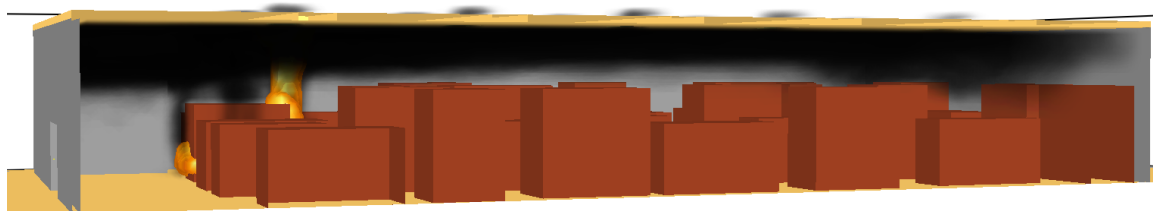




Oddymianie hal wielkopowierzchniowych w przemyśle i energetyce



dr hab. inż. Dorota Brzezińska, prof. PŁ
Oddział Stołeczny SITP

d.brzezinska@grid-lodz.pl

tel. +48 603 637 633

Uregulowania normowe ws ochrony przeciwpożarowej hal PM

Normy:

**PN-B-02877-4, NFPA 204, NFPA 13,
PN-EN 1990 (eurokody)**

Bezpieczeństwo pożarowe

BEZPIECZEŃSTWO POŻAROWE oznacza, że w budynkach w razie pożaru:

- a) nośność konstrukcji będzie zachowana przez określony czas (*czas określony w rozporządzeniu [WT]*),
- b) powstawanie i rozprzestrzenianie się ognia i dymu w budynku będzie ograniczone,
- c) rozprzestrzenianie się ognia na sąsiednie obiekty będzie ograniczone,
- d) osoby znajdujące się wewnątrz będą mogły opuścić budynek lub być uratowane w inny sposób,
- e) uwzględnione jest **bezpieczeństwo ekip ratowniczych**.

Obiekty PM w Przepisach

W jednokondygnacyjnych halach przemysłowych WT dopuszczają klasę „E” odporności pożarowej, w której nie ma żadnych wymagań dla nośności ogniowej konstrukcji ale czas jej zachowania powinien być „określony”.

Przepisy techniczno-budowlane nie wymagają takiego zabezpieczenia budynku, aby w razie pożaru jego uratowanie było gwarantowane, musi być jednak zapewniona możliwość ewakuacji ludzi i być uwzględnione bezpieczeństwo ekip ratowniczych.

Wielkość pożaru

Najważniejszym parametrem mającym wpływ na skutki pożaru jest jego **szybkość rozwoju i moc całkowita**



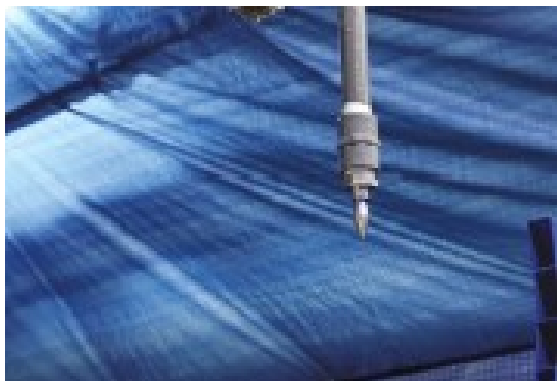
Ograniczenie rozwoju pożaru i minimalizacja jego skutków

1. Samoczynne urządzenia gaśnicze wodne
2. Szybkość wykrycia pożaru
3. Oddymianie
4. Działania gaśnicze służb PSP (OSP)



Samoczynne urządzenia gaśnicze wodne

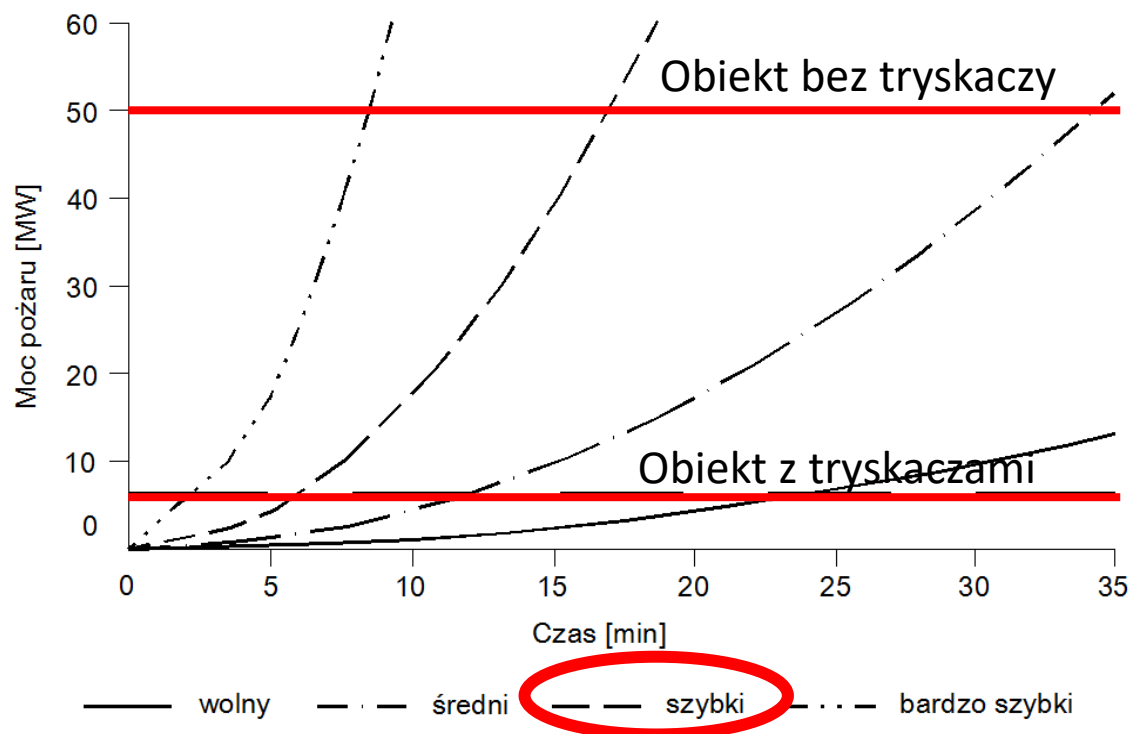
Skutecznie ograniczają rozwój pożaru, rzadko jednak ich zastosowanie jest wymagane przez przepisy, jednak coraz częściej jest wymagane przez ubezpieczycieli



Szybkość rozwoju pożaru

$$Q = \alpha t^2$$

Q – moc pożaru [kW],
α – współczynnik wzrostu pożaru [kW/s²],
t – czas [s].



BS 9999:2018

- bardzo szybki – z udziałem cieczy palnych i spienionych tworzyw sztucznych,
- **szybki – z udziałem tworzyw sztucznych i tkanin,**
- średni – palety drewniane i pudła z kartonu.

Temperatura ponad źródłem pożaru

Wysokość hali [m]	Temp. zadziałania tryskaczy [°]	Pożar szybki $\alpha = 0,047$ [kW/s ²]				
		Rozstaw tryskaczy 3 m x 3 m			BRAK TRYSKACZY	
		RTI=50			Moc pożaru [kW]	ΔT_o przyrost temperatury [K]
		Czas zadziałania tryskaczy [min]	Moc pożaru [kW]	ΔT_o przyrost temperatury [K]		
8	74	3.76	2393	156	50000	720
	101	4.66	3659	207		
	141	5.86	5800	281		
10	74	4.49	3401	130	50000	560
	101	5.60	5299	174		
	141	7.11	8528	239		
12	74	5.24	4628	114	50000	458
	101	6.58	7312	154		
	141	8.40	11901	214		

Temperatura graniczna

Graniczna temperatura dymu pod stropem

- > **550°C** – groźba rozgorzenia [BS 7346-4:2003],
- > **350°C** – krytyczna dla nośności konstrukcji stalowej, dla której nie wykazano, że będzie to inna wartość [Eurokod 3],
- > **200°C** – krytyczna dla ewakuacji,
- > **170°C** – przyjmowana w przypadku stosowania tryskaczy (optymalna ochrona mienia w hali).

Ograniczenie rozwoju pożaru przez jednostki ratownicze

Przerwanie rozwoju pożaru = **0,38 l wody/s na 1 MW**

Jeden samochód ratowniczo-gaśniczy = **20 l wody/s**
(3 prądy wody, z prądownic 75 z dyszą 18 mm)



Możliwe ograniczenie rozwoju pożaru na poziomie pożaru lokalnego
(max 50 MW)

Jeden hydrant 33, o $P=0,6$ MPa = **2,5 l wody/s**



Możliwe ograniczenie rozwoju pożaru na poziomie pożaru lokalnego
(max 6,5 MW)

Czas rozwoju pożaru do mocy granicznych

Rozwój pożaru do mocy 6,5 MW

Pożar bardzo szybki – do **3 min** (ciecze palne, spienione tworzywa sztuczne)

Pożar szybki– do **6 min**, (tworzywa sztuczne, tkaniny)

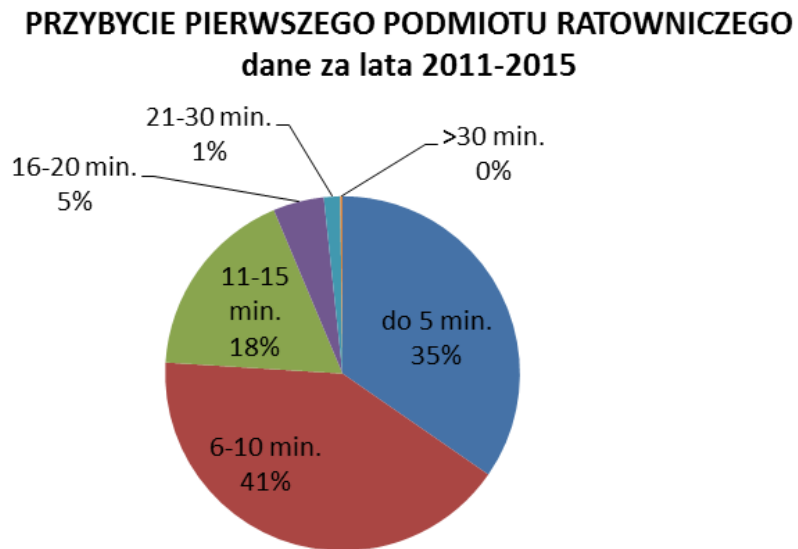
Pożar średni– do **12 min** (palety drewniane, kartony) (BS 9999:2018)

Rozwój pożaru do mocy 50 MW

Pożar bardzo szybki – do **8,5 min**

Pożar szybki– do **17 min**,

Pożar średni– do **34 min**



Systemy detekcji dymu

Skracają czas wykrycia pożaru, ich zastosowanie jest wymagane przez przepisy w przypadku zastosowania samoczynnych urządzeń oddymiających

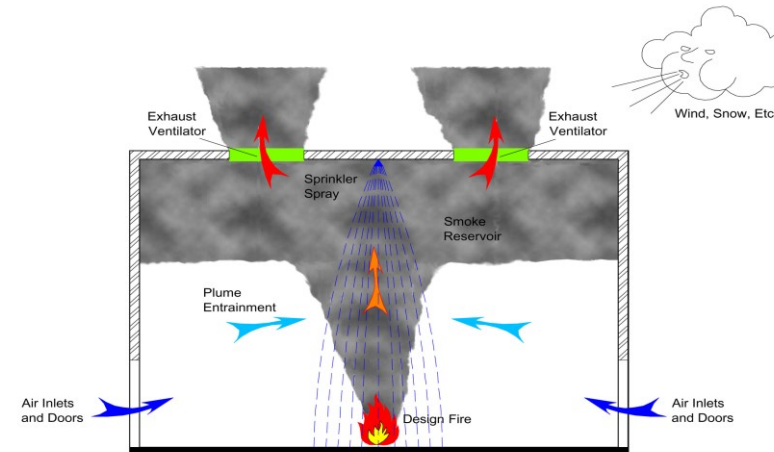
Detekcja dymu może być zastępowana przez system alarmowania powiązany z instalacją oddymiającą lub tryskaczową.



Oddymianie

Wentylacja oddymiająca jest wymagana do

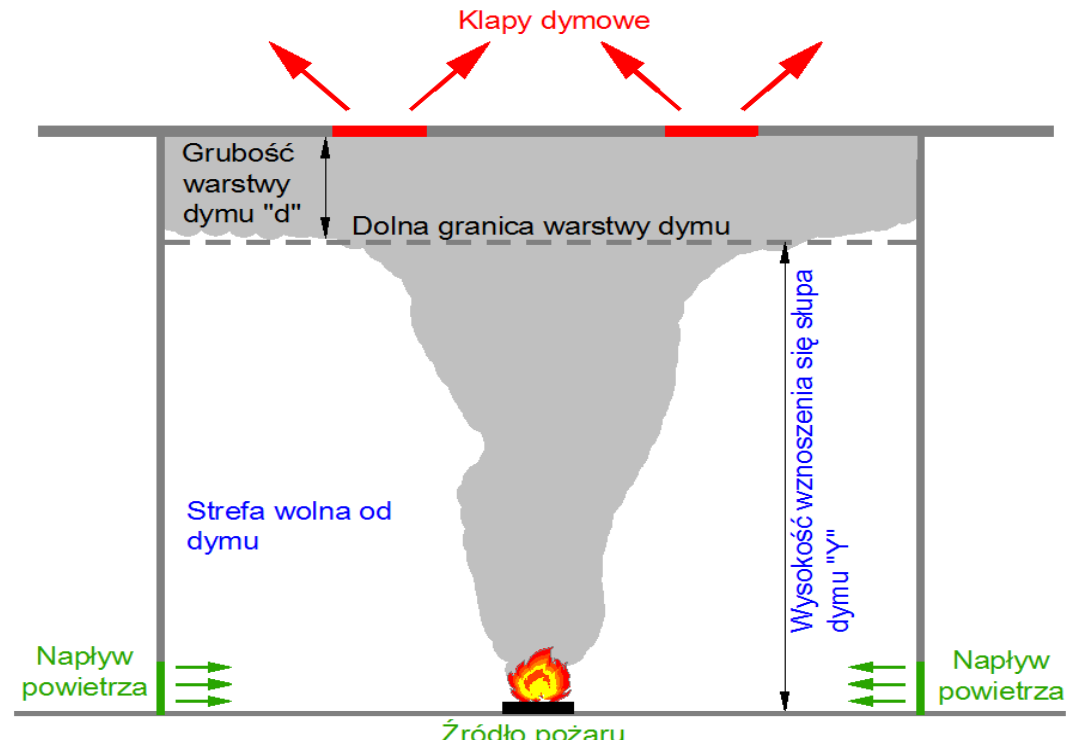
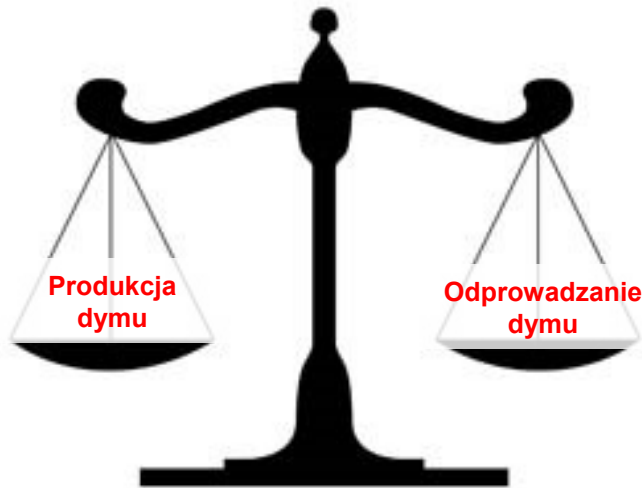
- **Zapewnienia odpowiednich warunków ewakuacji ludzi** [§270 WT],
- Obniżenia temperatury warstwy dymu i przedłużenia czasu do zawalenia się konstrukcji,
- Ograniczenia rozwoju pożaru,
- Wspomaganie działań gaśniczych.



Ilość dymu powstająca w czasie pożaru

Podstawowe zależności

- ⇒ Im większa wysokość dolnej granicy warstwy dymu (Y)
- ⇒ Tym niższa temperatura dymu
- ⇒ Tym większa ilość dymu
- ⇒ Tym większa powierzchnia klap dymowych



Wentylacja oddymiająca w magazynach

NFPA 204



Wysokość płomieni – NFPA 204

$$L = -1,02D + 0,235Q^{\frac{2}{5}} [m]$$

$$D = (4Q / \pi Q'')^{\frac{1}{2}} [m]$$

L - Wysokość płomienia ponad podstawą pożaru (m)

D - Podstawowa średnica pożaru (m)

Q - Całkowita moc pożaru (kW)

Q'' - Gęstość mocy pożaru (kW/m²)

Wirtualne źródło pożaru – NFPA 204

$$z_o = 0,083Q^{\frac{2}{5}} - 1,02D$$

D - Podstawowa średnica pożaru (m)

Q - Całkowita moc pożaru (kW)

Obliczenie ilości dymu wpływającego do warstwy dymu – NFPA 204

$$L < z_s :$$

$$m_p = [0,071Q_c^{\frac{1}{3}} (z_s - z_o)^{\frac{5}{3}}] [1 + 0.027Q_c^{\frac{2}{3}} (z_s - z_o)^{-\frac{5}{3}}]$$

$$L \geq z_s :$$

$$m_p = 0,0056Q_c z_s / L$$

m_p - Masowy przepływ dymu w warstwie dymu (kg/s)

Q_c - Konwekcyjna część mocy pożaru = 0.7 Q (kW)

z_s - Wysokość warstwy dymu ponad podstawą pożaru (m)

z_o - Wysokość wirtualnego źródła pożaru (m)

Obliczenie temperatury warstwy dymu

NFPA 204

$$T = T_o + KQ_c / c_p m_p$$

T_o - Temperatura otoczenia (K)

T - Temperatura warstwy dymu (K)

K - Część konwekcyjnej mocy pożaru przekazanej do warstwy dymu = 0,5

Q_c - Konwekcyjna część mocy pożaru (kW)

c_p - Ciepło właściwe warstwy dymu (kJ/kg-K)

m_p - Masowy przepływ dymu w warstwie dymu (kg/s)

Obliczenie ilości dymu – NFPA 204

$$m_v = \frac{C_{d,v} A_v}{\sqrt{1 + \frac{C_{d,v}^2 A_v^2}{C_{d,i}^2 A_i^2} \left(\frac{T_o}{T}\right)}} \sqrt{(2\rho_o^2 g d)} \cdot \sqrt{\frac{T_o(T - T_o)}{T^2}}$$

m_v - Masowy przepływ dymu przez otwory oddymiające (kg/s)

$C_{d,v}$ - Współczynnik odprowadzania dymu = 0,6

$C_{d,i}$ - Współczynnik doprowadzenia powietrza do otworów dolotowych = 0,6

A_v - Powierzchnia klap dymowych (m²)

A_i - Powierzchnia otworów dolotowych (m²)

T_o - Temperatura otoczenia (K)

T - Temperatura warstwy dymu (K)

ρ - Gęstość powietrza (kg/m³)

g - Współczynniki przyciągania ziemskiego (9.81 m/s²)

d - Głębokość warstwy dymu (m)

Wentylacja oddymiająca w magazynach

Tradycyjne podejście polskie

PN-B-02877-4



POLSKA NORMA

PN-B-02877-4

kwiecień 2001

Ochrona przeciwpożarowa budynków

**Instalacje grawitacyjne
do odprowadzania dymu i ciepła**

Zasady projektowania

Fire protection in buildings – Natural smoke and heat exhaust systems – Principles of design

Hologram
PKN

© Żadna część niniejszej normy nie może być przedrukowywana ani kopiowana
jakąkolwiek techniką bez pisemnej zgody Prezesa Polskiego Komitetu Normalizacyjnego

Powierzchnia czynna klap

$$A_v C_v = 3\% \times A$$

A_v - powierzchnia geometryczna [m²],

C_v - współczynnik przepływu ~ 0,6

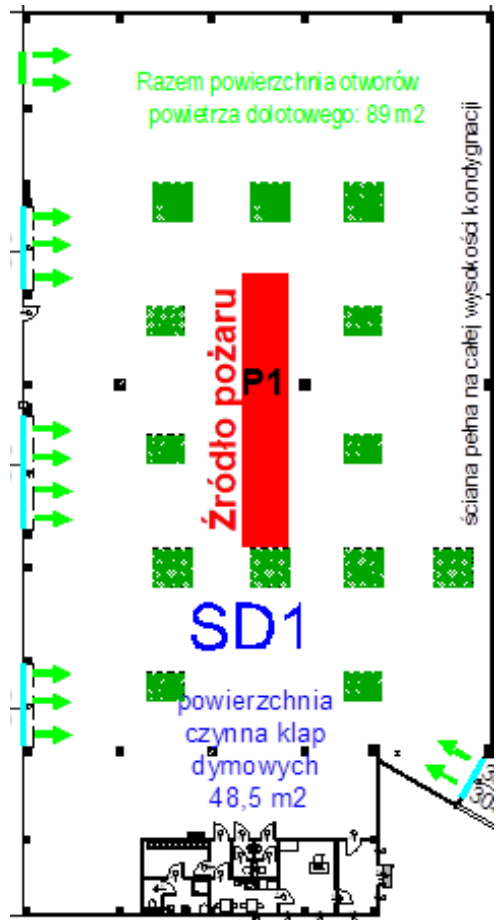
A - powierzchnia budynku [m²].

Przykład projektowy

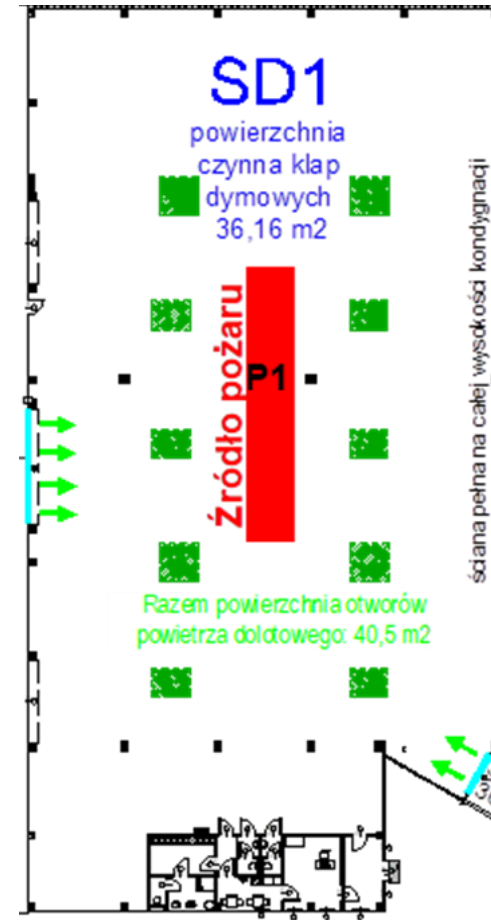
Hala PM o powierzchni $\sim 1600 \text{ m}^2$

$H \sim 12 \text{ m}$, $h_{\text{skł}} = 9 \text{ m}$

Oddymianie wg PN-B-02877-4



Oddymianie wg NFPA 204

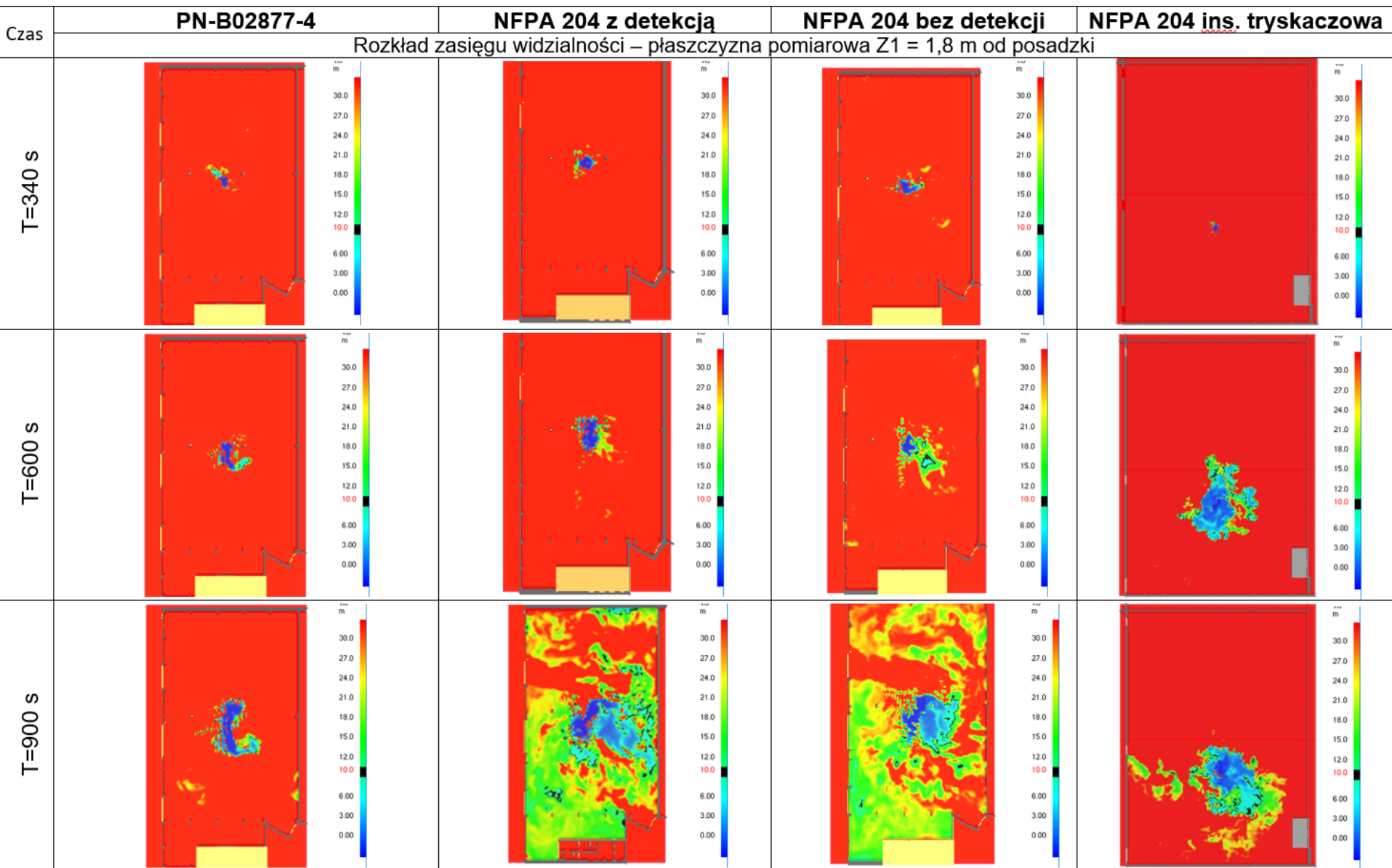


Scenariusze pożaru – wielkość pożaru

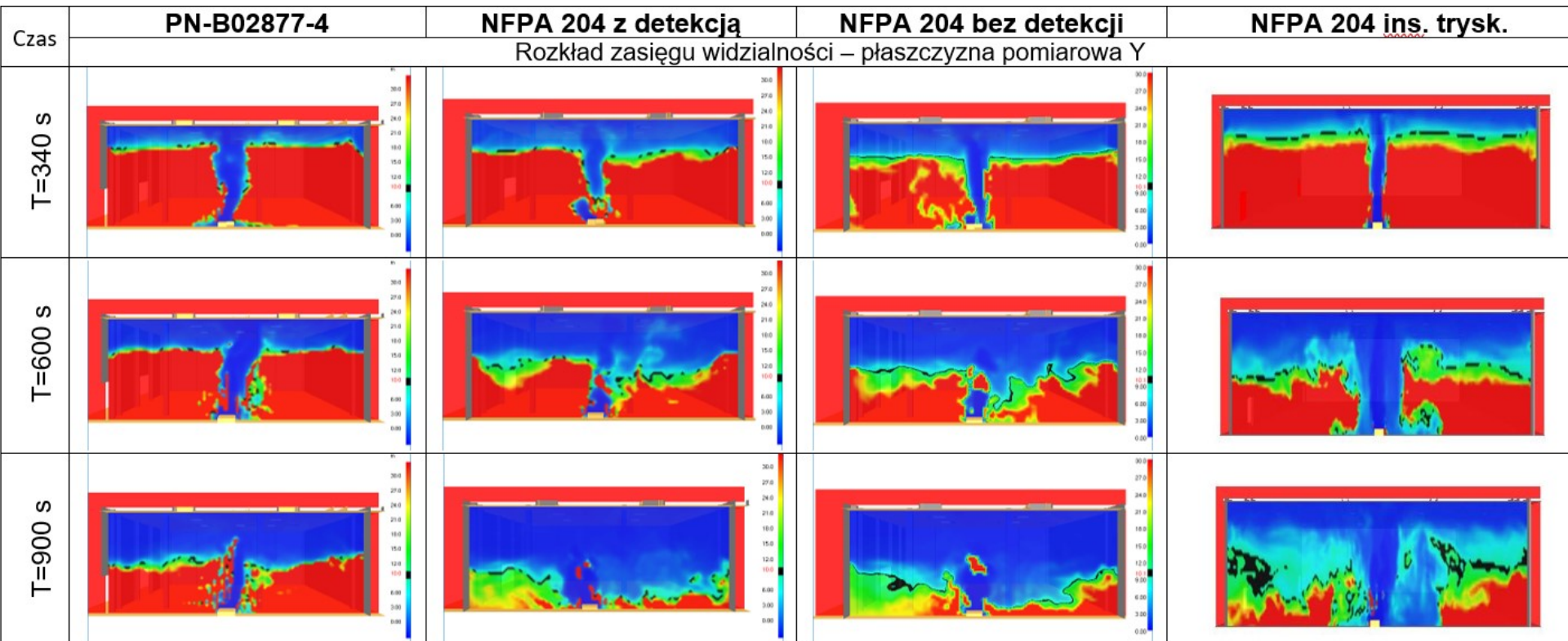


$Q = \alpha t^2$, fast fire, $\alpha = 0.047$ [kW/s²], $t = 900$ s

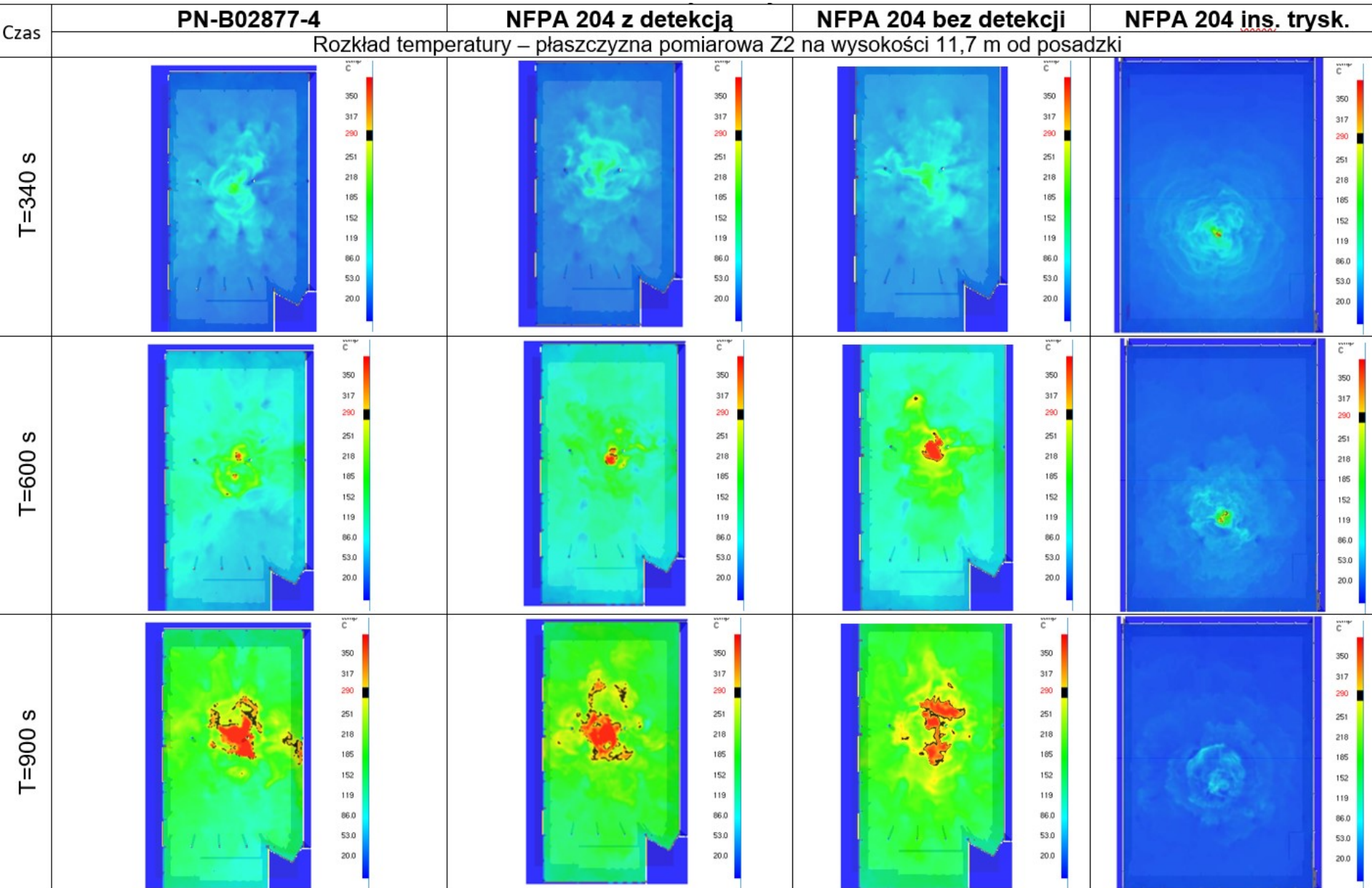
Zasięg widzialności na wysokości 1,8 m od posadzki



Wysokość warstwy dymu



Temperatura pod dachem hali

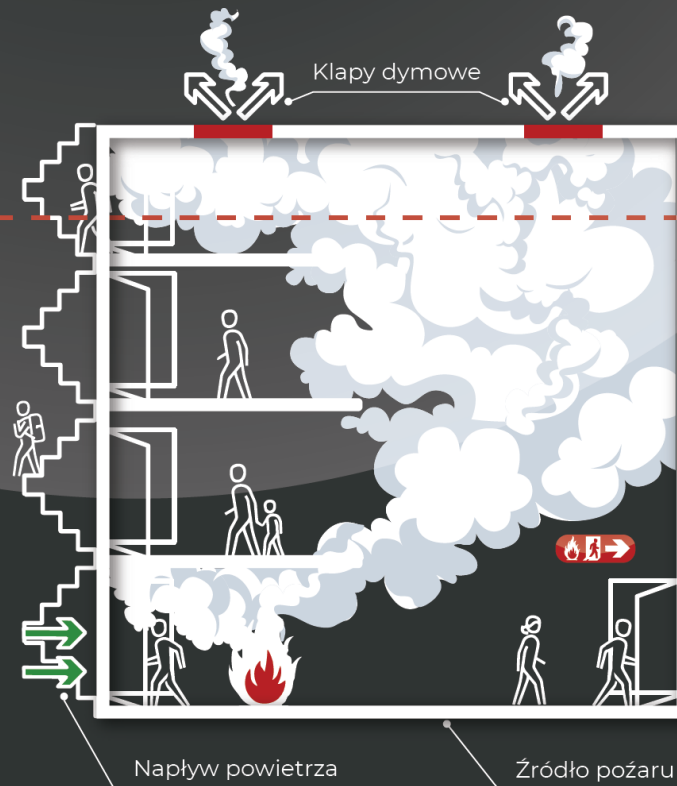
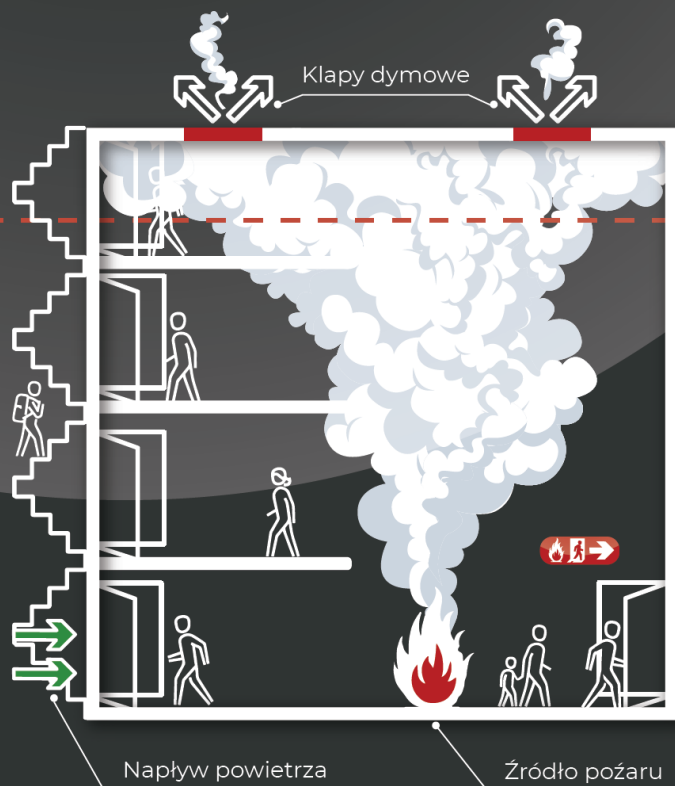


Przykład projektowy - Wnioski

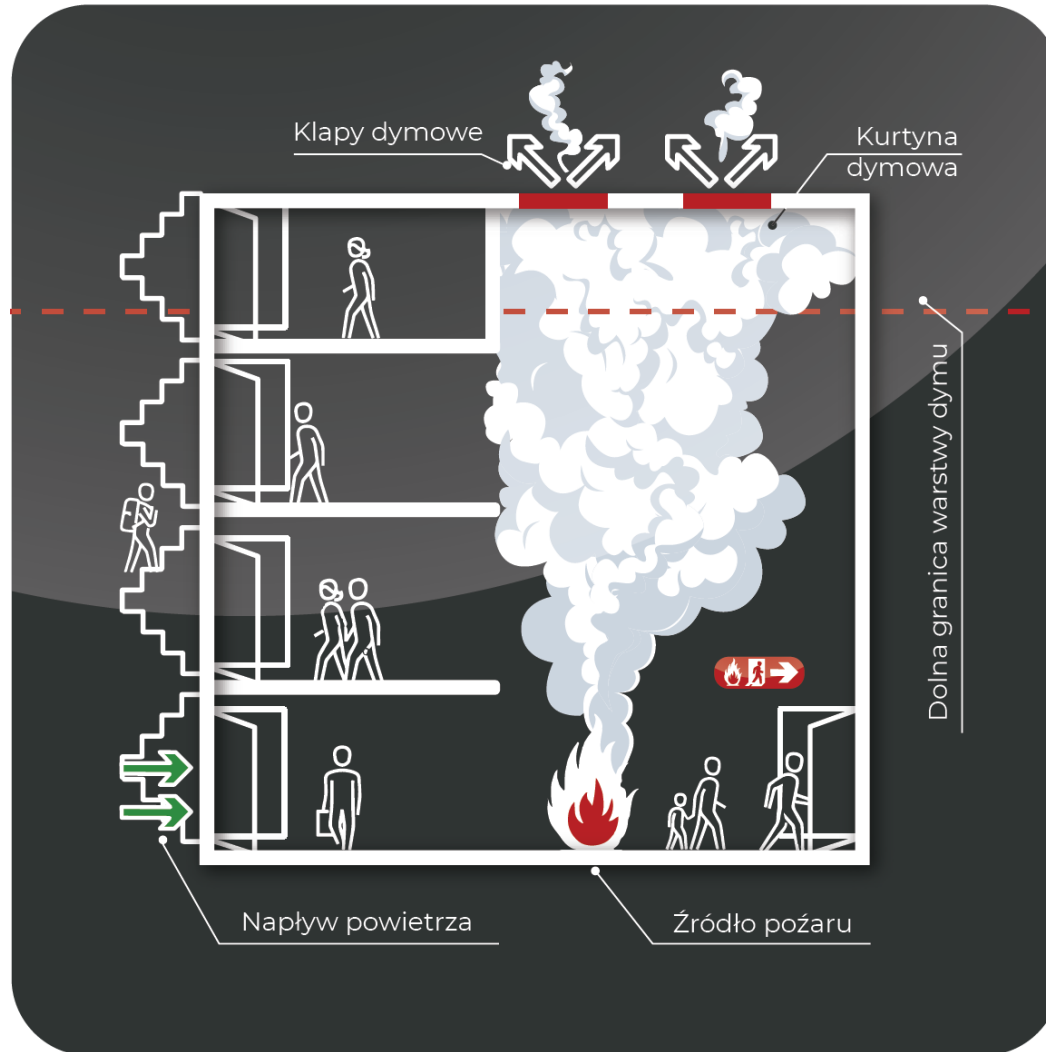
1. zarówno system zgodny z PN jak i z NFPA (bez względu na SSP) bez instalacji tryskaczowej nie zapewnia ochrony konstrukcji hali wykonanej w klasie E, gdyż, we wszystkich przypadkach temperatura graniczna pod stropem (350°C), ponad źródłem pożaru przekroczona zostaje już po około 10 min. od rozpoczęcia pożaru.
2. system zgodny z PN zapewnia utrzymanie warstwy dymu na wysokości ~ 6 m od posadzki przez cały czas trwania analizy, tj. 15 min od rozpoczęcia pożaru, kiedy przewidywane jest rozpoczęcie działań gaśniczych, natomiast system zgodny z NFPA, bez względu na zastosowanie SSP zapewnia utrzymanie warstwy dymu na wysokości $>1,8$ m od posadzki, co jest wystarczające dla celów ewakuacji i ewentualnego podjęcia próby działań gaśniczych, które jednak i tak najprawdopodobniej nie będą prowadzone ze względu na zagrożenie bezpieczeństwa konstrukcji hali.
3. Zastosowanie instalacji tryskaczowej zapewnia ochronę mienia i konstrukcji budynku.

Wnioski: nawet 35% większa powierzchnia klap dymowych i otworów napowietrzających, jaka wynika z wymagań normy PN w stosunku do normy NFPA nie ma pozytywnego wpływu, ani na warunki ewakuacji z hali w pierwszych minutach od rozpoczęcia pożaru, ani na bezpieczeństwo jej konstrukcji w późniejszej fazie pożaru.

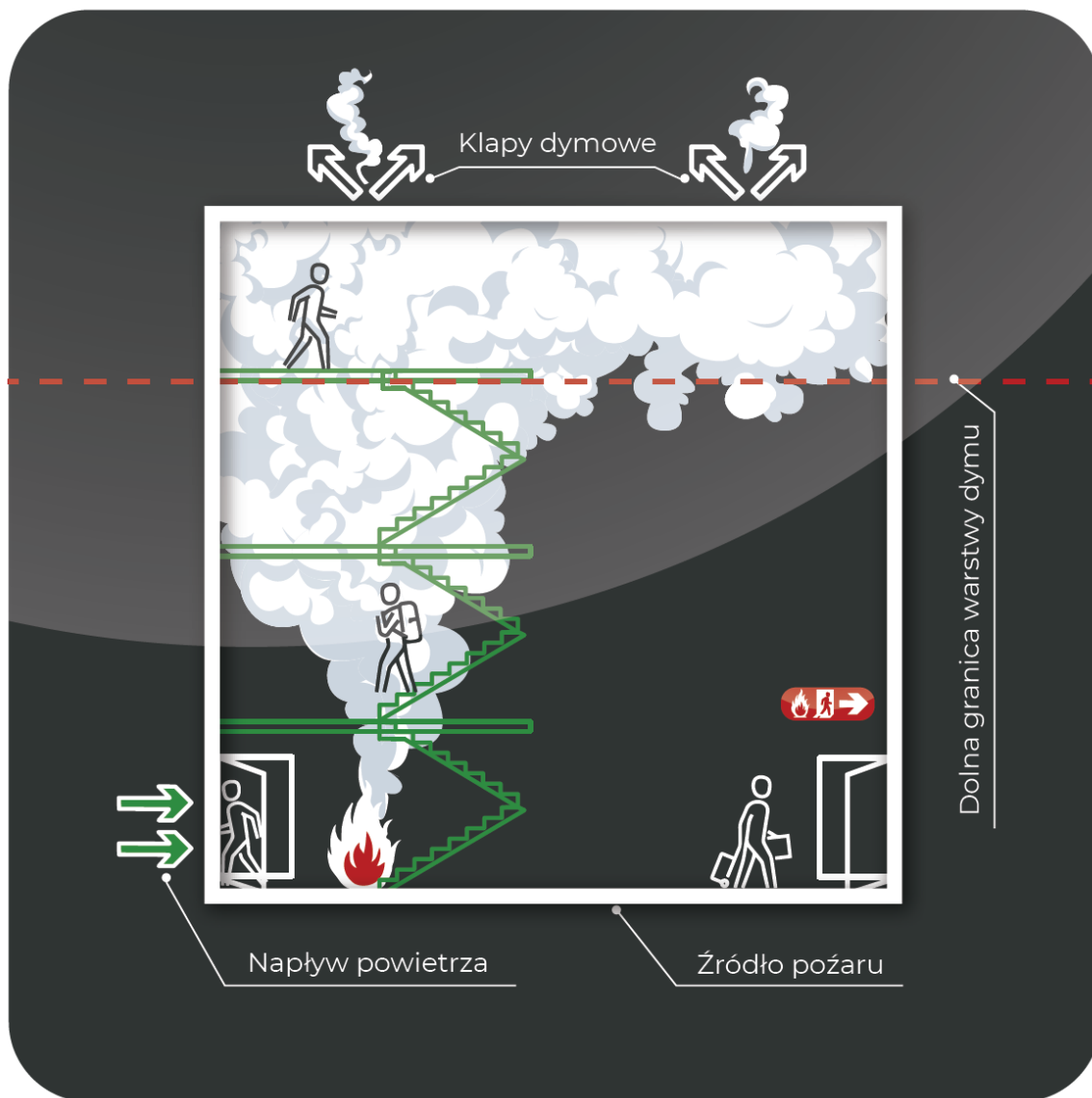
Problem antresol w halach magazynowych



Problem antresol w halach magazynowych - zastosowanie kurtyn

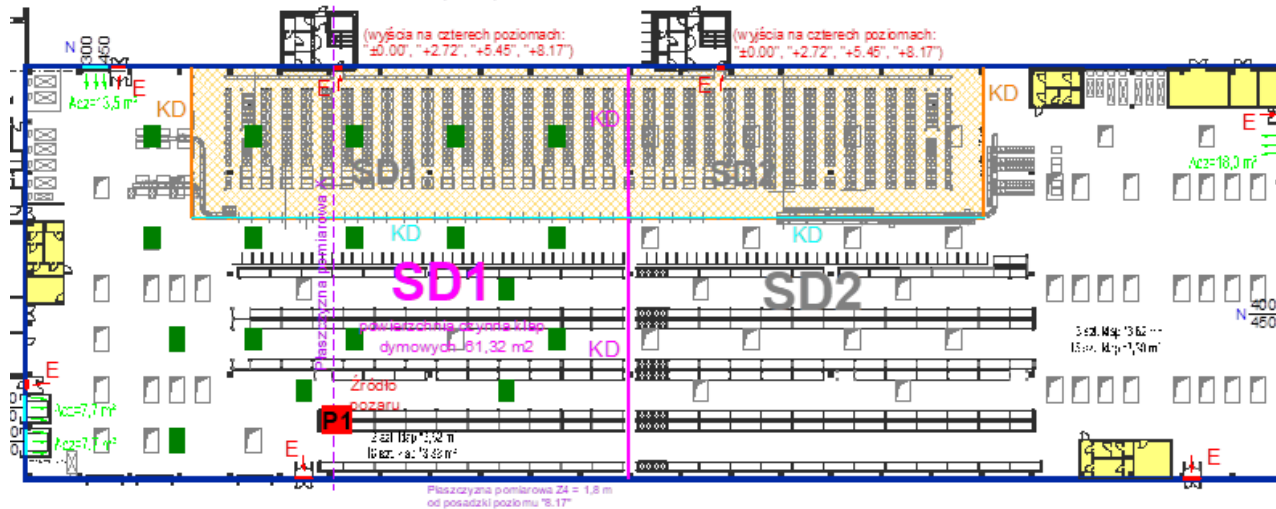
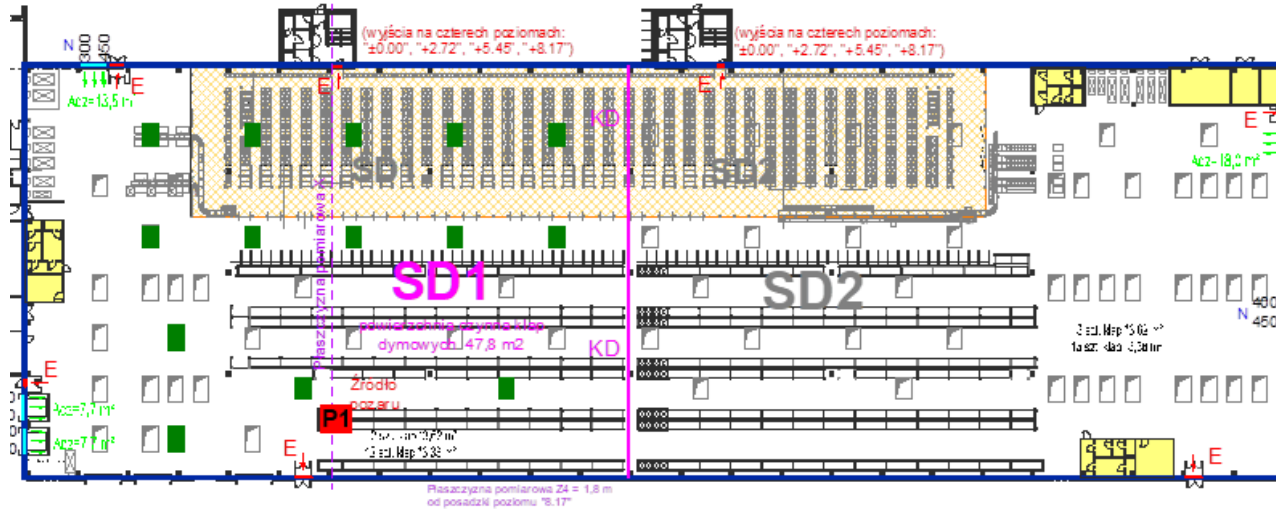


Antresole ażurowe w halach magazynowych



Problem antresol w halach magazynowych

Projekt oryginalny



Projekt po weryfikacji CFD

Oznaczenia:

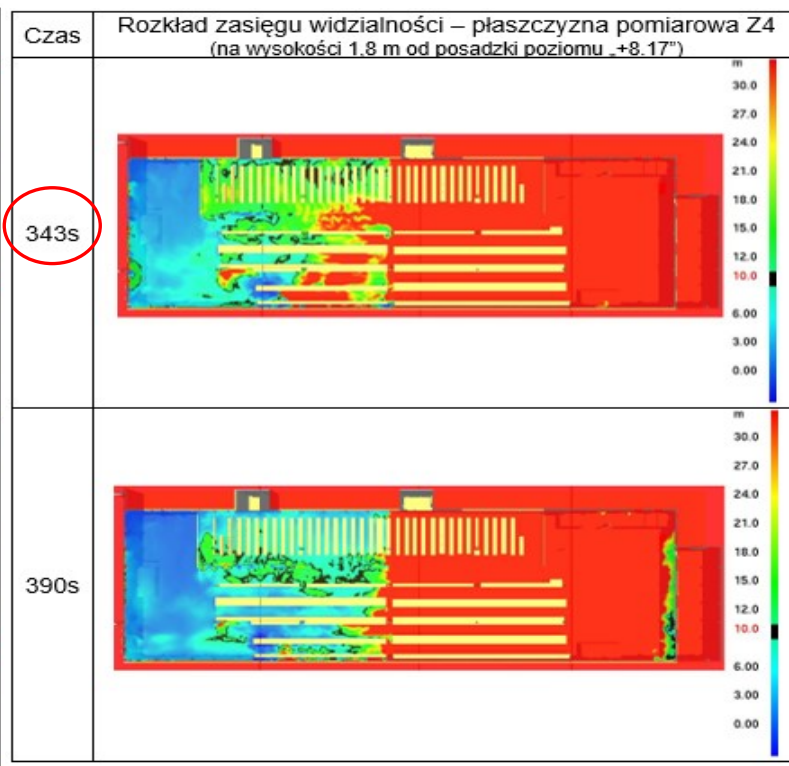
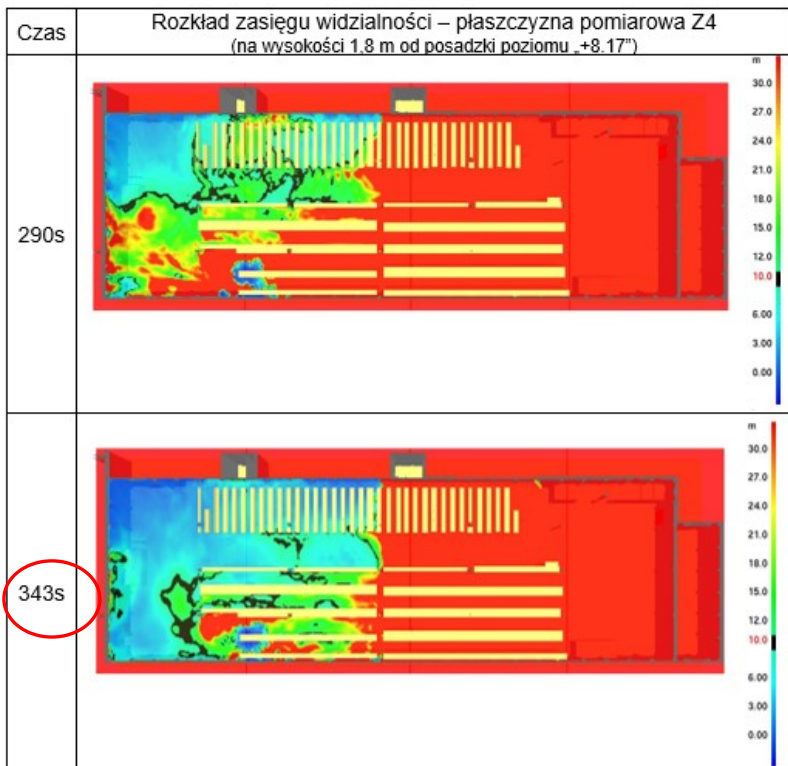
- - analizowany obszar obiektu
- SD - oznaczenie strefy dymowej
- E_i - wyjście ewakuacyjne
- - kłapa dymowa
- N | | | - brama wykorzystywana do dostarczenia powietrza na cele oddymiania

- - ściana pełna na całą wysokość hali
- KD - stała kurtyna dymowa o dolnej krawędzi na wysokości 12 m od posadzki poziomu $\pm 0,00'$ - granica stref dymowych
- KD - stała kurtyna dymowa o dolnej krawędzi na wysokości 11,4 m od posadzki poziomu $\pm 0,00'$
- KD - stała kurtyna dymowa o dolnej krawędzi na wysokości 8,17 m od posadzki poziomu $\pm 0,00'$
- - pomieszczenia do niepełnej wysokości hali
- ▨ - lokalizacja antresoli (3 poziomy: $+2,72'$, $+5,45'$, $+8,17'$)

Problem antresol w halach magazynowych

Projekt oryginalny

Projekt skorygowany po weryfikacji CFD



Wyznaczony czas ewakuacji z antresol 343 s



Problem antresol - Wnioski

1. Na najwyższych poziomach antresol często pojawiają się problemy z zapewnieniem przez system oddymiania odpowiednich warunków ewakuacji (zbyt szybkie zadymienie);
2. Problem ze skutecznością oddymiania wynika z:
 - zbyt późnego uruchamiania instalacji oddymiającej, szczególnie w przypadku scenariusza pożaru w części hali poza antresolami, przy braku tryskaczy międzyregałowych (zakłada się 3 min zwłoki w uruchomieniu oddymiania w stosunku do tryskaczy);
 - często występującego braku SSP (alarm po uruchomieniu tryskaczy);
3. Rozwiązaniem jest stosowanie dodatkowych kurtyn dymowych w linii krawędzi antresol, które ograniczają napływ dymu nad antresole (przy scenariuszu pożaru poza obrysem antresol).
4. Duży wpływ na poprawę warunków mają także tryskacze międzyregałowe i SSP.

Obiekty energetyczne



Pożar oleju w budynku głównym



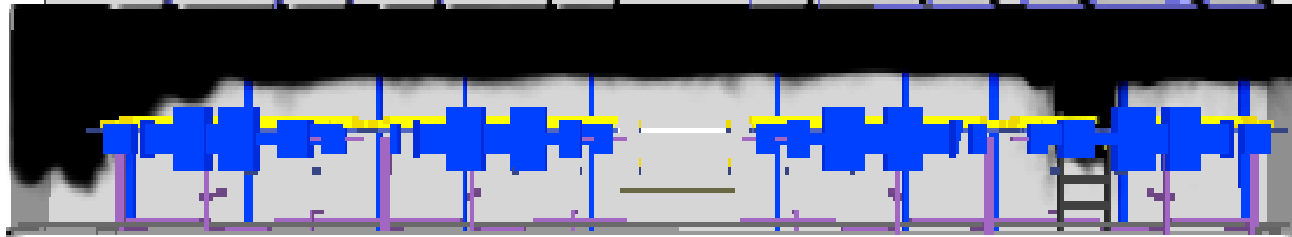
Z pożarem oleju walczyło 19 zastępów straży pożarnej. Silne zadymienie znacznie utrudniało prowadzenie akcji ratowniczo-gaśniczej.

1. SYMULACJE CFD

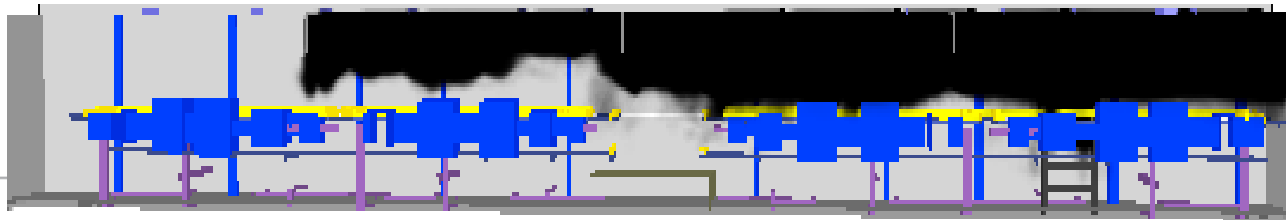


ODDYMIANIE MASZYNOWNI

Obniżanie się warstwy dymu spowodowane jego wychładzaniem
(>240 m długości pomieszczenia)



Wprowadzenie kurtyn dymowych



Podsumowanie i wnioski

Instalacja tryskaczowa stanowi podstawowe zabezpieczenie hal PM

W przypadku braku instalacji tryskaczowej:

Czynnikiem decydującym o możliwości ograniczenia rozwoju pożaru i uratowaniu obiektu PM jest **szybkość wykrycia pożaru i odpowiednia reakcja służb ochrony obiektu i jednostek ratowniczo-gaśniczych.**

Wentylacja pożarowa jest w stanie utrzymać temperaturę dymu $<350^{\circ}\text{C}$ tylko w stosunkowo krótkim czasie od początku rozwoju pożaru.

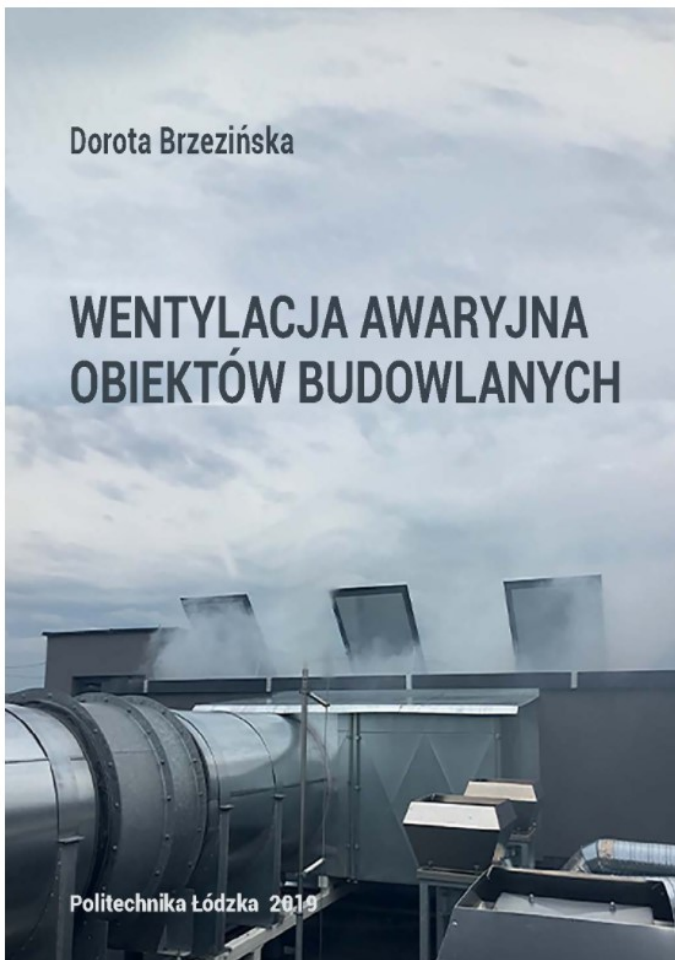
W celu zwiększenia szans na uratowanie obiektu PM należy zapewnić:

- Przeszkolenie personelu w zakresie reakcji na wypadek pożaru,
- Monitoring do najbliższej jednostki PSP,
- Odpowiednio krótki czas dojazdu dla jednostek PSP.

Zabudowa antresol wymaga szczególnego zwrócenia uwagi na bezpieczeństwo ludzi w czasie pożaru.



Wentylacja awaryjna obiektów budowlanych



Celem monografii jest podsumowanie dokonań autorki na polu badań związanych z wentylacją awaryjną. Może ona służyć jako praktyczne źródło wiedzy technicznej do projektowania opisanych systemów w obszarach, które dotychczas nie były szczegółowo zbadane. Pomocna w realizacji celu może być bogata szata graficzna – ponad 80 zdjęć i ilustracji z przeprowadzonych symulacji CFD oraz wykresów i tabel prezentujących wyniki badań. Autorka dąży do ich przedstawienia z punktu widzenia udziału w ogólnej strategii ochrony przeciwpożarowej budynków, w których są one stosowane. Pracę kończy wykaz literatury, który stanowi wybór najważniejszych, cytowanych w monografii pozycji dotyczących podjętej tematyki i zakresu badań.

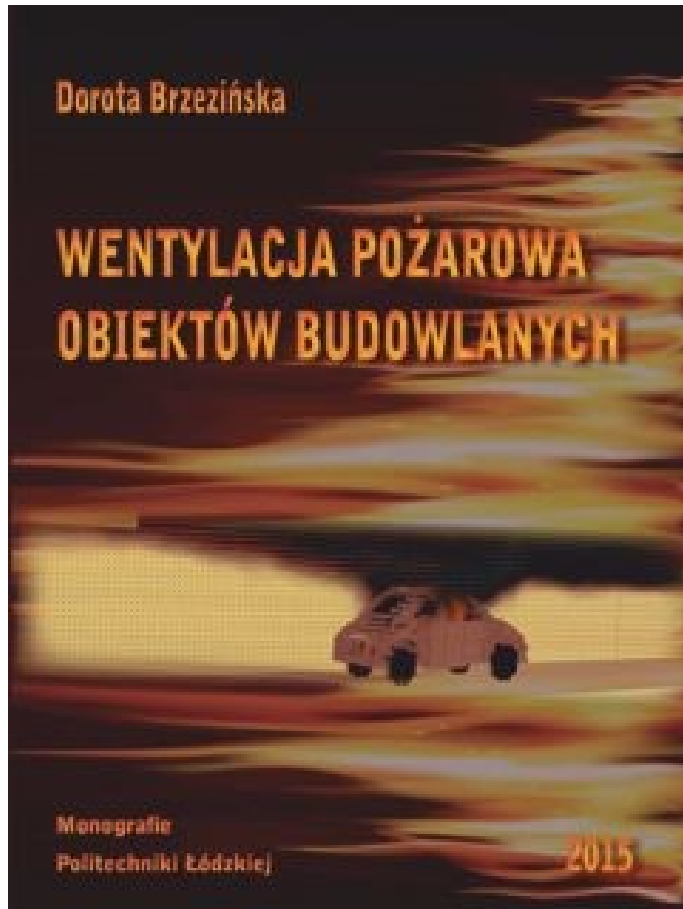
Księgarnia Wydawnictwa Politechniki Łódzkiej
tel. 42-631-29-52

email: zamowienia@info.p.lodz.pl

[Wentylacja awaryjna obiektów budowlanych \(dodruk\) \(lodz.pl\)](#)



Wentylacja pożarowa obiektów budowlanych



W monografii zaprezentowano wieloletni dorobek naukowy i doświadczenia autorki, zdobyte na bazie studiowanej literatury i czynnego uczestnictwa w międzynarodowych sympozjach naukowo-technicznych, obejmujące samodzielne opracowanie ponad 400 rozwiązań instalacji wentylacji pożarowej dla różnego rodzaju budynków, takich jak hale widowiskowo-sportowe, galerie handlowe, biurowce, tunele drogowe, tunele metra, dworce kolejowe, garaże podziemne, szkoły, pensjonaty itp., które zostały w ostatnich latach zrealizowane i skutecznie funkcjonują. Publikacja stanowi źródło wiedzy dla projektujących systemy wentylacji pożarowej oraz tworzących prace naukowe związane z tym zagadnieniem.

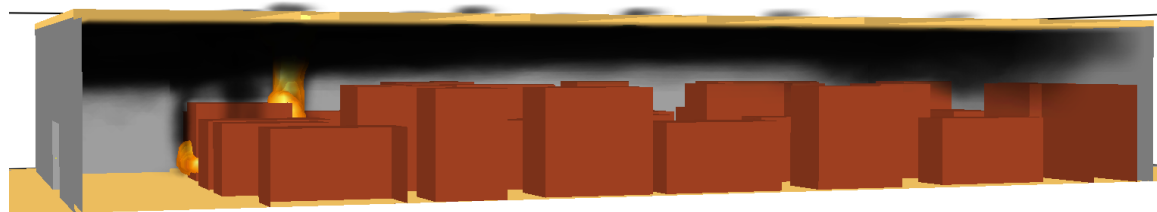
Księgarnia Wydawnictwa Politechniki Łódzkiej
tel. 42-631-29-52

email: zamowienia@info.p.lodz.pl

[Wentylacja pożarowa obiektów budowlanych \(dodruk\) \(lodz.pl\)](#)



Dziękuję za uwagę



dr hab. inż. Dorota Brzezińska, prof. PŁ

d.brzezinska@grid-lodz.pl

tel. +48 603 637 633