

Tablica 8 Maksymalne wartości temperatur w całym okresie pomiaru

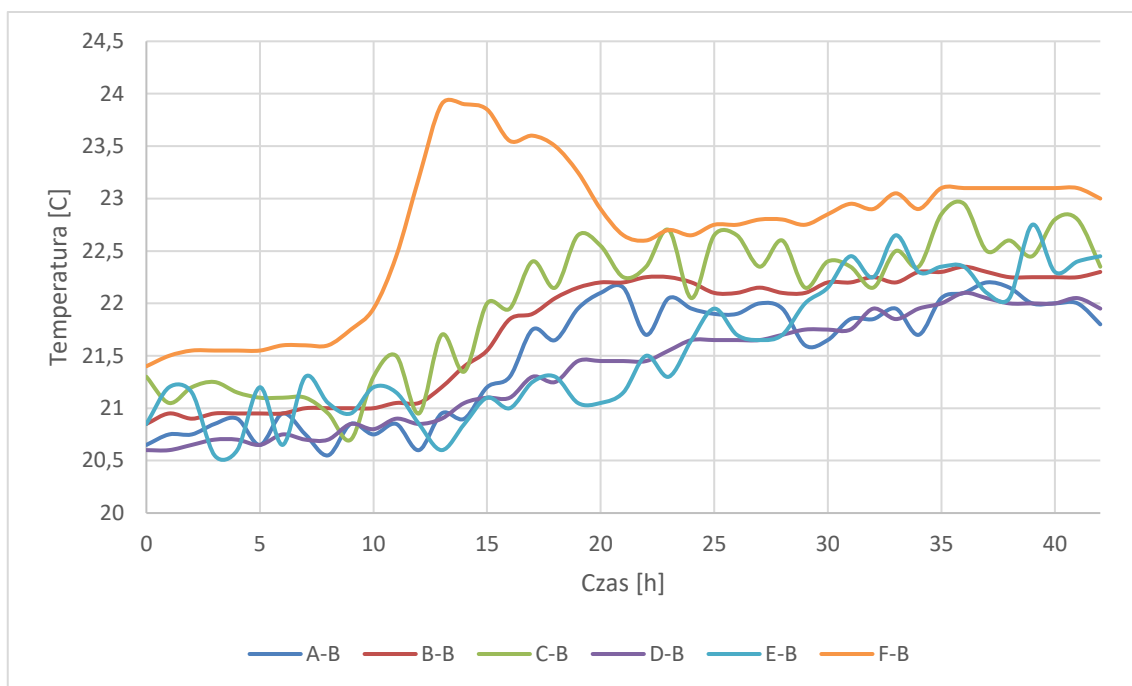
Oznaczenie termoelementu	Wartość maksymalna [°C]	Czas wystąpienia [hh:mm:ss]
1-B	39,45	22:22:18
2-B	23,35	00:17:40
3-B	36,35	04:09:00
4-B	58,7	19:08:19
5-B	34,25	14:57:43



Rys. 12 Przebieg temperatury w połowie grubości izolacji poza obszarem paneli fotowoltaicznych  
UKŁAD1

Tablica 9 Maksymalne wartości temperatur w całym okresie pomiaru

Oznaczenie termoelementu	Wartość maksymalna [°C]	Czas wystąpienia [hh:mm:ss]
A-I	23,2	04:07:07
B-I	25,05	04:03:03
C-I	23,7	04:07:20
D-I	23,0	03:43:16
E-I	23,4	04:08:41
F-I	23,1	04:21:49
I-I	23,3	00:13:45
II-I	25,75	06:34:45
III-I	23,65	00:13:11
IV-I	23,8	00:13:17
V-I	23,8	00:13:55
VI-I	24,5	00:13:45
VII-I	23,65	00:13:11
VIII-I	23,8	00:13:17

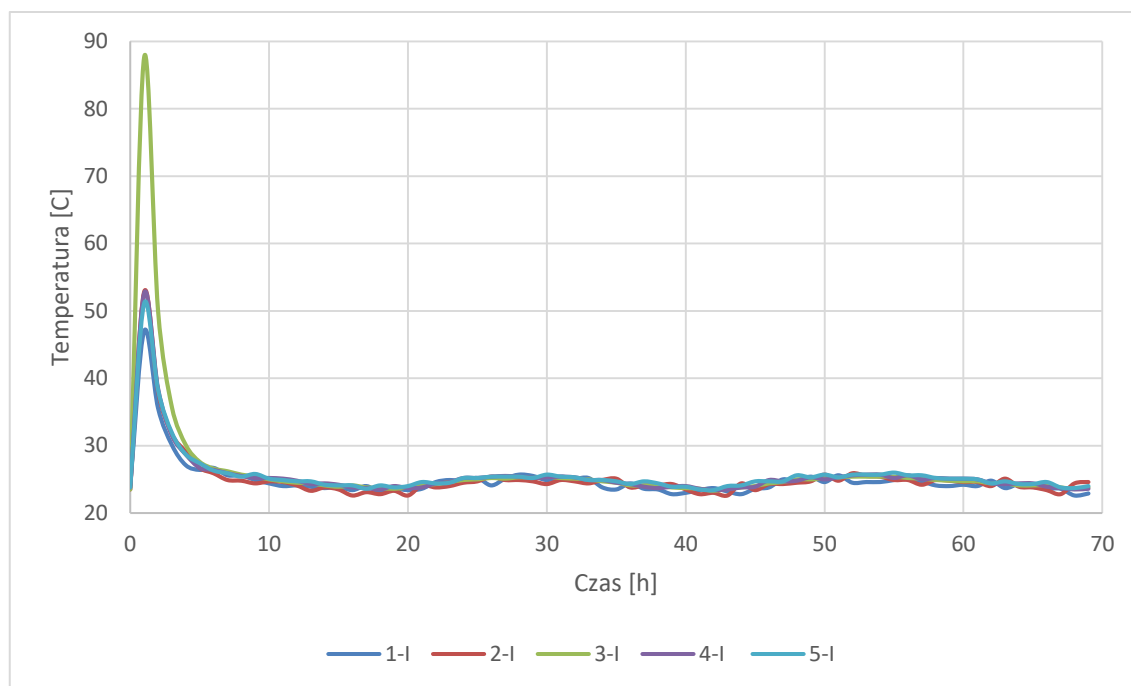


Rys. 13 Przebieg temperatury na powierzchni blachy trapezowej poza obszarem paneli fotowoltaicznych – UKŁAD1

Tablica 10 Maksymalne wartości temperatur w całym okresie pomiaru

Oznaczenie termoelementu	Wartość maksymalna [°C]	Czas wystąpienia [hh:mm:ss]
A-B	22,6	01:07:53
B-B	22,65	01:05:06
C-B	23,2	01:01:23
D-B	22,2	01:09:34
E-B	22,85	00:46:20
F-B	24,05	00:13:20

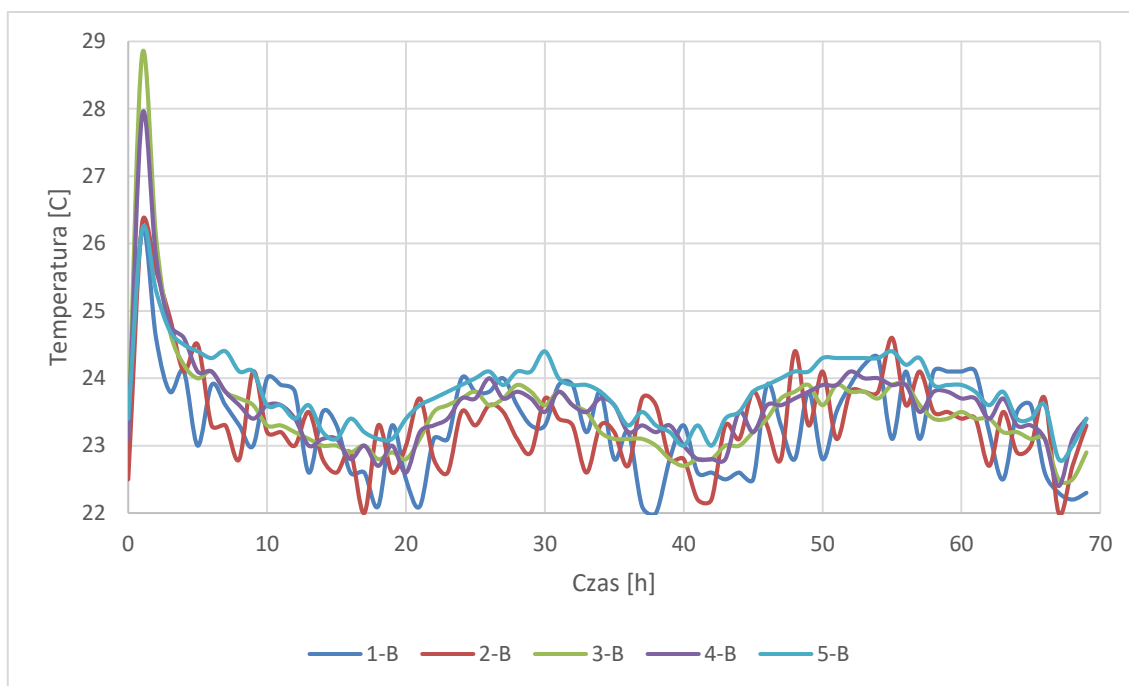




Rys. 14 Przebieg temperatury w połowie grubości izolacji pod panelami fotowoltaicznymi – UKŁAD2

Tablica 11 Maksymalne wartości temperatur w całym okresie pomiaru

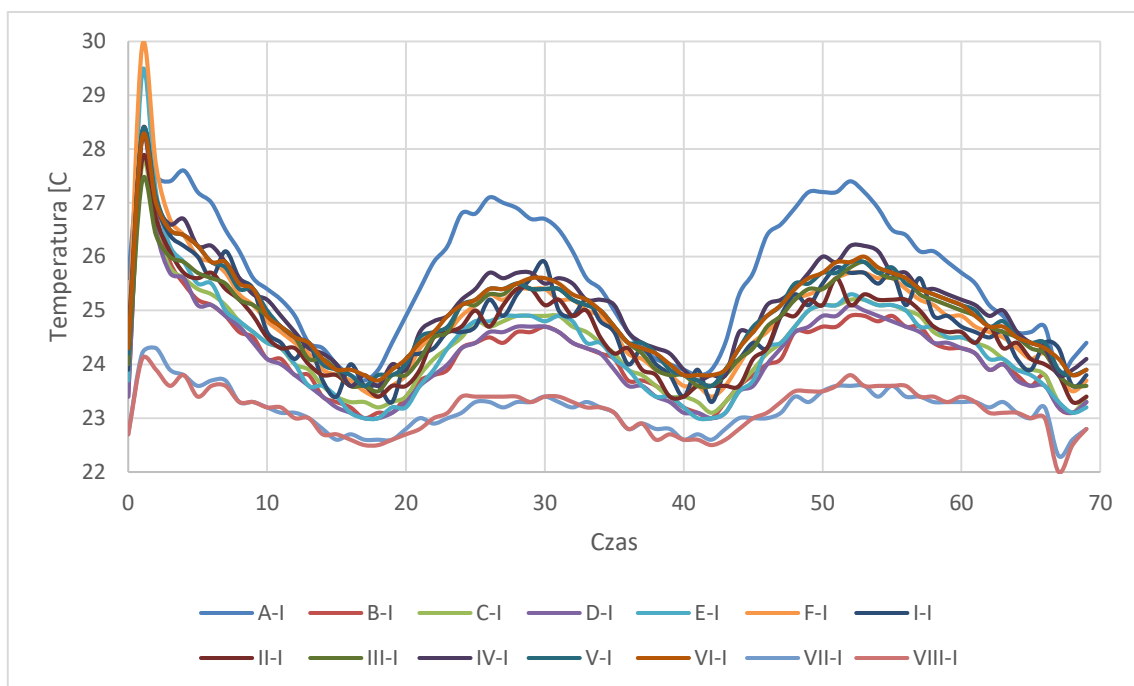
Oznaczenie termoelementu	Wartość maksymalna [°C]	Czas wystąpienia [hh:mm:ss]
1-I	65,8	00:54:55
2-I	67,5	01:01:15
3-I	126,4	01:13:51
4-I	70,9	00:59:03
5-I	67,6	01:00:17



Rys. 15 Przebieg temperatury na powierzchni blachy pod panelami fotowoltaicznymi – UKŁAD2

Tablica 12 Maksymalne wartości temperatur w całym okresie pomiaru

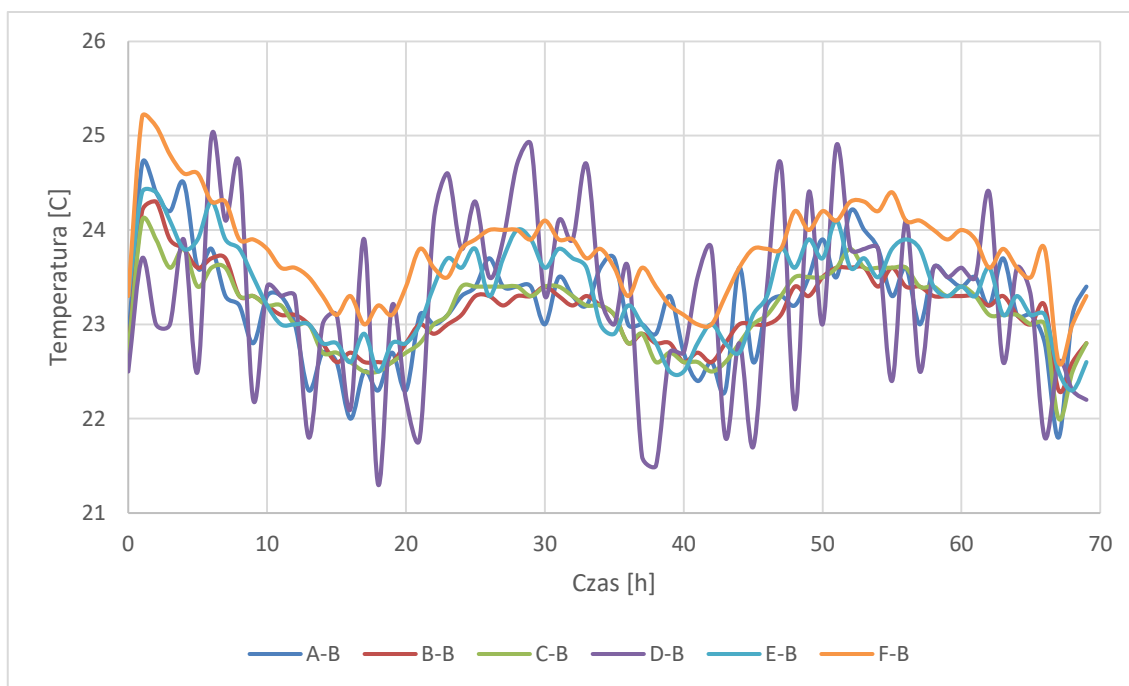
Oznaczenie termoelementu	Wartość maksymalna [°C]	Czas wystąpienia [hh:mm:ss]
1-B	28,7	01:16:31
2-B	27,5	01:13:30
3-B	30,3	01:30:19
4-B	29,5	01:17:54
5-B	27,5	01:17:10



Rys. 16 Przebieg temperatury w połowie grubości izolacji poza obszarem paneli fotowoltaicznych – UKŁAD2

Tablica 12 Maksymalne wartości temperatur w całym okresie pomiaru

Oznaczenie termoelementu	Wartość maksymalna [°C]	Czas wystąpienia [hh:mm:ss]
A-I	57,2	00:18:15
B-I	30,4	00:52:56
C-I	29,4	00:54:25
D-I	30,1	00:54:33
E-I	32,4	00:52:15
F-I	33,5	00:51:32
I-I	29,6	00:53:59
II-I	29,1	00:54:53
III-I	28,4	00:54:46
IV-I	29,4	00:52:02
V-I	29,8	00:53:02
VI-I	29,3	00:53:03
VII-I	25,7	00:47:46
VIII-I	25,4	00:48:35



Rys. 17 Przebieg temperatury na powierzchni blachy trapezowej poza obszarem paneli fotowoltaicznych – UKŁAD2

Tablica 13 Maksymalne wartości temperatur w całym okresie pomiaru

Oznaczenie termoelementu	Wartość maksymalna [°C]	Czas wystąpienia [s]
A-B	26,5	00:49:17
B-B	25,7	01:18:15
C-B	25,4	00:48:35
D-B	26,3	01:15:18
E-B	26,1	01:14:46
F-B	26,5	01:12:27

## 6 Wnioski i podsumowanie

Wyniki wykonanych badań pokazują, że zachowanie ogniowe obu badanych układów było bardzo podobne i oba układy można ocenić jako nierozprzestrzeniające ognia. Nie zaobserwowano wpływu rodzaju zastosowanej termoizolacji na zasięg i szybkość rozprzestrzeniania się ognia na systemach dachowych. Ogień, którego źródłem był palnik gazowy przyłożony pod panelem fotowoltaicznym rozprzestrzenił się niewiele poza instalację paneli fotowoltaicznych. Chcąc odnieść wartość zasięgu zniszczeń do kryteriów podanych w normie PN-EN 13501-5 dla metody 1 wynik jednoznacznie wskazuje na klasę B<sub>ROOF</sub>(t1) dla obu badanych układów. Analizując odrębnie zainstalowane na obu badanych układach dachowych panele fotowoltaiczne można powiedzieć, że mogą być one uznane za element rozprzestrzeniający ogień. Pod wpływem działania źródła ognia umieszczonego pod jednym z paneli fotowoltaicznych płomień rozprzestrzeniły się na pozostałe panele, co potwierdza tezę o konieczności uwzględniania w ocenie dachu w zakresie rozprzestrzeniania ognia instalacji z paneli

fotowoltaicznych. W obu badanych układach pomimo silnego oddziaływania ognia pochodzącego z palnika gazowego (w ciągu pierwszych 10 minut badania) i całkowitego spalania się paneli fotowoltaicznych, przekrycie dachu czyli termoizolacja (odpowiednio wełna mineralna i płyty PIR), a także warstwa wodochronna nie wpłynęły na zasięg i szybkość rozprzestrzeniania się płomieni po powierzchni dachu. Dotyczy to zarówno obszaru pod panelami fotowoltaicznymi jak i poza ich obrębem. Podczas obu badań obserwuje się rozprzestrzenianie płomieni w kierunku P poza obręb paneli fotowoltaicznych. Jest to spowodowane działaniem systemu wyciągowego hali laboratoryjnej.

W obu przypadkach płomienie na powierzchni dachu uległy samoistnemu zgaśnięciu w ciągu niecałej godziny licząc od momentu rozpoczęcia badania. Chcąc ocenić dach pod kątem rozprzestrzeniania ognia można było uznać po upływie 60 minut badanie za zakończone. Jednak ze względu na dalszą analizę zniszczeń i ewentualnej degradacji układów dachowych wewnątrz oraz ze względu na pomiary temperatur wewnątrz układów badania toczyły się do momentu aż temperatura mierzona przez poszczególne termopary osiągnie temperaturę otoczenia dlatego badania prowadzono dalej po wygaśnięciu płomieni.

W przypadku UKŁADU 2 badanie finalnie zakończono po upływie 3 dni. W tym czasie wszystkie mierzone temperatury spadły do temperatury otoczenia. W obszarze pod panelami fotowoltaicznymi w połowie grubości termoizolacji temperatura spadła do wartości temperatury otoczenia już po prawie 7 godzinach badania i utrzymała się na tym poziomie do zakończenia rejestracji temperatury, natomiast temperatura na powierzchni blachy z początkiem badania osiągnęła wartość około 30 stopni co było wynikiem przepływu ciepłego powietrza w profilowaniu blachy, aby następnie do końca rejestracji temperatury utrzymywać się na poziomie 22-24 stopni co odpowiadało temperaturze otoczenia. Pozostałe termopary zlokalizowane poza obszarem paneli fotowoltaicznych przez cały czas trwania badania były na poziomie poniżej 30 stopni i w zasadzie utrzymywały się na poziomie temperatury otoczenia. Kilku stopniowe wahania są wynikiem spadku i wzrostu temperatury związanych z porami dnia. Maksymalna głębokość oddziaływania płomienia (do wewnątrz próbki) wyniosła ok. 40 mm

W przypadku UKŁADU 1 badanie finalnie zakończono także po upływie 3 dni. W tym czasie wszystkie mierzone temperatury spadły do temperatury otoczenia. Początkowo mierzone temperatury były na takim poziomie jak w przypadku UKŁADU 2 ale po zgaśnięciu płomieni niektóre z termopar umieszczonych w termoizolacji notowały wzrosty nawet do wartości przekraczających 600 stopni (maksymalna 646,197 st.), zaś na powierzchni blachy zanotowano również wzrost tych wartości do poziomu blisko 60 stopni (maksymalnie 58,7 st.). Poza obszarem paneli fotowoltaicznych temperatury nie przekroczyły temperatury otoczenia podobnie jak w przypadku UKŁADU 2. Maksymalna głębokość oddziaływania (do wewnątrz próbki) wyniosła ok. 170 mm. Wysokie wartości temperatury mierzone w obszarze pod panelami fotowoltaicznymi mogą świadczyć o procesie tlenia przebiegającym wewnątrz termoizolacji UKŁADU 1. Świadczą o tym również zniszczenia w materiale termoizolacji w tym miejscu. Wzrost temperatury na powierzchni blachy trapezowej w przypadku UKŁADU 1 może świadczyć o przepływie gorących gazów w trakcie badania w profilowaniu blachy niemniej jednak należy zwrócić uwagę iż wzrosty te są obserwowane już po wygaśnięciu płomieni mniej więcej w połowie całego czasu rejestracji temperatur. Potwierdza to, iż proces tlenia sięgnął dolnej warstwy termoizolacji i na skutek promieniowania podniósł temperaturę wskazywaną przez termopary umieszczone na blasze trapezowej. Proces tlenia nie osiągnął dolnej powierzchni termoizolacji (stykającej się z folią paroizolacyjną) o czym świadczy nie zniszczona warstwa folii paroizolacyjnej.

Otrzymane wyniki badań potwierdzają, iż instalacje fotowoltaiczne mogą być przyczyną rozwijania się pożaru i jego rozprzestrzeniania po powierzchni dachu niezależnie od rodzaju termoizolacji. Dlatego istotne jest, aby tego typu instalacje były montowane na dachach sklasyfikowanych w klasie B<sub>ROOF(t1)</sub>.

Opracował:

dr inż. Bartłomiej K. Papis

**Warszawa, 07.02.2025**