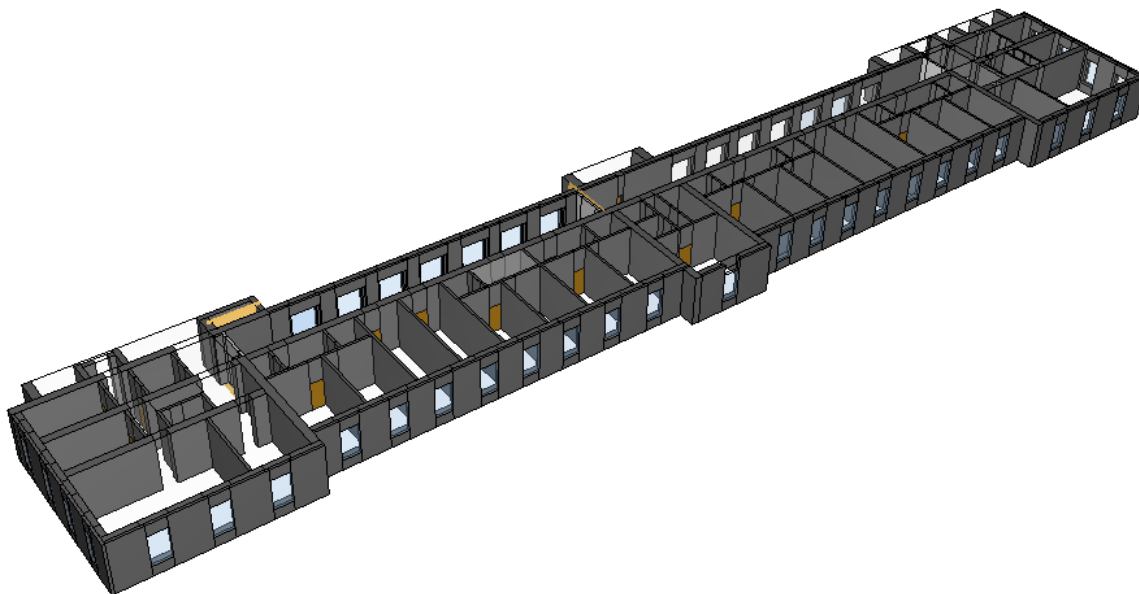


## SYMULACJA KOMPUTEROWA CFD WPŁYWU DZIAŁANIA SYSTEMU WYSOKOŚCIŚNIENIOWEJ MGŁY WODNEJ HI-FOG® NA OGRANICZENIE ROZWOJU POŻARU ORAZ TEMPERATURY W PRZESTRZENI OBJĘTEJ POŻAREM

Obiekt:	DOM POMOCY SPOŁECZNEJ IM. L. I A. HELCLÓW UL. HELCLÓW 2 31-148 KRAKÓW
Zlecniodawca:	ARCHIPLAN PROJEKTOWANIE I REALIZACJA JOLANTA PASZKOWSKA UL. TARŁOWSKA 3/2 31-102 KRAKÓW
Nr dokumentu:	16-121_DPS_HELCLOW_WM_R_CFD_1.1



<b>Data:</b>	<b>Wersja:</b>	<b>Uwagi:</b>
01.08.2016	1.1	Przekazano zlecniodawcy.

<b>Opracowali:</b>	mgr inż. Piotr Smardz  inż. Adrian Poteralski	
--------------------	---	--

## SPIS TREŚCI

<b>1.0 ZAKRES, CEL I PODSTAWA OPRACOWANIA.....</b>	<b>3</b>
<b>2.0 OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU .....</b>	<b>3</b>
<b>3.0 OPIS PROGRAMU FDS .....</b>	<b>7</b>
3.1 NAZWA I WERSJA PROGRAMU .....	7
3.2 PODSTAWOWE CECHY PROGRAMU FDS .....	7
3.3 KLUCZOWE MODELE MATEMATYCZNO-FIZYCZNE PROGRAMU FDS.....	7
3.4 SPOSÓB DEFINICJI MODELU .....	8
3.5 WERYFIKACJA PROGRAMU FDS.....	8
<b>4.0 ZAŁOŻENIA I METODOLOGIA ANALIZY CFD .....</b>	<b>9</b>
4.1 ZAŁOŻENIA WYNIKAJĄCE Z PROJEKTU ARCHITEKTONICZNEGO I PROJEKTÓW BRANŻOWYCH .....	9
4.2 ZAŁOŻENIA DOTYCZĄCE ZASTOSOWANYCH SYSTEMÓW OCHRONY PRZECIWPOŻAROWEJ .....	10
4.3 UWARUNKOWANIA DZIAŁAŃ EKIP RATOWNICZO-GAŚNICZYCH JEDNOSTEK PSP.....	11
4.4 ZALECENIE PROJEKTOWE I WYKONAWCZE .....	12
4.5 METODOLOGIA I KRYTERIA ANALIZY .....	12
4.6 POŻARY PROJEKTOWE .....	13
4.7 ZAŁOŻENIA DOTYCZĄCE GEOMETRII I WARUNKÓW BRZEGOWYCH .....	20
4.8 CZAS ANALIZY CFD.....	20
4.9 SIATKA OBLICZENIOWA MODELU CFD .....	21
4.10 PREZENTACJA WYNIKÓW ANALIZY CFD.....	21
<b>5.0 WYNIKI SYMULACJI CFD – TEMPERATURA GAZÓW POŻAROWYCH.....</b>	<b>22</b>
<b>6.0 WNIOSKI Z ANALIZY .....</b>	<b>31</b>
<b>ZAŁĄCZNIK A - LITERATURA .....</b>	<b>32</b>

## 1.0 ZAKRES I CEL OPRACOWANIA

Niniejsza analiza dotyczy projektowanej przebudowy budynku „A” Domu Pomocy Społecznej im. L. A. Helclów zlokalizowanego w Krakowie.

Niniejsze opracowanie zostało wykonane na potrzeby projektu przebudowy części środkowej budynku „A” w DPS im. Helclów w Krakowie oraz dostosowania całego budynku „A” do wymogów ochrony przeciwpożarowej. Przedmiotowa analiza jest materiałem pomocniczym dla szerszego opracowania (ekspertyzy technicznej, [14]), stanowiącego uzasadnienie dla wniosku o odstępstwo od obowiązujących przepisów techniczno-budowlanych w zakresie ochrony przeciwpożarowej. W ramach projektu poprawy bezpieczeństwa pożarowego dla przedmiotowego obiektu przyjęto zastosowanie stałych urządzeń gaśniczych wodnych – systemu wysokociśnieniowej mgły wodnej HI-FOG® – jako jednego z rozwiązań zastępczych, rekompensujących niezgodności z przepisami.

Celem analizy jest określenie wpływu działania systemu wysokociśnieniowej mgły wodnej HI-FOG® poprzez ograniczenie maksymalnej mocy pożaru we wczesnym etapie jego rozwoju na prognozowane temperatury w przestrzeni ogarniętej pożarem, z uwzględnieniem temperatur mogących występować na etapie działań ratowniczo-gaśniczych.

Otrzymane wyniki dotyczą analiz wykonanych w oparciu o parametry systemu wysokociśnieniowej mgły wodnej HI-FOG®. Wnioski przedstawione w niniejszym raporcie mają zastosowanie jedynie w przypadku przestrzeni chronionych tym konkretnym systemem gaśniczym.

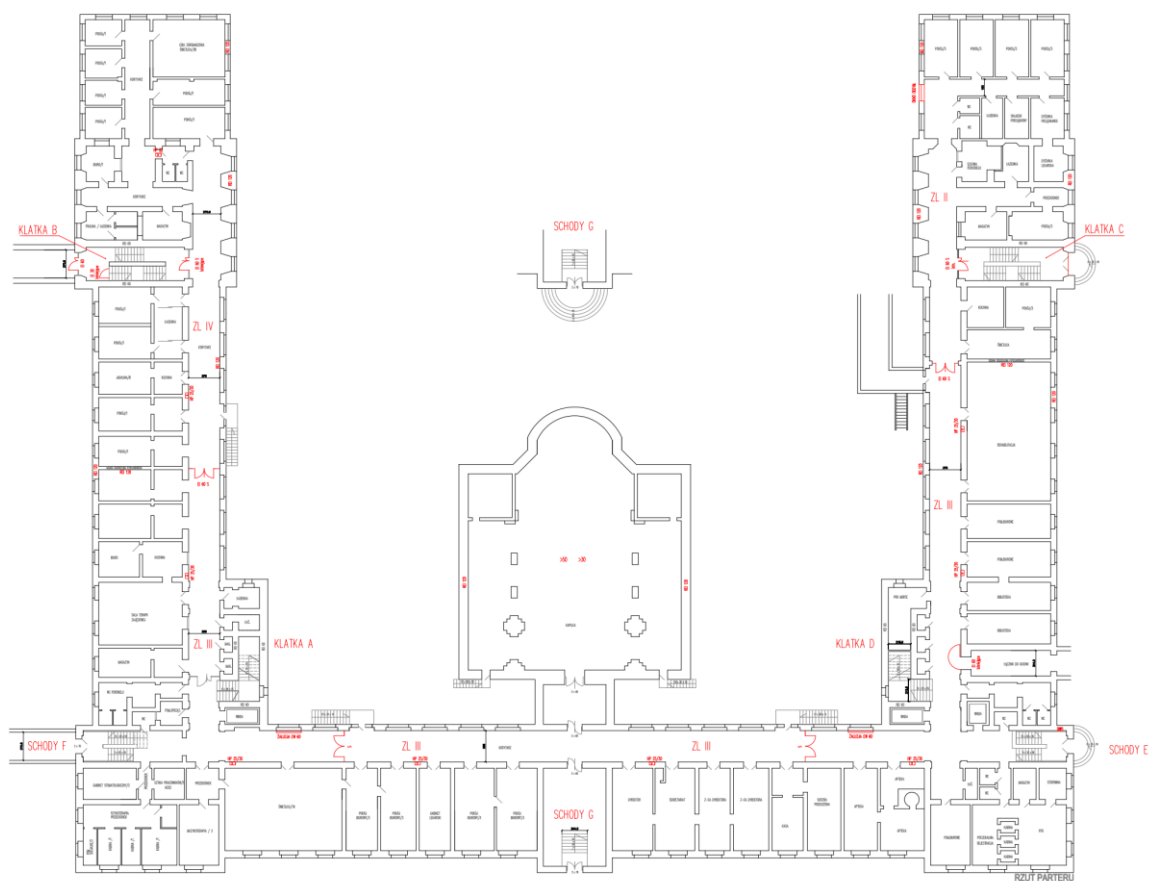
W ramach przedmiotowej analizy wyznaczono przewidywane temperatury w przestrzeni objętej pożarem, z wykorzystaniem zaawansowanego naturalnego modelu pożaru opartego na modelu komputerowym numerycznej mechaniki płynów (ang. Computational Fluid Dynamics). Symulacje komputerowe oparte na metodzie CFD są zaawansowanym narzędziem stosowanym w inżynierii bezpieczeństwa pożarowego. Pozwalają one na szczegółową analizę rozprzestrzeniania się dymu i ciepła w budynkach ogarniętych pożarem.

## 2.0 OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU

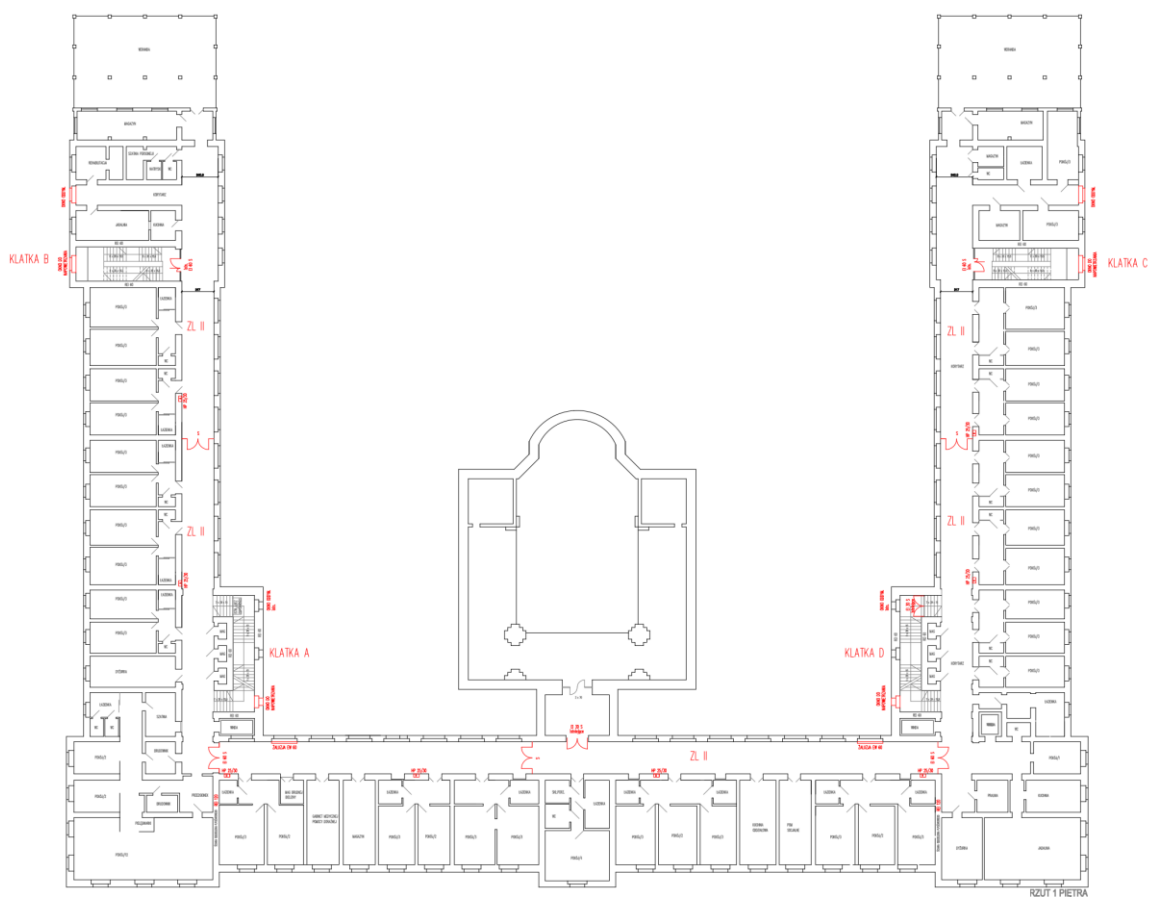
Szczegółowy opis budynku zamieszczono w głównej części ekspertyzy technicznej [14].

Rozpatrywana część centralna budynku, oznaczonego jako „A”, należy do kompleksu obiektów Domu Pomocy Społecznej im. L. A. Helclów w Krakowie. Jest to obiekt zabytkowy, wielokondygnacyjny, obejmujący 4 kondygnacje nadziemne oraz piwnice i strych. Obiekt sklasyfikowano jako budynek średniowysoki. W części obiektu będącej przedmiotem niniejszej analizy przewiduje się przede wszystkim przestrzenie przeznaczone na pobyt pensjonariuszy (pomieszczenia z łózkami), pomieszczenia sanitarne oraz pomocnicze (w tym: jadalnia, kuchnia, pralnia, suszarnia). Główna konstrukcja budynku murowana ze stropami ceglanymi, stropami typu Kleina, drewnianymi stropami belkowymi. Ścianki wydzielające pomieszczenia wykonano jako murowane bądź z płyt gipsowo-kartonowych.

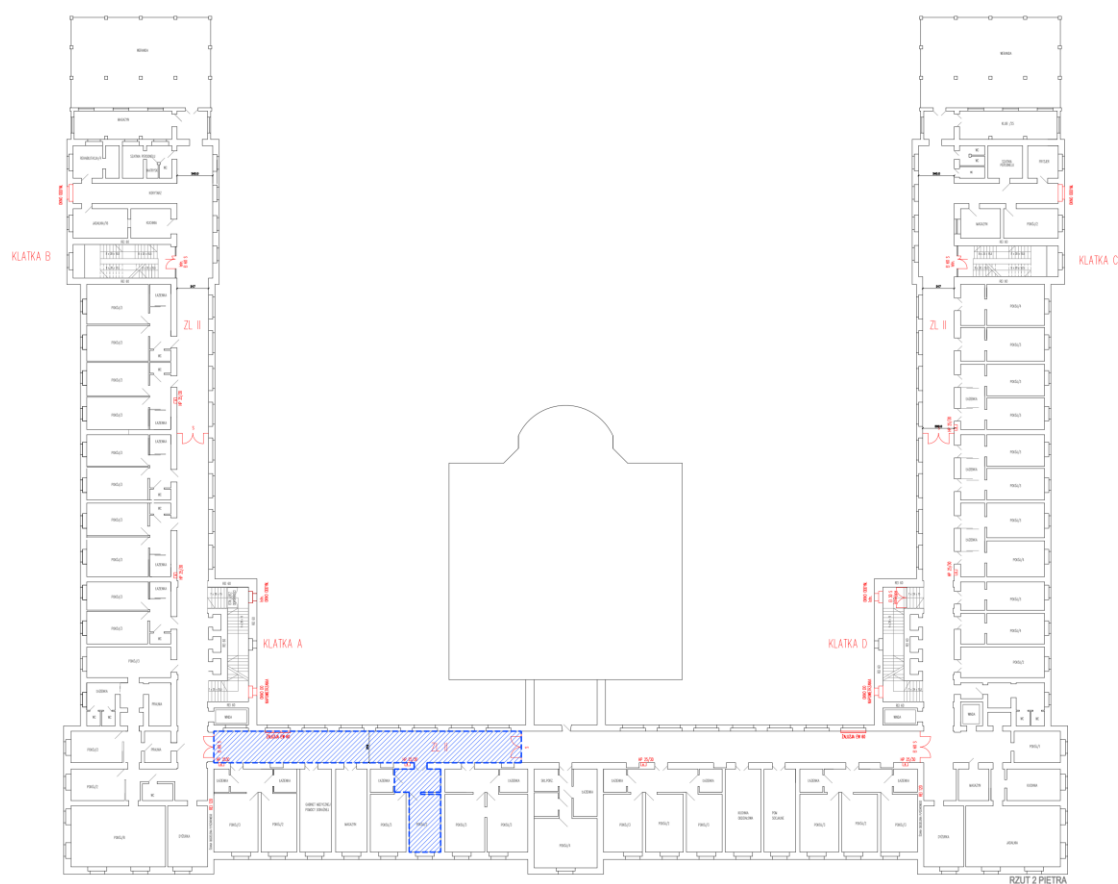
Rzuty kondygnacji budynku „A” oraz przekrój zamieszczono poniżej (na podstawie rysunków załączonych do ekspertyzy technicznej [14]).



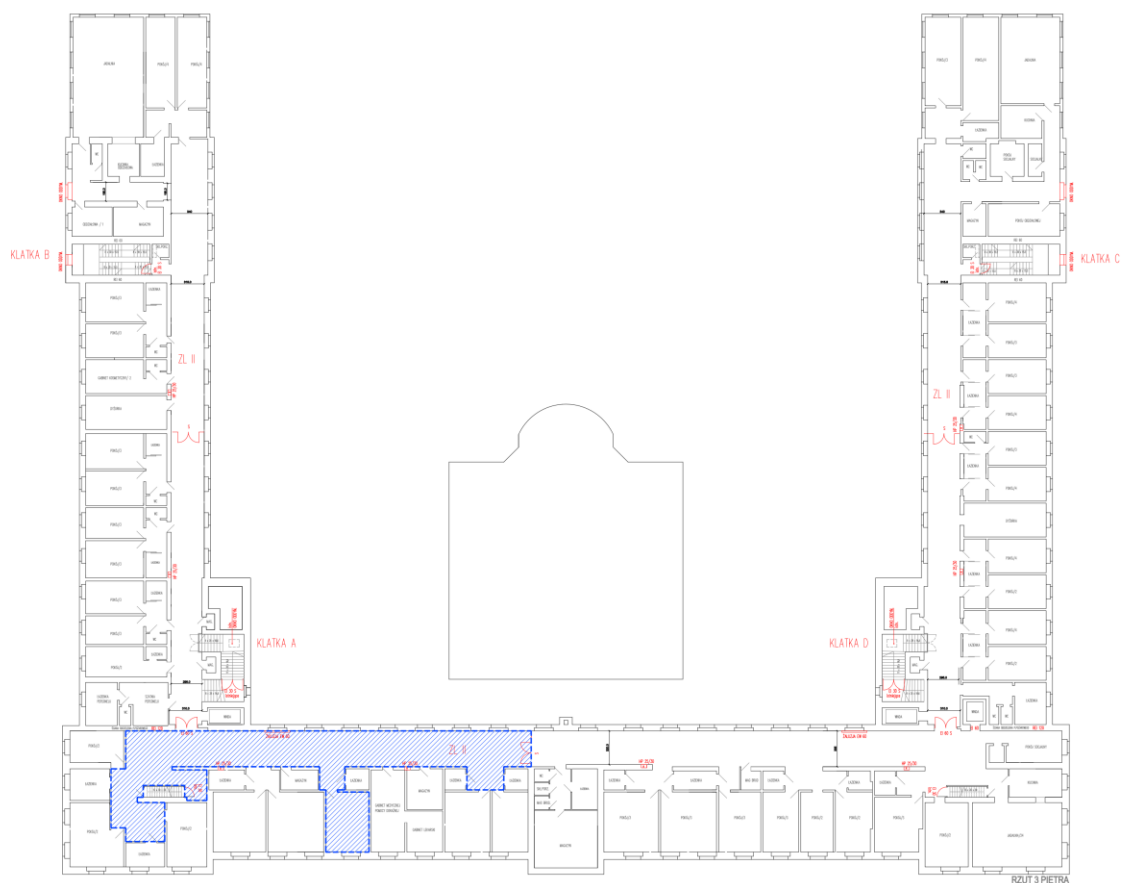
Rys. 1 Rzut architektoniczny kondygnacji parteru.



Rys. 2 Rzut architektoniczny kondygnacji +1.



Rys. 3 Rzut architektoniczny kondygnacji +2 wraz zaznaczonym (kolorem niebieskim) zamodelowanym obszarem w analizie numerycznej CFD.



Rys. 4 Rzut architektoniczny kondygnacji +3 wraz zaznaczonym (kolorem niebieskim) zamodelowanym obszarem w analizie numerycznej CFD.



### **3.0 OPIS PROGRAMU FDS**

#### **3.1 NAZWA I WERSJA PROGRAMU**

W przedmiotowej analizie wykorzystano program komputerowy Fire Dynamics Simulator (FDS) wersja 5.5.3 (OpenMP) z listopada 2010 r. oraz kompatybilny z nim pakiet wizualizacyjny Smokeview.

#### **3.2 PODSTAWOWE CECHY PROGRAMU FDS**

FDS jest komputerowym modelem opartym na metodzie CFD, przeznaczonym do analizy zjawisk związanych z rozprzestrzenianiem się dymu i ciepła w warunkach pożaru.

Program opracowany został przez National Institute of Standards and Technology (NIST) w Stanach Zjednoczonych, przy współpracy z fińskim instytutem naukowo-badawczym VTT. Od ponad 10 lat program FDS jest stale rozwijany i obecnie jest on jednym z najpopularniejszych modeli CFD stosowanych w inżynierii bezpieczeństwa pożarowego.

Należy zaznaczyć, iż w procedurach organizacyjno-technicznych opublikowanych przez Biuro Rozpoznawania Zagrożeń Komendy Głównej PSP w sprawie spełnienia wymagań w zakresie bezpieczeństwa pożarowego w inny sposób niż to określono w przepisach techniczno-budowlanych [7], program FDS został dopuszczony do stosowania w szczegółowych analizach inżynierskich dotyczących wpływu pożarów na ludzi i mienie a także analizach wydajności systemów bezpieczeństwa pożarowego.

Wraz z programem FDS dostarczany jest pakiet Smokeview, który służy do graficznej prezentacji otrzymanych wyników.

W wykonanych symulacjach zastosowano tzw. wielkowirowy model turbulencji (LES).

Poniżej zamieszczono skrótowy opis kluczowych elementów systemu FDS. Szczegółowy opis programu zawarty jest dokumentacji technicznej udostępnianej przez NIST [1-5].

#### **3.3 KLUCZOWE MODELE MATEMATYCZNO – FIZYCZNE PROGRAMU FDS**

##### Model hydrodynamiczny

FDS rozwiązuje numerycznie układ równań Naviera-Stokesa właściwych dla przepływów o niskich prędkościach, typowych dla zjawisk transportu dymu i ciepła wymuszonych pożarem.

Solver programu rozwiązuje podstawowe równania zachowania masy, momentu i energii. Ponieważ powyższy układ równań nie może być rozwiązany metodami analitycznymi, konieczne jest zastosowanie metod numerycznych, w których domena obliczeniowa podzielona jest na trójwymiarową siatkę niewielkich komórek obliczeniowych. Solver programu oblicza warunki fizyczne odrębnie wewnątrz każdej komórki jako funkcję czasu.

Model turbulencji zastosowany w przedmiotowych symulacjach oparty jest na wersji Smagorinskiego metody symulacji wielkowirowych (LES).

Równania transportu rozwiązywane w symulacjach LES są otrzymywane po przefiltrowaniu zależnych od czasu równań Naviera-Stokesa. Podczas procesu filtrowania wiry, których wielkość jest mniejsza od rozmiaru siatki obliczeniowej nie są bezpośrednio obliczane, a uśrednione skutki ich działania są ujmowane w tak zwanym modelu podsiatkowym.

### Model spalania

W przedmiotowej symulacji wykorzystano jednostopniowy model spalania bazujący na zachowywanej wielkości skalarnej  $Z$  (ang. Mixture fraction). Wielkość ta, wyznaczana dla każdej komórki obliczeniowej, określa jaka część gazu w danym punkcie przestrzeni jest paliwem lub też produktem spalania paliwa. Powyższy model spalania oparty jest na założeniu, iż proces spalania zależy od możliwości mieszania się substratów (tj. paliwa oraz tlenu). Zakłada on również, iż reakcja paliwa z tlenem przebiega nieskończenie szybko.

### Model radiacji

Równanie opisujące transport ciepła poprzez radiację jest rozwiązywane numerycznie przy użyciu algorytmu podobnego do Metody Objętości Skończonych. Transport ciepła poprzez radiację jest analizowany w 100 dyskretyzowanych kierunkach, co pozwala na osiągnięcie dobrych rezultatów bez nadmiernych nakładów mocy obliczeniowej.

### Warunki brzegowe

Wszystkim powierzchniom ciał stałych wewnątrz domeny obliczeniowej przypisane są właściwości fizyczne (gęstość, przewodność cieplna oraz ciepło właściwe) a także informacje dotyczące ich podatności na proces spalania.

Transport masy i ciepła z i do powierzchni ciał stałych (np. ścian, sufitów i innych obiektów znajdujących się w danej domenie obliczeniowej) opisywany jest uproszczonymi wzorami empirycznymi.

## **3.4 SPOSÓB DEFINICJI MODELU**

Geometria rozpatrywanego obiektu oraz wszystkie parametry wymagane do opisu danego scenariusza są wprowadzane do programu w postaci pliku wsadowego, który jest plikiem tekstowym tworzonym przez użytkownika.

Domena obliczeniowa, w której przeprowadzana jest symulacja opisywana jest zazwyczaj przy pomocy kilku połączonych siatek obliczeniowych.

Program FDS bazuje na siatce strukturalnej prostopadłościenną. W przedmiotowej analizie wykorzystano siatki jednorodne.

Wszystkie elementy geometrii rozpatrywanego obiektu muszą ściśle pokrywać się z komórkami siatki obliczeniowej. Poszczególne elementy budynku takie jak ściany, stropy, słupy czy podciąg są reprezentowane przez jeden lub kilka prostopadłościennych „bloków” o cechach materiałowych odpowiadających danemu elementowi.

Warunki brzegowe mogą być przypisywane do zadanych obszarów na granicy domeny obliczeniowej lub do powierzchni „bloków” reprezentujących ściany, stropu itd.

## **3.5 WERYFIKACJA PROGRAMU FDS**

Poprawność działania programu FDS została szczegółowo zweryfikowana przez NIST oraz inne ośrodki naukowo-badawcze. W ramach weryfikacji programu FDS dokonano m.in.:

- Porównania wyników symulacji z wynikami eksperymentów w skali naturalnej przeprowadzonych specjalnie na potrzeby weryfikacji programu
- Porównania wyników symulacji z wynikami innych eksperymentów w skali naturalnej i laboratoryjnej, których wyniki opublikowano w literaturze naukowo-technicznej
- Porównania wyników symulacji z obserwacjami dokonanymi podczas zaistniałych pożarów

W przypadku typowych symulacji dla celów inżynierskich, w których rozpatrywany jest jedynie transport dymu i ciepła, program FDS wyznacza prędkości przepływu i temperatury z dokładnością od 5% do 20%, w zależności od przyjętej rozdzielczości siatki obliczeniowej.



## 4.0 ZAŁOŻENIA I METODOLOGIA ANALIZY

### 4.1 ZAŁOŻENIA WYNIKAJĄCE Z PROJEKTU ARCHITEKTONICZNEGO I PROJEKTÓW BRANŻOWYCH

#### 4.1.1 Geometrię rozpatrywanej części budynku na potrzeby stworzenia modelu komputerowego przestrzeni objętej analizą przyjęto na podstawie rysunków stanowiących załącznik do ekspertyzy technicznej [14], przekazanych przez Zleceniodawcę (wersja z lipca 2016r.).

Analizy numeryczne przeprowadzono dla wydzielonego obszaru kondygnacji +2 oraz +3, będących typowymi kondygnacjami budynku „A”, uznanymi za najbardziej reprezentatywne pod względem geometrii i niekorzystne w kontekście zapewnienia skutecznego ograniczenia rozwoju pożaru i skutków jego oddziaływania. Lokalizacje pożarów projektowych wytypowano w oparciu o najbardziej niekorzystne wysokości pomieszczeń i korytarzy a także mając na uwadze wiodące przeznaczenie analizowanego obszaru, czyli pobyt pensjonariuszy. Należy podkreślić, iż wszystkie kondygnacje w budynku na których mogą przebywać pensjonariusze mają bardzo zbliżony układ pomieszczeń i korytarzy, zatem przyjęte lokalizacje pożarów projektowych stanowią uogólnienie wielu scenariuszów rozwoju pożaru mogących wystąpić w rozpatrywanej części obiektu.

Wg otrzymanej dokumentacji nadziemne kondygnacje rozpatrywanej części obiektu zawierają jedno- lub dwupokojowe moduły mieszkalno-sanitarne składające się z przestrzeni przeznaczonych na pobyt pensjonariuszy (pokoje z łózkami) wraz z pomieszczeniami sanitarnymi a także pomieszczenia pomocnicze (kuchnie, jadalnie, pralnie, suszarnie). Pomieszczenia te przylegają do wspólnego korytarza biegnącego przy zewnętrznej ścianie obiektu od strony otwartego dziedzińca/kaplicy. Poszczególne kondygnacje połączone są komunikacyjnie klatkami schodowymi otwartymi na przyległe korytarze. Geometrię poszczególnych kondygnacji, uwzględniając elementy poprawiające bezpieczeństwo pożarowe proponowane w ekspertyzie technicznej [14], pokazano na rys. 1-5. Wysokość kondygnacji w świetle – od poziomu posadzki do poziomu stropu konstrukcyjnego - przyjęta do niniejszej analizy wynosi od ok. 4,20 m do ok. 4,50 m dla kondygnacji +1 / +2 oraz 2,50 m dla kondygnacji +3. Wysokość użytkowa kondygnacji w świetle zgodnie z projektem przebudowy może zostać ograniczona pełnymi sufitami podwieszanymi zgodnie z danymi przekazanymi przez Zleceniodawcę i wyniesie: dla kondygnacji +1 / +2 nie mniej niż 3,00 m w przedsionkach do pokoi, nie mniej niż 4,00 m w pokojach z łózkami pensjonariuszy. Dla kondygnacji +3 nie projektuje się sufitów podwieszanych poniżej wysokości konstrukcyjnej wynoszącej 2,50 m. Przyjmuje się, że szerokość oraz wysokość korytarzy nie ulega zmniejszeniu względem wymiarów zinwentaryzowanych (stanu istniejącego). W obrębie korytarzy, zgodnie z zaleceniami ekspertyzy technicznej [14], wprowadzone zostaną jedynie przegrody z drzwiami EI 60 S, dzielące kondygnacje nadziemne na strefy pożarowe lub drzwi dymoszczelne.

W związku z powyższym, na potrzeby symulacji komputerowej prognozy temperatur w przestrzeni objętej pożarem przyjęto proponowany podział kondygnacji na pomieszczenia przeznaczone na pobyt pensjonariuszy oraz pomieszczenia pomocnicze przyległe do korytarzy. Wybrane obszary kondygnacji ograniczają się do pomieszczenia w którym wystąpił pożar łącznie z przedsionkiem i odcinkiem korytarza ograniczonego drzwiami o klasie odporności ogniowej EI 60 S lub drzwiami dymoszczelnymi, wg wytycznych ekspertyzy technicznej [14].

#### 4.1.2 Na potrzeby niniejszej analizy oraz symulacji CFD przyjęto założenia bazujące na stanie istniejącym budynku oraz zamierzonym zakresie prac określonym w dokumentacji ekspertyzy technicznej [14] mającym na celu poprawę warunków ochrony przeciwpożarowej budynku. W przypadku znaczących zmian uwarunkowań funkcjonalnych konieczne może być przeprowadzenie ponownych analiz.

#### 4.1.3 Zgodnie z dostępnymi danymi, aktualnymi w okresie wykonywanych analiz, obiekt nie jest wyposażony w systemy bezpieczeństwa przeciwpożarowego spełniające wymagania aktualnych przepisów przeciwpożarowych.

W stanie projektowanym przewiduje się zastosowanie pełnej ochrony systemem sygnalizacji pożaru (SSP) oraz rozwiązań technicznych podnoszących poziom bezpieczeństwa w przypadku pożaru, opisanych szczegółowo w głównej części ekspertyzy technicznej.

- 4.1.4 W ramach poprawy warunków bezpieczeństwa pożarowego proponuje się w rozpatrywanym obiekcie ochronę stałymi urządzeniami gaśniczymi wodnymi – instalacją wysokociśnieniowej mgły wodnej systemu HI-FOG®. Dokładny opis projektowanej instalacji znajduje się w pkt. 4.2.
- 4.1.5 Ze względu na wiodące przeznaczenie analizowanej części obiektu, przyjęto obciążenie ogniowe oraz rodzaj materiałów palnych jak dla typowych pomieszczeń obiektu hotelowego (szczegółowy opis przyjętych pożarów projektowych podano w pkt. 4.6).
- 4.1.6 Nie przewiduje się występowania w analizowanym obszarze obiektu znaczących ilości materiałów niebezpiecznych pożarowo.
- 4.1.7 Parametry przyjęte do analizy bazują na założeniu, iż zarządca budynku będzie utrzymywał systemy bezpieczeństwa pożarowego w stanie sprawności technicznej, w tym przeprowadzał przewidziane w przepisach i dokumentacji tych systemów przeglądy techniczne.
- 4.1.8 Założono, iż pracownicy oraz personel ochrony będą zaznajomieni z procedurami obowiązującymi w przypadku pożaru.

#### 4.2 ZAŁOŻENIA DOTYCZĄCE ZASTOSOWANYCH SYSTEMÓW OCHRONY PRZECIWPOŻAROWEJ

Obszar budynku, będący przedmiotem niniejszej analizy, zostanie wyposażony w szereg systemów ochrony przeciwpożarowej projektowanych / rozwiązań techniczno-budowlanych w ramach dostosowania obiektu do aktualnych wymagań przepisów ochrony przeciwpożarowej. Szczegółowy opis wszystkich systemów znaleźć można w głównej części ekspertyzy [14]. W kontekście przedmiotowej analizy dotyczącej temperatur w przestrzeni objętej pożarem istotne są następujące systemy:

- Stałe samoczynne urządzenia gaśnicze wodne w formie systemu wysokociśnieniowej mgły wodnej HI-FOG®. System ten ma za zadanie ograniczyć rozwój pożaru, a dodatkowo (ze względu na specyficzne właściwości systemu wysokociśnieniowej mgły wodnej) obniża temperatury w przestrzeni objętej pożarem – co jest przedmiotem niniejszej analizy. Szczegóły podano poniżej.
- System sygnalizacji pożarowej (SSP), który będzie samoczynnie przekazywał informację o pożarze do Miejskiego Stanowiska Kierowania PSP w Krakowie. Zadaniem systemu jest zapewnienie możliwie szybkiego wykrycia pożaru w celu ewakuacji użytkowników oraz wezwania jednostek ratowniczo-gaśniczych.
- Oświetlenie awaryjne ewakuacyjne;
- Instalacja wodociągowa przeciwpożarowa wewnętrzna.

##### Stałe samoczynne urządzenia gaśnicze wodne – instalacja wysokociśnieniowej mgły wodnej HI-FOG®

Zgodnie z planowanym zakresem modernizacji rozpatrywanej części obiektu przedmiotowa przestrzeń wyposażona zostanie w instalację tryskaczową – wysokociśnieniową mgłę wodną HI-FOG®. Dla wszystkich analizowanych przypadków pożarów projektowych założono zastosowanie tryskaczy mgłowych typu C20-57C/0 o następujących parametrach: szybkość reagowania (czułości) RTI=22 oraz temperaturze aktywacji 57°C.

Rozstaw główek tryskaczy przyjęto w oparciu o rysunki oraz informacje dostarczone przez Zleceniodawcę:

- Dla obszaru korytarzy przyjęto układ tryskaczy w rozstawie nie większym niż **S=4,90 m**, zlokalizowanych w jednym rzędzie wzdłuż osi korytarza;
- Dla obszaru pomieszczania w którym przebywać będą pensjonariusze (pomieszczenia z łózkami) przyjęto zagęszczony układ tryskaczy, tj. minimum 2 główki tryskaczy mgłowych w maksymalnym rozstawie w płaszczyźnie sufitu podwieszanego/stropu nie większym niż **S=2,60 m**.

Uwaga: Niewielkie różnice w maksymalnym rozstawie główek tryskaczy mgłowych, rzędu do 20 cm, można uznać za nieistotne i niewymagające analiz uaktualniających.

Celem przedmiotowej analizy jest potwierdzenie pozytywnego wpływu działania systemu wysokociśnieniowej mgły wodnej, która ogranicza możliwość rozwoju pożaru oraz znacząco obniża temperatury w przestrzeni objętej pożarem. Działanie to wynika przede wszystkim z bardzo małych średnic kropeł wysokociśnieniowej mgły wodnej (poniżej 100  $\mu\text{m}$ ) a tym samym możliwości bardzo wydajnego odparowania kropelek wody co pozwala na odebranie dużej ilości energii wydzielonej w czasie pożaru.

W przedmiotowej analizie wpływ instalacji mgłowej na ograniczenie mocy pożaru uwzględniono w sposób pośredni, poprzez przyjęcie ograniczenia maksymalnej mocy pożaru do wartości wynikającej z prognozowanego czasu aktywacji tryskaczy dla pożaru zlokalizowanego w pokoju z łózkami. Dla przestrzeni korytarza ograniczenie mocy pożaru wynika z ilości dostępnego paliwa / szacowanej mocy pożaru w oparciu o dane z eksperymentów, wg opisu w pkt 4.6. W analizowanych scenariuszach rozwoju pożaru uwzględniono odpowiedni margines bezpieczeństwa, zgodnie z opisem w/w punkcie.

Dla scenariusza podstawowego każdej z lokalizacji pożaru projektowego, w symulacji numerycznej CFD zamodelowano główki tryskaczy mgłowych wg opisanych powyżej parametrów, dzięki czemu możliwe było uwzględnienie pozytywnego wpływu działającej instalacji tryskaczowej na obniżenie temperatur gazów pożarowych w warstwie podstropowej.

Dla scenariuszy porównawczych nie uwzględniono w modelu CFD główek tryskaczowych, eliminując tym samym powyższe efekty towarzyszące działaniu instalacji tryskaczowej w symulacji numerycznej, prognozując tym samym wartości temperatury gazów pożarowych dla pożarów rozwiniętych do maksymalnej mocy wynikającej z dostępności paliwa lub stężenia tlenu w pomieszczeniu.

Charakterystyki tryskaczy mgłowych konieczne do przeprowadzenia analizy programem FDS (min. ukierunkowanie dysz, parametry dystrybucji średnicy kropli, parametry wypływu) przyjęto na podstawie parametrów systemu HI-FOG<sup>®</sup> otrzymanych od firmy Marioff.

**Przedmiotowe analizy wykonano w oparciu o parametry systemu wysokociśnieniowej mgły wodnej HI-FOG<sup>®</sup> firmy Marioff. Otrzymane wyniki są wiarygodne jedynie w przypadku przestrzeni chronionych tym konkretnym systemem gaśniczym.**

#### 4.3

#### UWARUNKOWANIA DZIAŁAŃ RATOWNICZO-GAŚNICZYCH JEDNOSTEK PSP

Rozpatrywany obiekt znajduje się w odległości ok. 2 km od najbliższej jednostki ratowniczo-gaśniczej Państwowej Straży Pożarnej (JRG nr 1 przy ul. Westerplatte 19 w Krakowie). W przypadku pożaru przewidywany czas dojazdu jednostek PSP nie powinien przekroczyć 10 minut.

Przedmiotowy obiekt będzie objęty całodobowym dozorem oraz systemem sygnalizacji pożarowej, który będzie samoczynnie przekazywał informację o pożarze do Miejskiego Stanowiska Kierowania PSP w Krakowie.

#### **4.4 ZALECENIA PROJEKTOWE I WYKONAWCZE**

##### **4.4.1 Obszary korytarzy – obszar ograniczonego składowania materiałów palnych**

W celu ograniczenia możliwości powstania pożaru w obrębie korytarzy, w szczególności w obszarze miejsc wypoczynku dla pensjonariuszy, należy bezwzględnie przestrzegać zakazu stosowania materiałów i wyrobów łatwo zapalnych. Meble znajdujące w obrębie korytarzy muszą być klasyfikowane jako trudno zapalne.

W celu ograniczenia rozprzestrzeniania się ognia na inne elementy wyposażenia, zaleca się zastosowanie bezpiecznego odstępu między elementami wykonanymi z palnych materiałów, wynoszącego nie mniej niż 4 m. Elementy wyposażenia nie powinny utrudniać ewakuacji poprzez ograniczenie i zawężenie przejść ewakuacyjnych oraz ograniczanie dostępu do drzwi oraz schodów, którymi realizowana jest ewakuacja.

##### **4.4.2 Materiały stałych elementów elementy wyposażenia wewnątrz korytarzy**

Szczegółowe informacje dotyczące klas materiałów z których będą wykonane stałe elementy wyposażenia w/w wewnątrz należy określić na podstawie powyższych wytycznych oraz konsultacji z rzeczoznawcą ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych.

#### **4.5 METODOLOGIA I KRYTERIA ANALIZY**

Ze względu na niewielką kubaturę rozpatrywanych przestrzeni korytarzy i pokoi oraz zakres wprowadzonych na etapie modernizacji rozwiązań zastępczych mających na celu dostosowanie obiektu do aktualnych wymagań przepisów ochrony przeciwpożarowej, przyjęto jako wiodące kryterium niniejszej analizy organicznie mocy pożaru na wczesnym jego etapie na skutek zadziałania wysokociśnieniowej mgły wodnej oraz obniżenie temperatur w obrębie przestrzeni objętej pożarem.

Wyniki analiz dla scenariuszy pożarów ograniczonych przez instalację mgły wodnej (scenariusze podstawowe) zestawiono z rezultatami dla pożarów rozwijających się (scenariusze porównawcze), dla których moc pożaru może zostać ograniczona na skutek podjęcia działań ratowniczo-gaśniczych przez jednostki PSP / wypalenie się paliwa / ograniczenie rozwoju pożaru ilością dostępnego tlenu. Jako umowny czas trwania analizy przyjęto 15 min od momentu powstania pożaru. Czas ten odpowiada wczesnej fazie rozwoju pożaru, w której prowadzona jest ewakuacja pensjonariuszy, przed przybyciem ekip ratowniczych i podjęciem działań gaśniczych.

W niniejszej analizie przyjęto wartość temperatury wynoszącą 400°C jako wartość graniczną temperatury w strefie podsufitowej dla możliwości dalszego rozprzestrzeniania się pożaru na skutek zjawiska rozgorzenia.

Jako kryterium uproszczonej analizy dotyczącej warunków działania ekip ratowniczo-gaśniczych przyjęto temperaturę nieprzekraczającą 120°C na wysokości 1,60 m po czasie 15 minut.



## 4.6 POŻARY PROJEKTOWE

W ramach przedmiotowej analizy wykonano symulacje numeryczne CFD pożarów uwzględniające założenia podane w dalszej części opracowania. Rozpatrzono następujące lokalizacje pożarów:

- Scenariusz A1 – pożar w pokoju z łózkami na kondygnacji +2, zamodelowane główki tryskaczowe, scenariusz podstawowy, symulacja:  
**DPS\_Helclow\_WM\_FDS553\_21\_lvl2R\_wm\_350kW\_2v2;**
- Lokalizacja B1 – pożar w pokoju z łózkami na kondygnacji +2, brak zamodelowanych główek tryskaczowych, scenariusz porównawczy, symulacja:  
**DPS\_Helclow\_WM\_FDS553\_23\_lvl2R\_nwm\_1000kW\_2v2;**
- Scenariusz A2 – pożar w pokoju z łózkami na kondygnacji +3, zamodelowane główki tryskaczowe, scenariusz podstawowy, symulacja:  
**DPS\_Helclow\_WM\_FDS553\_22\_lvl3R\_wm\_350kW\_2v2;**
- Lokalizacja B2 – pożar w pokoju z łózkami na kondygnacji +3, brak zamodelowanych główek tryskaczowych, scenariusz porównawczy, symulacja:  
**DPS\_Helclow\_WM\_FDS553\_24\_lvl3R\_nwm\_1000kW\_2v2;**
- Scenariusz C1 – pożar w korytarzu na kondygnacji +2, zamodelowane główki tryskaczowe, scenariusz podstawowy, symulacja:  
**DPS\_Helclow\_WM\_FDS553\_14\_lvl2K\_wm\_300kW\_1v1;**
- Lokalizacja D1 – pożar w korytarzu na kondygnacji +2, brak zamodelowanych główek tryskaczowych, scenariusz porównawczy, symulacja:  
**DPS\_Helclow\_WM\_FDS553\_16\_lvl2K\_nwm\_600kW\_1v1;**
- Scenariusz C2 – pożar w korytarzu na kondygnacji +3, zamodelowane główki tryskaczowe, scenariusz podstawowy, symulacja:  
**DPS\_Helclow\_WM\_FDS553\_13\_lvl3K\_wm\_300kW\_1v1;**
- Lokalizacja D2 – pożar w korytarzu na kondygnacji +3, brak zamodelowanych główek tryskaczowych, scenariusz porównawczy, symulacja:  
**DPS\_Helclow\_WM\_FDS553\_15\_lvl3K\_nwm\_600kW\_1v1;**

### 4.6.1 Założenia dotyczące przyjętych pożarów projektowych

#### Sposób użytkowania rozpatrywanych przestrzeni

Zgodnie z ekspertyzą techniczną [14] oraz danymi przekazanymi przez Zleceniodawcę założono, że materiały palne występujące w analizowanych przestrzeniach budynku to przede wszystkim meble, palne elementy wystroju wewnątrz pokoi sypialnych, łóżka, materace, pościel.

Ponadto zakłada się wprowadzenie ograniczeń odnośnie możliwości składowania materiałów palnych w obrębie korytarzy, skutkujące ograniczeniem dostępnego paliwa a tym samym zahamowaniem rozwoju pożaru na poziomie zakładanej mocy projektowej.

W rozpatrywanej części obiektu nie przewiduje się składowania znaczących ilości materiałów niebezpiecznych pożarowo.

#### Założenia dotyczące ograniczenia mocy pożaru projektowego

W ramach planowanej przebudowy obiektu przewiduje się wykonanie instalacji wysokociśnieniowej mgły wodnej systemu HI-FOG® o parametrach wg opisu w pkt. 4.2. Wobec powyższego oraz w kontekście restrykcji dotyczących lokalizacji, rodzaju i ilości materiałów palnych, opisanych w pkt. 4.4 można założyć dla analizowanych podstawowych scenariuszów rozwoju pożaru, że na wczesnej fazie rozwoju pożaru jego maksymalna moc będzie ograniczona poprzez zadziałanie tej instalacji – w przypadku pożaru w pokoju z łózkami lub ograniczenie to będzie wynikać z ilości dostępnego paliwa – jak w przypadku pożaru w przestrzeni korytarza.

Dla scenariuszów porównawczych rozwój pożaru może zostać zahamowany na skutek wypalenia się dostępnego paliwa bądź ograniczonej dostępności powietrza (tlenu).

#### Przyjęte moce pożarów projektowych

Na potrzeby symulacji CFD przyjęto następujące moce pożarów projektowych do poszczególnych rozważanych scenariuszów:

- Scenariusze A1 / A2 – maksymalna moc całkowita pożaru  $Q_{tot}=350$  kW;
- Scenariusze B1 / B2 – maksymalna moc całkowita pożaru  $Q_{tot}=1000$  kW;
- Scenariusze C1 / C2 – maksymalna moc całkowita pożaru  $Q_{tot}=300$  kW;
- Scenariusze D1 / D2 – maksymalna moc całkowita pożaru  $Q_{tot}=600$  kW;

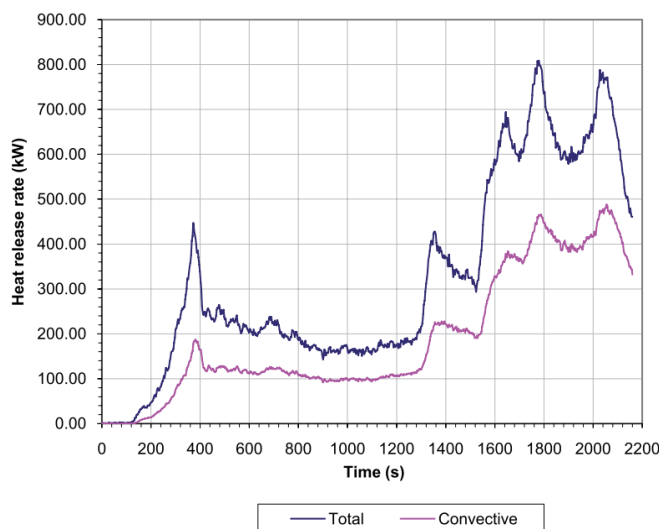
W celu porównania przyjętych mocy pożarów, dla scenariuszów podstawowych, uwzględniających wpływ zadziałania instalacji mgły wodnej na ograniczenie mocy pożaru, oszacowano za pomocą programu DETECTT2 autorstwa NIST moc całkowitą pożaru oraz czas aktywacji główek tryskaczowych. Dane wejściowe oraz rezultaty zestawiono w tabeli poniżej:

kondygnacja	tempeartura otoczenia	czułość / szybkość aktywacji	temperatura aktywacji tryskacza	wysokość pomieszczenia	dystans pomiędzy tryskaczami	szybkość rozwoju pożaru	czas aktywacji tryskacza	moc całkowita pożaru dla czasu aktywacji tryskacza
	tambient	RTI	tactivation	Hpom	S	spread rate	t	RHR
	°C	-	°C	m	m	-	min	kW
+3	20	22	57	2,50	2,60	medium-fast / średnio-szybko rozwijający się	2,29	222
+2	20	22	57	4,00	2,60	medium-fast / średnio-szybko rozwijający się	2,96	369

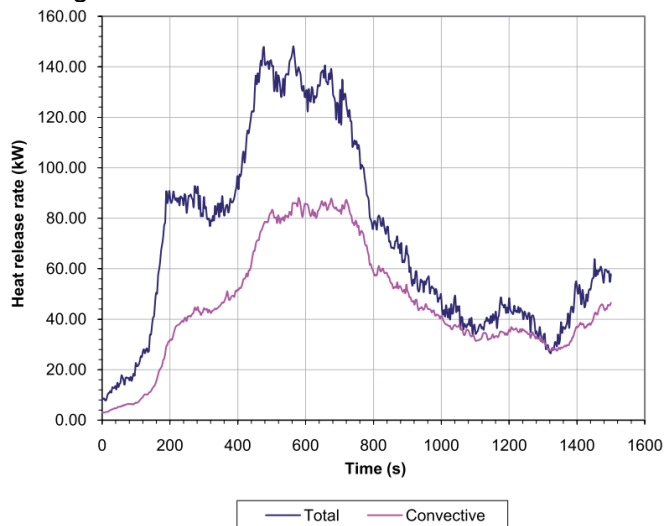
Tab. 1. Szacowane moce pożaru dla pokoju. Obliczenia DETACTT2.

Przyjęte do analizy moce pożarów projektowych zostały także porównane z wynikami eksperymentalnych pożarów wykonanych przez BRE - Design fires for use in fire safety engineering [11] oraz zestawieniem krzywych rozwoju pożaru dla swobodnego spalania pojedynczych przedmiotów zawartych w publikacji S. Särndqvist - Initial Fires [13]. Na poniższych wykresach zaprezentowano zmierzone eksperymentalnie krzywe rozwoju pożaru dla pożarów w obszarach chronionych instalacją tryskaczową oraz krzywych swobodnego spalania:

- Fragmentu obszaru baru / klubu nocnego, stanowiącego odniesienie dla przestrzeni korytarzy w przedmiotowym obiekcie ze względu podobieństwo charakterystyki obciążenia ogniowego: zgromadzone drewniane krzesła oraz stół, tapicerowane siedziska.

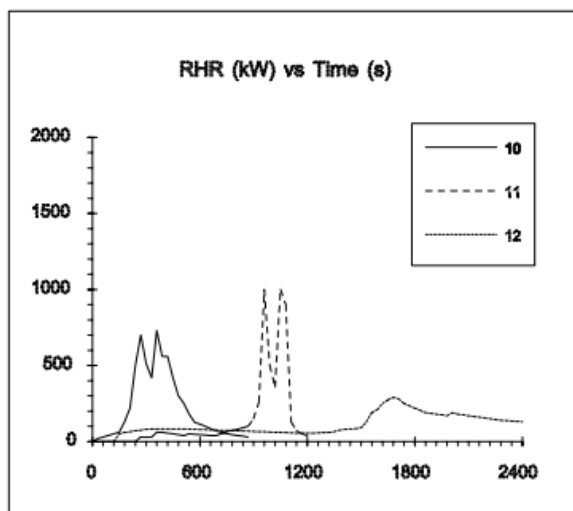


Rys. 6. Zmierzona krzywa całkowitej (kolor niebieski) oraz konwekcyjnej (kolor różowy) mocy dla pożaru nietryskaczowanego.

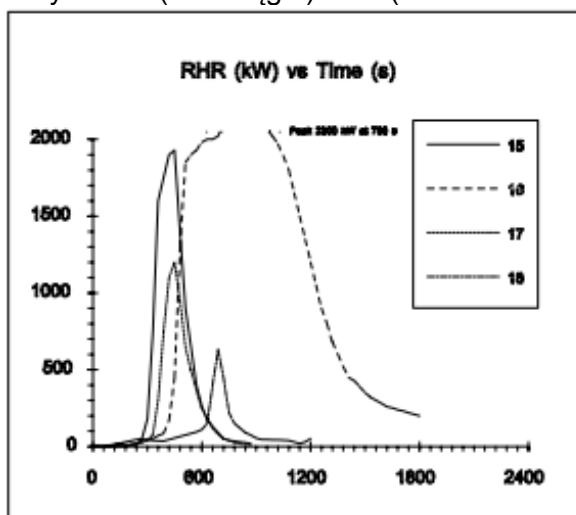


Rys. 7. Zmierzona krzywa całkowitej (kolor niebieski) oraz konwekcyjnej (kolor różowy) mocy dla pożaru tryskaczowanego.

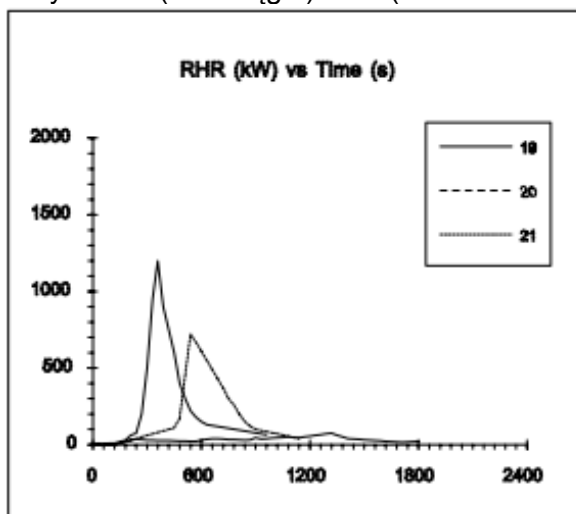
- Pojedyncze przedmioty – łóżka z pościelą, materace, stanowiące wyposażenie pokoi przeznaczonych na pobyt dla pensjonariuszy w przedmiotowym obiekcie. Niniejsze pożary stanowią porównanie dla scenariuszów rozwoju pożaru w przypadku braku stałych urządzeń gaśniczych wodnych. W kolumnie po prawej stronie zestawienie składu materiałowego przedmiotów poddanych swobodnemu spalaniu.



Rys. 8. Krzywe: 10 (linia ciągła) / 11 (linia kreskowana) – pożary łóżek szpitalnych.



Rys. 9. Krzywe: 15 (linia ciągła) / 16 (linia kreskowana) – pożary materaców dla łóżek szpitalnych.



Rys. 10. Krzywe: 19 (linia ciągła) / 20 (linia kreskowana) – pożary materaców z wewnętrznymi sprężynami występujących w łóżkach szpitalnych.

#### 10: Hospital bed

Standard bed used in many Swedish hospitals

Mattress: polyether foam 27 kg/m<sup>3</sup>, 0.10 m

Sheets: 7 layers, polyester/cotton/PVC

Blanket: cotton

Pillow: feather/cotton/polyester/PVC

Säng 1A

#### 11: Improved hospital bed

Mattress: PU foam 35 kg/m<sup>3</sup>, 0.10 m with polymeric surface

Sheets: 4 layers, 100% polyester, 140 g/m<sup>2</sup>

Blanket: 100 % polyester

Pillow: 100% polyester

Säng 2A

#### 15: Hospital mattress

Core: FR PU foam, 86.9 mm, 64 kg/m<sup>3</sup>

Padding: PU foam, 36.8 mm, 25 kg/m<sup>3</sup>

Ticking: FR PVC, 378 g/m<sup>2</sup>

Size: 0.89 x 2.03 x 0.17 m<sup>3</sup>

Mass: 14 kg

Test M01

#### 16: Hospital mattress

Core: Latex (butadiene-styrene), 101.6 mm, 81 kg/m<sup>3</sup>

Ticking: FR PVC with cotton backing, 410 g/m<sup>2</sup>

Size: 0.92 x 2.11 x 0.11 m<sup>3</sup>

Mass: 19 kg

Test M04

#### 19: Hospital mattress with innersprings

Interfacing: PP fabric, 64 g/m<sup>2</sup>

Padding: PU foam, 37.5 mm, 19 kg/m<sup>3</sup>

Ticking: FR PVC, 385 g/m<sup>2</sup>

Size: 0.89 x 2.03 x 0.17 m<sup>3</sup>

Mass: 15 kg

Test M02

#### 20: Hospital mattress with innersprings

Interfacing: PP fabric, 70 g/m<sup>2</sup>

Padding: FR Cotton felt, 49.6 mm, 38 kg/m<sup>3</sup>

Ticking: PVC, 379 g/m<sup>2</sup>, FR

Size: 0.9 x 2.0 x 0.17 m<sup>3</sup>

Mass: 20 kg

Test M03



Zgodnie z oszacowaniem w programie DETACTT2 oraz z danymi zawartymi w opracowaniach z powyższych eksperymentów, zmierzone moce pożarów dla przedmiotowych przestrzeni charakterystycznych dla obiektu hotelowego zawierają się poniżej przyjętej maksymalnej mocy pożarów projektowych. Jedynie dla przypadku pożaru testowego materaca szpitalnego (krzywe 15 i 16) wystąpiła wartość maksymalnej mocy znacznie większa od wartości przyjętej do analizy. Należy jednak zwrócić uwagę, że powyższe krzywe zostały uzyskane dla swobodnego spalania, w warunkach nieograniczonej ilości tlenu (rozwój pożaru ograniczony wyłącznie dostępnością paliwa). Ze względu na niewielką kubaturę pomieszczeń w stosunku do warunków eksperymentalnych, przyjmuje się, że pożar w niewielkim pomieszczeniu jakim jest typowy pokój sypialny, nie może rozwinąć się ponad przyjętą moc, ze względu na ograniczone warunki wentylacji. Dodatkowo, w analizach CFD przyjęto założenia sprzyjające akumulacji ciepła: dłuższy okres rozwoju pożaru do maksymalnej mocy całkowitej a następnie stałą jej wartość aż do końca symulacji (brak charakterystycznego dla swobodnego spalania gwałtownego wzrostu mocy pożaru i szybkiego jej spadku). W związku z powyższymi moce pożarów projektowych przyjęte do analizy zawierają znaczny margines bezpieczeństwa.

#### 4.6.2 Założenia dotyczące odwzorowania pożarów projektowych w analizie CFD

##### Krzywa rozwoju pożaru / szybkość wydzielania mocy pożaru

W przedmiotowej analizie założono rozwój pożaru wg krzywej opisanej funkcją kwadratową  $Q = \alpha t^2$  aż do osiągnięcia maksymalnej mocy całkowitej właściwej dla danego scenariusza, odpowiadającej warunkom pożaru, którego rozwój jest ograniczony poprzez zadziałanie instalacji wysokociśnieniowej mgły wodnej szybkiego reagowania systemu HI-FOG® (lub analogicznie dla przypadków porównawczych). Dla analizowanych przypadków przyjęto następujące współczynniki prędkości rozwoju pożaru:

- $\alpha = 0,01172 \text{ kW/s}^2$  właściwy dla pożarów o średnio szybkiej prędkości rozwoju wg BS 7346-5:2005 – dla scenariuszy rozwoju pożaru w pokoju: A (lokalizacje: A1, A2) oraz B (lokalizacje: B1, B2);
- $\alpha = 0,00293 \text{ kW/s}^2$  właściwy dla pożarów o małej prędkości rozwoju wg BS 7346-5:2005 – dla scenariuszy rozwoju pożaru w korytarzu: C (lokalizacje: C1, C2) oraz D (lokalizacje: D1, D2);

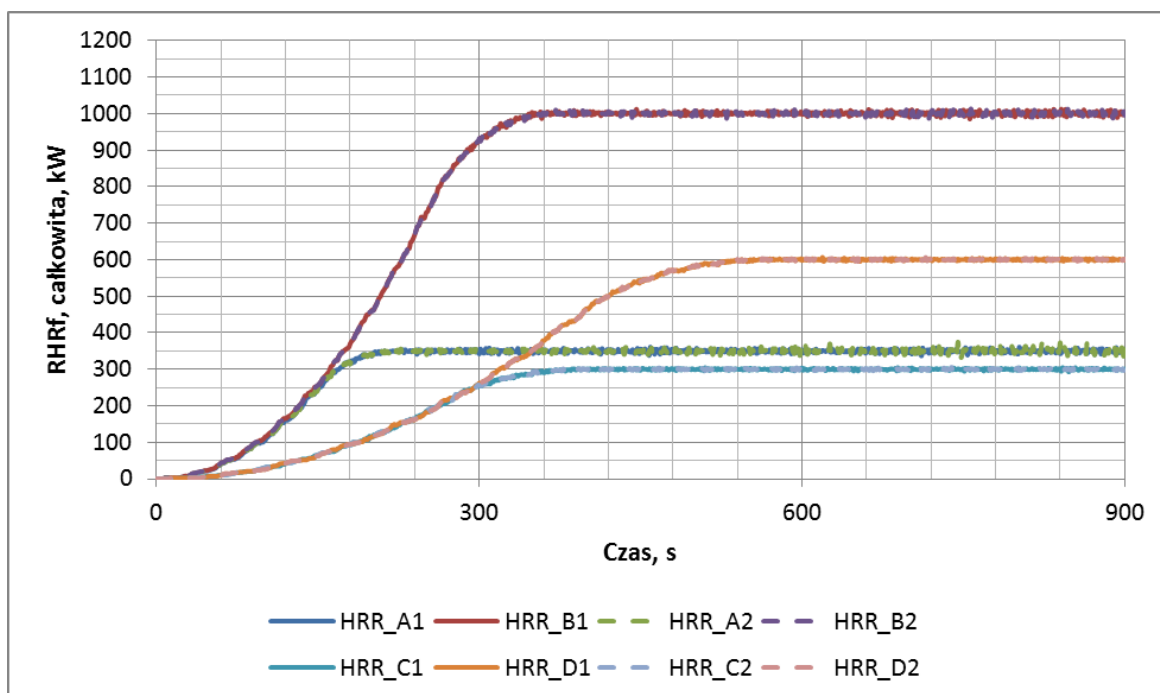
Aby osiągnąć możliwość bezpośredniego porównania chłodzących właściwości mgły wodnej – dla wszystkich analizowanych przypadków założono pożar projektowy o wartości całkowitej gęstości mocy pożaru na jednostkę powierzchni (parametr FDS: HRRPUA,  $\text{kW/m}^2$ ) zbliżonej do  $250 \text{ kW/m}^2$ , właściwej dla typowych pomieszczeń obiektu hotelowego, biurowego, itp. wg [12].

##### Pozostałe założenia dotyczące rozwoju pożaru

Ze względu na dużą szczelność przegród i stosunkowo niewielką kubaturę rozpatrywanego pomieszczenia w stosunku do przyjętej mocy pożaru projektowego prawdopodobne jest wystąpienie warunków pożaru ograniczonego ilością dostępnego tlenu (ang. *ventilation controlled fire*), co w sytuacji rzeczywistego pożaru również prowadziłoby do przytłumienia (ograniczenia mocy) pożaru. Na potrzeby niniejszej analizy założono brak wpływu stężenia tlenu w powietrzu na moc pożaru, tj. wyłączono w modelu komputerowym opcję gaszenia pożaru na skutek ograniczenia ilości dostępnego tlenu poniżej domyślnej wartości granicznej 15% w obrębie przestrzeni objętej pożarem.

W tej sytuacji różnica w prognozowanych wartościach temperatur w przestrzeni objętej pożarem wynika bezpośrednio z chłodzącego wpływu mgły wodnej. Ponieważ jednym z mechanizmów gaśniczych na jakich opiera się działanie wysoko ciśnieniowej mgły wodnej jest wypieranie tlenu w sąsiedztwie pożaru przez mgłę wodną powyższe założenie wprowadza dodatkowy margines bezpieczeństwa. W sytuacji rzeczywistego pożaru pozytywny efekt działania systemu HI-FOG® będzie dodatkowo wzmocniony mniejszą przewidywaną mocą pożaru ze względu na powyższy efekt towarzyszący działającej instalacji mgły wodnej.

Poniżej przedstawiono graficzne krzywe całkowitej mocy pożaru uzyskane w symulacjach CFD, odpowiadające przyjętym założeniom:



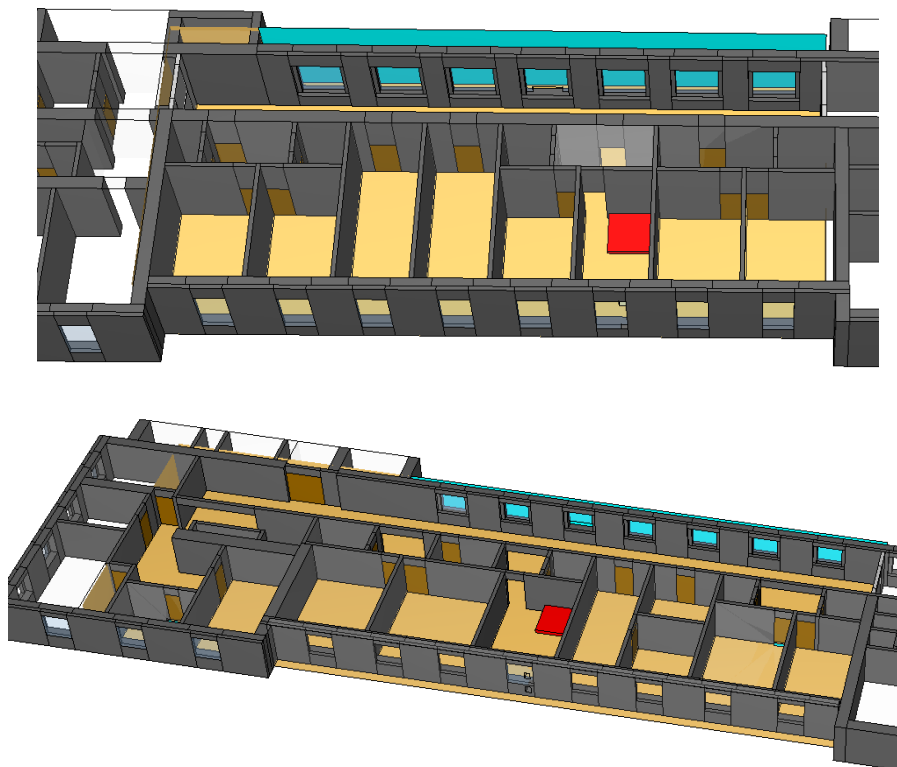
Rys. 11. Krzywe rozwoju pożaru uzyskane w przeprowadzonych symulacjach CFD.

Szczegółowe parametry pożarów zestawiono w tabeli poniżej:

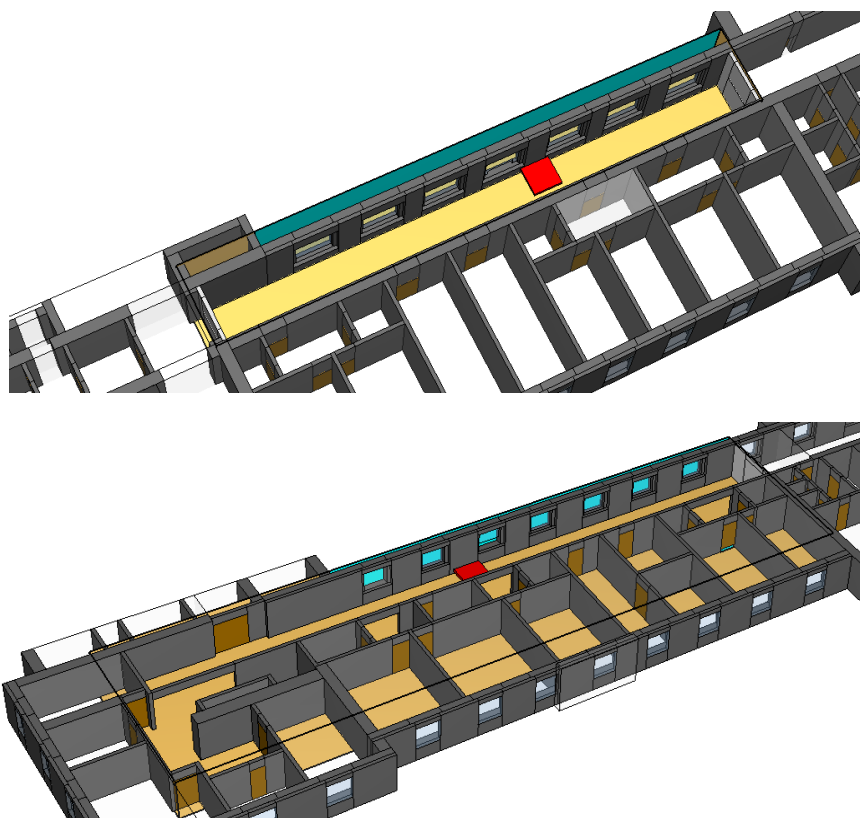
Oznaczenie scenariusza rozwoju pożaru	Powierzchnia pożaru	Gęstość mocy pożaru na 1 m <sup>2</sup> RHR <sub>f</sub>	Czas do osiągnięcia mocy maksymalnej	Maks. moc całkowita	Maks. moc konwekcyjna
A1 / A2	1,44 m <sup>2</sup>	243,1 kW/m <sup>2</sup>	ok. 170 s	350 kW	280 kW
B1 /B2	4,00 m <sup>2</sup>	250,0 kW/m <sup>2</sup>	ok. 290 s	1000 kW	800 kW
C1 / C2	1,21 m <sup>2</sup>	247,9 kW/m <sup>2</sup>	ok. 320 s	300 kW	240 kW
D1 / D2	2,56 m <sup>2</sup>	234,4 kW/m <sup>2</sup>	ok. 450 s	600 kW	480 kW

Tab. 2. Parametry przyjętych pożarów projektowych.

W niniejszym raporcie przedstawiono wyniki dla wszystkich reprezentatywnych przypadków pożarowych. Lokalizacje pożarów pokazano na widoku geometrii modelu CFD poniżej:



Rys. 12. Widok geometrii modelu budynku z zaznaczeniem lokalizacji rozpatrywanych pożarów – scenariusze rozwoju pożaru w pokoju.



Rys. 13. Widok geometrii modelu budynku z zaznaczeniem lokalizacji rozpatrywanych pożarów – scenariusze rozwoju pożaru w korytarzu.

#### 4.6.3 Część energii wydzielanej przez promieniowanie cieplne

Proporcja pomiędzy częścią energii wydzielonej z pożaru poprzez promieniowanie cieplne, w stosunku do mocy całkowitej pożaru determinowana jest w programie FDS poprzez zmienną `RADIATIVE_FRACTION`. W przedmiotowej analizie przyjęto wartość tej zmiennej równą **0,20**.

#### 4.6.4 Współczynnik emisji dymu

W przedmiotowej analizie założono, iż główną grupę materiałów ulegających spalaniu w przypadku pożaru w przedmiotowym obiekcie stanowić będą celuloza oraz tworzywa sztuczne występujące w elementach wyposażenia tj. meble twarde i tapicerowane (regały wykonane z materiałów drewnopochodnych, łóżka, materace, fotele i krzesła wykonane z tworzyw sztucznych (plastiki, pianki, etc.).

Ze względu na duże różnice pomiędzy stopniem dymotwórczości poszczególnych materiałów oraz niemożnością oszacowania ich procentowego udziału w spalanej mieszaninie zdecydowano, iż do symulacji komputerowej przyjęte zostaną następujące uśrednione właściwości:

- współczynnik emisji dymu (zmienna `SOOT_YIELD`)  **$y_s=0.07$  kg/kg.**
- skład chemiczny (na potrzeby stechiometrii reakcji)  **$\text{CH}_{1.8}\text{O}_{0.17}\text{N}_{0.17}$**  (jak dla nylonu)

#### 4.7 **ZAŁOŻENIA DOTYCZĄCE GEOMETRII I WARUNKÓW BRZEGOWYCH**

Zgodnie z danymi dostarczonymi przez Zleceniodawcę aranżację przedmiotowych obszarów charakteryzuje podział przestrzeni użytkowej na pokoje przeznaczone na pobyt pensjonariuszy (pokoje z łózkami), przedsionki otwarte na przyległy korytarz lub ograniczone drzwiami oraz pomieszczenia sanitarne i pomocnicze zgodnie z opisem w pkt. 4.1.1.

Na potrzeby analizy zamodelowano uproszczoną geometrię uwzględniającą pokój, przedsionek oraz przyległy korytarz lub sam korytarz – w zależności od rozpatrywanej lokalizacji pożaru projektowego.

W zaadoptowanej geometrii pokoju założono otwór drzwiowy o wymiarach: szerokość 1,0 m oraz wysokość: 2,3 m dla kondygnacji +2, 2,0 m dla kondygnacji +3, zapewniający dopływ powietrza do pożaru oraz możliwość wypływu gazów pożarowych na przyległy korytarz. Drzwi pozostają otwarte przez cały czas trwania pożaru pozwalając tym samym na swobodny wypływ gazów pożarowych do przestrzeni korytarza.

Na potrzeby analizy przyjęto nieszczelności w obrębie pomieszczenia objętego pożarem i korytarza o sumarycznej powierzchni nie przekraczającej 1,0 m<sup>2</sup> dla pożarów projektowych w obrębie korytarza oraz 1,2 m<sup>2</sup> dla pożarów projektowych w pokoju.

Wysokości pomieszczenia objętego pożarem przyjęto zgodnie z opisem w pkt. 4.1.1.

#### 4.8 **CZAS ANALIZY CFD**

W niniejszym opracowaniu przedstawiono wyniki w zakresie prognozy temperatur w kontekście analizy wpływu działania instalacji wysokociśnieniowej mgły wodnej na obniżenie prognozowanych temperatur w przestrzeni objętej pożarem dla czasu do 15 min od momentu powstania pożaru dla wszystkich scenariuszów rozwoju pożaru projektowego. Dla przyjętych założeń po czasie tym nie występują znaczące zmiany warunków środowiskowych (stan quasi-ustalony).

#### **4.9 SIATKA OBLICZENIOWA MODELU CFD**

W rozpatrywanych analizach domeny obliczeniowe opisano przy użyciu pojedynczych siatek o rozdzielczości 0,10 m x 0,10 m x 0,10 m i sumarycznej liczbie komórek: od ok. 0,6 mln do ok. 1,8 mln, w zależności od lokalizacji pożaru. Wartość współczynnika kształtu komórki dla siatek obliczeniowych równa jest 1,0, co jest zgodne z zaleceniami zawartymi w literaturze [1].

W przedmiotowej analizie przestrzegano zaleceń dotyczących prawidłowego stosowania modeli CFD w symulacjach pożarowych [8] i [9].

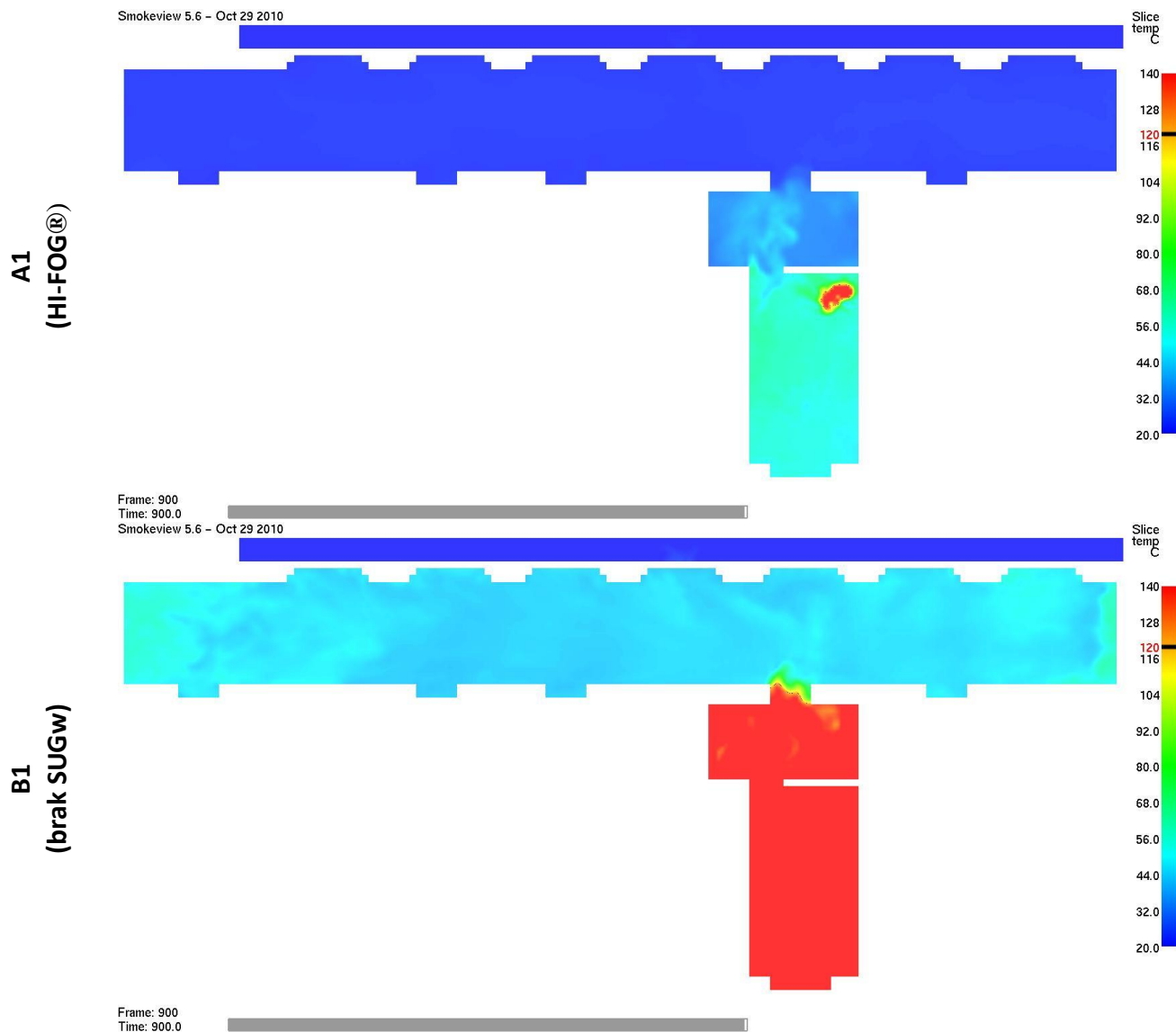
#### **4.10 PREZENTACJA WYNIKÓW ANALIZ CFD**

W punkcie 5.0 zaprezentowano wyniki dla wszystkich rozpatrywanych przypadków i lokalizacji pożarów, dla czasów dla których uzyskano stan quasi-ustalony a pożar osiągnął swoją maksymalną całkowitą moc projektową. Wyniki zawierają przekroje wynikowe z zaznaczonymi obszarami na których została osiągnięta lub przekroczona przyjęta temperatura krytyczna wynosząca 120°C (przyjęta jako wartość graniczna dla prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych) oraz temperatura 400°C (przyjęta jako temperatura powyżej której może dojść do zjawiska rozgorzenia w pomieszczeniu objętym pożarem). Rozmieszczenie przekrojów wynikowych i punktów pomiarowych odpowiada położeniu pożaru projektowego a także obrazuje rozkład prognozowanych temperatur w przekrojach podłużnym i poprzecznym przez korytarz oraz pomieszczenie objęte pożarem.

**5.0 WYNIKI SYMULACJI CFD – TEMPERATURA GAZÓW POŻAROWYCH****5.1.1 PORÓWNANIE: (kondygnacja +2)**

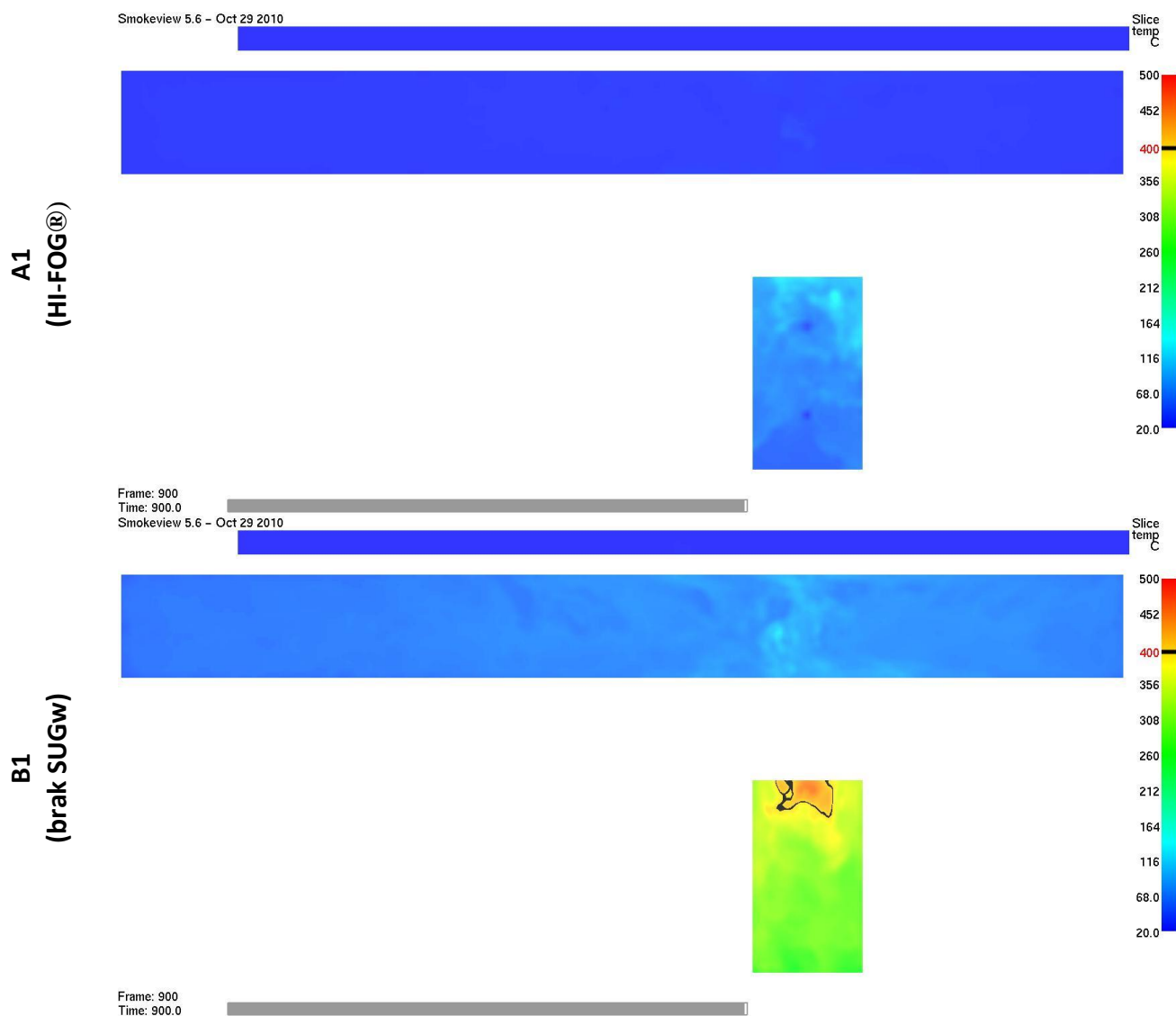
**Przypadek pożarowy A1 (podstawowy) – Pomieszczenie chronione systemem HI-FOG® - symulacja: DPS\_Helclow\_WM\_FDS553\_21\_lvl2R\_wm\_350kW\_2v2.**

**Przypadek pożarowy B1 (porównawczy) – Pomieszczenie niechronione SUGw - symulacja: DPS\_Helclow\_WM\_FDS553\_23\_lvl2R\_nwm\_1000kW\_2v2.**

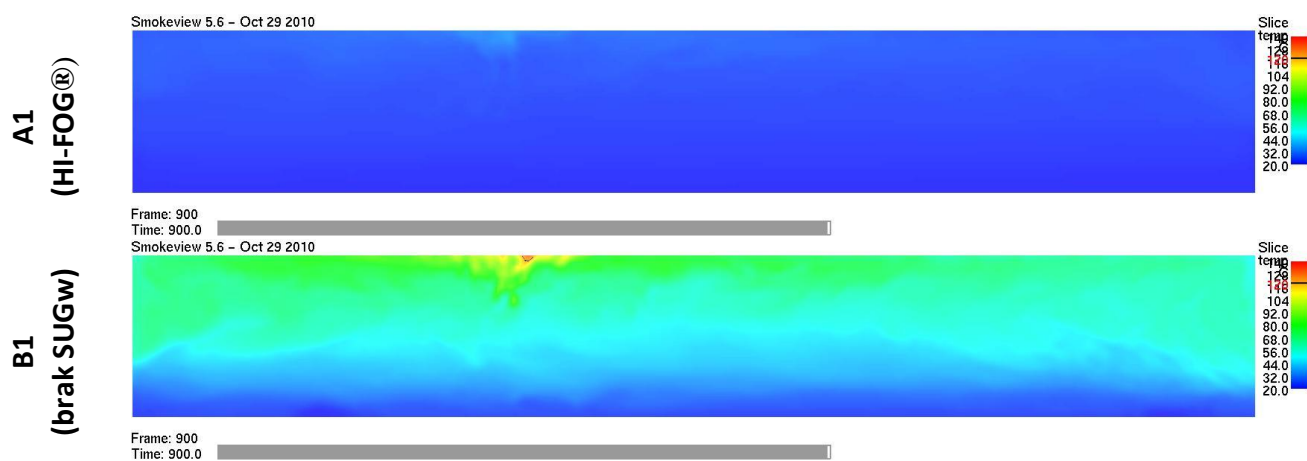


Zakres temperatury na wysokości 1,6 m n.p.p. dla czasu 900 s  
(zakres skali: 20°C -140°C; znacznik temperatury 120°C)

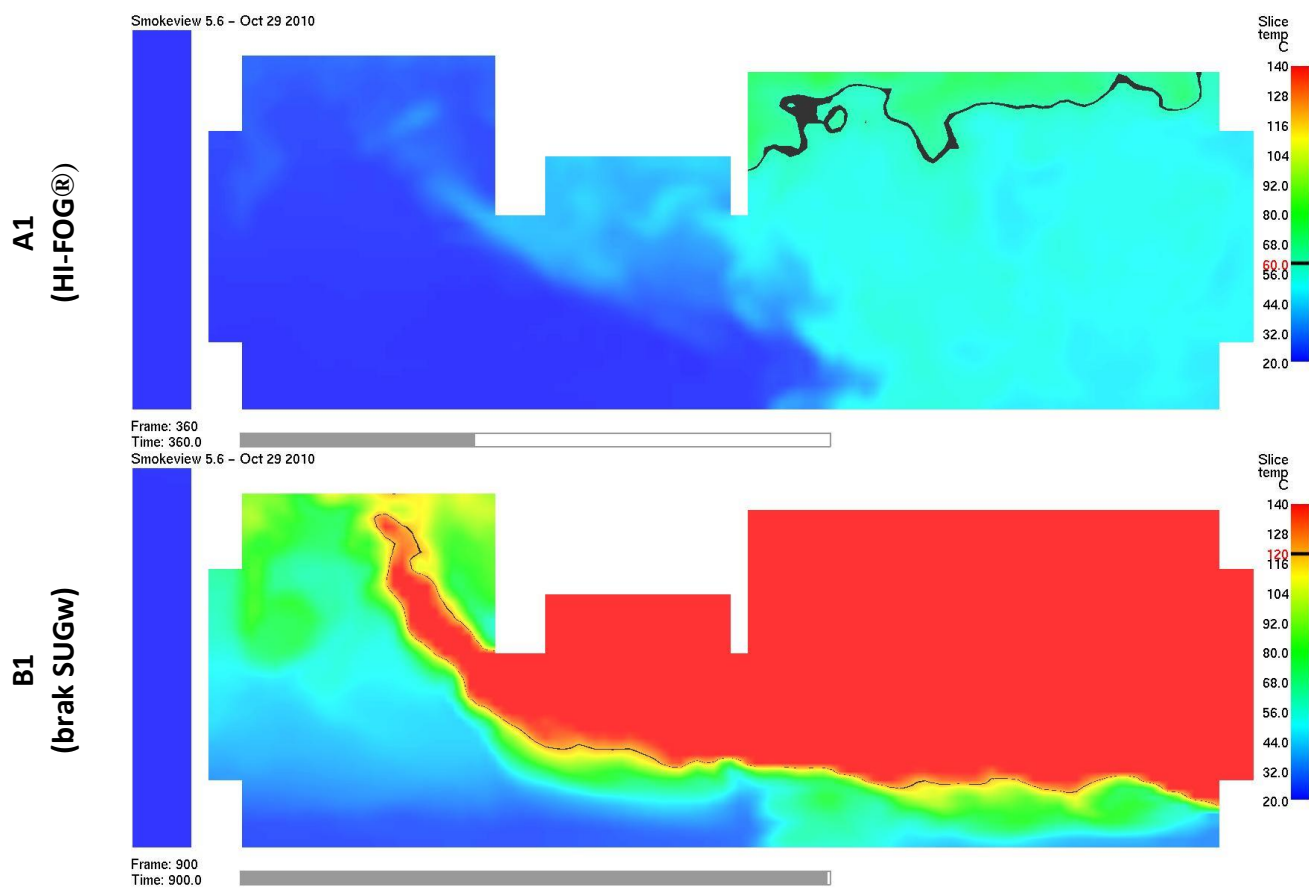




Zakres temperatury na wysokości 3,9 m n.p.p. (poniżej sufitu podwieszanego w pokoju) dla czasu 900 s  
(zakres skali: 20°C -500°C; znacznik temperatury 400°C)



Zakres temperatury w przekroju przez korytarz dla czasu 900 s  
(zakres skali: 20°C -140°C; znacznik temperatury 120°C)



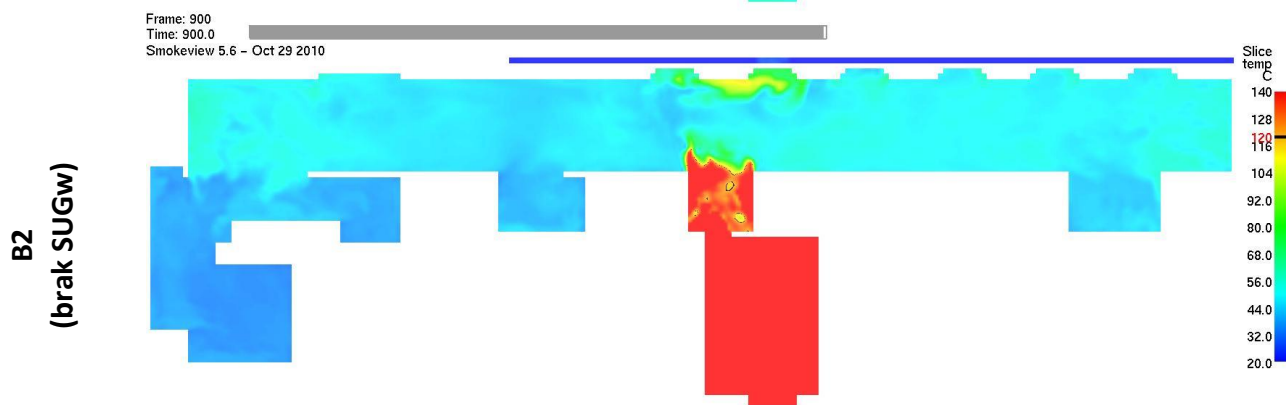
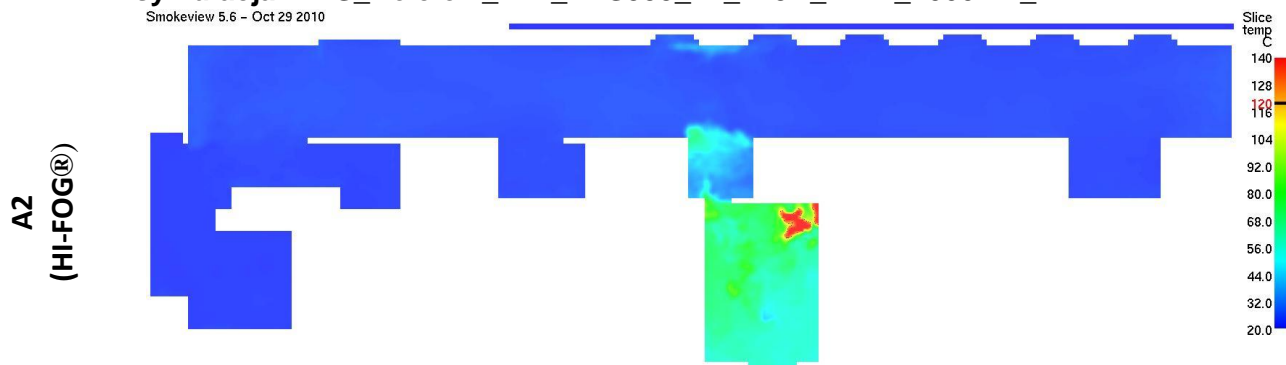


## 5.1.2 PORÓWNANIE: (kondygnacja +3)

**Przypadek pożarowy A2 (podstawowy) – Pomieszczenie chronione systemem HI-FOG® - symulacja: DPS\_Helclow\_WM\_FDS553\_22\_lvl3R\_wm\_350kW\_2v2.**

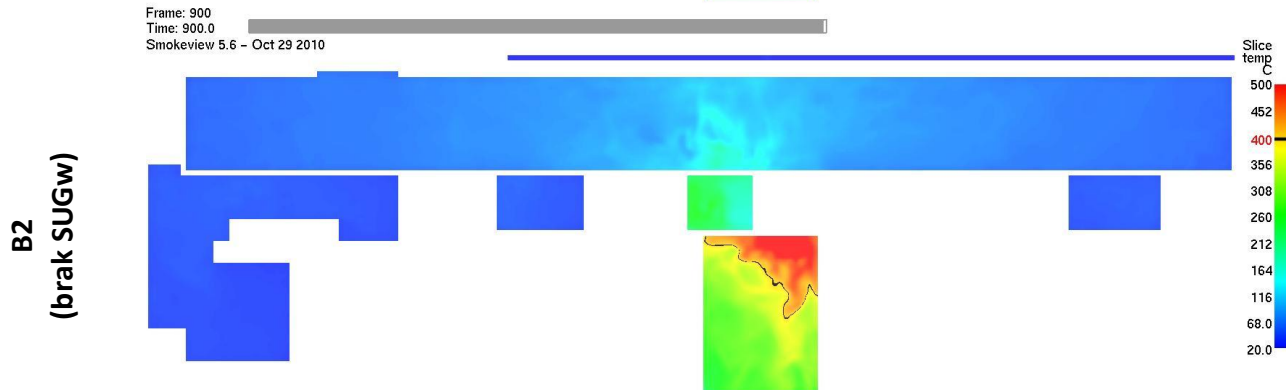
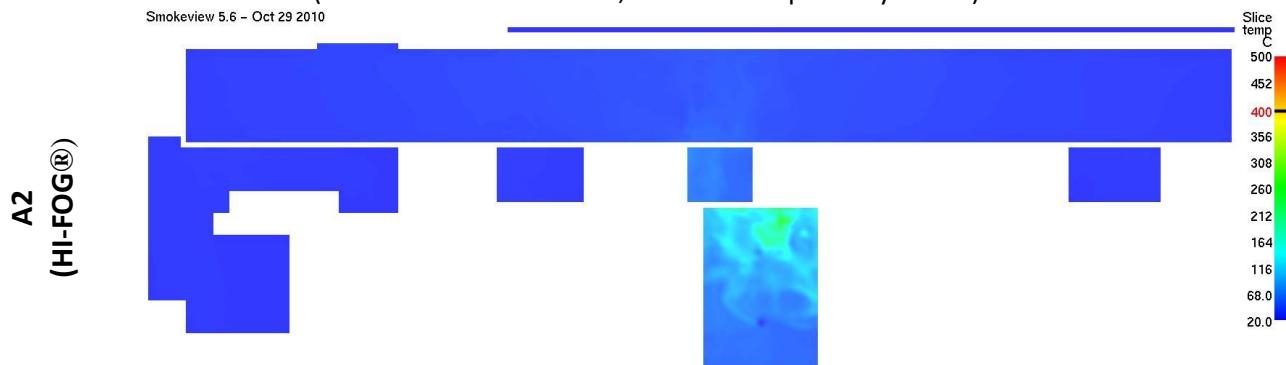
**Przypadek pożarowy B2 (porównawczy) – Pomieszczenie niechronione SUGw - symulacja: DPS\_Helclow\_WM\_FDS553\_24\_lvl3R\_nwm\_1000kW\_2v2.**

Smokeyview 5.6 – Oct 29 2010

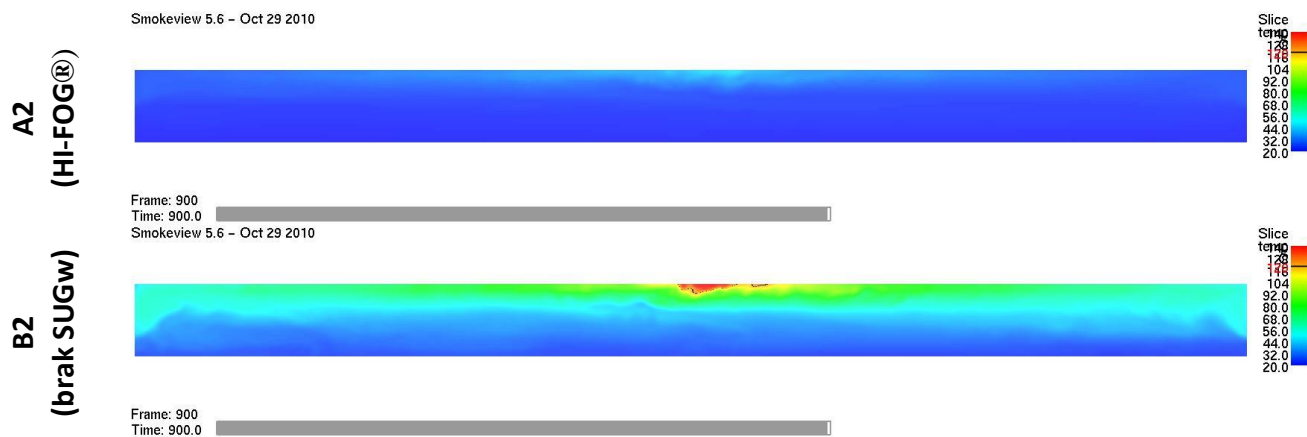


Zakres temperatury na wysokości 1,6 m n.p.p. dla czasu 900 s  
(zakres skali: 20°C -140°C; znacznik temperatury 120°C)

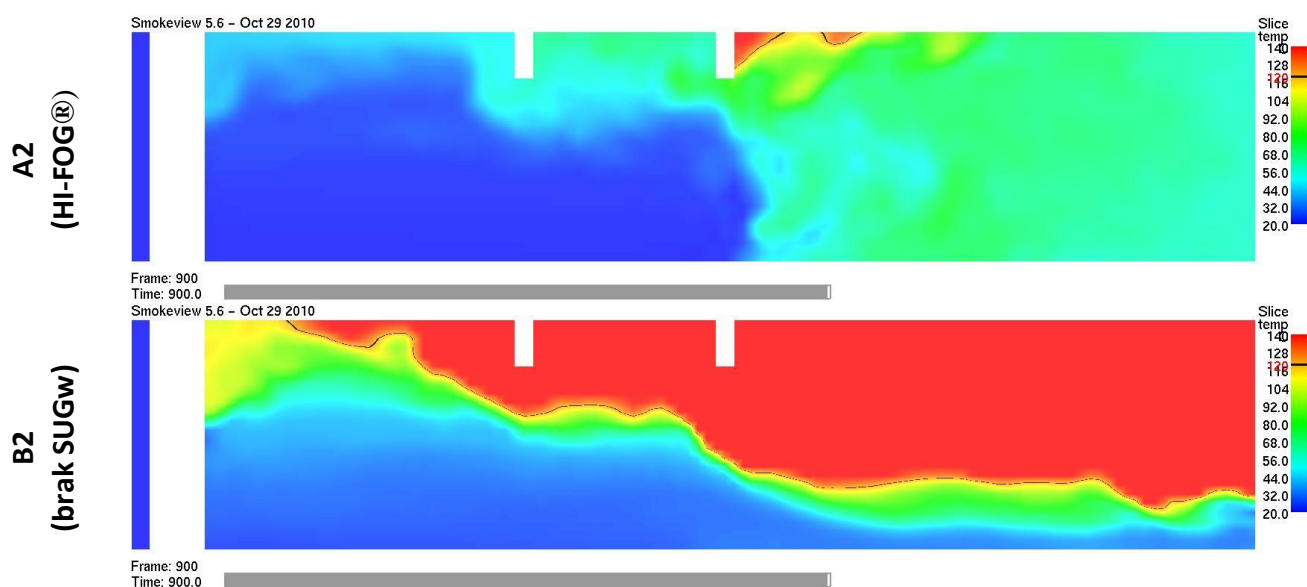
Smokeyview 5.6 – Oct 29 2010



Zakres temperatury na wysokości 2,4 m n.p.p. (poniżej sufitu podwieszanego w pokoju) dla czasu 900 s  
(zakres skali: 20°C -500°C; znacznik temperatury 400°C)



Zakres temperatury w przekroju przez korytarz dla czasu 900 s  
(zakres skali: 20°C -140°C; znacznik temperatury 120°C)



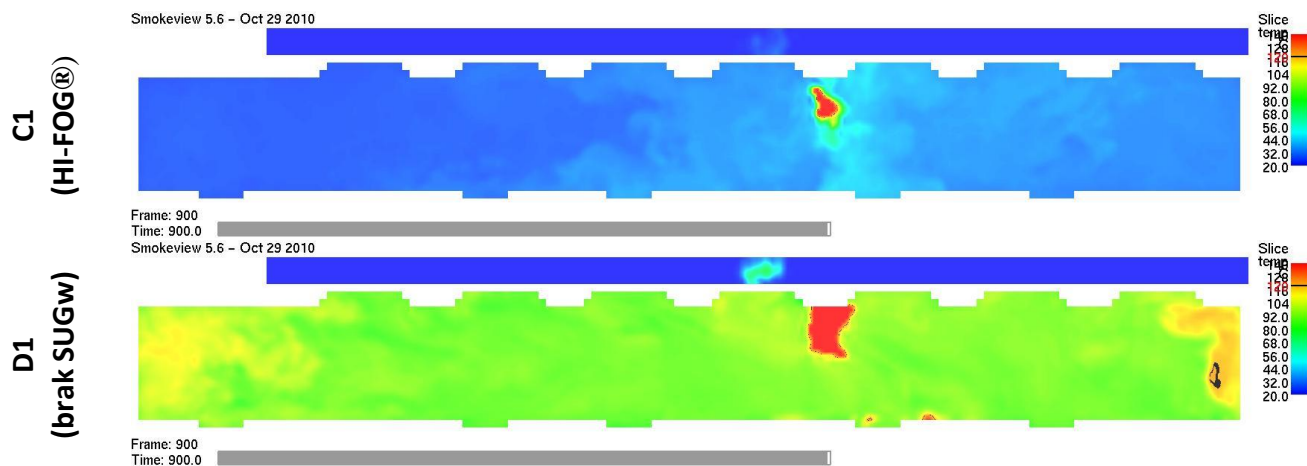
Zakres temperatury w przekroju przez pokój i korytarz dla czasu 900 s  
(zakres skali: 20°C -140°C; znacznik temperatury 120°C)

## 5.1.3

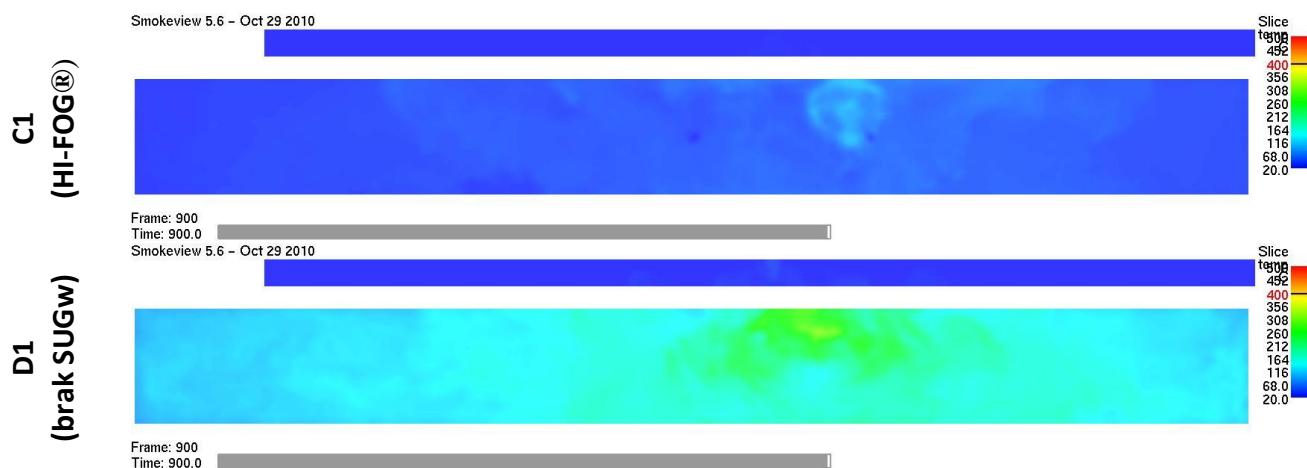
**PORÓWNANIE: (kondygnacja +2)**

**Przypadek pożarowy C1 (podstawowy) – Korytarz chroniony systemem HI-FOG® - symulacja: DPS\_Helclow\_WM\_FDS553\_14\_lvl2K\_wm\_300kW\_1v1.**

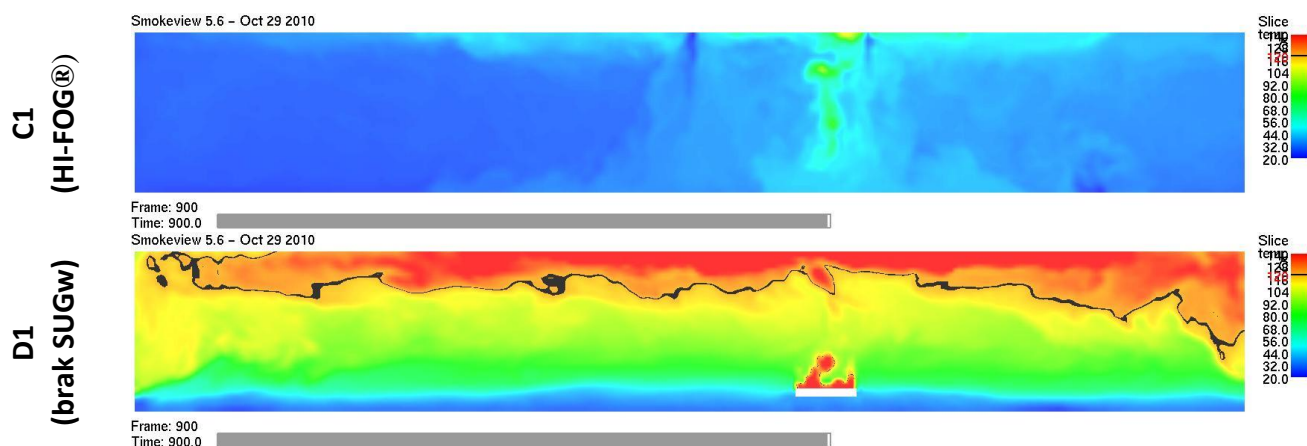
**Przypadek pożarowy D1 (porównawczy) – Korytarz niechroniony SUGw - symulacja: DPS\_Helclow\_WM\_FDS553\_16\_lvl2K\_nwm\_600kW\_1v1.**



Zakres temperatury na wysokości 1,6 m n.p.p. dla czasu 900 s  
(zakres skali: 20°C -140°C; znacznik temperatury 120°C)

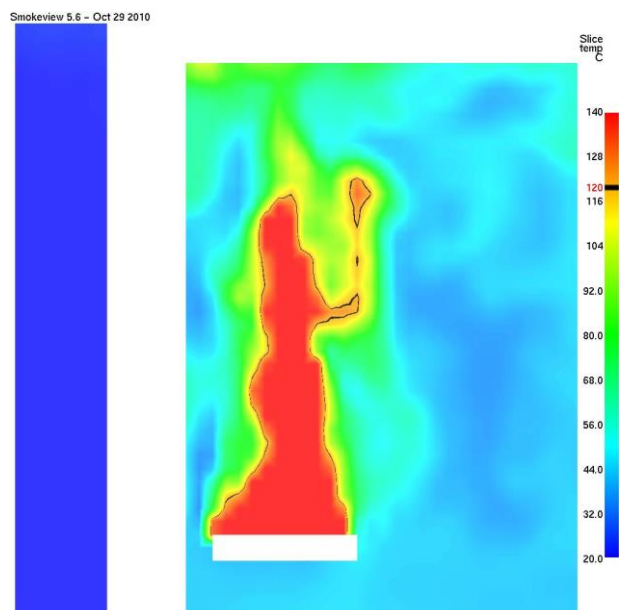


Zakres temperatury na wysokości 4,1 m n.p.p. (poniżej stropu w korytarzu) dla czasu 900 s  
(zakres skali: 20°C -500°C; znacznik temperatury 400°C)

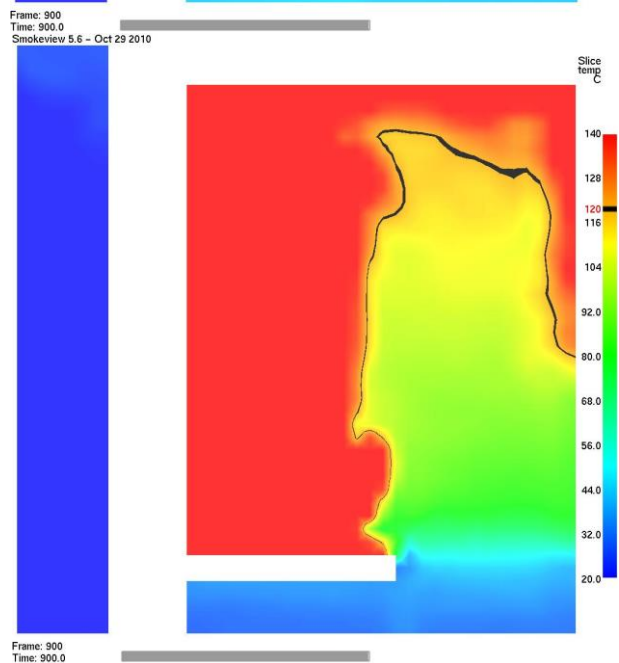


Zakres temperatury w przekroju podłużnym przez korytarz dla czasu 900 s  
(zakres skali: 20°C -140°C; znacznik temperatury 120°C)

C1  
(HI-FOG®)



D1  
(brak SUGw)

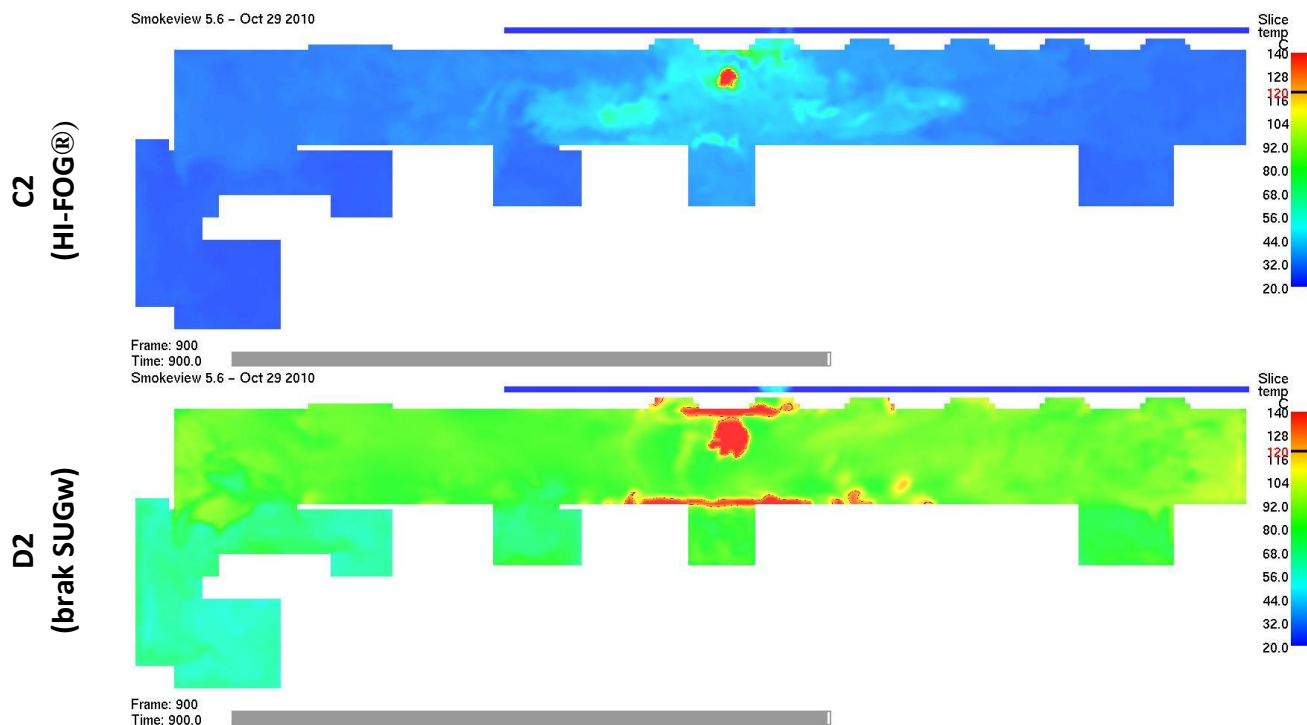


Zakres temperatury w przekroju poprzecznym przez korytarz dla czasu 900 s  
(zakres skali: 20°C -140°C; znacznik temperatury 120°C)

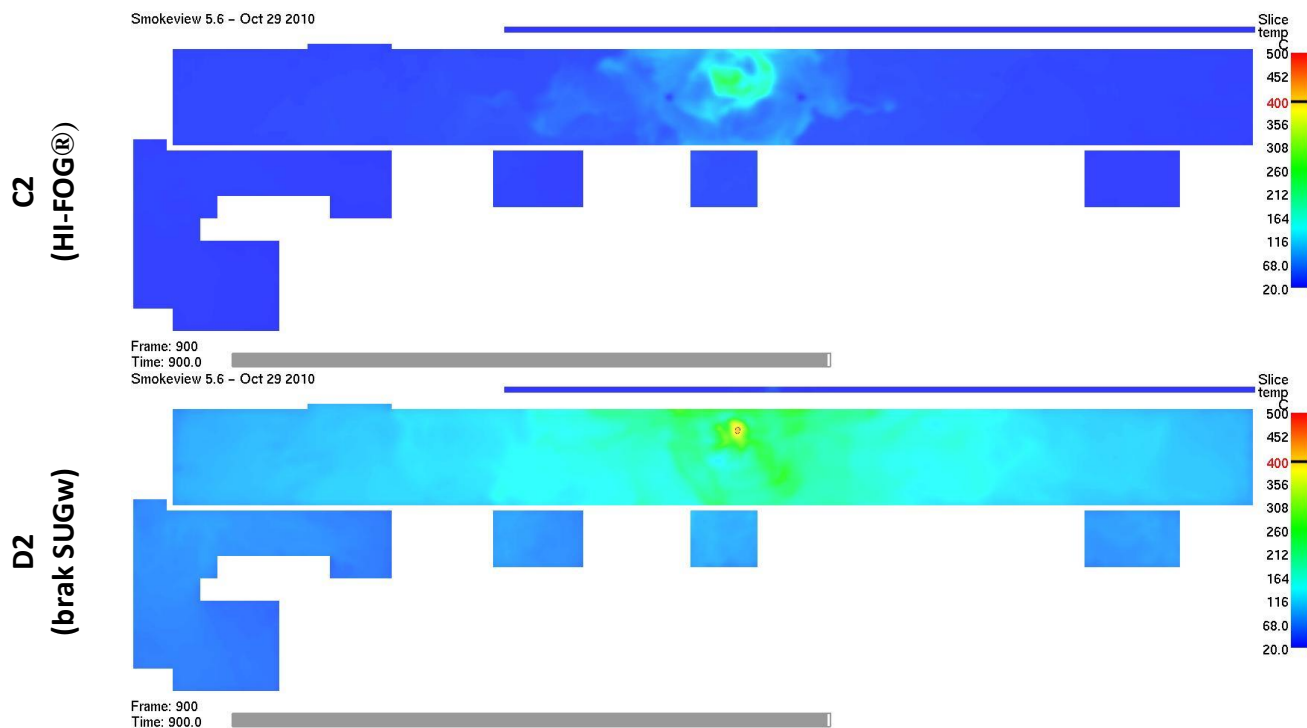
## 5.1.4 PORÓWNANIE: (kondygnacja +3)

Przypadek pożarowy C2 (podstawowy) – Korytarz chroniony systemem HI-FOG® - symulacja: DPS\_Helclow\_WM\_FDS553\_13\_lvl3K\_wm\_300kW\_1v1.

Przypadek pożarowy D2 (porównawczy) – Korytarz niechroniony SUGw - symulacja: DPS\_Helclow\_WM\_FDS553\_15\_lvl3K\_nwm\_600kW\_1v12.

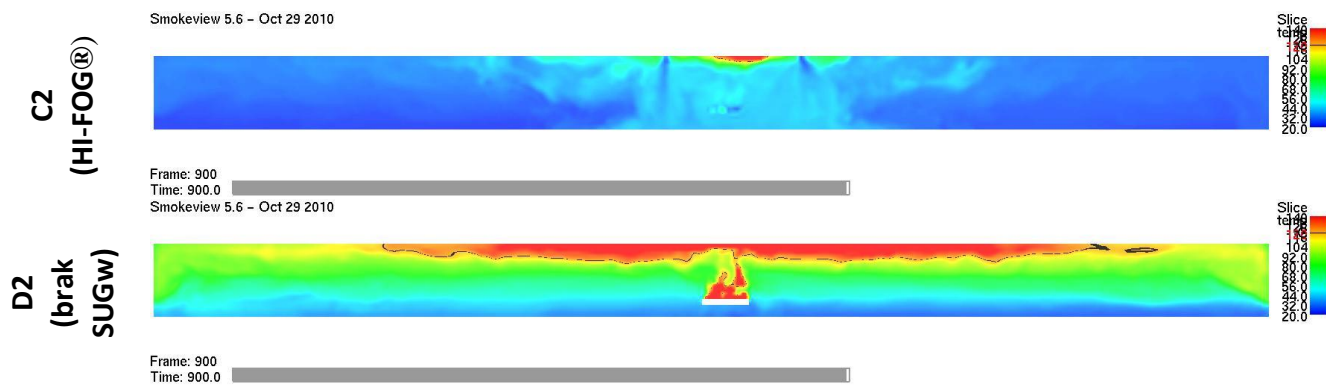


Zakres temperatury na wysokości 1,6 m n.p.p. dla czasu 900 s  
(zakres skali: 20°C -140°C; znacznik temperatury 120°C)

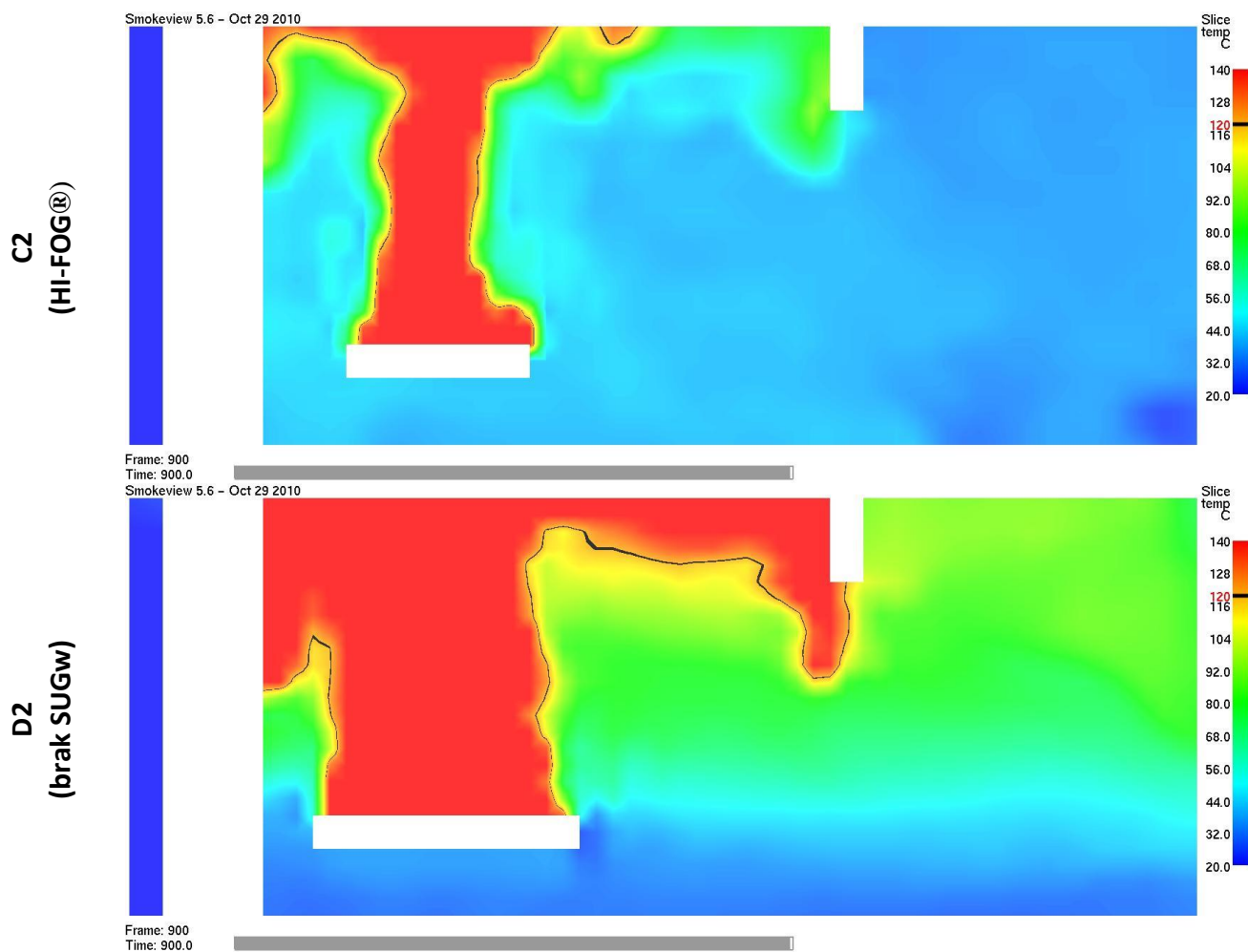


Zakres temperatury na wysokości 2,4 m n.p.p. (poniżej stropu w korytarzu) dla czasu 900 s  
(zakres skali: 20°C -500°C; znacznik temperatury 400°C)





Zakres temperatury w przekroju podłużnym przez korytarz dla czasu 900 s  
(zakres skali: 20°C -140°C; znacznik temperatury 120°C)



Zakres temperatury w przekroju poprzecznym przez korytarz dla czasu 900 s  
(zakres skali: 20°C -140°C; znacznik temperatury 120°C)

**6.0 WNIOSKI Z ANALIZY**

**Wyniki przeprowadzonych symulacji komputerowych potwierdzają skuteczność systemu wysokociśnieniowej mgły wodnej HI-FOG® w zakresie redukcji temperatur gazów pożarowych w przestrzeni objętej pożarem.**

**Otrzymane wyniki dotyczą analiz wykonanych w oparciu o parametry systemu wysokociśnieniowej mgły wodnej HI-FOG®. Wobec powyższego wnioski przedstawione powyżej mają zastosowanie jedynie w przypadku przestrzeni chronionych tym konkretnym systemem gaśniczym.**

W symulacjach podstawowych, zakładających zadziałanie systemu wysokociśnieniowej mgły wodnej obserwuje się znaczący spadek temperatur w obrębie przestrzeni objętej pożarem i przyległego korytarza w stosunku do analogicznych symulacji, w których pominięto zastosowanie przedmiotowej instalacji. W symulacjach podstawowych jedynie na nieznacznym obszarze, bezpośrednio przyległym do źródła pożaru, temperatury przekraczają przyjętą wartość graniczną 120°C, uznaną za bezpieczną wartość temperatury dla prowadzenia działań przez ekipy ratowniczo-gaśnicze. Ponadto, na wizualizacjach zakresu temperatury w strefie podsufitowej dla pożarów zlokalizowanych pomieszczeniach, widoczne jest ograniczenie obszaru temperatury o wartości powyżej 400°C, przyjętej w niniejszej analizie jako umowna wartość dla możliwości wystąpienia rozgorzenia. Zadziałanie mgły wodnej w przypadku rzeczywistego pożaru w znaczący sposób ograniczy jego rozwój a także poprzez redukcję temperatur zabezpieczy rozpatrywane przestrzenie przez zjawiskiem rozgorzenia i dalszym rozprzestrzenianiem się pożaru w obiekcie.

Należy podkreślić, że ze względu na niewielką kubaturę rozpatrywanych przestrzeni i brak systemu wentylacji pożarowej w obrębie korytarzy dopuszczalne parametry ewakuacji w zakresie widzialności są zachowane jedynie przez bardzo krótki czas. Z tego powodu bardzo istotne jest możliwe szybkie podjęcie ewakuacji przez użytkowników budynku z obszaru bezpośrednio zagrożonego skutkami oddziaływania pożaru. W tym kontekście szczególnie istotne jest wczesne wykrycie i niezwłoczne powiadomienie Straży Pożarnej o pożarze a także rygorystyczne stosowanie zaleceń co do ograniczenia składowania materiałów palnych w obrębie korytarzy.

**ZAŁĄCZNIK A – LITERATURA**

- [1] McGrattan K.B., Klein B., Hostikka S., Floyd J., Fire Dynamics Simulator (Version 5), User's Guide, NIST Publication 1019-5, February 2009.
- [2] McGrattan K.B., Hostikka S., Floyd J., Baum H., Rehm R., Mell W., McDermot R., Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide Volume 1: Mathematical Model, NIST Special Publication 1018-5, October 2010.
- [3] McDermot R., McGrattan K.B., Hostikka S., Floyd J., Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide Volume 2: Verification, NIST Special Publication 1018-5, 2010.
- [4] McGrattan K.B., Hostikka S., Floyd J., Klein B., Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide Volume 3: Validation, NIST Special Publication 1018-5, 2008.
- [5] Forney G.P., User's Guide for Smokeview Version 5 - A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data, NIST Publication 1017-1, August 2007.
- [6] Jaworski Z., Numeryczna mechanika płynów w inżynierii chemicznej i procesowej, AOW EXIT, 2005
- [7] Procedury organizacyjno-techniczne w sprawie spełnienia wymagań w zakresie bezpieczeństwa pożarowego w inny sposób niż to określono w przepisach techniczno-budowlanych, w przypadkach wskazanych w tych przepisach, oraz stosowania rozwiązań zamiennych, zapewniających nie pogorszenie warunków ochrony przeciwpożarowej, w przypadkach wskazanych w przepisach przeciwpożarowych, KG PSP, 2008
- [8] Smardz P., Paliszek-Saładyna J., Zalecenia dotyczące prawidłowego stosowania modelu CFD w symulacjach pożarowych dla programu Fire Dynamics Simulator, VI Konferencja Międzynarodowa „Bezpieczeństwo Pożarowe Budowli”, SGSP, Warszawa 2008
- [9] N. Gobeau, H.S. Ledin, C.J. Lea. Guidance for HSE Inspectors: Smoke movement in complex enclosed spaces - Assessment of Computational Fluid Dynamics, HSL/2002/29
- [10] Society of Fire Protection Engineers, SFPE handbook of Fire Protection Engineering, 3<sup>rd</sup> Edition, 2003
- [11] BR Design fires for use in fire safety engineering. BRE 2011.
- [12] BS 7346 - 4: 2003 Components for smoke and heat control systems – Part 4: Functional recommendations and calculation methods for smoke and heat exhaust ventilation systems employing steady-state design fires - Code of practice. Table 1 – Default values of design fires, p. 24
- [13] S. Särndqvist, Initial Fires. RHR Smoke Production and CO Generation from Single Items and Room Fire Tests., Lund, April 1993.
- [14] G. Lechowicz, H. Myrc, Ekspertyza techniczna dot. Domu Pomocy Społecznej przy ul. Helclów 2 w Krakowie, Kraków, lipiec 2016.