


Nr projektu	CRR.24.056	Egz. ...
Nr rewizji	00	
RAPORT Z ANALIZ KOMPUTEROWYCH		
Obiekt:	Szpital W Puszczykowie - Budynek A im. prof. S. T. Dąbrowskiego S. A. ul. Kraszewskiego 11, 62-041 Puszczykowo	
Temat:	Raport z symulacji CFD	
Jednostka opracowująca:	 ConsultRisk	ConsultRisk Sp. z o.o. ul. Pęcicka 21 01-688 Warszawa www.consultrisk.pl
Opracował:	mgr inż. Jacek Winiarek	
Sprawdził:	dr hab. inż. Adam Krasuski	
Warszawa, czerwiec 2024 r.		

Spis treści

	Strona
Spis tabel	4
1. Wprowadzenie	5
2. Podstawy opracowania	6
3. Charakterystyka obiektu	7
3.1. Opis budynku	7
3.2. Założenia w zakresie systemu sygnalizacji pożarowej	8
3.3. Założenia w zakresie wentylacji pożarowej	9
3.4. Założenia w zakresie ewakuacji	9
4. Przewidywany czas do interwencji ekip ratowniczo - gaśniczych	10
5. Wentylacja Pożarowa	11
5.1. Założenia w zakresie wentylacji pożarowej	11
5.2. Niezgodności z przyjętymi standardami projektowymi	13
5.3. Wydajności instalacji wentylacji pożarowej	13
6. Symulacje CFD – opis i założenia	14
6.1. Kryteria oceny w symulacjach CFD	14
6.2. Komputerowy model 3D	15
6.3. Parametry pożaru	15
6.4. Analizowane scenariusze pożarowe	16
6.5. Czas symulacji	20
6.6. Opis programu FDS	20
6.7. Rodzaj i gęstość siatki obliczeniowej	21
6.8. Model turbulencji	21
6.9. Model spalania	21
6.10. Model promieniowania	21
6.11. Warunki początkowe i brzegowe	22
7. Wyniki symulacji CFD	23
7.1. Moc pożaru	23
7.2. Scenariusz 1 – Zasięg widzialności	24
7.3. Scenariusz 1 – Wartość temperatury	28
7.4. Scenariusz 1 – Prędkość przepływu powietrza	32
7.5. Scenariusz 2 – Zasięg widzialności	36



7.6.	Scenariusz 2 – Wartość temperatury	40
7.7.	Scenariusz 2 – Prędkość przepływu powietrza	44
7.8.	Scenariusz 3 – Zasięg widzialności	48
7.9.	Scenariusz 3 – Wartość temperatury	52
7.10.	Scenariusz 3 – Prędkość przepływu powietrza	56
8.	Analiza niepewności modeli komputerowych	60
8.1.	Niepewność programu FDS	60
9.	Wyniki analizy	62
10.	Podsumowanie i wnioski	63
10.1.	Podsumowanie	63
10.2.	Wnioski	64
11.	Wytyczne projektowe	65
Bibliografia		66

Spis tabel

1.	Obliczenia szacowanego czasu dojazdu straży pożarnej	10
2.	Wydażności instalacji wentylacji pożarowej	13
3.	Moc maksymalna pożaru wynikająca z dostępnej ilości tlenu w pomieszczeniu	15
4.	Parametry wprowadzone do obliczeń numerycznych	16
5.	Otwarcie drzwi w poszczególnych wariantach scenariuszy	17
6.	Właściwości materiałów budowlanych	22
7.	Wartości błędu standardowego oraz systematycznego	61
8.	Niepewność odczytu wartości temperatury	61
9.	Niepewność odczytu stężenia dymu	61
10.	Niepewność odczytu prędkości przepływu	61

1. Wprowadzenie

Niniejszy dokument stanowi raport z symulacji komputerowej rozwoju pożaru, dotyczącej weryfikacji działania projektowanej instalacji zapobiegającej zadymieniu klatek schodowych i przedsionków przeciwpożarowych w budynku A kompleksu szpitalnego. Obiekt zlokalizowany jest przy ul. Kraszewskiego 11 w Puszczykowie.

Niniejszy raport rozpoczęto od przedstawienia podstaw opracowania (punkt 2) z wyszczególnieniem wykorzystanej w przeprowadzonych pracach dokumentacji. Charakterystykę obiektu zawarto w rozdziale 3. Czas do przyjazdu i rozpoczęcia działań przez ekipy ratowniczo-gaśnicze oszacowano w punkcie 4. Szczegółowy opis weryfikowanej wentylacji pożarowej przedstawiono w punkcie 5. Założenia przyjęte do obliczeń CFD, określone kryteria oceny oraz charakterystykę wykorzystanego programu FDS zestawiono w punkcie 6. Wyniki z wykonanych symulacji zebrano w punkcie 7. Punkt 8 to oszacowanie niepewności uzyskanych wyników dla wykorzystanego oprogramowania. W rozdziale 9 omówiono zostały wszystkie otrzymane wyniki. Raport zakończono podsumowaniem, wnioskami i wytycznymi projektowymi zawartymi w punktach 10 oraz 11.

2. Podstawy opracowania

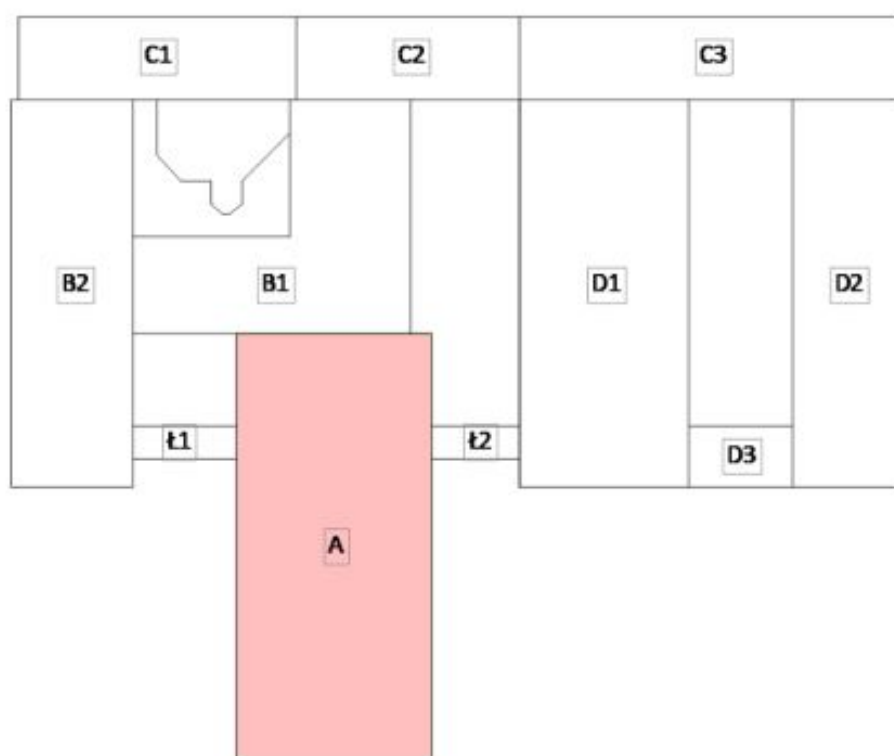
Analizę przeprowadzono na podstawie następujących norm i aktów prawnych, a także materiałów dostarczonych przez Inwestora:

- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r (Dz.U. 2002 poz. 1225) [1] – w zakresie określenia wymaganych warunków ochrony przeciwpożarowej;
- Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz.U. 2010 poz. 822) [2] – w zakresie wymaganych technicznych systemów zabezpieczeń;
- Procedury organizacyjno-techniczne w sprawie spełnienia wymagań w zakresie bezpieczeństwa pożarowego w inny sposób niż określono to w przepisach techniczno - budowlanych, Biuro rozpoznawania zagrożeń Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej, październik 2008 r. – w zakresie kryteriów bezpiecznej ewakuacji oraz szybkości rozprzestrzeniania się pożaru [3];
- PD 7974-6:2019 [4] – w zakresie przyjętych założeń do ewakuacji;
- BS 7346-4:2003 [5] – w zakresie parametrów pożaru projektowego;
- BS 7346-5:2005 [6] – w zakresie szybkości rozprzestrzeniania się pożaru;
- PN-EN ISO 6946:2004 [7] – w zakresie przyjętych właściwości fizykochemicznych przegród budowlanych w symulacji;
- PN-EN 12101-6 [8] – w zakresie wymagań systemów kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła;
- Ekspertyza techniczna w zakresie budowlanym i ochrony przeciwpożarowej przebudowywanej części wysokiej obiektu Niepublicznego Zakładu Opieki Zdrowotnej - SZPI-TALA w Puszczykowie im. prof. St. Tytusa Dąbrowskiego Sp. z o.o. w Puszczykowie przy ulicy Kraszewskiego 11 opracowana w kwietniu 2012 r. – w zakresie wprowadzonych zmian w instalacjach budynku;
- Projekt budowlano - wykonawczy: Instalacja zapobiegająca zadymieniu klatek schodowych i przedsionków pożarowych oraz wind łącznie z przedsionkami, wraz z niezbędnymi przebudowami. Szpital w Puszczykowie im. Prof. S. T. Dąbrowskiego S.A., opracowany przez biura ATELIER ARCHITEKTURY S.C. oraz PROART STUDIO w 2024 r. – w zakresie parametrów analizowanej instalacji.

3. Charakterystyka obiektu

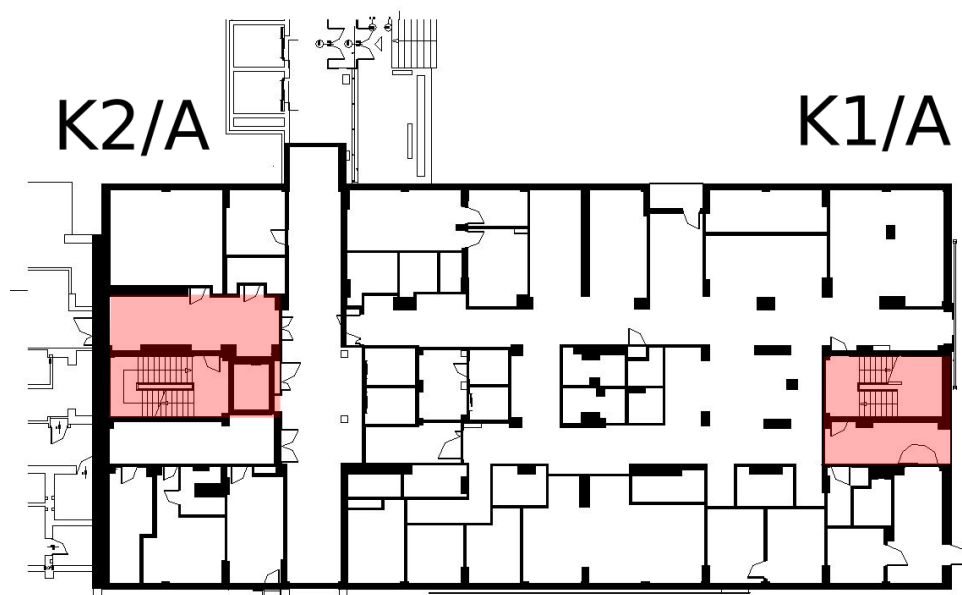
3.1. Opis budynku

Niniejsze opracowanie stanowi weryfikację skuteczności działania instalacji zapobiegającej zadymieniu klatek schodowych i przedsionków przeciwpożarowych w budynku A kompleksu szpitalnego w Puszczykowie. Analizowana część wysoka obiektu jest zakwalifikowana do kategorii zagrożenia ludzi ZL II. Budynek A posiada 10 kondygnacji nadziemnych oraz jedną kondygnację podziemną. Lokalizację analizowanej części przedstawiono na rysunku 1.



Rysunek 1. Lokalizacja analizowanej części A kompleksu szpitalnego w Puszczykowie

Lokalizację analizowanych klatek schodowych oraz przedsionków przeciwpożarowych przedstawiono na rysunku 2.



Rysunek 2. Lokalizacja analizowanych klatek schodowych i przedsionków przeciwpożarowych

3.2. Założenia w zakresie systemu sygnalizacji pożarowej

1. Obiekt będzie wyposażony w system sygnalizacji pożarowej w wariantcie "ochrona całkowita".
2. Wszystkie zastosowane elementy instalacji jak i łączące je przewody będą posiadały odpowiednie świadectwa i certyfikaty.
3. Obiekt będzie chroniony czujkami dymu.
4. Przewidziano alarmowanie dwustopniowe.
5. Założono alarm II stopnia po koincydencji dwóch czujek.
6. System oddymiania jest uruchamiany niezwłocznie po alarmie II stopnia.
7. Po wystąpieniu alarmu II stopnia następuje odblokowanie wszystkich drzwi objętych kontrolą dostępu usytuowanych na drogach ewakuacyjnych.

3.3. Założenia w zakresie wentylacji pożarowej

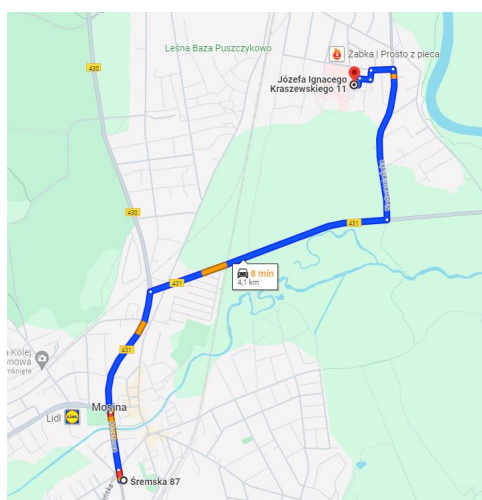
1. Budynek A będzie wyposażony w instalacje zapobiegające zadymieniu klatek schodowych i przedsionków przeciwpożarowych (K1/A oraz K2/A).
2. System wentylacji pożarowej będzie aktywowany automatycznie, po wystąpieniu alarmu II stopnia.
3. Szczegółowe zestawienie parametrów analizowanej instalacji przedstawiono w punkcie 5.1.

3.4. Założenia w zakresie ewakuacji

1. Każdy z pracowników obiektu zostanie przeszkolony z zakresu BHP i bezpieczeństwa pożarowego. Szkolenia te będą cyklicznie powtarzane celem utrzymania wysokiego poziomu świadomości zagrożeń wśród pracowników.
2. Po wystąpieniu alarmu II stopnia w systemie sygnalizacji pożarowej użytkownicy obiektu zostaną powiadomieni o konieczności rozpoczęcia ewakuacji za pomocą sygnalizatorów akustycznych.
3. Ewakuacja z obiektu będzie prowadzona drogami komunikacji ogólnej bezpośrednio do najbliższych drzwi ewakuacyjnych na zewnątrz budynku.

4. Przewidywany czas do interwencji ekip ratowniczo - gaśniczych

Przedmiotowy budynek jest zlokalizowany w rejonie Jednostki Ratowniczo-Gaśniczej nr 9 Komendy Miejskiej PSP w Poznaniu, zlokalizowanej przy ul. Śremskiej 87. Jednostka ta znajduje się w odległości około 4,1 km od analizowanego obiektu. Rysunek 3 przedstawia jedną z możliwych dróg dojazdu do omawianego budynku (źródło: <http://google.maps.pl>). W tabeli 1 przedstawiono składowe czasu potrzebnego do rozpoczęcia działań ratowniczo – gaśniczych.



Rysunek 3. Przykładowe drogi dojazdu z JRG 9 w Poznaniu

Tabela 1. Obliczenia szacowanego czasu dojazdu straży pożarnej

Parametr	Wartość [s]
Czas detekcji (alarm II stopnia)	60
Czas transmisji i powiadamiania JRG	60
Czas wyjazdu 1 samochodu gaśniczego (w nocy)	180
Czas dojazdu (średnia prędkość 40 km/h)	369
Czas na rozpoznanie, przygotowanie linii gaśniczych oraz dotarcie do źródła pożaru	180
Suma	849

W związku z powyższym można założyć, że po czasie 850 sekund (ok. 14,2 min) ekipy ratownicze powinny rozpocząć skuteczne działania gaśnicze.

5. Wentylacja Pożarowa

5.1. Założenia w zakresie wentylacji pożarowej

Przyjęte rozwiązania instalacji wentylacji pożarowej obejmują zapobieganie zadymieniu klatek schodowych, przedsionków przeciwpożarowych oraz szybu dźwigu dla ekip ratowniczych przez utrzymywanie nadciśnienia w tych przestrzeniach. W przedmiotowym budynku zaprojektowano dwie klatki schodowe (K1/A oraz K2/A) łączące ze sobą wszystkie kondygnacje budynku A. Celem stosowania tych instalacji jest ochrona życia osób ewakuujących się, zapewnienie drogi dostępu dla przybyłej na miejsce straży pożarnej oraz ochrona mienia realizowana przez zapobieganie rozprzestrzenianiu się dymu. Parametry instalacji przyjęto na podstawie projektu budowlano - wykonawczego: Instalacja zapobiegająca zadymieniu klatek schodowych i przedsionków pożarowych oraz wind łącznie z przedsionkami, wraz z niezbędnymi przebudowami. Szpital w Puszczykowie im. Prof. S. T. Dąbrowskiego S.A., opracowanego przez biura ATELIER ARCHITEKTURY S.C. oraz PROART STUDIO w 2024 r.

Klatka schodowa K1/A

Klatka schodowa K1/A, przeznaczona jest do ewakuacji, nie jest jednak dedykowana do użytku przez przybyłą na miejsce straży pożarnej. W związku z powyższym oraz sposobem wykorzystania powierzchni budynku (szpital) zaprojektowano tam system podwyższania ciśnienia **klasy D**. Ten rodzaj systemu zakłada, że aby skutecznie ograniczyć rozprzestrzenianie się dymu ze strefy objętej pożarem do przedsionka i klatki schodowej, należy uzyskać prędkość przepływu powietrza na drzwiach do przedsionka co najmniej 0,75 m/s. Wydatek wentylatora nawiewnego powinien być na tyle duży, aby utrzymać co najmniej taką prędkość przepływu między przestrzenią o podwyższonym ciśnieniu, a korytarzem na kondygnacji objętej pożarem jeśli:

- drzwi między pomieszczeniem użytkowym, a przestrzenią o podwyższonym ciśnieniu na kondygnacji objętej pożarem są otwarte i/lub;
- wszystkie drzwi w obrębie pomieszczenia użytkowego na kondygnacji objętej pożarem między przestrzenią o podwyższonym ciśnieniu, a miejscem odprowadzania powietrza są otwarte i/lub;
- wszystkie drzwi w obrębie przestrzeni o podwyższonym ciśnieniu na tej kondygnacji objętej pożarem aż do końcowego wyjścia, które przecinają drogę ewakuacji od wyjścia z pomieszczenia użytkowego, są otwarte i/lub;
- wszystkie drzwi między klatką schodową o podwyższonym ciśnieniu, a końcowym wyjściem są otwarte i/lub;

- końcowe drzwi wyjściowe są otwarte i/lub;
- umożliwiające jest odprowadzenie powietrza z pomieszczenia użytkowego na kondygnacji objętej pożarem.

Zakłada się utrzymanie prędkości 0,75 m/s tylko na jednym skrzydle drzwi z klatki do korytarza lub z przedsionka do korytarza na jednej kondygnacji. Przy jednoczesnym otwarciu drzwi z klatki do korytarza i z przedsionka do korytarza prędkość może być niższa.

Nawiew powietrza będzie realizowany przez jednostkę wentylatora zlokalizowaną na dachu budynku wysokiego.

Klatka schodowa K2/A

Klatka schodowa zachodnia, przeznaczona jest do ewakuacji oraz zapewnienia dostępu straży pożarnej w trakcie działań gaśniczych. W związku z tym zaprojektowano tam system podwyższania ciśnienia **klasy B**. Ten rodzaj systemu zakłada, że aby skutecznie ograniczyć rozprzestrzenianie się dymu ze strefy objętej pożarem do przedsionka i klatki schodowej, należy uzyskać prędkość przepływu powietrza, co najmniej 2 m/s w drzwiach przedsionka bądź pomieszczenia użytkowego. Wydatek wentylatora nawiewnego powinien być na tyle duży, aby utrzymać co najmniej taką prędkość przepływu przez otwarte drzwi między przedsionkiem ppoż. a korytarzem ewakuacyjnym na kondygnacji objętej pożarem oraz przy otwartych wszystkich następujących drzwiach między:

- klatką schodową, a przedsionkiem na kondygnacji objętej pożarem;
- klatką schodową, a przedsionkiem na sąsiedniej kondygnacji;
- szybem dźwigu dla ekip ratowniczych, a przedsionkiem na sąsiedniej kondygnacji;
- klatką schodową, a otoczeniem na poziomie dostępu straży pożarnej;
- a także przy otwartej drodze odprowadzania powietrza na kondygnacji objętej pożarem.

Zakłada się utrzymanie prędkości 2 m/s tylko na jednym skrzydle drzwi z klatki do korytarza lub z przedsionka do korytarza na jednej kondygnacji. Przy jednoczesnym otwarciu drzwi z klatki do korytarza i z przedsionka do korytarza prędkość może być niższa.

5.2. Niezgodności z przyjętymi standardami projektowymi

W związku z występującymi niezgodnościami w zakresie prędkości powietrza na drzwiach, zweryfikowano skuteczność instalacji wentylacji pożarowej z wykorzystaniem symulacji CFD. Obliczenia numeryczne przeprowadzono dla klatki schodowej K2/A na piętrze 3 oraz dla klatek schodowych K1/A i K2/A na piętrze 6. W przeprowadzonych symulacjach zweryfikowano skuteczność instalacji zapobiegającej zadymieniu klatek schodowych i przedsionków przeciwpożarowych w trakcie działań ekip ratowniczo - gaśniczych.

5.3. Wydajności instalacji wentylacji pożarowej

Wydajności instalacji zapobiegającej zadymieniu klatek schodowych i przedsionków przeciwpożarowych przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wydajności instalacji wentylacji pożarowej

Klatka schodowa	Lokalizacja	Wydajność [m^3/h]
K1/A	Klatka schodowa	33 276
K1/A	Przedsionek ppoż.	25 521
K2/A	Klatka schodowa	51 202
K2/A	Przedsionek ppoż.	21 456
K2/A	Szyb dźwigu dla ekip ratowniczych	23 966

Odstępstwo od powyższych założeń dla klatki K1/A

- na poziomie parteru brak napowietrzania mechanicznego przedsionka przeciwpożarowego.

Odstępstwo od powyższych założeń dla klatki K2/A

- na poziomie piętra 3 i 4 brak przedsionków przeciwpożarowych,
- na poziomie piętra 3 i 4 brak napowietrzania mechanicznego przedsionka.

6. Symulacje CFD – opis i założenia

6.1. Kryteria oceny w symulacjach CFD

Ewakuacja może być utrudniona lub wręcz uniemożliwiona przez takie czynniki jak zadymienie, wysoka temperatura czy promieniowanie. Analizowane parametry przyjęto na podstawie prostej metody minimalnej ekspozycji na dym i ciepło [4]. Zgodnie z teorią rozwoju pożaru, gorący dym za sprawą ruchów konwekcyjnych unosi się do góry, gdzie gromadzi się pod sufitem. Następnie stopniowo wypełnia pomieszczenie i obniża się ku dołowi. W związku z tym kluczowe było sprawdzenie czy, a jeżeli tak to kiedy opadający dym zejdzie poniżej wartości zagrażającej bezpieczeństwu ludzi.

Odczytana z symulacji wartość to zasięg widzialności (D) na drogach ewakuacyjnych, który jest bezpośrednio zależny od stężenia dymu. Kryterium $D \geq 10$ m określa ilość dymu, w której stężenie toksycznych gazów jest tolerowane przy jednogodzinnej ekspozycji. Przy takiej wartości zasięgu widzialności możliwe jest także odnalezienie drogi wyjścia z obiektu. Taka wartość została również zaproponowana w procedurach wydanych przez KG PSP [3].

Ekspozycja na wysoką temperaturę jest określana jako tolerowana przez 5 min, gdy wartość promieniowania nie przekracza 2 kW/m^2 lub wartość temperatury nie jest wyższa niż 115°C na wysokości głów użytkowników. Osoby ewakuujące się muszą mieć zapewnioną możliwość wyjścia z danego budynku bez bezpośredniego kontaktu z płomieniami [4].

Procedury KG PSP [3] zalecają przyjęcie kryterium temperatury jako 60°C na wysokości 1,8 m. Według standardu [4] wartość ta pozwala na trzydziestominutową ekspozycję bez uszczerbku na zdrowiu.

Do oszacowania poziomu bezpieczeństwa w trakcie podejmowania działań ratowniczo – gaśniczych również użyto metody analizy parametrów krytycznych. W przeciwieństwie do osób ewakuujących się z budynku, służby ratownicze posiadają odpowiednią wiedzę, sprzęt jak i doświadczenie do poruszania się w obszarach zagrożonych. Aby działania gaśnicze mogły odnieść sukces należy zapewnić bezpieczne warunki pracy strażaków. Dlatego ważne jest, aby oszacować warunki panujące w analizowanym obszarze w przewidywanym czasie przybycia ekip ratowniczo-gaśniczych.

Na podstawie przedstawionych powyżej informacji przyjęto następujące kryteria oceny [3, 4]:

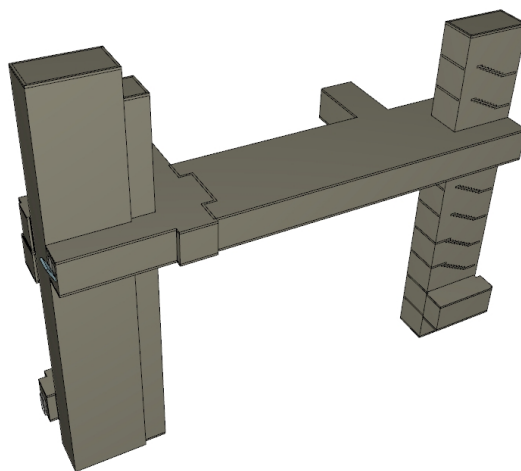
1. Warunki bezpiecznej ewakuacji użytkowników:

- zasięg widzialności – wartość graniczna 10 m na wysokości 1,8 m.
- temperatura – wartość graniczna 60°C na wysokości 1,8 m.
- prędkość przepływu – wartość graniczna 5 m/s na wysokości 1,8 m.

2. Warunki bezpiecznej pracy ekip ratowniczo-gaśniczych:
- temperatura – wartość graniczna 120 °C w odległości 15 m od źródła ognia.

6.2. Komputerowy model 3D

W ramach przeprowadzonych prac przeanalizowano skuteczność mechanicznej instalacji zapobiegającej zadymieniu. Rysunek 4 przedstawia komputerowy model 3D, przygotowany na potrzeby symulacji CFD.



Rysunek 4. Model 3D budynku wykorzystany w symulacjach

6.3. Parametry pożaru

Parametry pożaru w scenariuszach zostały przyjęte na podstawie procedur KG PSP [3].

Pożar został zakwalifikowany jako średnio rozprzestrzeniający się ($0,01172 \text{ kW/s}^2$), a średnia moc na jednostkę powierzchni dla analizowanego obiektu wynosi 250 kW/m^2 . Maksymalną moc pożaru wynikającą z dostępnej ilości tlenu w strefie spalania obliczono zgodnie z metodą Babrauskasa [9]. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Moc maksymalna pożaru wynikająca z dostępnej ilości tlenu w pomieszczeniu

Powierzchnia drzwi	Wysokość drzwi
2 m^2	2 m
Wzór Babrauskasa	$Q = 750(A\sqrt{H})$
Maksymalna moc pożaru w scenariuszach	$Q = 2121 \text{ kW}$

W tabeli 4 przedstawiono założenia przyjęte do przeprowadzenia obliczeń numerycznych.

Tabela 4. Parametry wprowadzone do obliczeń numerycznych

Parametr	Symbol	Wartości
Moc pożaru	Q	2121 kW
Gęstość mocy pożaru	q_r	250 kW/m ²
Szybkość rozprzestrzeniania się pożaru	γ	0,011729 kW/s ²
Współczynnik dymotwórczości	y_s	0,113 g/g
Współczynnik promieniowania	χ_r	0,35 -
Współczynnik tlenku węgla	y_{co}	0,024 -
Ciepło spalania	Q	26780 kJ/kg

6.4. Analizowane scenariusze pożarowe

W ramach przeprowadzonych prac weryfikujących skuteczność wentylacji pożarowej wytypowano trzy scenariusze pożarowe, w kilku wariantach, a następnie wykonano obliczenia numeryczne. Opis symulacji przedstawiono poniżej:

Scenariusz 1: pożar na piętrze 6 w obrębie pomieszczenia przy klatce schodowej K1/A. Maksymalna moc pożaru osiągnięta po czasie 425 s wynosi 2121 kW. System wentylacji pożarowejysterowany po alarmie II stopnia (koincydencja dwóch czujek dymu). Scenariusz wykonany w wariantach A, B i C. W trakcie działań gaśniczych otwarte drzwi pomiędzy klatką schodową, a otoczeniem na poziomie dostępu straży. Drzwi na poziomie z pożarem dla poszczególnych wariantów są otwarte zgodnie tabelą 5.

Scenariusz 2: pożar na piętrze 6 w obrębie pomieszczenia przy klatce schodowej K2/A. Maksymalna moc pożaru osiągnięta po czasie 425 s wynosi 2121 kW. System wentylacji pożarowejysterowany po alarmie II stopnia (koincydencja dwóch czujek dymu). Scenariusz wykonany w wariantach A, B i C. W trakcie działań gaśniczych otwarte drzwi pomiędzy klatką schodową, a otoczeniem na poziomie dostępu straży oraz pomiędzy klatką schodową, a szybem dźwigu dla ekip ratowniczych na kondygnacji poniżej kondygnacji z pożarem. Drzwi na poziomie z pożarem dla poszczególnych wariantów są otwarte zgodnie tabelą 5.

Scenariusz 3: pożar na piętrze 3 w obrębie pomieszczenia przy klatce schodowej K2/A. Maksymalna moc pożaru osiągnięta po czasie 425 s wynosi 2121 kW. System wentylacji pożarowejysterowany po alarmie II stopnia (koincydencja dwóch czujek dymu).

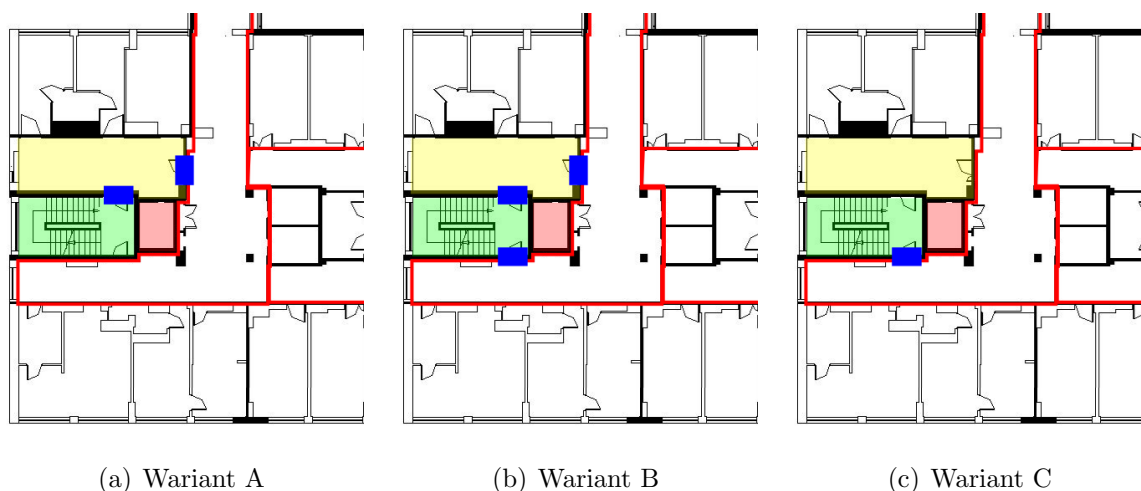
Scenariusz wykonany w wariantach A i B. W trakcie działań gaśniczych otwarte drzwi pomiędzy klatką schodową, a otoczeniem na poziomie dostępu straży oraz pomiędzy klatką schodową, a szybem dźwigu dla ekip ratowniczych na kondygnacji poniżej kondygnacji z pożarem. Drzwi na poziomie z pożarem dla poszczególnych wariantów są otwarte zgodnie tabelą 5.

W tabeli 5 przedstawiono schemat otwarcia drzwi w poszczególnych wariantach scenariuszy.

Tabela 5. Otwarcie drzwi w poszczególnych wariantach scenariuszy

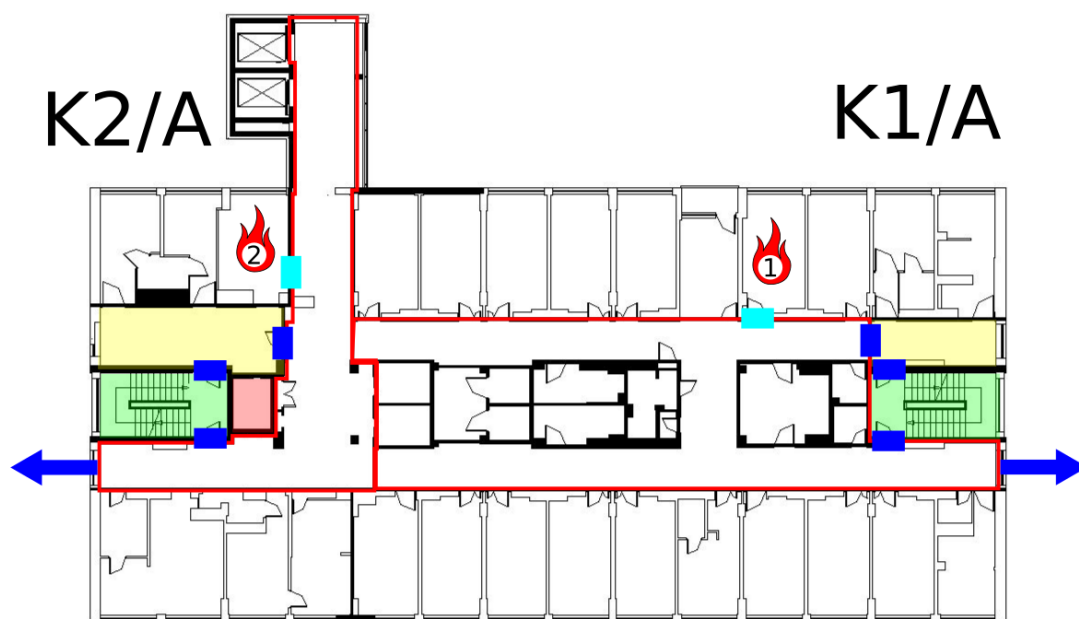
Drzwi	Wariant A	Wariant B	Wariant C
Klatka schodowa - - przedsionek	Otwarte	Otwarte	Zamknięte
Przedsionek - - korytarz	Otwarte	Otwarte	Zamknięte
Klatka schodowa - - korytarz	Zamknięte	Otwarte	Otwarte

Na rysunku 5 przedstawiono schemat otwarcia drzwi w poszczególnych wariantach scenariuszy (kolorem zielonym zaznaczono klatkę schodową, kolorem żółtym przedsionek przeciwpożarowy, a kolorem czerwonym dźwig dla ekip ratowniczych).



Rysunek 5. Otwarcie drzwi w poszczególnych wariantach scenariuszy (na niebiesko zaznaczono otwarte drzwi)

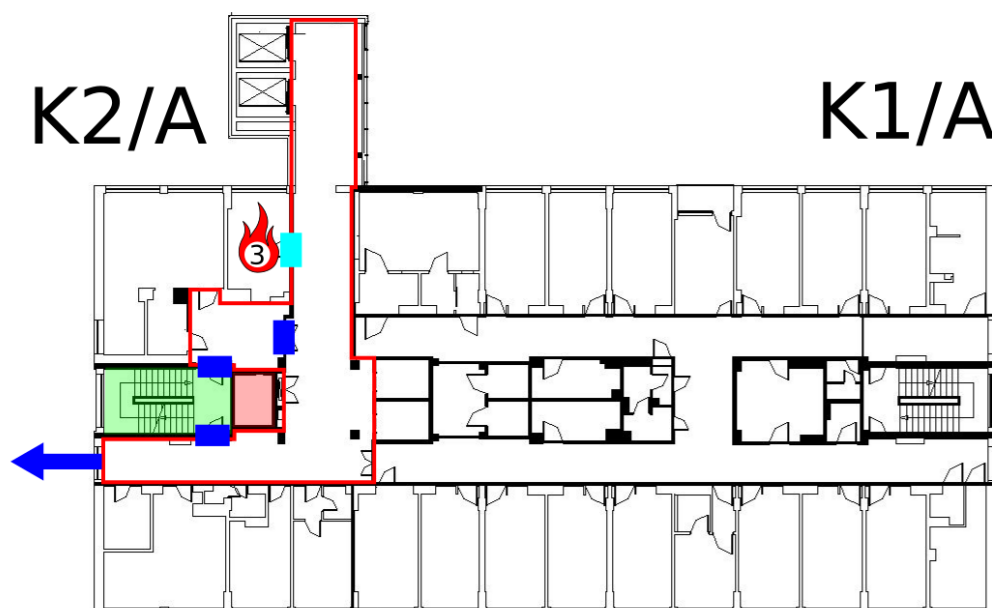
Lokalizację pożarów testowych przedstawiono na rysunkach 6 oraz 7.






Legenda:

	Drzwi do przedsionka ppoż. i klatki schodowej		Przestrzeń przedsionka przeciwpożarowego
	Przestrzeń klatki schodowej		Przestrzeń dźwigu dla ekip ratowniczych
	Drzwi do pomieszczenia z pożarem		Pożar projektowy
	Otwór kompensacyjny		Przestrzeń korytarza

Rysunek 6. Umieszczenie pożarów testowych na piętrze 6



Legenda:

	Drzwi do przedsionka ppoż. i klatki schodowej		Przestrzeń przedsionka przeciwpożarowego
	Przestrzeń klatki schodowej		Przestrzeń dźwigu dla ekip ratowniczych
	Drzwi do pomieszczenia z pożarem		Pożar projektowy
	Otwór kompensacyjny		Przestrzeń korytarza

Rysunek 7. Umieszczenie pożaru testowego na piętrze 3

W przeprowadzonych symulacjach CFD przyjęto następujące założenia:

- pominięto oddziaływanie wiatru;
- założono temperaturę zewnętrzną 20 °C;
- uwzględniono domyślną wartość współczynnika przepływu programu FDS, określoną na 0,7 [10].

6.5. Czas symulacji

Jako czas symulacji przyjęto czas potrzebny do ugaszenia pożaru przez jednostki ochrony przeciwpożarowej. Założono, że czas od rozpoczęcia działań ekip gaśniczych do ugaszenia pożaru będzie wynosił 300 s. Krok czasowy jest ustalany automatycznie na podstawie liczby CFL, przy użyciu schematu L_∞ .

6.6. Opis programu FDS

Do przeprowadzenia szczegółowej analizy oraz otrzymania wyników zawartych w niniejszym raporcie wykorzystany został program *Fire Dynamics Simulator* wersja 6.9.1, który jest narzędziem opracowanym przez amerykański instytut naukowo-badawczy NIST (National Institute of Standards and Technology). Aplikacja wykorzystuje metody obliczeniowe numerycznej mechaniki płynów CFD. Model CFD, zastosowany w programie FDS pozwala badać rozwój pożaru w złożonych geometriach. CFD opisuje ruch płynu na podstawie rozwiązań układu równań różniczkowych cząstkowych Naviera-Stokesa. Wykorzystują one zasady zachowania masy, pędu i energii. FDS jest narzędziem przeznaczonym do szczegółowej analizy zagrożeń pożarowych i rozwiązywania problemów związanych z inżynierią bezpieczeństwa pożarowego. Zapewnia tym samym możliwość poznania dynamiki zjawiska pożaru oraz zachodzących tam procesów spalania. Program ten, w zakresie zagadnień związanych z bezpieczeństwem pożarowym, można stosować do modelowania transportu ciepła i produktów spalania powstałych na skutek pożaru, wymiany ciepła poprzez promieniowanie i konwekcję, pirolizy, rozprzestrzeniania się płomieni oraz rozwoju pożaru, aktywacji tryskaczy oraz czujek dymu i ciepła, czy też oddziaływania kropli wody na płomień [11]. Program FDS wykorzystuje technikę LES oraz, po wprowadzeniu odpowiednio gęstej siatki obliczeniowej, bezpośrednią symulację numeryczną (DNS). Model LES uwzględnia wiry o wielkości porównywalnej z wielkością komórek siatki. Metoda ta w ostatnich latach jest intensywnie rozwijana, ponieważ stanowi kompromis pomiędzy dokładnością odwzorowania dynamiki pożaru, a dostępnymi obecnie możliwościami obliczeniowymi.

6.7. Rodzaj i gęstość siatki obliczeniowej

W obliczeniach użyto sieci regularnej sześcienniej. W celu skrócenia czasu kalkulacji numerycznych przy jednoczesnym zachowaniu najwyższej dokładności, główną sieć obliczeniową w każdej symulacji podzielono na 8 mniejszych domen obliczeniowych, o długości krawędzi 0,2 m.

6.8. Model turbulencji

W przeprowadzonej symulacji został wykorzystany model Deardorff LES, odpowiedni dla wolnych przepływów dymu i gazów pożarowych pod wpływem termicznych sił wyporu.

6.9. Model spalania

Użyto modelu mixing-controlled. Model ten przyjmuje następujące uproszczenia:

- skład stechiometryczny mieszaniny palnej jest definiowany przez ułamek masowy gazów palnych i produktów spalania oraz powietrza;
- spalanie następuje natychmiast po zmieszaniu;
- spalanie jest jednoetapowe i całkowite;
- procent powstającego tlenku węgla jest stały i wynika z początkowych założeń symulacji, a nie z aktualnych warunków spalania.

6.10. Model promieniowania

Równanie transportu promieniowania dla gazu szarego, jest rozwiązywane metodą objętości skończonych (FVM – Finite Volume Method). Metoda ta dzieli całe widmo promieniowania na kilka przedziałów częstości (typowo 6) i korzysta w nich z całkowitej postaci równań transportu promieniowania. Przedziały te dobrane są tak, by pokrywały się z pasmami widma substancji występujących w układzie. Część strumienia mocy pożaru emitowana w postaci promieniowania jest stała i jest jednym z parametrów symulacji. Przyjęto ułamek promieniowania 35%, co odpowiada spalaniu większości tworzyw sztucznych.

6.11. Warunki początkowe i brzegowe

Właściwości materiałów budowlanych przyjętych w modelu zaprezentowano w tabeli 6. Wartości przyjęto na podstawie normy PN-EN ISO 6946 [7].

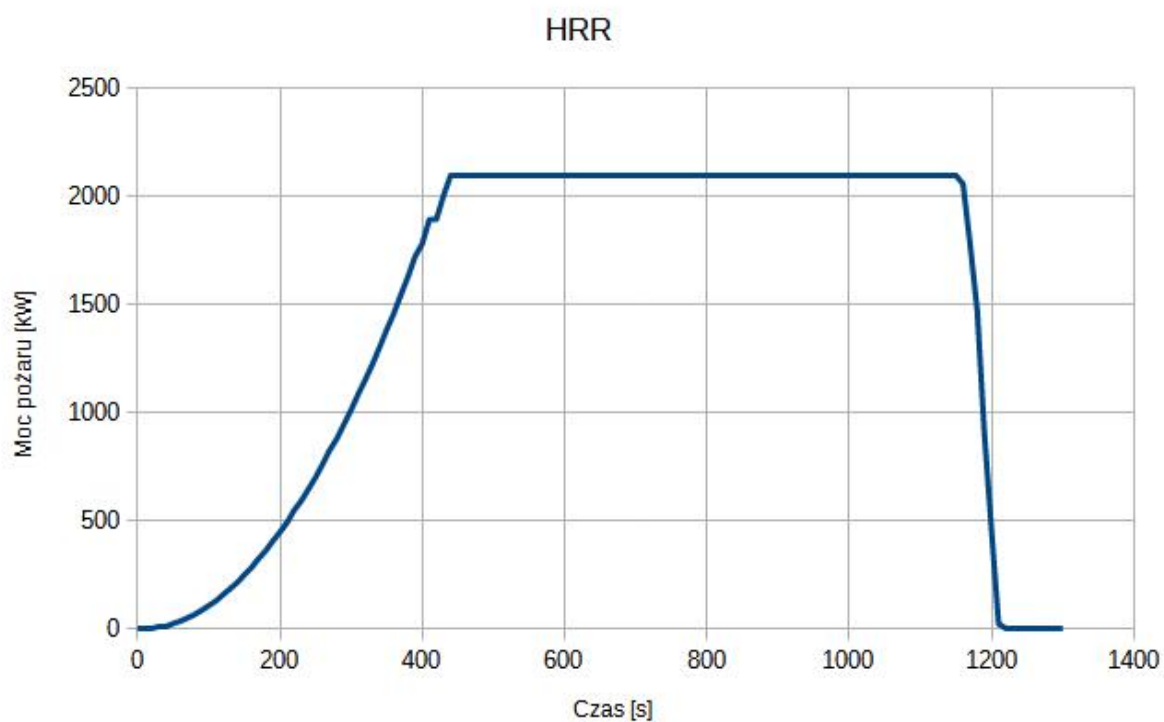
Tabela 6. Właściwości materiałów budowlanych

Material	Właściwości materiału		
Żelbet	Gęstość	2500 kg/m^3	
	Współczynnik przewodzenia	$1,7 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$	[7]
	Ciepło właściwe	$0,84 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$	
Błoczki betonowe	Gęstość	800 kg/m^3	
	Współczynnik przewodzenia	$0,3 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$	[7]
	Ciepło właściwe	$0,84 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$	
Tynk wapienny	Gęstość	1700 kg/m^3	
	Współczynnik przewodzenia	$0,7 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$	[7]
	Ciepło właściwe	$0,84 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$	
Płyta gipsowo-kartonowa	Gęstość	1000 kg/m^3	
	Współczynnik przewodzenia	$0,3 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$	[7]
	Ciepło właściwe	$1 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$	
Stal	Gęstość	7850 kg/m^3	
	Współczynnik przewodzenia	$58 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$	[7]
	Ciepło właściwe	$0,44 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$	
Szkło	Gęstość	2500 kg/m^3	
	Współczynnik przewodzenia	$0,8 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$	[7]
	Ciepło właściwe	$0,84 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$	

7. Wyniki symulacji CFD

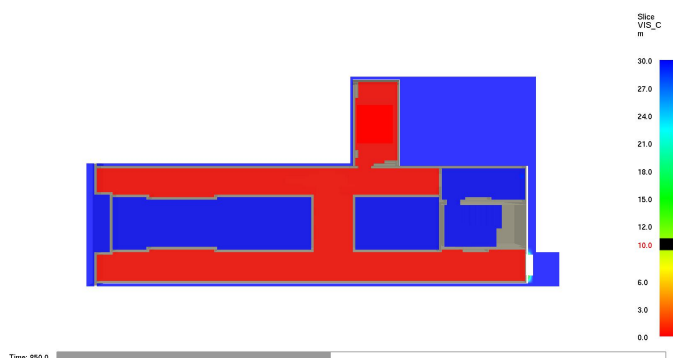
7.1. Moc pożaru

Poniżej na rysunku 8 przedstawiono przyjętą krzywą rozwoju pożaru. Otrzymana krzywa jest zgodna z założeniami.

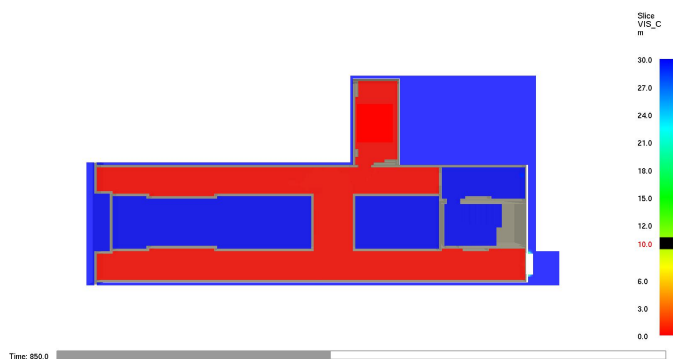


Rysunek 8. Moc pożaru projektowego w symulacjach

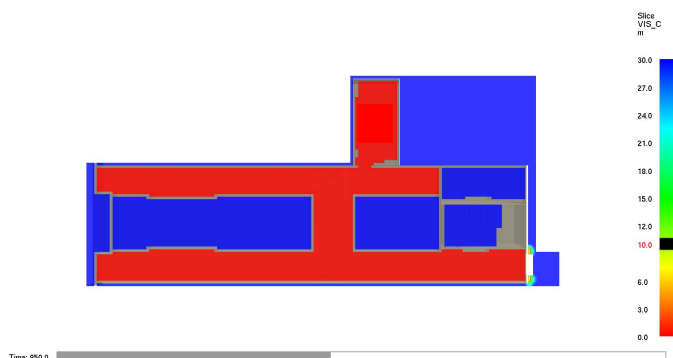
7.2. Scenariusz 1 – Zasięg widzialności



(a) Wariant A

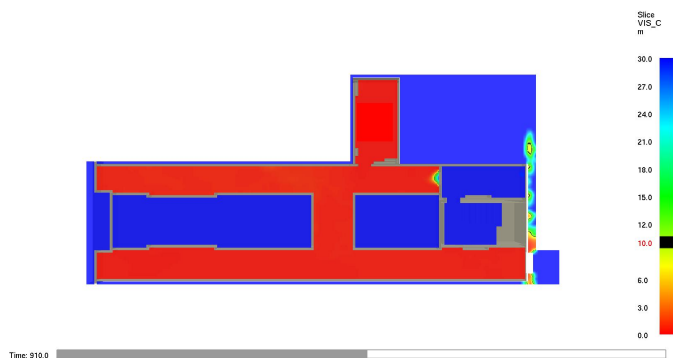


(b) Wariant B

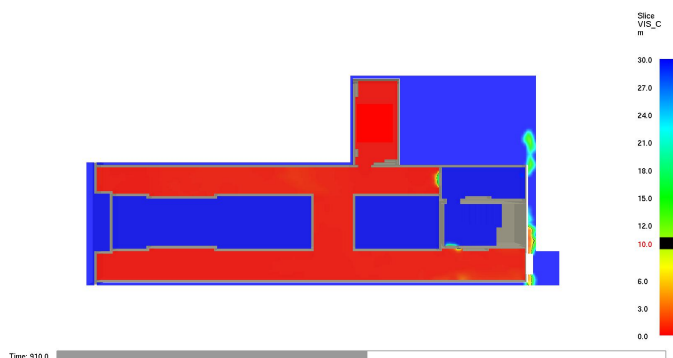


(c) Wariant C

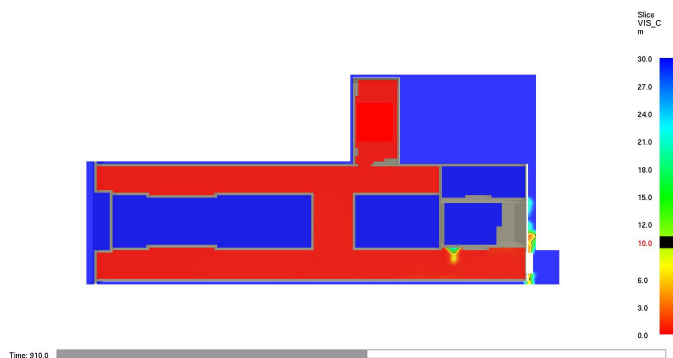
Rysunek 9. Scenariusz 1 – zmiana zasięgu widzialności na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 850 s – rozpoczęcie działań gaśniczych



(a) Wariant A

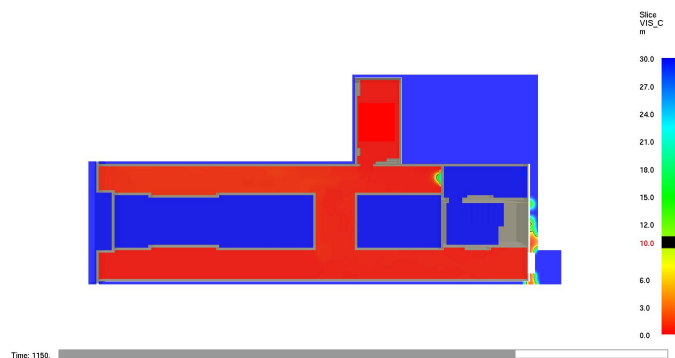


(b) Wariant B

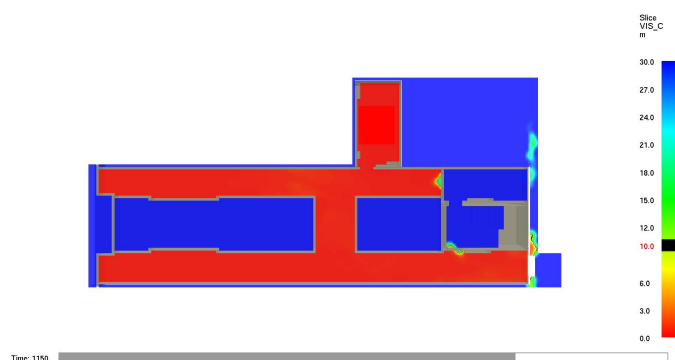


(c) Wariant C

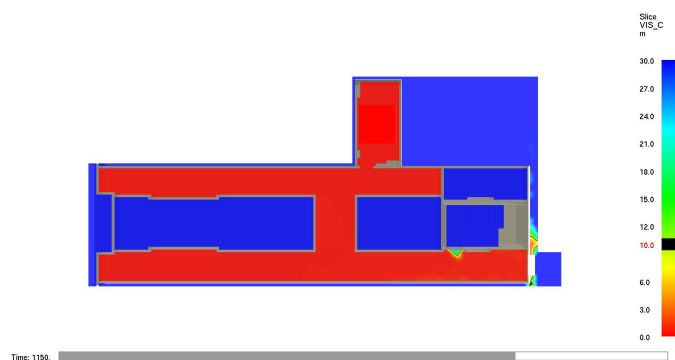
Rysunek 10. Scenariusz 1 – zmiana zasięgu widzialności na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 910 s – w trakcie działań gaśniczych



(a) Wariant A

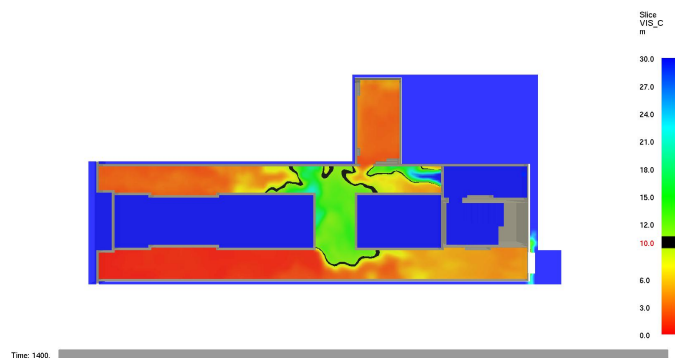


(b) Wariant B

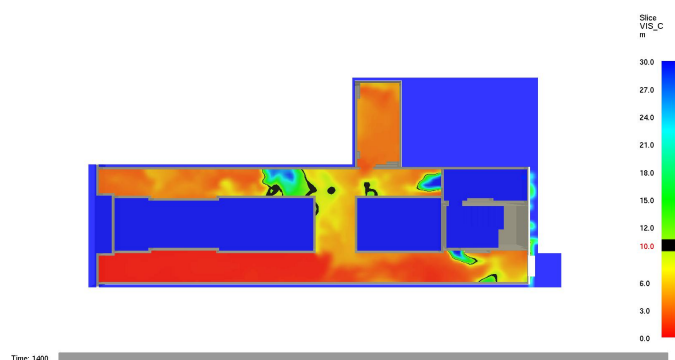


(c) Wariant C

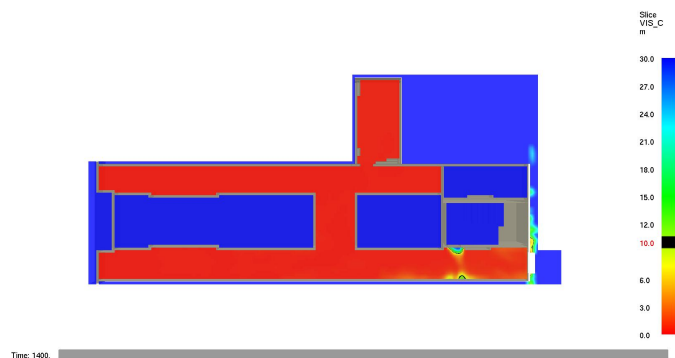
Rysunek 11. Scenariusz 1 – zmiana zasięgu widzialności na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 1150 s – ugaszenie pożaru



(a) Wariant A



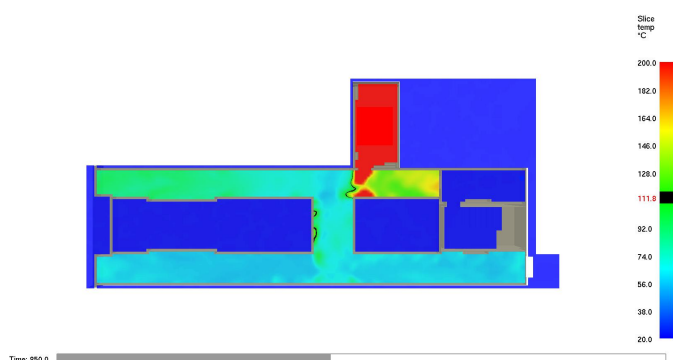
(b) Wariant B



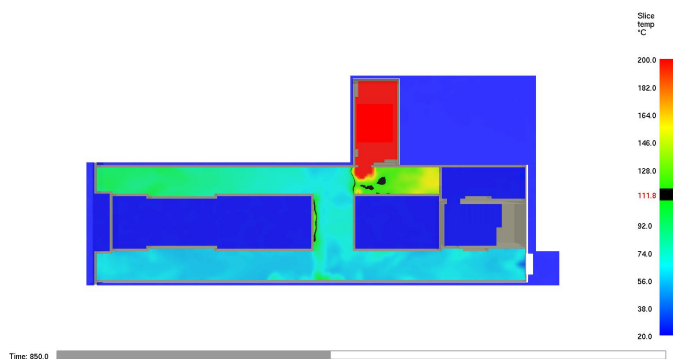
(c) Wariant C

Rysunek 12. Scenariusz 1 – zmiana zasięgu widzialności na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 1400 s

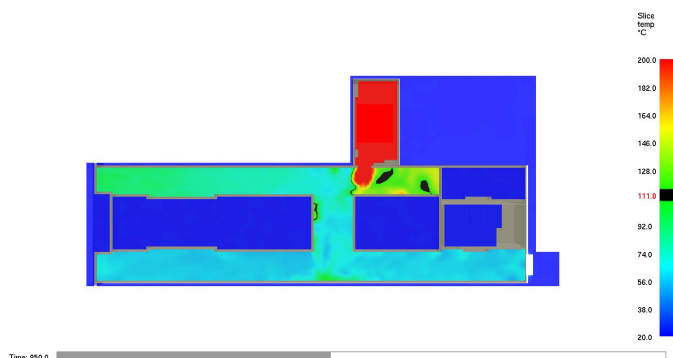
7.3. Scenariusz 1 – Wartość temperatury



(a) Wariant A

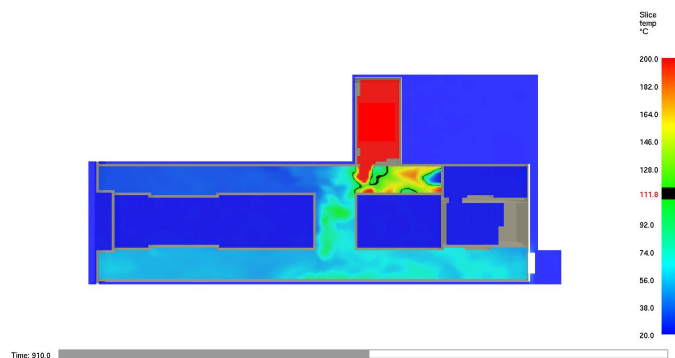


(b) Wariant B

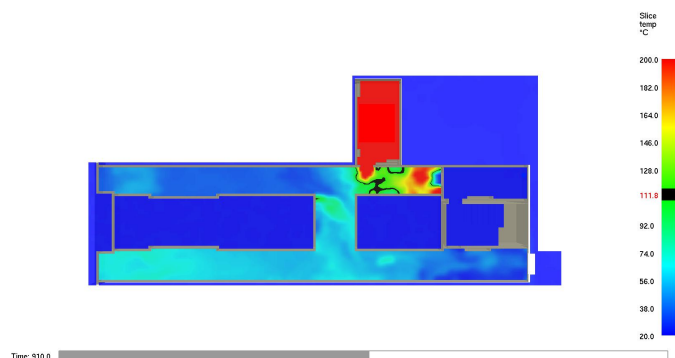


(c) Wariant C

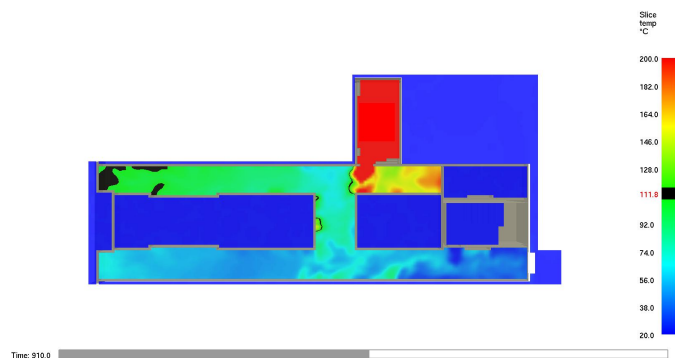
Rysunek 13. Scenariusz 1 – wartość temperatury na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 850 s – rozpoczęcie działań gaśniczych



(a) Wariant A

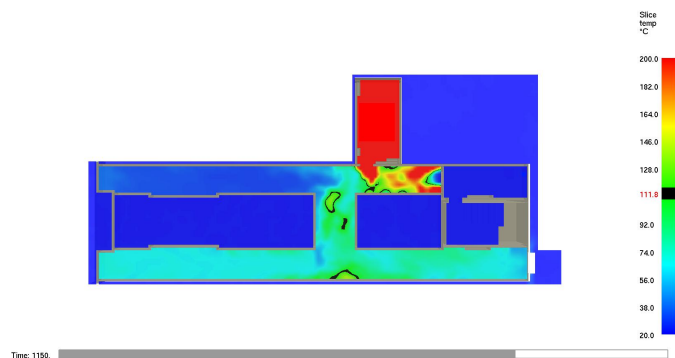


(b) Wariant B

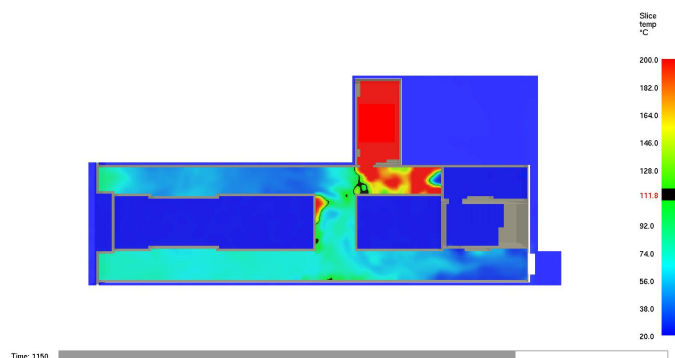


(c) Wariant C

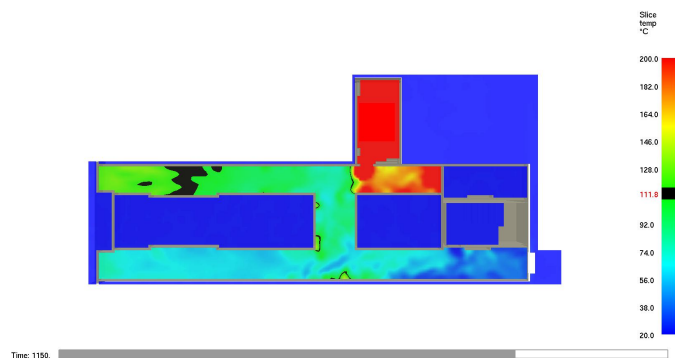
Rysunek 14. Scenariusz 1 – wartość temperatury na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 910 s – w trakcie działań gaśniczych



(a) Wariant A

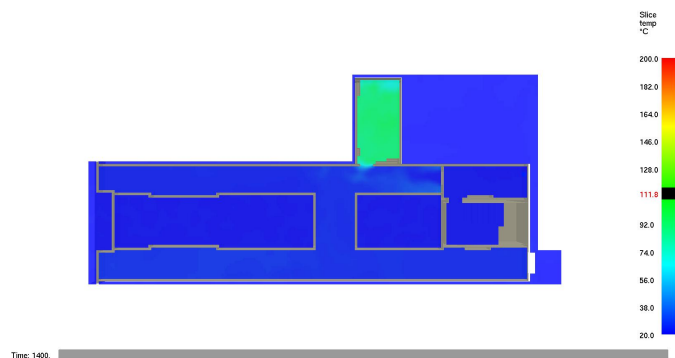


(b) Wariant B

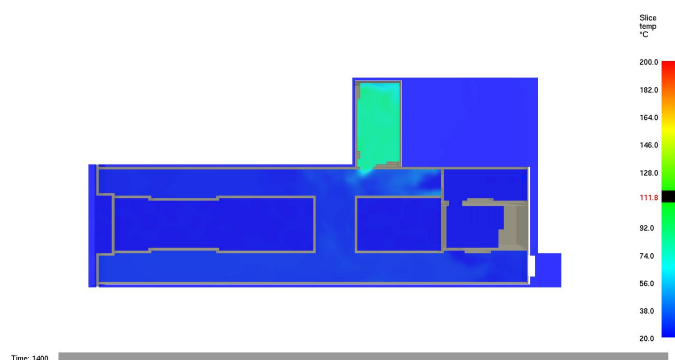


(c) Wariant C

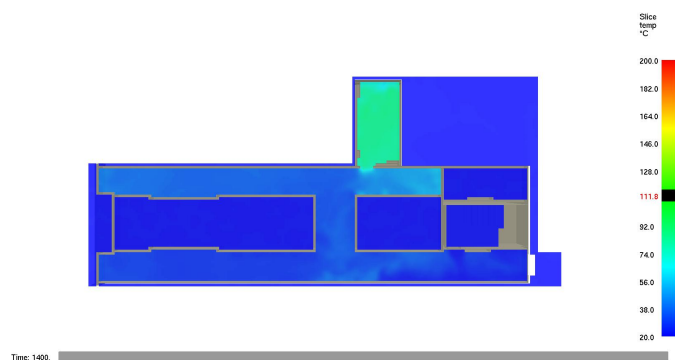
Rysunek 15. Scenariusz 1 – wartość temperatury na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 1150 s – ugaszenie pożaru



(a) Wariant A



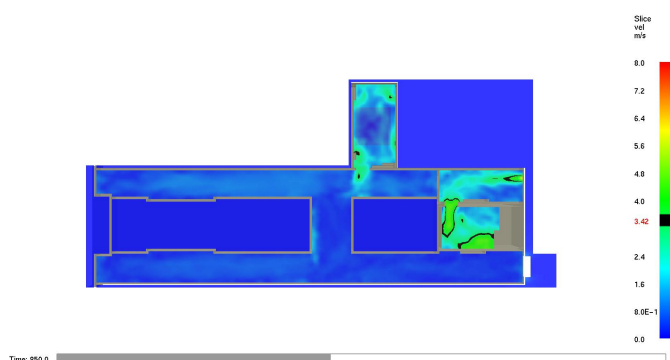
(b) Wariant B



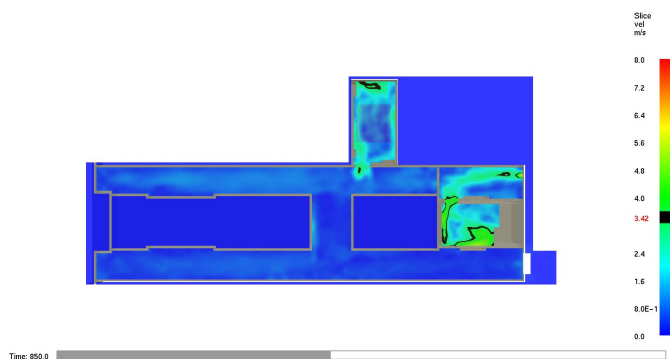
(c) Wariant C

Rysunek 16. Scenariusz 1 – wartość temperatury na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 1400 s

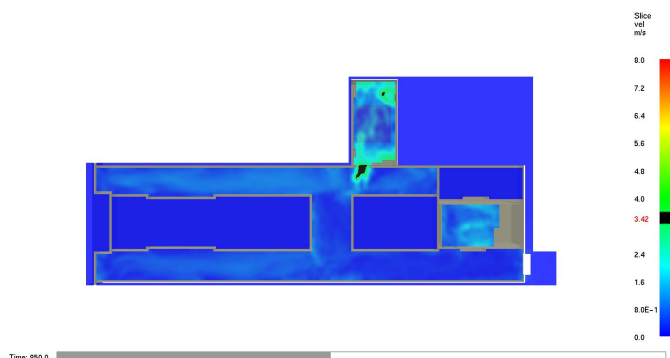
7.4. Scenariusz 1 – Prędkość przepływu powietrza



(a) Wariant A

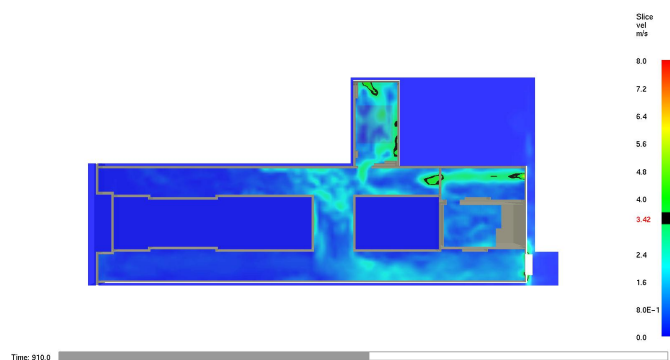


(b) Wariant B

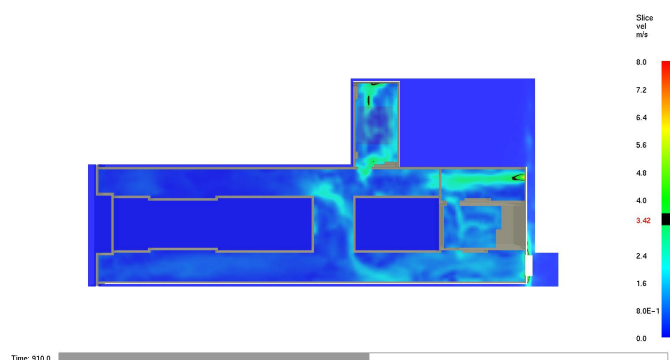


(c) Wariant C

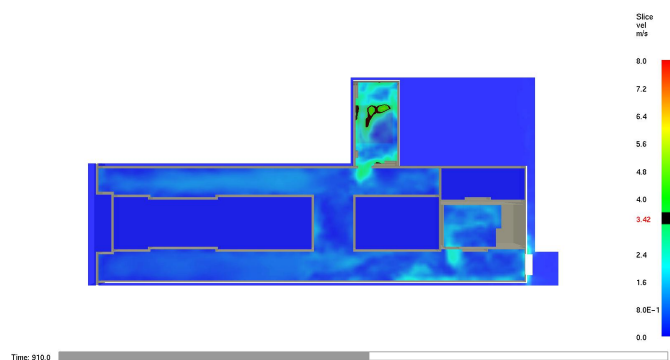
Rysunek 17. Scenariusz 1 – prędkość przepływu powietrza na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 850 s – rozpoczęcie działań gaśniczych



(a) Wariant A

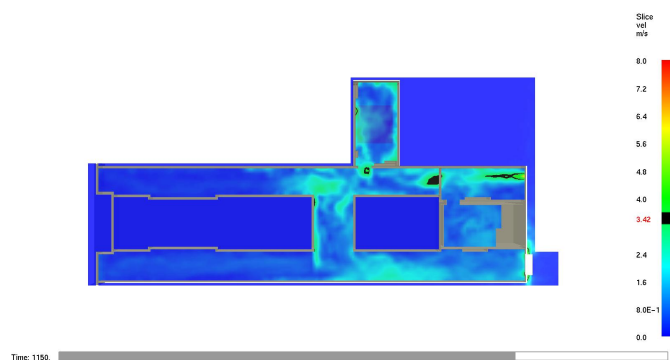


(b) Wariant B

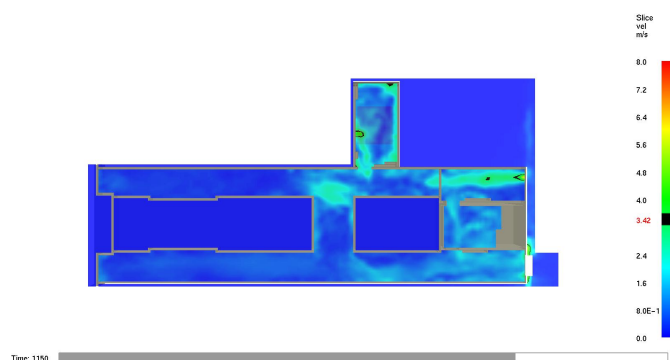


(c) Wariant C

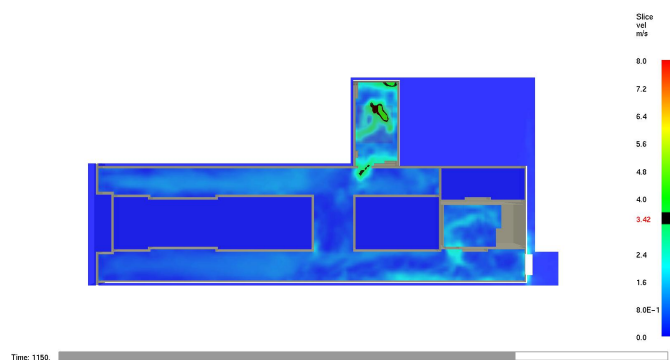
Rysunek 18. Scenariusz 1 – prędkość przepływu powietrza na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 910 s – w trakcie działań gaśniczych



(a) Wariant A

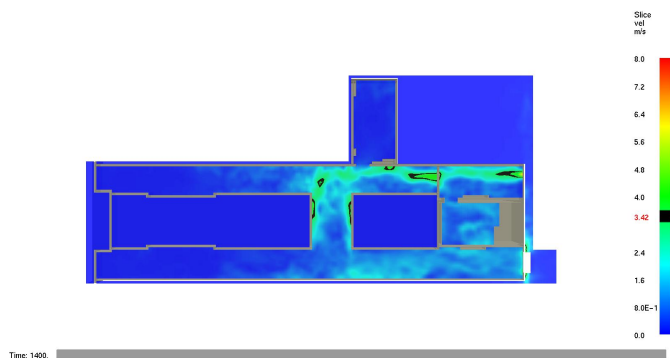


(b) Wariant B

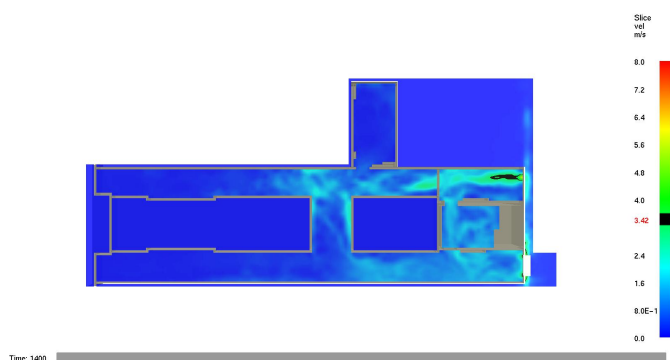


(c) Wariant C

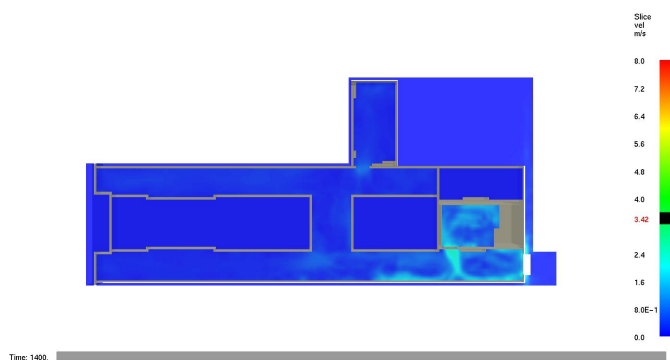
Rysunek 19. Scenariusz 1 – prędkość przepływu powietrza na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 1150 s – ugaszenie pożaru



(a) Wariant A



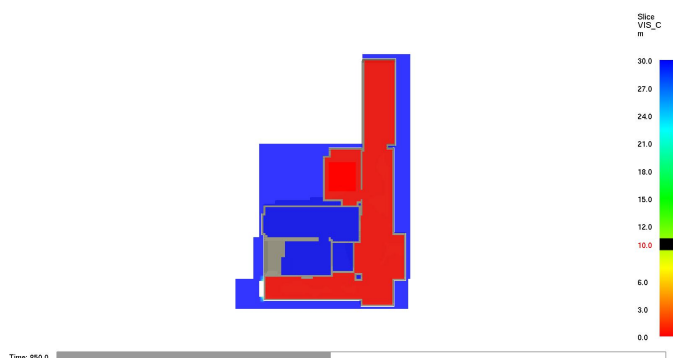
(b) Wariant B



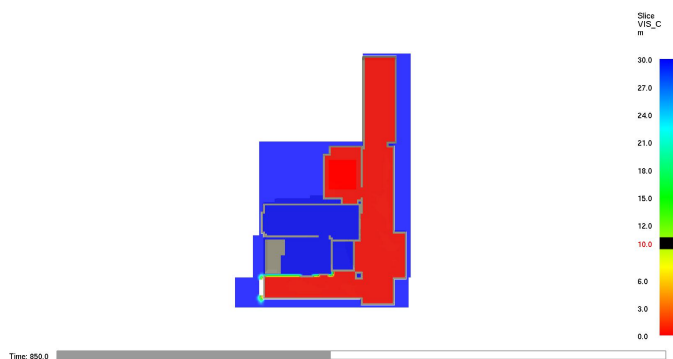
(c) Wariant C

Rysunek 20. Scenariusz 1 – prędkość przepływu powietrza na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 1400 s

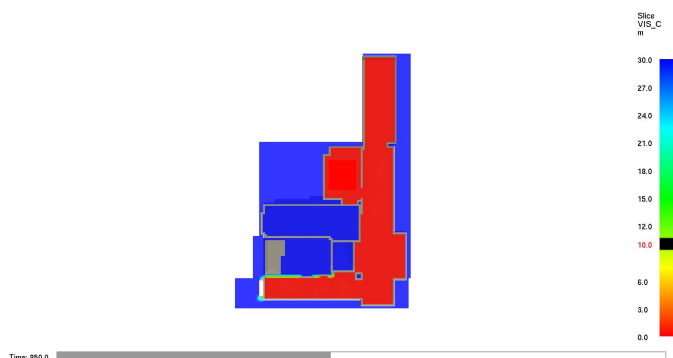
7.5. Scenariusz 2 – Zasięg widzialności



(a) Wariant A

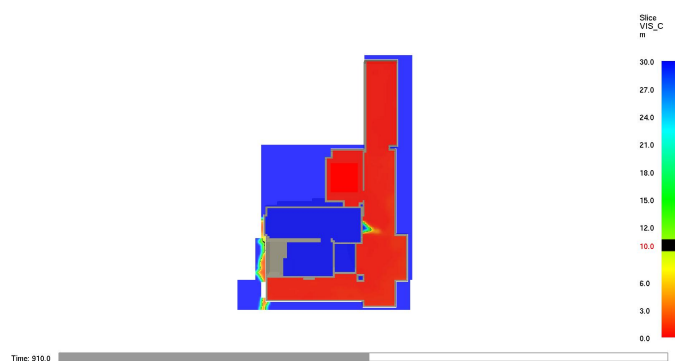


(b) Wariant B

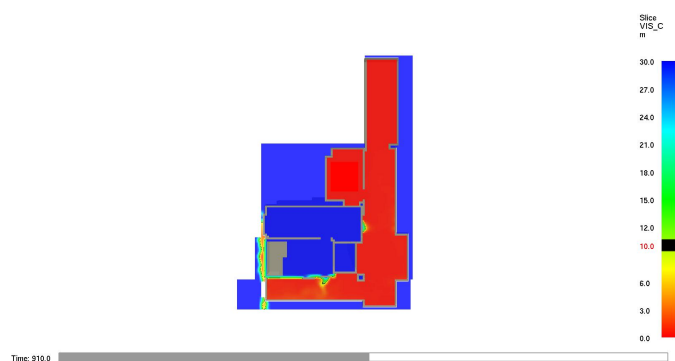


(c) Wariant C

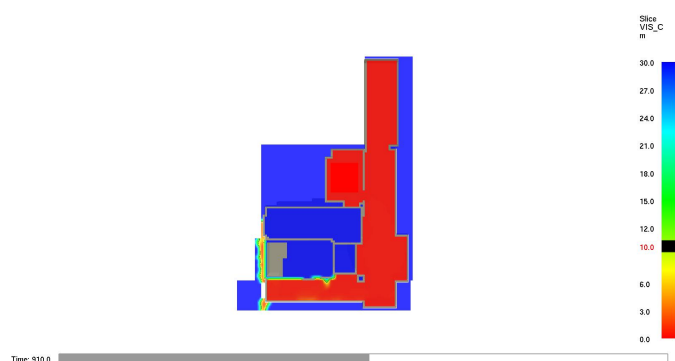
Rysunek 21. Scenariusz 2 – zmiana zasięgu widzialności na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 850 s – rozpoczęcie działań gaśniczych



(a) Wariant A

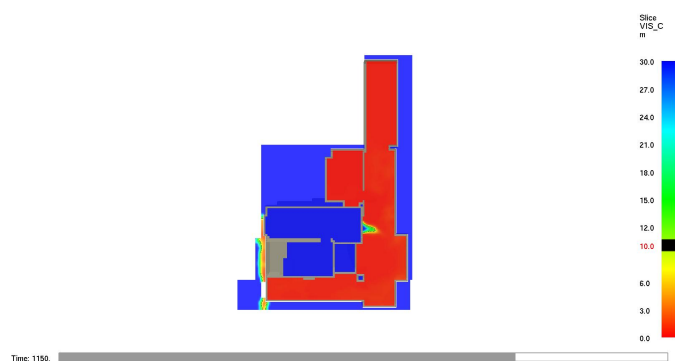


(b) Wariant B

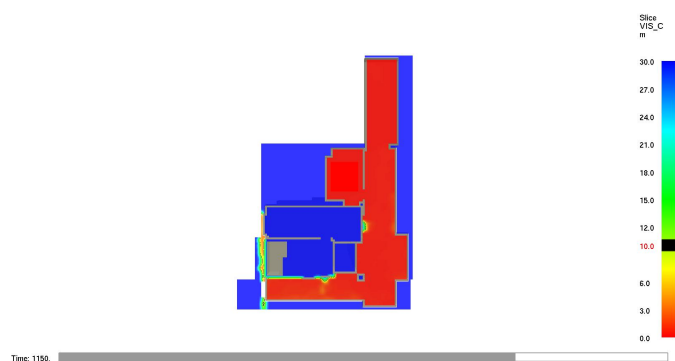


(c) Wariant C

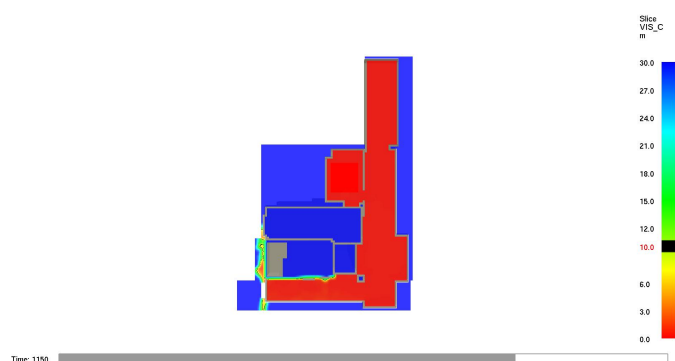
Rysunek 22. Scenariusz 2 – zmiana zasięgu widzialności na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 910 s – w trakcie działań gaśniczych



(a) Wariant A

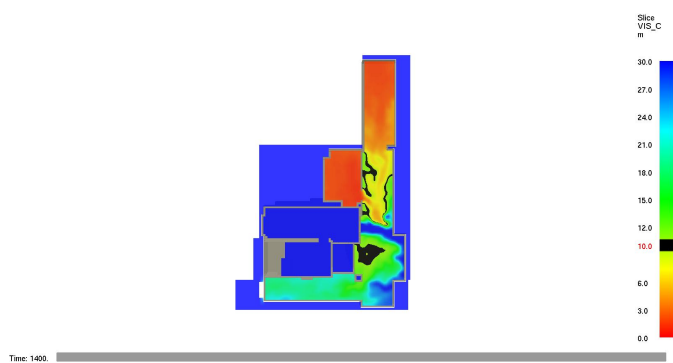


(b) Wariant B

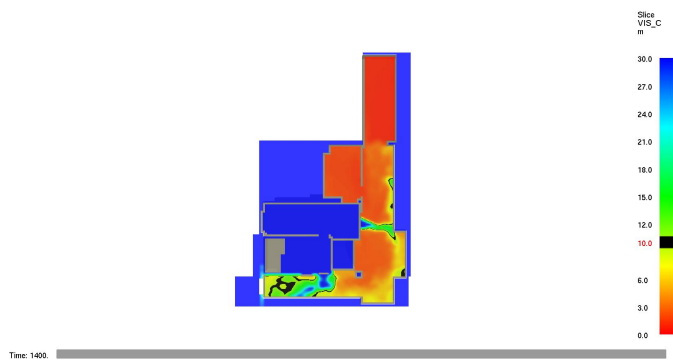


(c) Wariant C

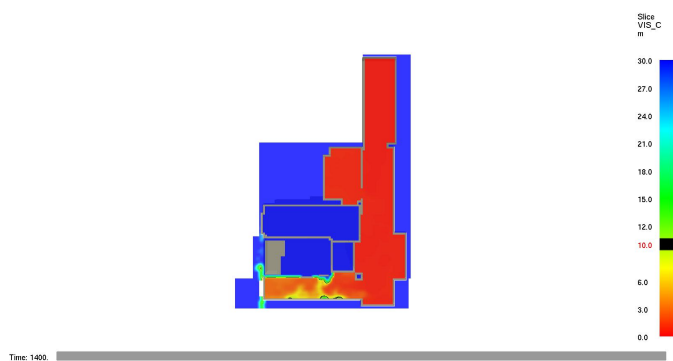
Rysunek 23. Scenariusz 2 – zmiana zasięgu widzialności na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 1150 s – ugaszenie pożaru



(a) Wariant A



(b) Wariant B



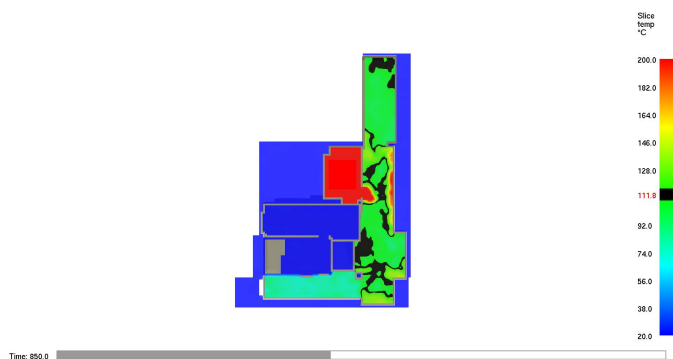
(c) Wariant C

Rysunek 24. Scenariusz 2 – zmiana zasięgu widzialności na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 1400 s

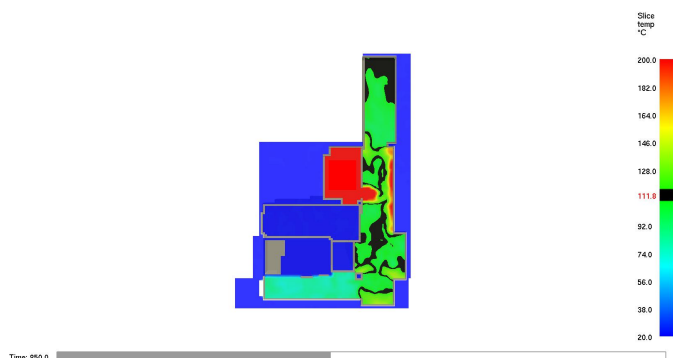
7.6. Scenariusz 2 – Wartość temperatury



(a) Wariant A



(b) Wariant B

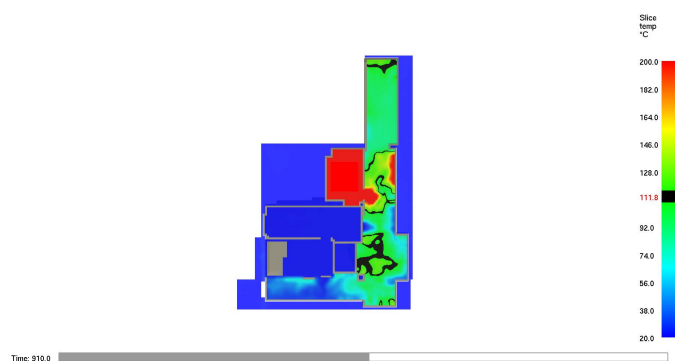


(c) Wariant C

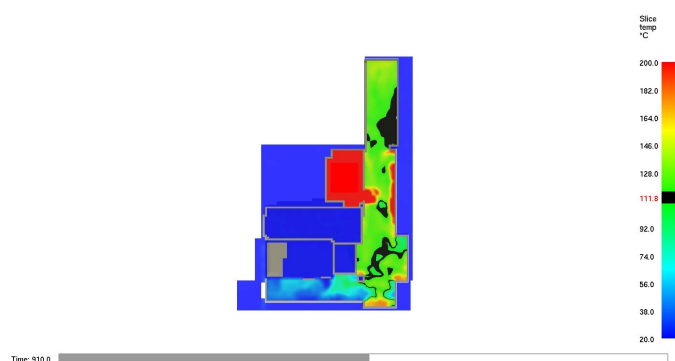
Rysunek 25. Scenariusz 2 – wartość temperatury na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 850 s – rozpoczęcie działań gaśniczych



(a) Wariant A

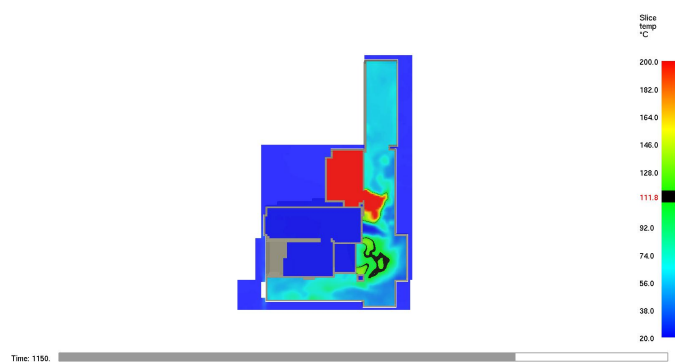


(b) Wariant B

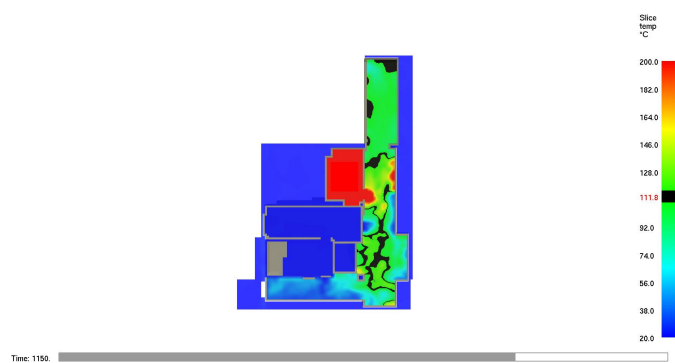


(c) Wariant C

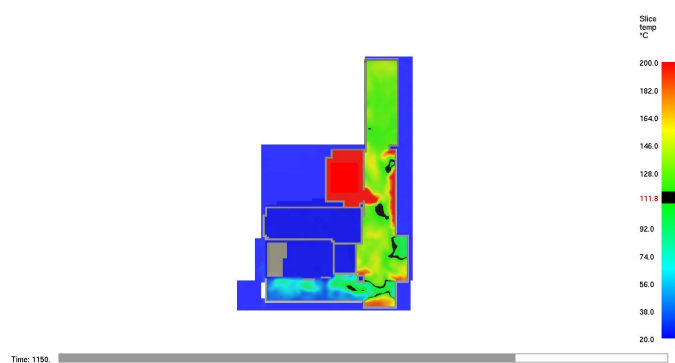
Rysunek 26. Scenariusz 2 – wartość temperatury na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 910 s – w trakcie działań gaśniczych



(a) Wariant A



(b) Wariant B

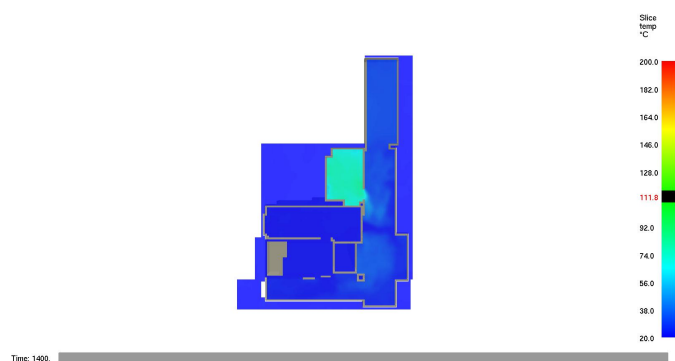


(c) Wariant C

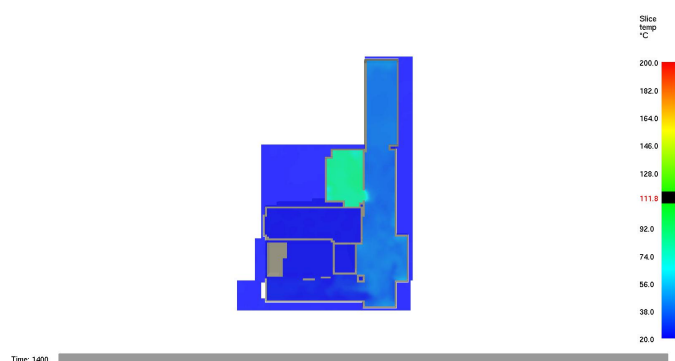
Rysunek 27. Scenariusz 2 – wartość temperatury na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 1150 s – ugaszenie pożaru



(a) Wariant A



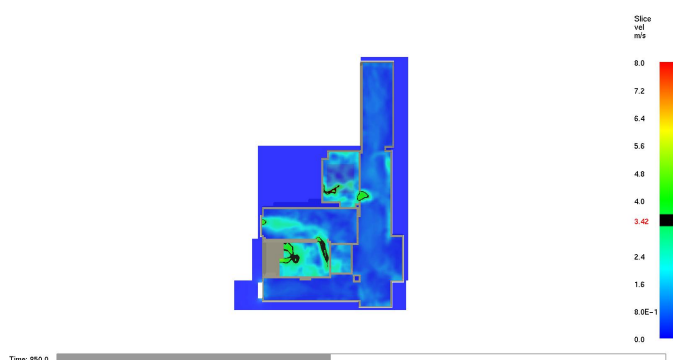
(b) Wariant B



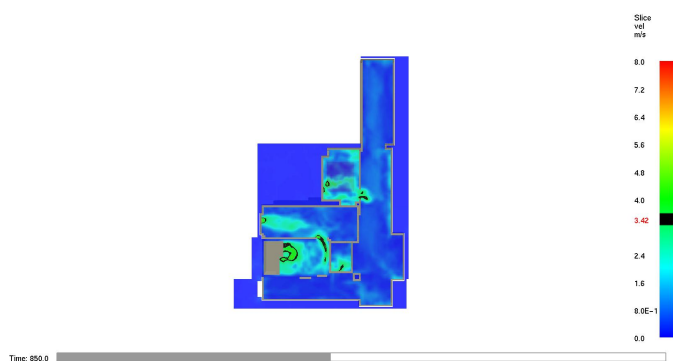
(c) Wariant C

Rysunek 28. Scenariusz 2 – wartość temperatury na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 1400 s

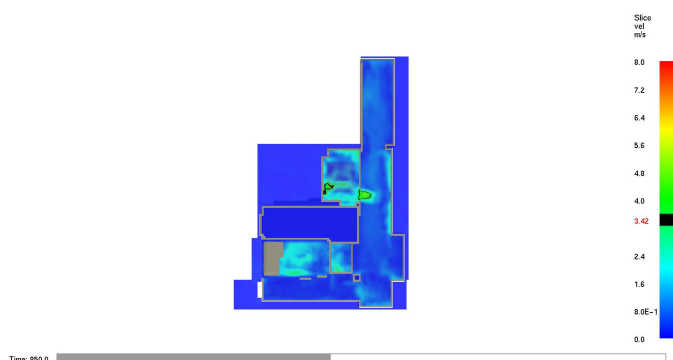
7.7. Scenariusz 2 – Prędkość przepływu powietrza



(a) Wariant A

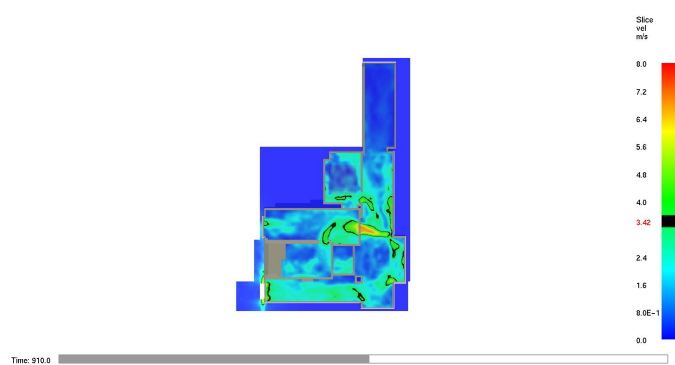


(b) Wariant B

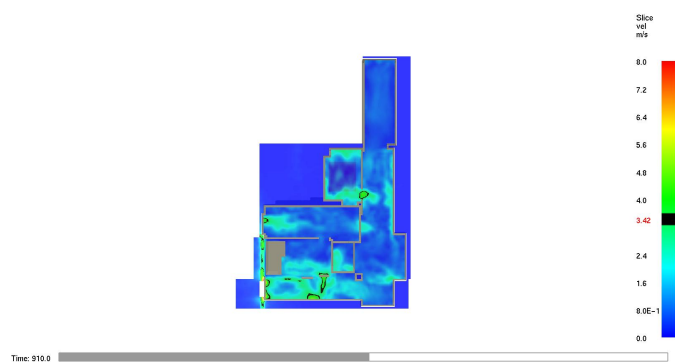


(c) Wariant C

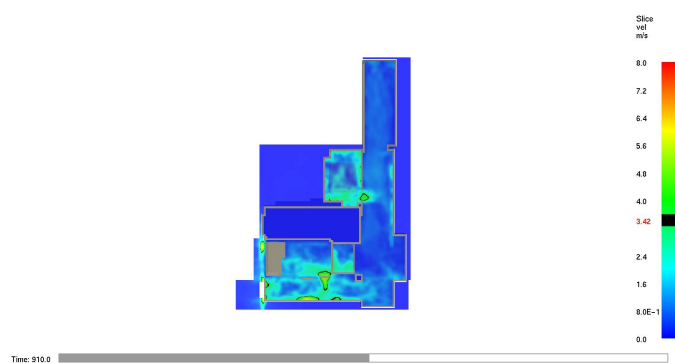
Rysunek 29. Scenariusz 2 – prędkość przepływu powietrza na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 850 s – rozpoczęcie działań gaśniczych



(a) Wariant A

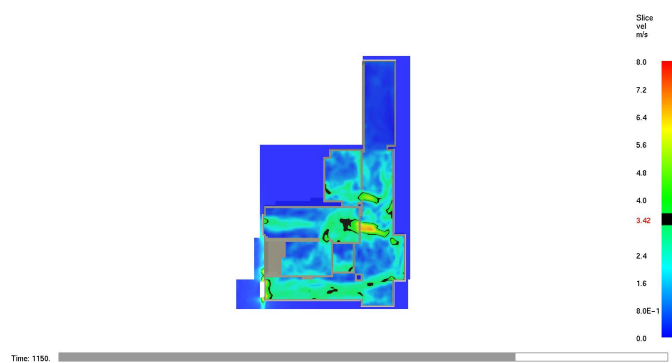


(b) Wariant B

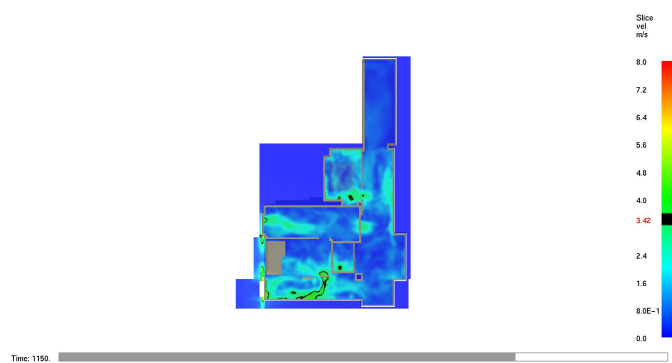


(c) Wariant C

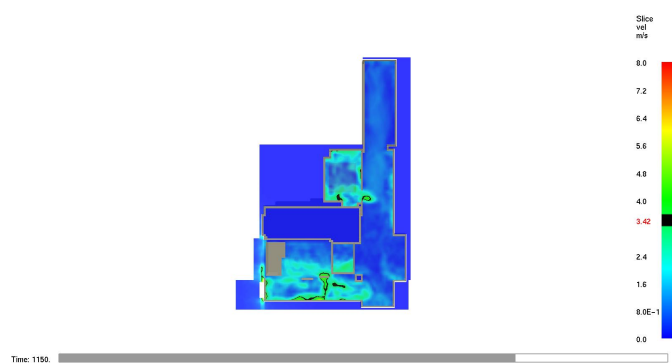
Rysunek 30. Scenariusz 2 – prędkość przepływu powietrza na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 910 s – w trakcie działań gaśniczych



(a) Wariant A

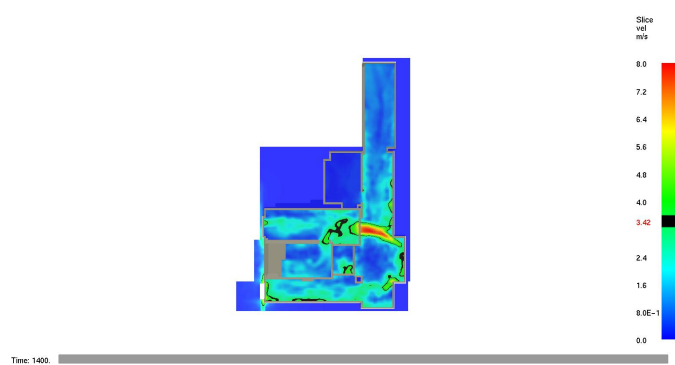


(b) Wariant B

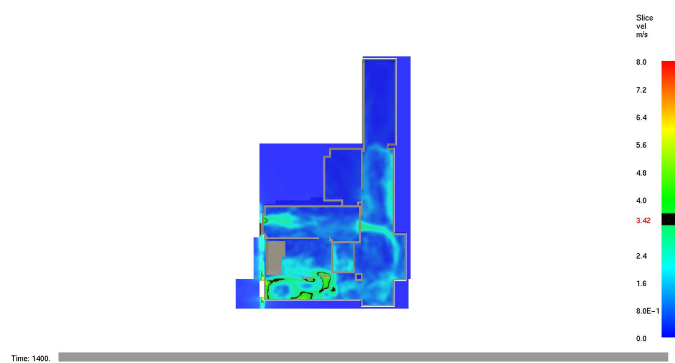


(c) Wariant C

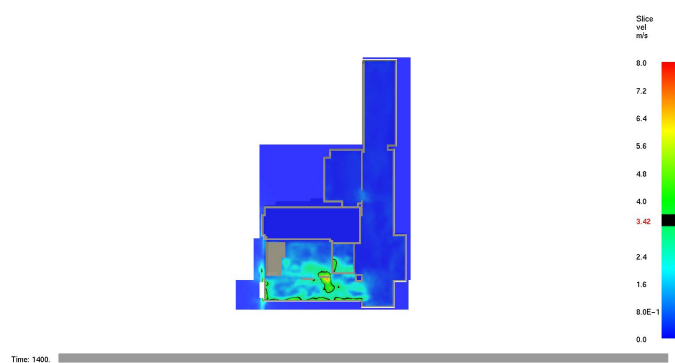
Rysunek 31. Scenariusz 2 – prędkość przepływu powietrza na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 1150 s – ugaszenie pożaru



(a) Wariant A



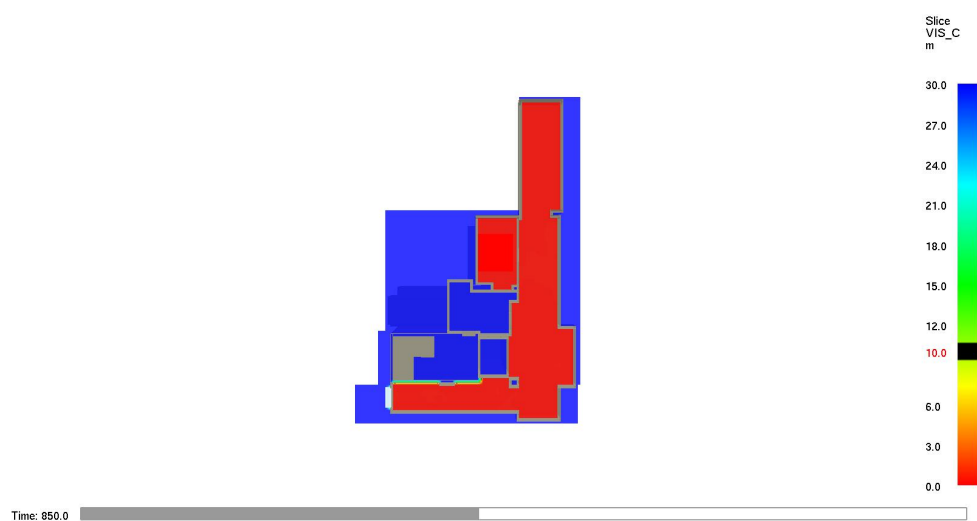
(b) Wariant B



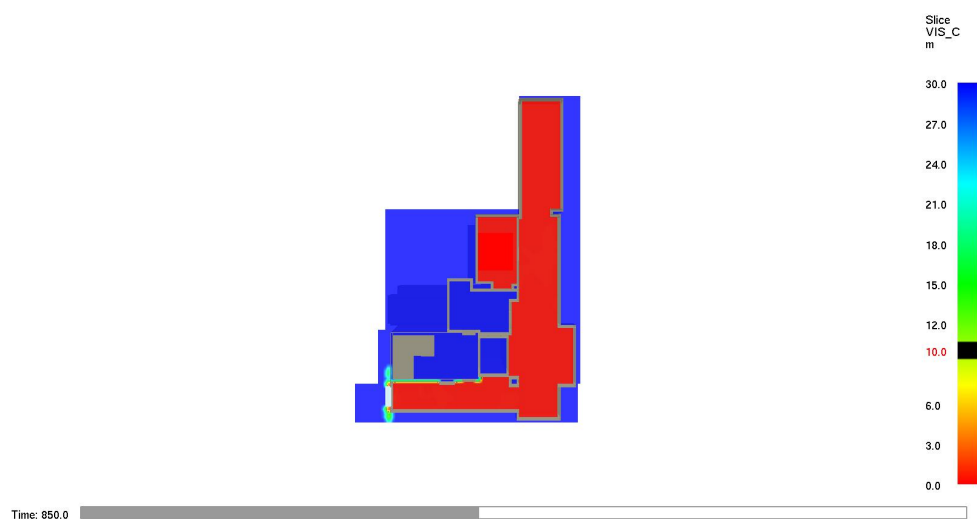
(c) Wariant C

Rysunek 32. Scenariusz 2 – prędkość przepływu powietrza na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 1400 s

7.8. Scenariusz 3 – Zasięg widzialności

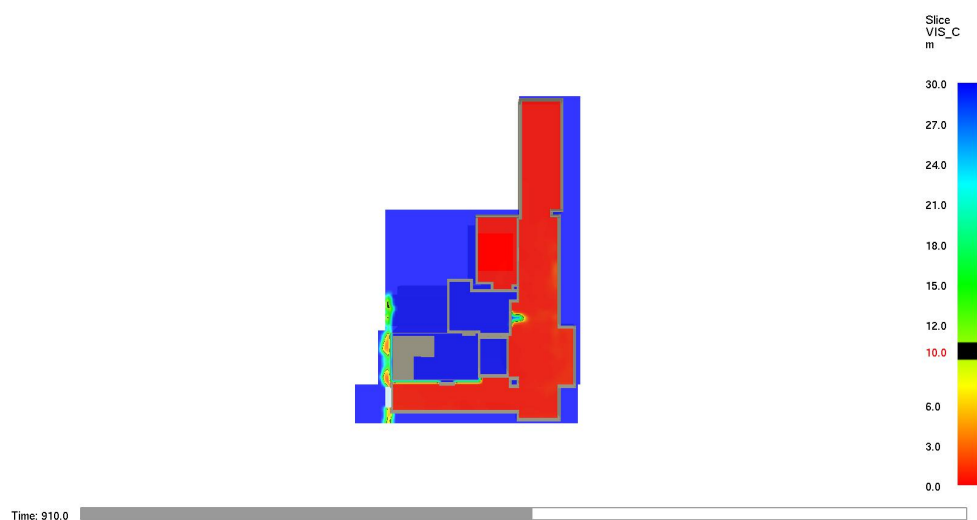


(a) Wariant A

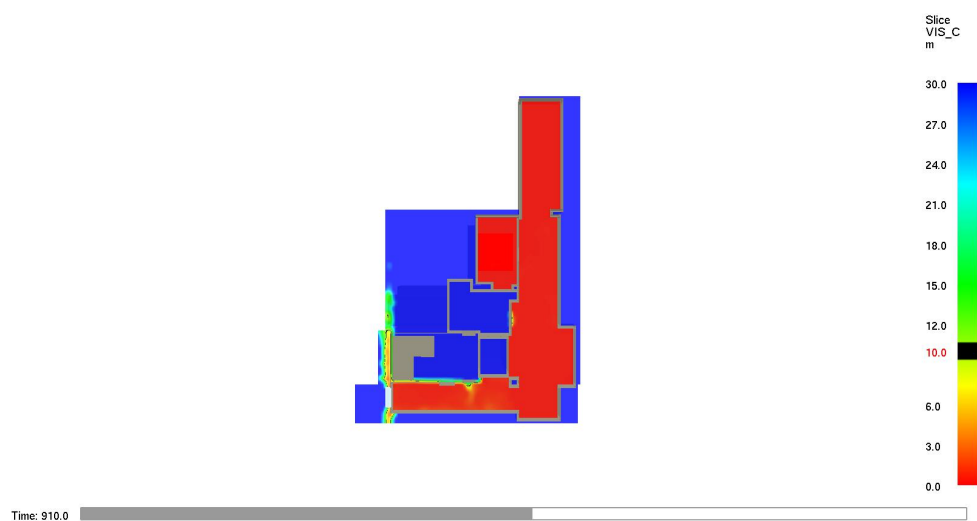


(b) Wariant B

Rysunek 33. Scenariusz 3 – zmiana zasięgu widzialności na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 850 s – rozpoczęcie działań gaśniczych

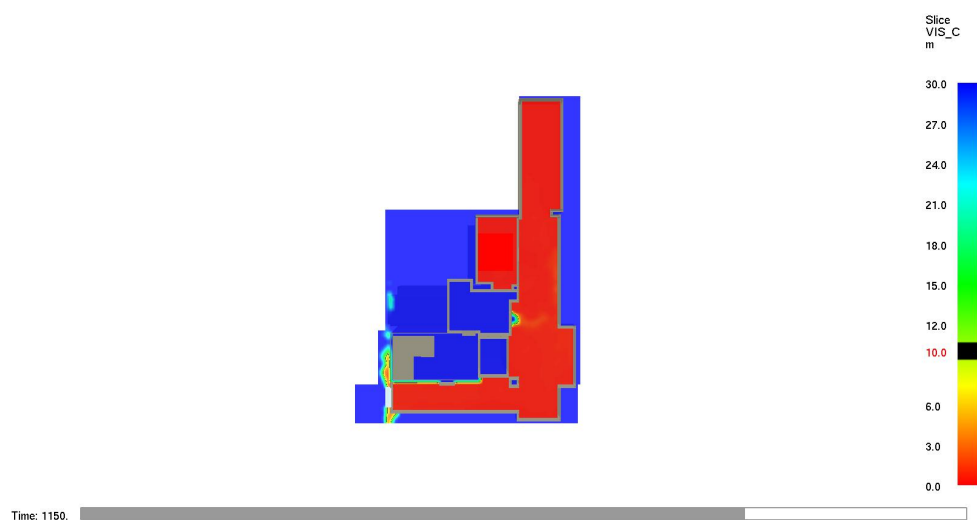


(a) Wariant A

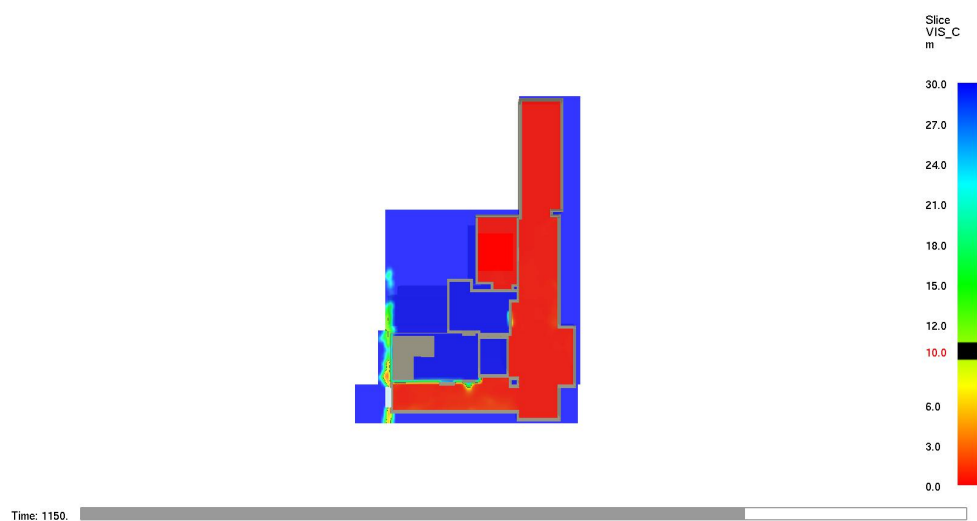


(b) Wariant B

Rysunek 34. Scenariusz 3 – zmiana zasięgu widzialności na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 910 s – w trakcie działań gaśniczych

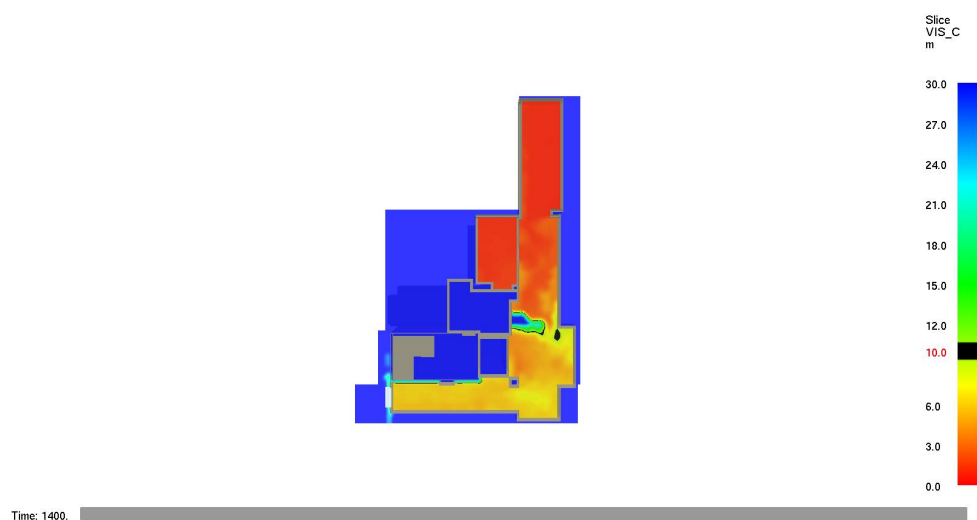


(a) Wariant A

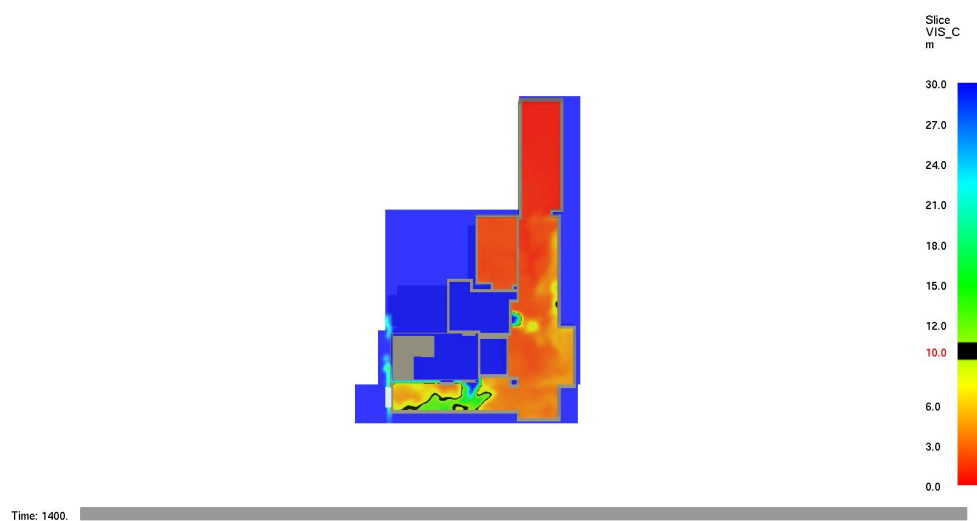


(b) Wariant B

Rysunek 35. Scenariusz 3 – zmiana zasięgu widzialności na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 1150 s – ugaszenie pożaru



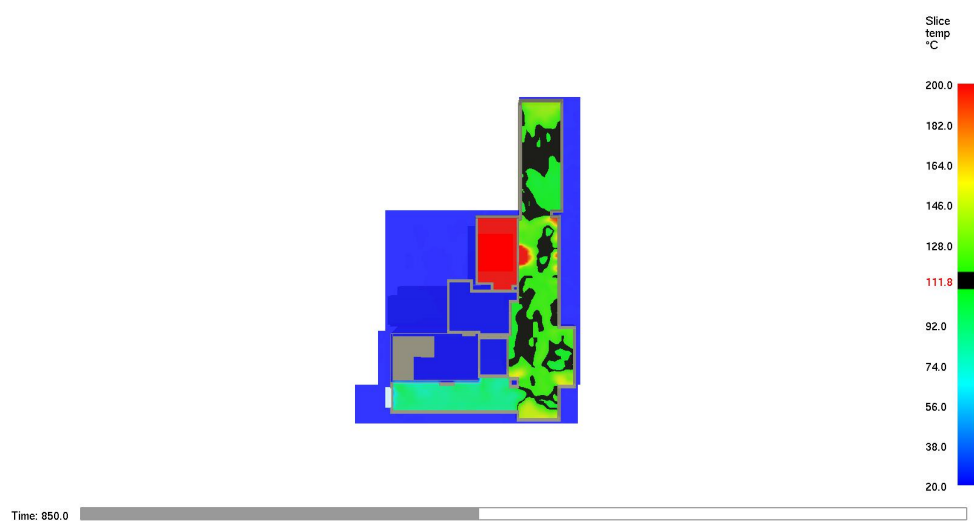
(a) Wariant A



(b) Wariant B

Rysunek 36. Scenariusz 3 – zmiana zasięgu widzialności na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 1400 s

7.9. Scenariusz 3 – Wartość temperatury

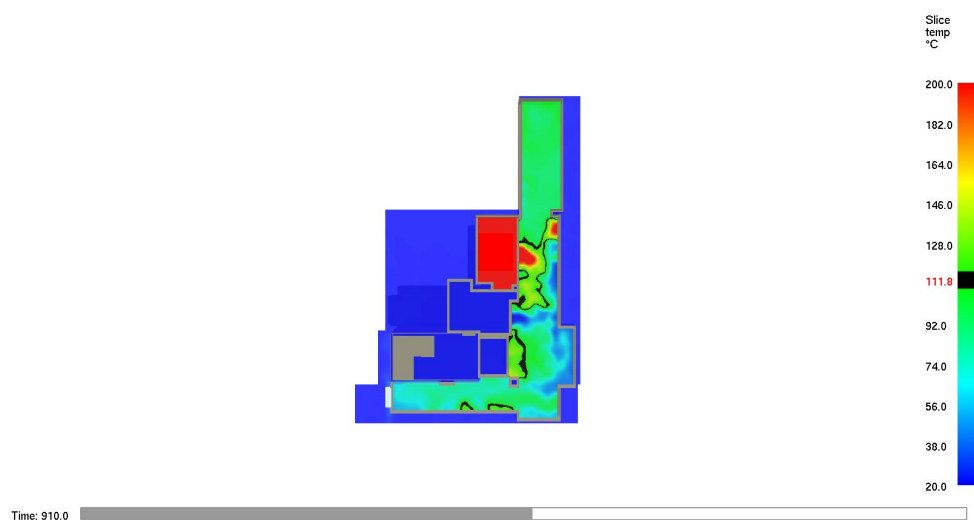


(a) Wariant A

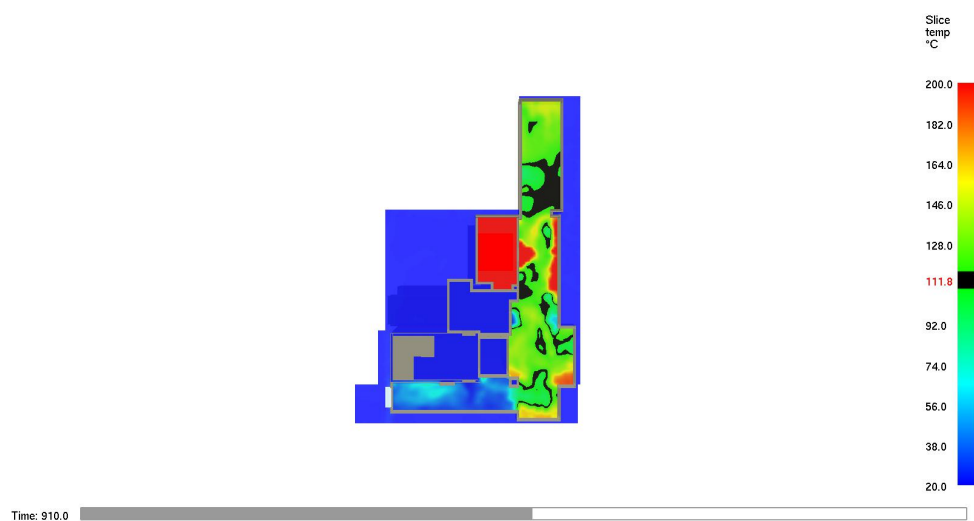


(b) Wariant B

Rysunek 37. Scenariusz 3 – wartość temperatury na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 850 s – rozpoczęcie działań gaśniczych

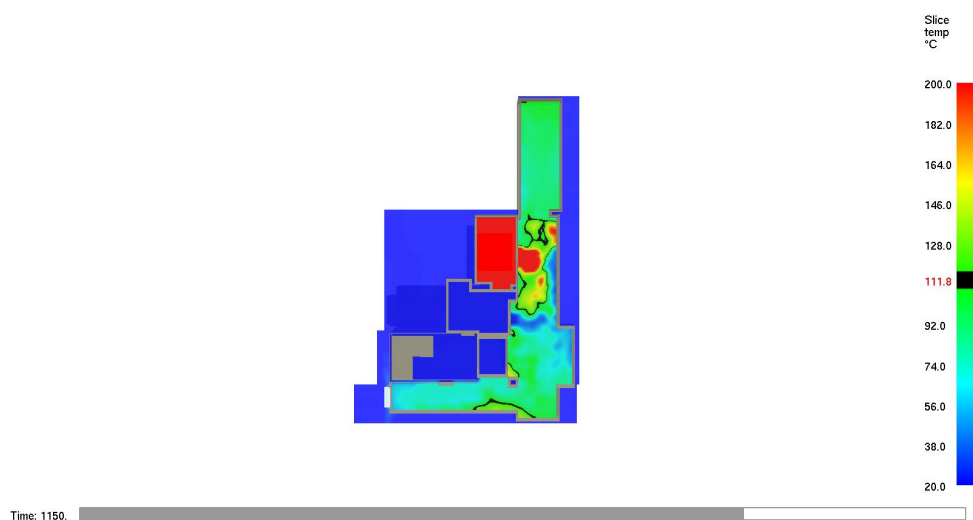


(a) Wariant A

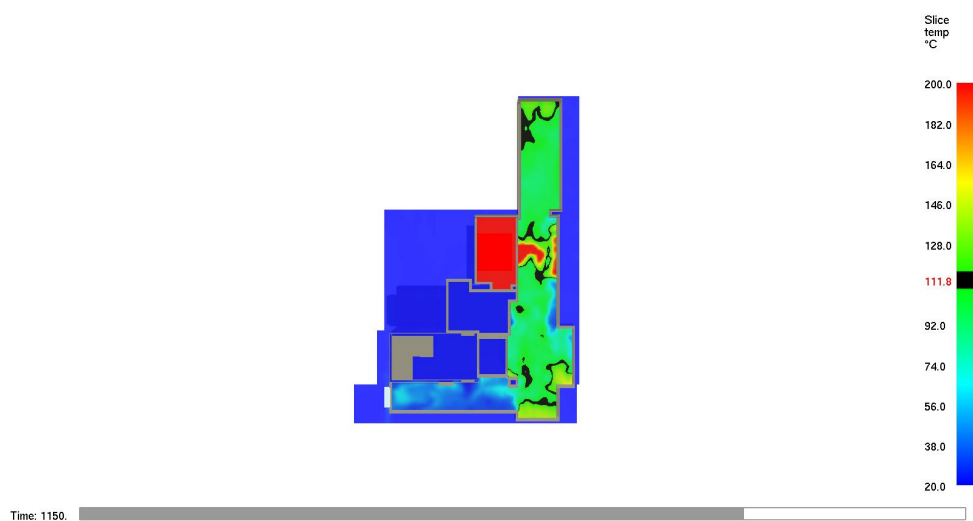


(b) Wariant B

Rysunek 38. Scenariusz 3 – wartość temperatury na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 910 s – w trakcie działań gaśniczych

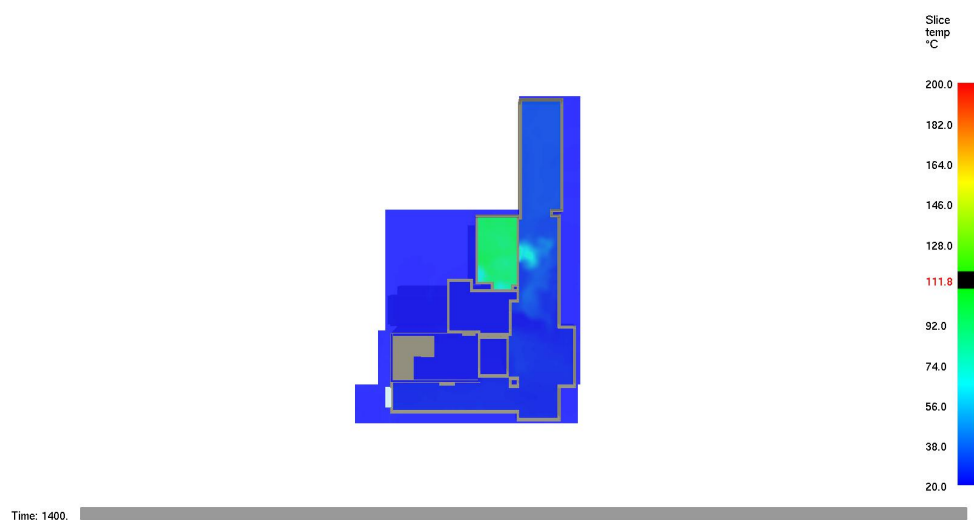


(a) Wariant A

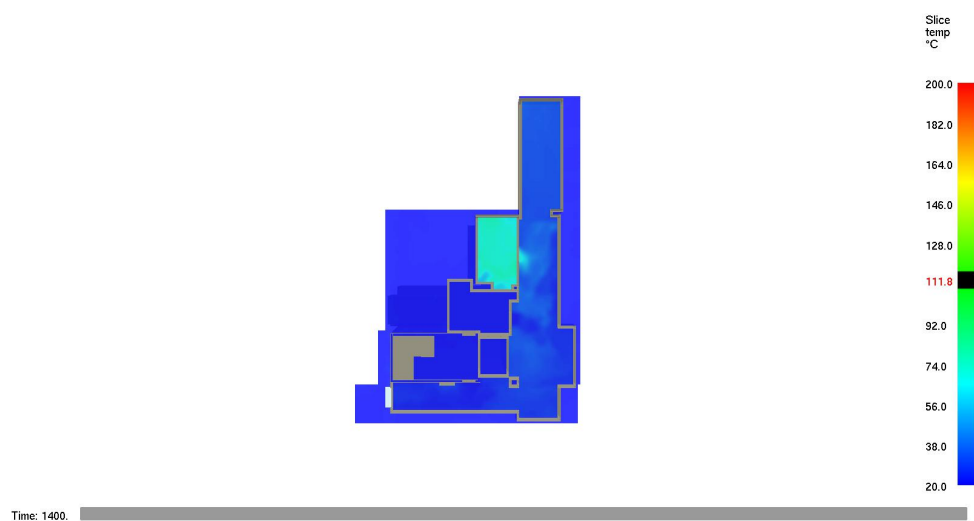


(b) Wariant B

Rysunek 39. Scenariusz 3 – wartość temperatury na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 1150 s – ugaszenie pożaru



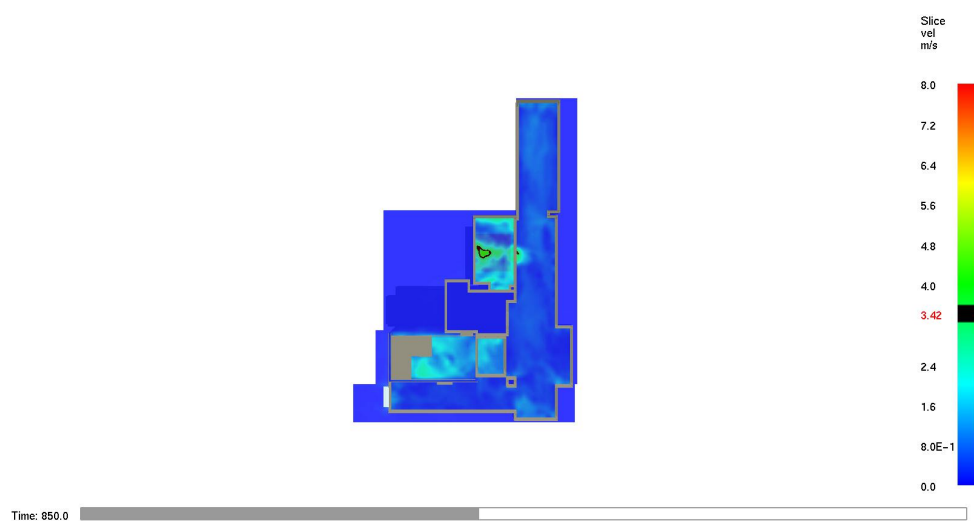
(a) Wariant A



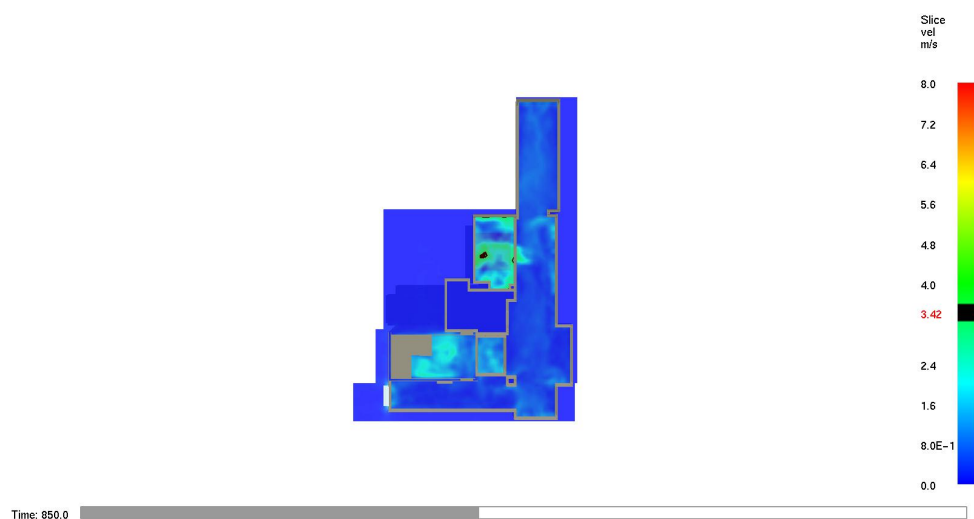
(b) Wariant B

Rysunek 40. Scenariusz 3 – wartość temperatury na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 1400 s

7.10. Scenariusz 3 – Prędkość przepływu powietrza

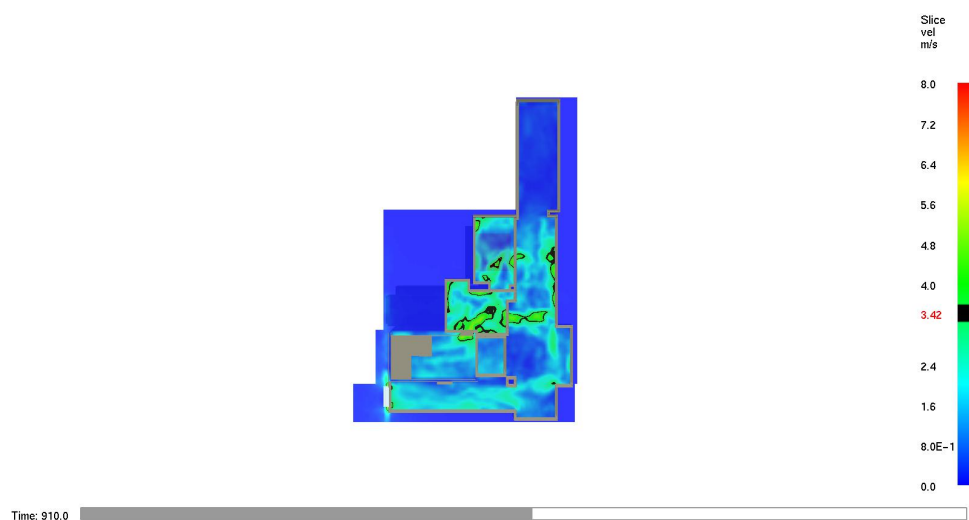


(a) Wariant A

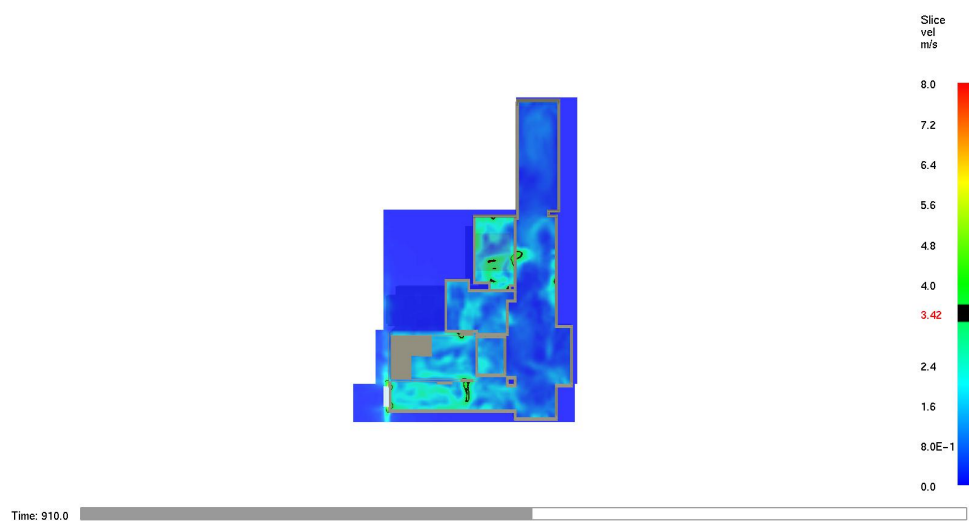


(b) Wariant B

Rysunek 41. Scenariusz 3 – prędkość przepływu powietrza na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 850 s – rozpoczęcie działań gaśniczych

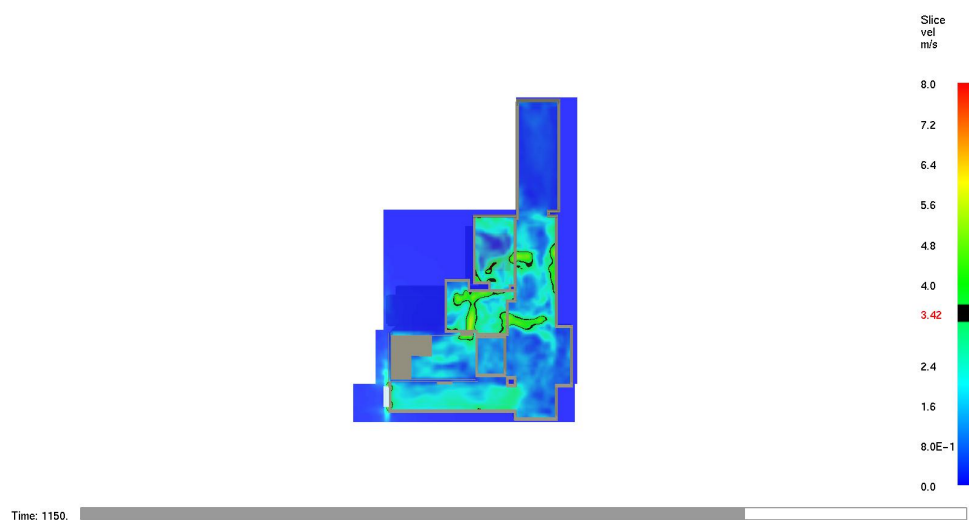


(a) Wariant A

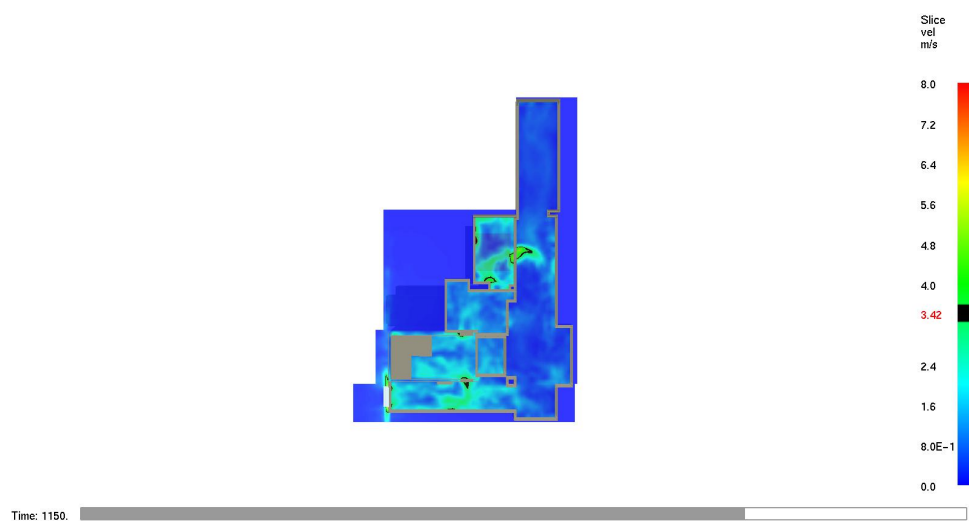


(b) Wariant B

Rysunek 42. Scenariusz 3 – prędkość przepływu powietrza na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 910 s – w trakcie działań gaśniczych

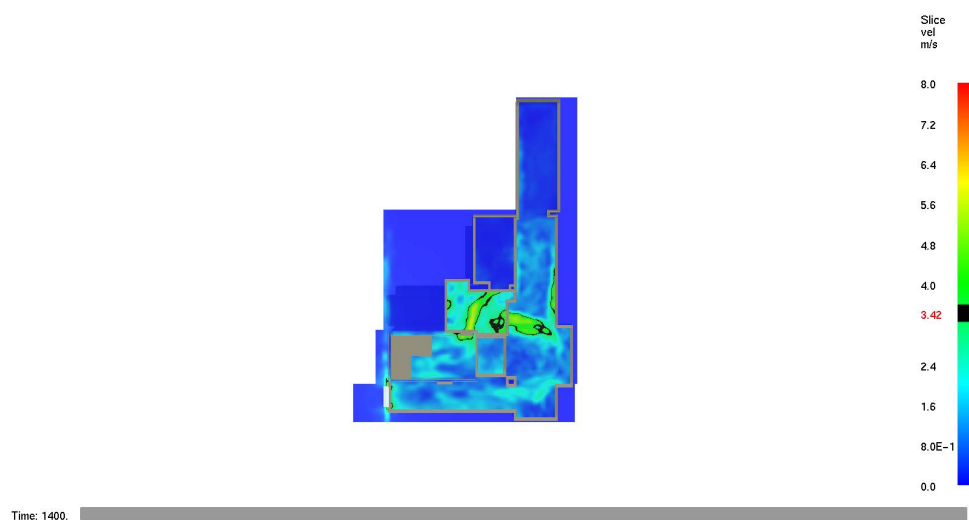


(a) Wariant A

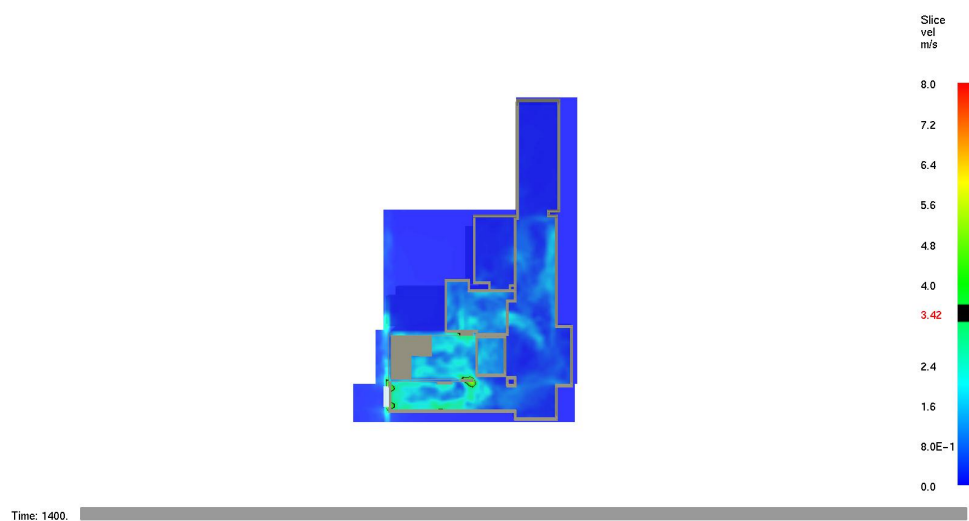


(b) Wariant B

Rysunek 43. Scenariusz 3 – prędkość przepływu powietrza na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 1150 s – ugaszenie pożaru



(a) Wariant A



(b) Wariant B

Rysunek 44. Scenariusz 3 – prędkość przepływu powietrza na wysokości 1,6 m nad posadzką korytarza po czasie 1400 s

8. Analiza niepewności modeli komputerowych

8.1. Niepewność programu FDS

W celu sprawdzenia poprawności wyników policzono prawdopodobieństwo przekroczenia dopuszczalnych warunków granicznych. Do tego celu użyto wskaźników niepewności modelu obliczonych na podstawie przewodnika [12].

Zgodnie z założeniami wartość błędu jest rozkładem normalnym warunkowanym wzrostem wartości mierzonej M :

$$\theta|M \sim \mathcal{N}(\mu, \sigma^2) \quad (1)$$

gdzie: μ – wartość oczekiwana (średnia) rozkładu; σ^2 – wariancja.

$$\mu = w_p + \frac{M}{\delta}; \quad \sigma = \tilde{\sigma}_M \frac{M}{\delta} \quad (2)$$

gdzie: w_p – wartość początkowa; δ – błąd systematyczny modelu; $\tilde{\sigma}_M$ – błąd standardowy modelu.

Wówczas prawdopodobieństwo, że wartość odczytana z modelu może być większa niż wartość rzeczywista, obliczane jest następująco [11]:

$$P(w_o > w_r) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{w_r - \mu}{\tilde{\sigma}_M \sqrt{2}}\right) \quad (3)$$

gdzie: $\operatorname{erfc}()$ – uzupełniająca funkcja błędu; w_o – wartość odczytana; w_r – wartość rzeczywista.

Na podstawie [13] w tabeli 7 przyjęto następujące wartości δ i $\tilde{\sigma}_M$ pomocne w szacowaniu błędu.

Zależność między zasięgiem widzialności a gęstością dymu przedstawia wzór:

$$D_m = \frac{C}{S \times K_m} \quad (4)$$

gdzie: C – współczynnik widzialności, bezwymiarowa stała, wynosi 3 dla znaków odbijających światło, 8 dla znaków emitujących światło; S – zasięg widzialności [m]; K_m – masowy współczynnik ekstynkcji [m^2/kg], w przypadku większości paliw równy $8700 \text{ m}^2/\text{kg}$.

Wartości błędu standardowego oraz systematycznego poszczególnych wielkości fizycznych w programie FDS zaprezentowano w tabeli 7, a niepewności odczytu dla temperatury, stężenia dymu oraz prędkości przepływu przedstawiono kolejno w tabelach 8, 9 oraz 10.

Tabela 7. Wartości błędu standardowego oraz systematycznego

Wielkość fizyczna	Jednostka	$\tilde{\sigma}_M$	δ
Temperatura warstwy dymu, Wentylacja mechaniczna	°C	0,15	1,05
Temperatura warstwy dymu, Wentylacja grawitacyjna	°C	0,12	1,07
Temperatura warstwy dymu, Brak wentylacji	°C	0,07	1,06
Stężenie dymu	mg/m ³	1,04	2,59
Prędkość przepływu	m/s	0,11	1,01

Tabela 8. Niepewność odczytu wartości temperatury

Temperatura warstwy dymu, Wentylacja grawitacyjna [°C]			
w_p	w_r	w_o	$P(w_o > w_r)$
15	60	55,2	5%
20	60	55,8	5%
15	120	108,8	5%
20	120	109,4	5%
Temperatura warstwy dymu, Wentylacja mechaniczna [°C]			
w_p	w_r	w_o	$P(w_o > w_r)$
15	60	52,9	5%
20	60	53,7	5%
15	120	103,4	5%
20	120	104,2	5%

Tabela 9. Niepewność odczytu stężenia dymu

Stężenie dymu [mg/m ³], Zasięg widzialności [m]							
w_p		w_r		w_o		$P(w_o > w_r)$	$P(w_o < w_r)$
C	D_S	D_S	S	D_S	S	D_S	S
3	0	0,034	10	0,032	10,47	5%	

Tabela 10. Niepewność odczytu prędkości przepływu

Prędkość przepływu [m/s]			
w_p	w_r	w_o	$P(w_o > w_r)$
0	1	0,68	5%
0	2	1,37	5%
0	5	3,42	5%

9. Wyniki analizy

W ramach przeprowadzonych dla przedmiotowego budynku prac, wykonano trzy komputerowe symulacje rozwoju pożaru dla trzech wariantów otwarcia drzwi do klatki. Symulacje te, odzwierciedlały parametry oraz warunki pracy projektowanego systemu wentylacji pożarowej.

W scenariuszach 1, 2 i 3 zweryfikowano skuteczność instalacji zapobiegającej zadymieniu klatek schodowych i przedsionków przeciwpożarowych w trakcie prowadzenia działań gaśniczych. W trakcie obliczeń przez otwarte drzwi do pomieszczenia z pożarem, dym oraz wysoka temperatura wydostają się do przestrzeni korytarza. W dalszej części symulacji cały korytarz zostaje zadymiony. Po otwarciu drzwi do klatek przez jednostki ochrony przeciwpożarowej we wszystkich wariantach dym oraz wysoka temperatura nie przedostają się do przedsionków przeciwpożarowych i klatek schodowych. Prędkość przepływu powietrza przez otwarte drzwi jest wystarczająca do zapobiegania zadymieniu pionowych dróg ewakuacyjnych. W trakcie tych symulacji były otwarte wszystkie drzwi zgodnie z założeniami opisanymi w punkcie 5.1.

10. Podsumowanie i wnioski

10.1. Podsumowanie

W oparciu o przeprowadzoną analizę sformułowano następujące wnioski:

1. Przeprowadzona weryfikacja rozwiązań zapobiegających zadymieniu pionowych dróg ewakuacyjnych budynku A kompleksu szpitalnego w Puszczykowie w postaci systemu różnicowania ciśnień w klatkach schodowych i przedsionkach przeciwpożarowych potwierdza skuteczność działania tej instalacji, pomimo niespełnienia wszystkich wymagań stawianych przez przyjętą normę projektową.
2. Pomimo zapewnienia mniejszej niż wymagana prędkości przepływu powietrza przez otwarte drzwi do przedsionka przeciwpożarowego i klatki schodowej, znajdujący się w przestrzeni korytarza dym nie przepływa do tych przestrzeni.
3. Dym oraz wysoka temperatura nie wpływała do przestrzeni przedsionka szybu dźwigu dla ekip ratowniczych.
4. Wszystkie drzwi między przestrzeniami o podwyższonym ciśnieniu oraz wszystkie drzwi z pomieszczeń przylegające bezpośrednio do korytarzy ewakuacyjnych, powinny być wyposażone w automatyczny mechanizm zamykający (samoamykacze).
5. Obliczony w punkcie 4 czas rozpoczęcia działań ratowniczo-gaśniczych, nie był dłuższy niż 850 sekund (ok. 14,2 min) od momentu powstania pożaru.
6. We wszystkich symulacjach instalacji zapobiegająca zadymieniu klatek schodowych i przedsionków przeciwpożarowych jest skuteczna. W żadnej z symulacji dym nie dostał się do przestrzeni klatki schodowej i przedsionka.
7. Niezawodne działanie instalacji wentylacji pożarowej zapewni odpowiednie warunki pracy dla przybyłych na miejsce jednostek ratowniczo-gaśniczych.
8. W analizie niepewności, przedstawionej w punkcie 8 raportu, sprawdzono poprawność wyników uzyskanych z symulacji. Odczytane wartości zawierają się w dopuszczalnej tolerancji programu.

10.2. Wnioski

Bezpieczeństwo ewakuacji

Na podstawie otrzymanych wyników symulacji komputerowych należy stwierdzić, iż zaproponowany system wentylacji pożarowej zapewni wydajność wystarczającą dla zapobiegania zadymieniu klatek schodowych oraz przedsionków przeciwpożarowych przez cały czas trwania pożaru.

Bezpieczeństwo ekip ratowniczo-gaśniczych

Na podstawie przeprowadzonych symulacji należy stwierdzić, że zaproponowany system wentylacji pożarowej umożliwia prowadzenie działań wewnątrz analizowanego budynku po obliczonym czasie do rozpoczęcia działań gaśniczych (ok. 14,2 min).

Biorąc pod uwagę wyniki przedstawione w niniejszym raporcie, należy stwierdzić, że projektowany system zapewni wymagany poziom bezpieczeństwa dla interweniujących ekip ratowniczo-gaśniczych, co jest spełnieniem zapisu §207 Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (t.j. Dz.U. 2022 poz. 1225).

W przypadku modyfikacji architektury lub zmiany założeń koncepcji systemu wentylacji pożarowej, należy wykonać ponowną analizę CFD w celu weryfikacji poprawności jego działania.

11. Wytyczne projektowe

1. Do zapobiegania zadymieniu klatek schodowych i przedsionków przeciwpożarowych w budynku A kompleksu szpitalnego w Puszczykowie należy wykorzystać system wentylacji pożarowej o parametrach opisanych w punkcie 5.
2. Instalacje wentylacji pożarowej należy wykonać na podstawie projektu uzgodnionego z rzeczoznawcą ds. zabezpieczeń ppoż. Warunkiem dopuszczenia instalacji do użytkowania jest przeprowadzenie prób i badań potwierdzających prawidłowość działania.
3. Przeglądy techniczne i czynności konserwacyjne powinny być przeprowadzane w okresach ustalonych przez producenta, nie rzadziej jednak niż raz w roku.
4. Automatyczne uruchomienie instalacji wentylacji pożarowej powinno następować po detekcji dymu poprzez wysterowanie z centrali sygnalizacji pożarowej.
5. Sterowanie urządzeniami działającymi podczas pożaru powinno być realizowane poprzez centralę posiadającą świadectwo dopuszczenia CNBOP.
6. Urządzenia działające podczas pożaru (zasilanie centrali oddymiania, zasilanie siłowników, przyciski oddymiania) należy zasilić przewodem o klasie PH co najmniej PH 90 sprzed PWP. System wentylacji pożarowej powinien posiadać rezerwowe źródło zasilania.

Bibliografia

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (t.j. Dz.U. 2022 poz. 1225).
- [2] Rozporządzenie MSWiA z dnia 7 czerwca 2010 r. W sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (t.j. Dz.U. 2023 poz. 822).
- [3] Biuro rozpoznawania zagrożeń, Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej. Procedury organizacyjno-techniczne w sprawie spełnienia wymagań w zakresie bezpieczeństwa pożarowego w inny sposób niż określono to w przepisach technicznobudowlanych. 2008.
- [4] BSI Standards Publication. PD 7974-6 Application of fire safety engineering principles to the design of buildings - Part 6: Human factors: Life safety strategies - Occupants evacuation, behaviour and condition, 2019.
- [5] BSI. British Standard 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. *Design*, 3, 2006.
- [6] BSI Standards Publication BS 7346-5:2005. Functional recommendations and calculation methods for smoke and heat exhaust ventilation systems, employing time-dependent design fires — Code of practice. *Design*, 3, 2006.
- [7] PN-EN ISO 6946. Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania. pages 1–30, 2004.
- [8] PN-EN 12101-6. Systemy kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła Część 6 Wymagania techniczne dotyczące systemów różnicowania ciśnień, 2007.
- [9] Stewart Miles and Kevin McGrattan. Modeling fires using computational fluid dynamics (cfd). In *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth Edition*, pages 1034–1065. 2016.
- [10] Filiszkiewicz Mateusz Ilinicki Michał, Krauze Andrzej. Podstawowe błędy popełniane w czasie wykonywania analiz skuteczności systemów oddymiania z wykorzystaniem symulacji CFD. *Ochrona przeciwpożarowa*, Zakopane, 2011.
- [11] Kevin McGrattan, Simo. Hostikka, Randall McDermott, Jason Floyd, Craig Weinschenk, and Kristopher Overholt. FDS User's Guide Sixth Edition. 2018.
- [12] K McGrattan, S. Hostikka, Randall McDermott, Jason Floyd, Craig Weinschenk, and Kristopher Overholt. Sixth Edition Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 3 : Validation. 1:1–147, 2015.



- [13] K McGrattan, S. Hostikka, Randall McDermott, Jason Floyd, Craig Weinschenk, and Christopher Overholt. FDS Technical Reference Guide Volume 2 : Validation. 2015.

