PRACOWNIA AKUSTYCZNA

Główny projektant	dr inż. Piotr Z. Kozłowski
Projektant prowadzący	mgr inż. Mikołaj Pawelec
Zespół projektowy	mgr inż. Tomasz Wybierała
Sprawdzenie	mgr inż. Ryszard Frątczak
Zadanie	**Wykonanie dokumentacji projektowo – kosztorysowej modernizacji sceny Teatru Wielkiego im. Stanisława Moniuszki**.
Temat	**Przebudowa sceny Teatru Wielkiego im. Stanisława Moniuszki.**
Nazwa obiektu	Teatr Wielki im. St. Moniuszki w Poznaniu
Adres obiektu	ul. Fredry 9, 61-701 Poznań
Inwestor	Teatr Wielki im. St. Moniuszki w Poznaniu
Adres inwestora	ul. Fredry 9, 61-701 Poznań
Stadium	Projekt budowlany
Tom	01 - Analiza numeryczna rozprzestrzeniania się dymu i ciepła z wykorzystaniem metody komputerowej mechaniki płynów (CFD) działania systemu wentylacji pożarowej
Edycja	Ostateczna v.01
Branża	Ochrona przeciwpożarowa

Niniejsze opracowanie stanowi własność intelektualną Pracowni Akustycznej Kozłowski sp. j. i objęte jest prawem autorskim zgodnie z ustawą z dnia 04.02.1994 "O prawie autorskim i prawach pokrewnych". Żadna z jego części nie może być kopiowana, powielana, udostępniana w żadnej formie, również elektronicznej, bez wyraźnej pisemnej zgody autorów. Opracowanie to może być wykorzystane jedynie zgodnie z przeznaczeniem, dla którego zostało wykonane, chyba że właściciele praw autorskich podpisali na to zgodę wydaną w następstwie odpowiedniej umowy handlowej. Do czasu uregulowania pełnego wynagrodzenia Pracowni Akustycznej Kozłowski sp. j. jest ona jedynym właścicielem wszelkich praw autorskich oraz praw do wykorzystania niniejszej dokumentacji.

© Copyright by Pracownia Akustyczna Kozłowski sp. j., Wrocław, 2017

www.akustyczna.pl pracownia@akustyczna.pl

Adres jednostki projektowania:

PRACOWNIA AKUSTYCZNA Kozłowski sp. j.
ul. Opolska 140
52-014 Wrocław

NIP: 899-261-33-93
REGON: 020574694
KRS: 0000286159

tel. +48 71 794 93 31
fax. +48 71 722 08 19
web: www.akustyczna.pl
email: pracownia@akustyczna.pl

Spis treści

Adres jednostki projektowania: 3
Spis treści 5
Spis tabel w części opisowej 7
1. Podstawa opracowania 11
1.1. Podstawa formalna 11
1.2. Podstawa merytoryczna 11
2. Zakres i cel opracowania 13
3. Charakterystyka obiektu 13
3.1. Inwestor 13
3.2. Lokalizacja budynku 13
3.3. Charakterystyka i przeznaczenie strefy budynku 13
3.4. Parametry charakterystyczne budynku 14
3.5. Wymagane warunki techniczno – budowlane oraz instalacyjne - związany z ochroną przeciwpożarową 15
3.6. Sposób użytkowania 15
4. Opis programu FDS 16
4.1. Nazwa programu, wersja, producent 16
4.2. Model turbulencji 16
4.3. Model spalania 16
4.4. Niepewności obliczeniowe i zastosowane współczynniki bezpieczeństwa 16
4.5. Warunki początkowe i brzegowe 17
4.6. Sposób definicji modelu 17
4.7. Weryfikacja programu FDS 17
5. Założenia i metodologia analizy 18
5.1. Założenia wynikające z projektu architektonicznego i projektów branżowych 18
5.2. System oddymiania 20
5.2.1. Typ systemu 20
5.2.2. Podstawowe elementy systemu oddymiania 21
5.2.3. Wytyczne do scenariusza działania systemów technicznych w przypadku pożaru 21
5.3. Pożar projektowy 22
5.3.1. Krzywe rozwoju pożaru 23
5.3.2. Czas trwania symulacji 24
5.3.3. Siatka obliczeniowa modelu CFD 25

5.3.4. Model obliczeniowy i geometria przestrzeni 25
5.4. Oszacowanie wymaganego czasu ewakuacji 26
5.4.1. Podstawowe założenia dotyczące ewakuacji: 26
5.4.2. Czas do podjęcia ewakuacji (Δt_{pre}) 27
5.4.3. Czas dojścia do strefy bezpiecznej (Δt_{trav}) 27
5.4.4. Wymagany czas bezpiecznej ewakuacji (RSET) 27
5.4.5. Kryteria bezpiecznej ewakuacji 27
5.4.6. Kryteria dodatkowej analizy dotyczącej warunków działania ekip gaśniczych 28
6. Wyniki symulacji CFD 28
6.1. Pożar wg scenariusza nr 1 – przestrzeń sceny głównej (moc pożaru 4,5 MW) 28
6.2. Pożar wg scenariusza nr 2 – przestrzeń sceny głównej (moc pożaru 9 MW) 34
7. Wnioski z analizy 40
7.1. Analiza prognozowanego stopnia zadymienia i temperatur 40
7.2. Warunki w strefie oddymiania (poziom sceny) objętej pożarem w czasie ewakuacji 40
7.3. Warunki po czasie potrzebnym do bezpiecznej ewakuacji 41
7.4. Wnioski końcowe 42
8. Podsumowanie 43

Spis tabel w części opisowej

Tab. 3.1. Dane Inwestora 13
Tab. 3.2. Dane lokalizacji budynku 13
Tab. 3.3. Parametry budynku 14
Tab. 4.1. Średnie błędy wyznaczania wielkości fizycznych w FDS. 16
Tab. 4.2. Właściwości materiałów budowlanych, wprowadzonych do programu FDS. 17
Tab. 5.1. Zestawienie pożarów projektowych 22
Tab. 5.2. Parametry czasu trwania symulacji 24

Spis rysunków w części opisowej

Rys. 1 Rzut poziomu sceny 19

Rys. 2 Przekrój strefy dymowej SD 1 20

Rys. 5.3. Krzywa rozwoju pożaru na przykładzie pożaru SP1 23

Rys. 5.4. Krzywa rozwoju pożaru na przykładzie pożaru SP2 24

Rys. 5.5. Widok modelu dla pożaru SP 1. 25

Rys. 5.6. Widok modelu dla pożaru SP 2. 26

Rys. 6.1 Zakres widzialności na wysokości 1,8m nad posadzką sceny dla czasu 210 s – czas ewakuacji pierwszych osób 28

Rys. 6.2. Zakres temperatury na wysokości 1,8m nad posadzką sceny dla czasu 210 s – czas ewakuacji pierwszych osób 29

Rys. 6.3. Zakres widzialności nad posadzką sceny w przekroju podłużnym dla czasu 210 s – czas ewakuacji pierwszych osób 29

Rys. 6.4. Zakres temperatury nad posadzką sceny w przekroju poprzecznym dla czasu 210 s – czas ewakuacji pierwszych osób 30

Rys. 6.5. Zakres widzialności na wysokości 1,8m nad posadzką sceny dla czasu 360 s – czas koniec ewakuacji wszystkich osób 30

Rys. 6.6. Zakres temperatury na wysokości 1,8m nad posadzką sceny dla czasu 360 s – czas koniec ewakuacji wszystkich osób 31

Rys. 6.7. Zakres widzialności nad posadzką sceny w przekroju poprzecznym dla czasu 360 s – czas koniec ewakuacji wszystkich osób 31

Rys. 6.8. Zakres temperatury na wysokości 1,8m nad posadzką sceny w przekroju podłużnym dla czasu 360 s – czas koniec ewakuacji wszystkich osób 32

Rys. 6.9. Zakres widzialności na wysokości 1,5m nad posadzką sceny dla czasu 600 s – przewidywany czas rozpoczęcia działań ekip ratowniczo - gaśniczych 32

Rys. 6.10. Zakres temperatury na wysokości 1,5m nad posadzką sceny dla czasu 600 s – przewidywany czas rozpoczęcia działań ekip ratowniczo - gaśniczych 33

Rys. 6.11. Zakres widzialności nad posadzką sceny w przekroju poprzecznym dla czasu 600 s – przewidywany czas rozpoczęcia działań ekip ratowniczo - gaśniczych 33

Rys. 6.12. Zakres temperatury nad posadzką sceny w przekroju poprzecznym dla czasu 600 s – przewidywany czas rozpoczęcia działań ekip ratowniczo – gaśniczych 34

Rys. 6.13. Zakres widzialności na wysokości 1,8m nad posadzką sceny dla czasu 210 s – czas ewakuacji pierwszych osób 34

Rys. 6.14. Zakres temperatury na wysokości 1,8m nad posadzką sceny dla czasu 210 s – czas ewakuacji pierwszych osób 35

Rys. 6.15. Zakres widzialności nad posadzką sceny w przekroju podłużnym dla czasu 210 s – czas ewakuacji pierwszych osób 35

Rys. 6.16. Zakres temperatury nad posadzką sceny w przekroju poprzecznym dla czasu 210 s – czas ewakuacji pierwszych osób 36

Rys. 6.17. Zakres widzialności na wysokości 1,8m nad posadzką sceny dla czasu 360 s – czas koniec ewakuacji wszystkich osób 36

Rys. 6.18. Zakres temperatury na wysokości 1,8m nad posadzką sceny dla czasu 360 s – czas koniec ewakuacji wszystkich osób 37

Rys. 6.19. Zakres widzialności nad posadzką sceny w przekroju poprzecznym dla czasu 360 s – czas koniec ewakuacji wszystkich osób 37

Rys. 6.20. Zakres temperatury na wysokości 1,8m nad posadzką sceny w przekroju podłużnym dla czasu 360 s – czas koniec ewakuacji wszystkich osób 38

Rys. 6.21. Zakres widzialności na wysokości 1,8m nad posadzką sceny dla czasu 600 s – przewidywany czas rozpoczęcia działań ekip ratowniczo - gaśniczych 38

Rys. 6.22. Zakres temperatury na wysokości 1,5m nad posadzką sceny dla czasu 600 s – przewidywany czas rozpoczęcia działań ekip ratowniczo - gaśniczych 39

Rys. 6.23. Zakres widzialności nad posadzką sceny w przekroju poprzecznym dla czasu 600 s – przewidywany czas rozpoczęcia działań ekip ratowniczo - gaśniczych 39

Rys. 6.24. Zakres temperatury nad posadzką sceny w przekroju poprzecznym dla czasu 600 s – przewidywany czas rozpoczęcia działań ekip ratowniczo - gaśniczych 40

1. Podstawa opracowania

1.1. Podstawa formalna

[1] Umowa nr 332/02/07 zawarta w dniu 2017-06-29 w Poznaniu między Teatrem Wielkim im. St. Moniuszki w Poznaniu a Pracownią Akustyczną Kozłowski sp.j. (wraz z aneksem) na wykonanie dokumentacji projektowo – kosztorysowej modernizacji sceny Teatru Wielkiego im. Stanisława Moniuszki w ramach zadania: „modernizacja sceny Teatru Wielkiego im. Stanisława Moniuszki”

1.2. Podstawa merytoryczna

[2] Wytyczne technologiczne oraz uzgodnienia międzybranżowe.

[3] Literatura techniczna oraz doświadczenie zawodowe projektantów.

[4] Obowiązujące przepisy i normy oraz dyrektywy UE.

[5] Wytyczne projektowe dostarczone przez Inwestora.

[6] Uzgodnienia merytoryczne poczynione podczas spotkań z przedstawicielami Inwestora.

[7] Podkłady architektoniczne.

[8] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. (Dz. U. Nr 75, poz. 690 z późn. zm.).

[9] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 roku w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów. (Dz. U. Nr 109, poz. 719).

[10] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 lipca 2009 roku w sprawie przeciwpożarowego zaopatrzenia w wodę oraz dróg pożarowych. (Dz. U. Nr 124, poz. 1030).

[11] Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide Volume 3: Validation

[12] 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 niepogorszenie warunków ochrony przeciwpożarowej, w przypadkach wskazanych w przepisach przeciwpożarowych Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej – Warszawa, czerwiec 2008 roku

[13] Agent-Based Simulation of Human Movements During Emergency Evacuations of Facilities Joseph L. Smith, PSP Senior Vice President Applied Research Associates, Inc., USA.

[14] PD 7974-6:2004 The application of fire safety engineering priciples to fire safety design of buildings. Human factors. Life safety strategies. Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6)

[15] AS 4391-1999 Smoke management systems-Hot smoke test

[16] Wiedza inżynierska.

Wykonawca prac opisanych w niniejszym dokumencie ma obowiązek zapoznać się z całą dokumentacją projektową wraz z jej wszystkimi załącznikami oraz dokonać wizji lokalnej w Obiekcie. Na podstawie tak zdobytej wiedzy Wykonawca ma obowiązek uwzględnić i skosztorysować wszystkie prace i elementy konieczne do poprawnego zainstalowania, połączenia i uruchomienia elementów i systemów będących przedmiotem tego opracowania. Przedmiar robót będący załącznikiem do niniejszego opracowania może nie zawierać detali montażowych wynikających z technologii montażu niektórych elementów i urządzeń, a jedynie pozycję „materiały instalacyjne" wskazującą, że takie elementy mogą być potrzebne na etapie wykonawstwa i Wykonawca zobowiązany jest je zapewnić.

Pokazane w projekcie trasy kablowe należy traktować jako propozycję, jaką można było przedstawić na etapie projektowania bez wykonanych odkrywek. Wykonawca jest zobowiązany do ostatecznego ustalenia tras prowadzenia okablowania oraz technologii wykonania tych tras na podstawie informacji otrzymanych na budowie w trakcie odkrywek i prac instalacyjnych. Modyfikacje zaproponowane przez Wykonawcę muszą uzyskać ostateczną akceptację autorów projektu.

Realizacja zaprojektowanych elementów musi się odbywać pod ścisłym nadzorem autorskim projektantów. Inwestor i/lub Wykonawca są odpowiedzialni za zapewnienie takiego nadzoru. Wszelkie ewentualne modyfikacje rozwiązań zamieszczonych w niniejszej dokumentacji mogą być wprowadzone jedynie po uzyskaniu pisemnej akceptacji autorów projektu.

2. Zakres i cel opracowania

Niniejsza analiza dotyczy Sceny Teatru Wielkiego im. Stanisława Moniuszki zlokalizowanej w Poznaniu.

Celem niniejszej analizy jest ocena skuteczności systemu mechanicznej wentylacji pożarowej projektowanej dla obszaru sceny przedmiotowego budynku.

Zgodnie z zapisem w punkcie § 270 Rozporządzenia Ministra infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. (z zm.) w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, przedmiotowa analiza ma za zadanie zweryfikować, czy projektowany system wentylacji oddymiającej „usuwa dym z intensywnością zapewniającą, że w czasie potrzebnym do ewakuacji ludzi na chronionych przejściach i drogach ewakuacyjnych nie wystąpi zadymienie lub temperatura uniemożliwiające bezpieczną ewakuację".

Zakres analizy obejmuje przestrzeń sceny, w tym obszar kieszeni sceny oraz obszar przyległy do drzwi wejściowych.

W celu prognozy stopnia zadymienia oraz wyznaczania przewidywanych temperatur w przestrzeni objętej pożarem przeprowadzono szczegółową analizę z wykorzystaniem zaawansowanego naturalnego modelu pożaru odwzorowywanego komputerowo za pomocą numerycznej mechaniki płynów. 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.

3. Charakterystyka obiektu

3.1. Inwestor

Tab. 3.1. Dane Inwestora

Nazwa	Teatr Wielki im. Stanisława Moniuszki
Adres	ul. Fredry 9 61-701 Poznań

3.2. Lokalizacja budynku

Tab. 3.2. Dane lokalizacji budynku

Miejscowość	Poznań
Adres	ul. Fredry 9 61-701 Poznań
Powiat	Miasto Poznań
Województwo	Wielkopolskie

3.3. Charakterystyka i przeznaczenie strefy budynku

Analizowana strefa pożarowa w budynku zlokalizowanym pomiędzy ulicami Aleksandra Fredry, Alei Niepodległości i Henryka Wieniawskiego jako obiekt wolnostojący. Strefa zlokalizowana jest w centralnej części budynku sąsiadując ze strefą widowni i strefą administracyjną.

Strefa w części podstawowej stanowi bryłę czworokątną bez kondygnacji z następującymi poziomami technicznymi:

- "- 2" poziom urządzeń napędowych zapadni,
- "- 1" poziom dolnego położenia zapadni,

- poziom zerowy sceny, którą należy traktować jako poziom techniczny z cechami podłogi podniesionej w części ruchomej (zapadnie) i z cechami antresoli w części stałej,
- poziomy od "+1 do +3" jako poziomy techniczne-galerie i podstropie techniczne do obsługi urządzeń technicznych sceny.

Wyposażenie strefy w instalacje użytkowe:

- Elektryczna,
- Oświetlenia,
- Wentylacyjna,
- Sterująca w tym sieci strukturalne,
- Wodna,
- Grzewcza - cieplik miejski

Wyposażenie budynku w instalacje i urządzenia przeciwpożarowe:

- System Sygnalizacji Pożaru,
- Dźwiękowy System Ostrzegawczy [DSO],
- Oświetlenie awaryjne ewakuacyjne w tym podświetlane znaki kierunku ewakuacji,
- Przeciwpożarowy wyłącznik prądu,
- System oddymiania sceny mechaniczny z napowietrzaniem grawitacyjnym sterowany z SSP,
- Stałe urządzenie gaśnicze zraszaczowe obejmujące całą kubaturę sterowane przez upoważnionego pracownika teatru w czasie spektakli lub dowodzącego akcja ratowniczo - gaśniczą,
- Kurtyny przeciwpożarowe,
- Hydranty wewnętrzne DN25 z wężem półsztywnym,
- Zawór czerpalny DN80 dla straży pożarnej na poziomie sceny w strefie pożarowej administracyjnej,
- Podręczny sprzęt gaśniczy,
- Instalacja odgromowa

Budynek teatru posiada dwa odrębne przyłącza do sieci wodociągu miejskiego.

3.4. Parametry charakterystyczne budynku

Tab. 3.3. Parametry budynku

Nazwa	Powierzchnia netto [m^2]	Liczba poziomów technicznych	Wysokość [m]
Strefa sceny	1039,03 Poziomy -1, -2 i 0	7 nadziemne w tym piwnica	>25

Dopuszczalna powierzchnia dla strefy ZL I budynku wysokiego wynosi 2 500 m²**.**

3.5. Wymagane warunki techniczno – budowlane oraz instalacyjne - związany z ochroną przeciwpożarową

Wymagana klasa odporności pożarowej budynku

Strefa sceny ze względu na wysokość (27m od poziomu sceny, łącznie 34m i około 27,31 od poziomu terenu przy głównym wejściu do teatru), została zaklasyfikowana do budynku wysokiego **„W”** – wysokość mierzona do górnej powierzchni kalenicy stropodachu. Ze względu na przeznaczenie analizowana strefa zalicza sie do ZL I zagrożenia ludzi.

Budynek zgodnie z §212 Rozporządzenia [1] musi spełniać wymagania odporności pożarowej klasy **„B”.**

Klasa ścian oddzielenia pożarowego od pozostałej części budynku REI**.**

W strefie brak ścian wewnętrznych i stropów między kondygnacjami. Część stała sceny traktowana jako antresola z wymaganą klasą REI60,

Stropodach: wymagana klasa dla konstrukcji nośnej R 30 i RE 30.

Pomosty techniczne i galerie nad sceną wykonane w konstrukcji stalowej i wsparte na głównej konstrukcji nośnej R60 nie posiadają wymagań odporności ogniowej.

Scena w części ruchomej (zapadnie) REI30 traktowana jako podłoga podniesiona. Podłoga sceny wykonana z drewna klejonego o grubości 50mm.

Z poziomu sceny oraz pomostu zapadni prowadzą drzwi ewakuacyjne do strefy administracyjnej w klasie EI60.

Klatki schodowe łączące poszczególne pomosty techniczne- galerie od poziomu +3 nie posiadają wymagań. Klatki te posiadają konstrukcję wsporczą R30 i obudowę EI30. Klatki będą oddymiane grawitacyjnie ze sterowaniem z SSP. Napowietrzanie drzwiami pożarowymi do strefy administracyjnej otwieranymi siłownikami sterowanymi przez SSP na czas do 15 min. - zakładany maksymalny czas ewakuacji. Po tym czasie nadal działa wyciąg korzystający jedynie z ewentualnych nieszczelności drzwi w klasie EI. Trzeba podkreślić, ze zarówno odporność ogniowa głównej konstrukcji schodów jak i ich obudowa z w/w opisanym systemem oddymiania stanowią dodatkowe zabezpieczenie i jednocześnie rozwiązanie zamienne dla niespełnionych wymagań w zakresie wymiarów klatek schodowych oraz pomostów. Pomosty - galerie wyposażone w oświetlenie ewakuacyjne.

3.6. Sposób użytkowania

Teatr Wielki w Poznaniu jest obiektem w którym regularnie odbywają się:

- przedstawienia operowe,
- przedstawienia baletowe,
- koncerty symfoniczne,
- imprezy okolicznościowe.

Przy realizacji produkcji scenicznych pracuje zespół wykwalifikowanych realizatorów i techników w tym profesjonalni realizatorzy dźwięku posiadający stosowne wykształcenie akustyczne oraz inspicjenci posiadający wieloletnie doświadczenie w pracy na tym stanowisku. Nie przewiduje się obsługi systemów technologicznych przez osoby nie posiadającego stosownego przygotowania zawodowego do pracy z poszczególnymi systemami.

4. Opis programu FDS

4.1. Nazwa programu, wersja, producent

Do przeprowadzenia szczegółowej analizy oraz otrzymania wyników zawartych w raporcie wykorzystany został program Fire Dynamics Simulator wersja 5.4, 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. Program FDS wykorzystuje technikę LES. 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.

4.2. Model turbulencji

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

4.3. Model spalania

Użyto modelu Mixture Fraction. Model ten przyjmuje następujące uproszczenia:

- skład stechiometryczny mieszaniny palnej jest definiowany przez ułamek molowy gazów palnych i produktów spalania (równy 1 dla czystego paliwa) i powietrza (równy 0 dla czystego powietrza),
- spalenie 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.
- Założono stały dostęp tlenu.

Założenia te dają prawidłowe wyniki w przypadku pożarów kontrolowanych przez paliwo jak ma to miejsce w założonych scenariuszach.

4.4. Niepewności obliczeniowe i zastosowane współczynniki bezpieczeństwa

W tabeli poniżej przedstawiono średnie procentowe niepewności obliczeniowe dla poszczególnych parametrów.

Tab. 4.1. Średnie błędy wyznaczania wielkości fizycznych w FDS.

Mierzona wielkość	Niepewność (%)
Temperatura warstwy podsufitowej dymu	14
Wysokość strefy wolnej od zadymienia	13
Temperatura strumienia podsufitowego	16
Temperatura płomienia	14
Stężenia gazów	9

Stężenie dymu i widzialność	33
Strumień ciepła	20
Temperatura powierzchni	14

4.5. Warunki początkowe i 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.

Tab. 4.2. Właściwości materiałów budowlanych, wprowadzonych do programu FDS.

Materiał	Gęstość [kg/m^3]	Ciepło właściwe [kJ/kg·K]	Współczynnik przewodzenia ciepła [W/m·K]
Beton	2280	1,04	1,08
Karton - gips	1440	0,84	0,48
Pianka	28	1,7	0,05
PVC	1380	1,59	0,192
Stal	7850	0,46	45,8

4.6. 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 prostopadłościennej. W przedmiotowej analizie wykorzystano siatki jednorodne.

Wszystkie elementy geometrii rozpatrywanego obiektu muszą ściśle pokrywać się zkomórkami sitki obliczeniowej. Poszczególne elementy budynku takie jak ściany, stropy, słupy czy podciągi 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, stropy itd.

4.7. Weryfikacja programu FDS

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

- 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 dokładności 5 do 20%, w zależności od przyjętej rozdzielczości siatki obliczeniowej.

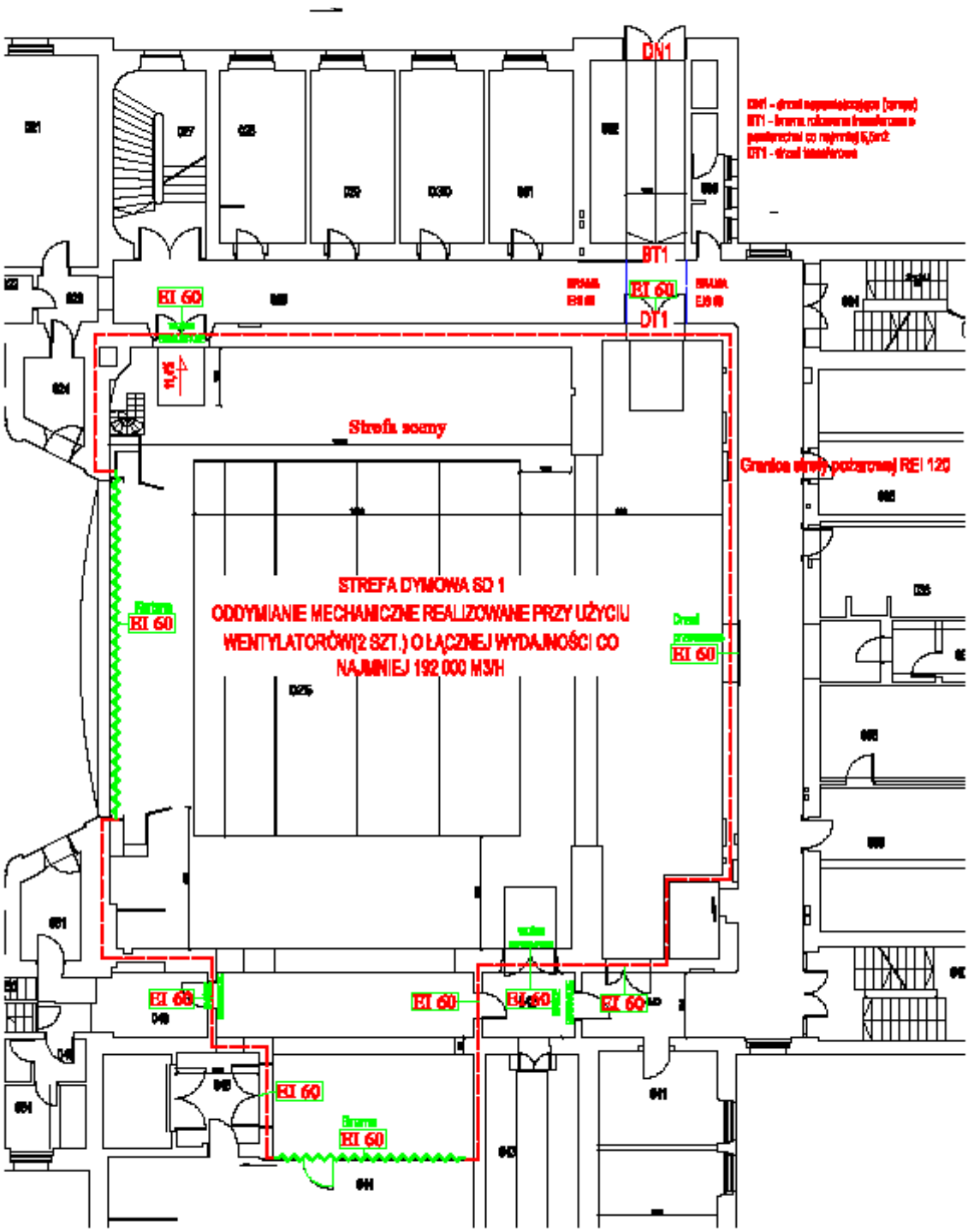
5. Założenia i metodologia analizy

5.1. Założenia wynikające z projektu architektonicznego i projektów branżowych

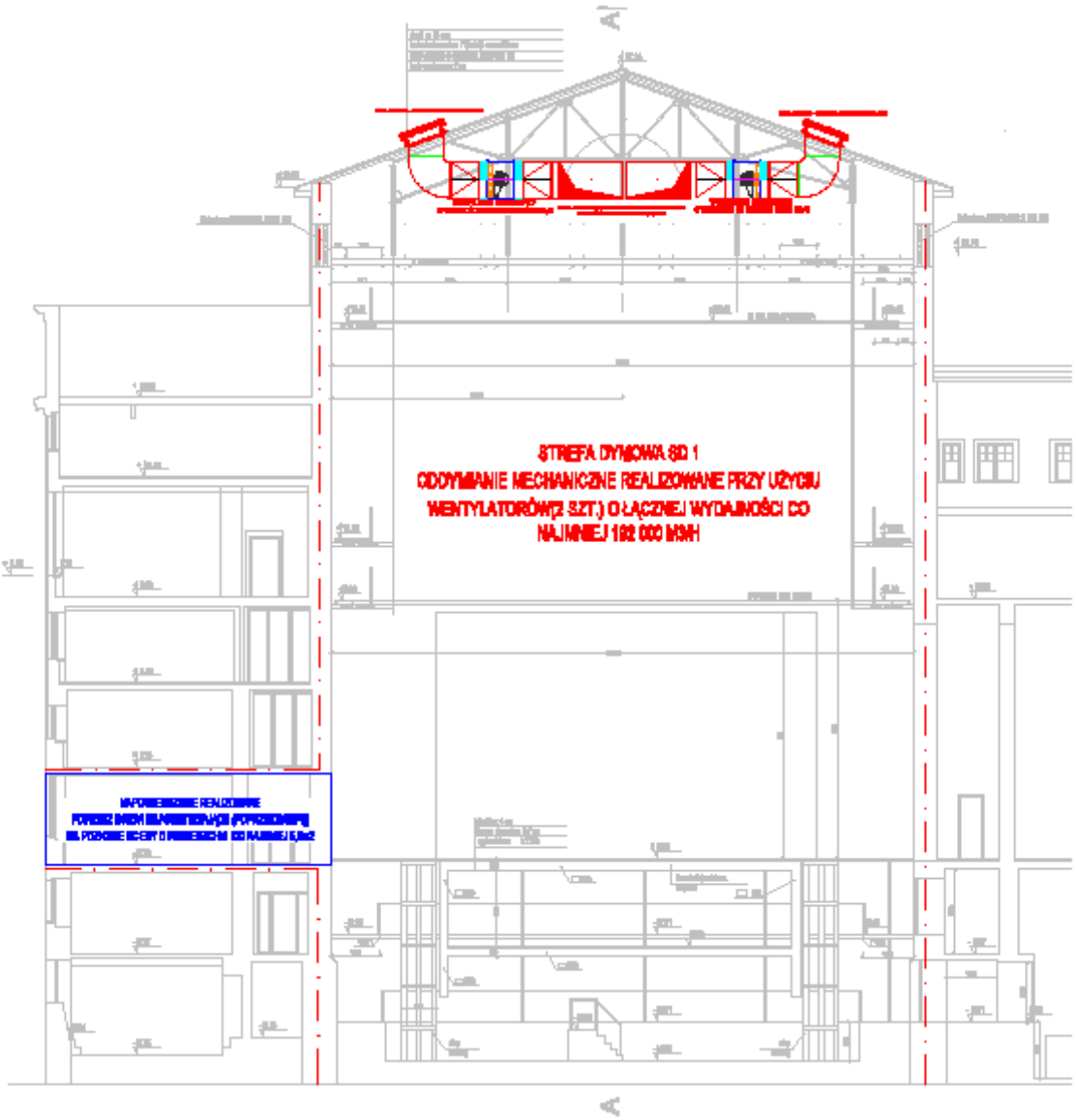
Geometrię rozpatrywanego budynku na potrzeby stworzenia modelu komputerowego przestrzeni objętej analizą przyjęto na podstawie rysunków budowlanych.

Budynek będzie wyposażony w urządzenia przeciwpożarowe:

- System Sygnalizacji Pożaru,
- Dźwiękowy System Ostrzegawczy [DSO],
- Oświetlenie awaryjne ewakuacyjne w tym podświetlane znaki kierunku ewakuacji,
- Przeciwpożarowy wyłącznik prądu,
- System oddymiania sceny mechaniczny z napowietrzaniem grawitacyjnym sterowany z SSP,
- Stałe urządzenie gaśnicze zraszaczowe obejmujące całą kubaturę sterowane przez upoważnionego pracownika teatru w czasie spektakli lub dowodzącego akcja ratowniczo - gaśniczą,
- Kurtyny przeciwpożarowe,
- Hydranty wewnętrzne DN25 z wężem półsztywnym,
- Zawór czerpalny DN80 dla straży pożarnej na poziomie sceny w strefie pożarowej administracyjnej,
- Podręczny sprzęt gaśniczy,
- Instalacja odgromowa



Rys. 1 Rzut poziomu sceny



Rys. 2 Przekrój strefy dymowej SD 1

5.2. System oddymiania

5.2.1. Typ systemu

Oddymianie odbywać się będzie za pomocą wentylatorów oddymiających zainstalowanych na poziomie +6 w przestrzeni stropu technicznego. Napowietrzanie realizowane będzie w sposób grawitacyjny poprzez rampę załadowczą na poziomie 0. Instalacja oddymiania mechanicznego uruchamiana będzie automatycznie przez system sygnalizacji pożaru oraz ręcznie z przycisków oddymiania zainstalowanych w obrębie sceny.

<u>Główne cele oddymiania:</u>

- Umożliwienie ewakuacji ludzi z przestrzeni zagrożonej pożarem,
- Oddymianie i wentylacja dróg ewakuacyjnych – odprowadzenie gorących gazów spalinowych, a co za tym idzie obniżenie temperatury na poziomych drogach ewakuacyjnych,
- Zapobieganie rozprzestrzenianiu się trujących produktów spalania.

5.2.2. Podstawowe elementy systemu oddymiania

W strefie dymowej sceny należy zabudować system oddymiania mechanicznego, zaprojektowany wg NFPA 92- Standard for Smoke management Systems in Malls, Atria, and Large Spaces, 2015 Edition. W strefie dymowej SD1 system oddymiania mechanicznego sterowany będzie poprzez centralę sterującą oddymianiem, która sterowana będzie poprzez centralę systemu sygnalizacji pożaru, zgodnie z przyjętym scenariuszem pożarowym (algorytmem sterowania urządzeń ppoż. w przypadku powstania pożaru), z uwzględnieniem wytycznych zawartych w niniejszym opracowaniu.

W zależności od możliwości konstrukcyjnych dachu dla strefy dymowej SD1 proponuje się zabudowę 2 sztuk wentylatorów mechanicznych o łącznej wydajności 192 000 m^3/h w klasie co najmniej F400. Wentylatory należy rozmieścić równomiernie na powierzchni danej strefy dymowej. Wentylator oddymiający posadowiony będzie bezpośrednio na konstrukcji dachu sceny. Na wlotach wentylatorów należy zabudować kratki oddymiające o wymiarach co najmniej 600x1200.

Maksymalna prędkość napływu powietrza kompensacyjnego dla danej strefy dymowej nie powinna przekraczać 3,0m/s. Wymagana powierzchnia geometryczna napowietrzania dla strefy SD1 wynosi 17,32 m^2. Z uwagi na brak możliwości technicznych (ograniczone rozwiązania konstrukcyjne oraz brak możliwości zmian w architekturze, które zapewniłyby wymaganą powierzchnię geometryczną napowietrzania) napowietrzanie systemu oddymiania realizowane będzie poprzez automatyczne otwarcie drzwi pożarowych (transferowych) DT1 o pow. 5,5 m^2, automatyczne otwarcie bramy rolownej transferowej BT1, automatyczne otwarcie drzwi napowietrzających na rampie DN1 oraz zamknięcie bram pożarowych dymoszczelnych EIS60 w przestrzeni korytarza na poziomie 0.

Wentylatory oddymiające muszą spełniać wymagania określone w PN-EN 12101-3:2004 Systemy kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła - Część 3: Wymagania techniczne dotyczące wentylatorów oddymiających.

Z uwagi na to, że w standardzie NFPA 92 nie określono wymagań odnośnie maksymalnych (dopuszczalnych) powierzchni stref dymowych na potrzeby opracowania przyjmuje się zalecenia normy brytyjskiej BS 7346-4: 2003.

W odniesieniu do stref dymowych w których przewiduje się usuwanie dymu drogą wentylacji pożarowej mechanicznej wielkość stref dymowych nie powinna przekraczać 2600 m^2. Żaden z wymiarów liniowych strefy dymowej nie może przekraczać 60 m. Podział na strefy dymowe pokazano na załączonych do projektu rysunkach.

5.2.3. Wytyczne do scenariusza działania systemów technicznych w przypadku pożaru

Algorytm sterowania systemu sygnalizacji pożaru w przestrzeni sceny (SSP) – automatyczna detekcja

1. powstanie pożaru w strefie dymowej
2. wykrycie dymu przez czujki dymu zamontowane w przestrzeni sceny (koincydencja dwóch czujek dymu) lub czujka płomienia wraz z czujką zasysającą,
3. wejście centrali systemu sygnalizacji pożaru SSP w alarm pożarowy II stopnia,
4. przekazanie informacji o alarmie do centrali nadrzędnej SSP Teatru,
5. wysłanie sygnału sterującego z SSP do centrali sterującej drzwiami napowietrzającymi DN1 (rampa) oraz BT1 (otwarcie drzwi napowietrzających/transferowych),
6. wysłanie sygnału sterującego z SSP do centrali sterującej oddymianiem mechanicznym SO,

7. wysłanie sygnału sterującego z SSP do centrali sterującej oddymianiem grawitacyjnym SOG
8. uruchomienie wentylatorów oddymiających w strefie dymowej SD1, przesłanie sygnału zwrotnego z centrali sterującej oddymianiem SO do centrali SSP o uruchomieniu,
    a. uruchomienie siłowników drzwi napowietrzających/transferowych DT1 na poziomie 0,
    b. uruchomienie bram pożarowych EIS 60 na poziomie 0,
    c. uruchomienie klap dymowych instalacji oddymiania grawitacyjnego,
    d. uruchomienie siłowników drzwi napowietrzających klatki schodowe DN2/DN3 na czas maksymalnie 15 minut, po upływie tego czasu następuje ich zamknięcie,
9. monitorowanie z SSP zadziałania instalacji zraszaczowej poprzez czujnik ciśnienia.
10. wysłanie sygnału sterującego z SSP do zwolnienia drzwi podpiętych pod kontrolę dostępu,
11. wysłanie sygnału sterującego z SSP do wyłączenia central wentylacyjnych,
12. wysłanie sygnału sterującego z SSP do załączenia centralnej baterii oświetlenia awaryjnego dróg ewakuacyjnych.

5.3. Pożar projektowy

Poniżej opisano przyjęte parametry pożaru projektowego dla rozpatrywanego przypadku pożaru.

W ramach przedmiotowych analiz wykonano symulację CFD uwzględniając następujące przypadki pożarowe:

Tab. 5.1. Zestawienie pożarów projektowych

Oznaczenie pożaru projektowego	Lokalizacja	Powierzchnia pożaru	Moc pożaru na 1 m^2 powierzchni	Maksymalna moc całkowita
-	-	M^2	kW/m^2	MW
SP1	Scena główna	9	500	4,5
SP2	Scena główna	18	500	9,0

Opis scenariuszy pożarowych:

- SP1 – pożar na scenie głównej – instalacja zraszaczowa uruchomiona przez personel w czasie 300 sekundy od momentu rozpoczęcia pożaru,
- SP2 – pożar na scenie głównej – instalacja zraszaczowa uruchomiono przez kierującego działaniami ratowniczymi PSP w czasie 600 sekundy od momentu rozpoczęcia pożaru.

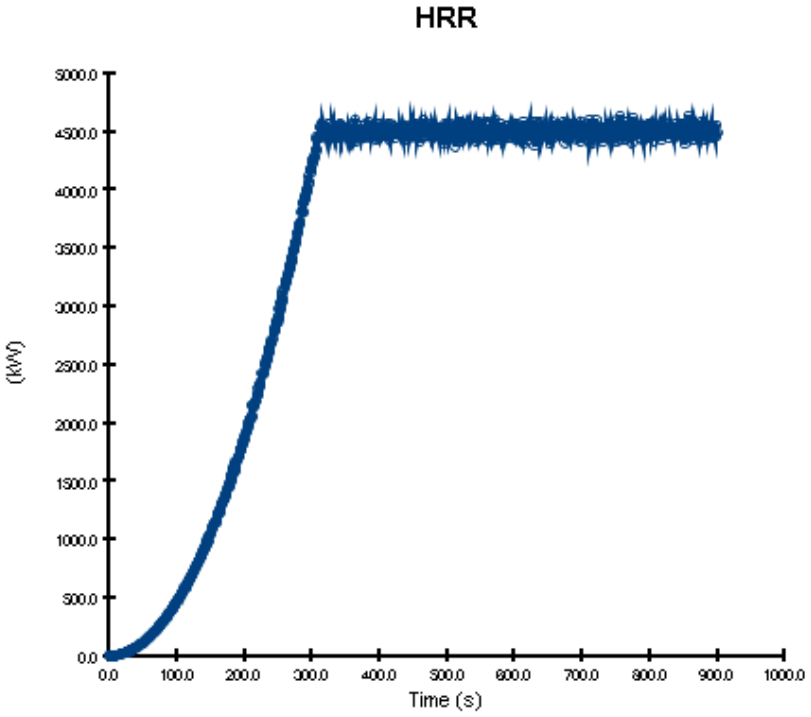
W niniejszym opracowani zaprezentowano wyniki dla analizowanego przypadku pożarowego, najbardziej niekorzystnego i reprezentatywnym pod katem analizy warunków ewakuacji i prognozy stopnia zadymienia.

5.3.1. Krzywe rozwoju pożaru

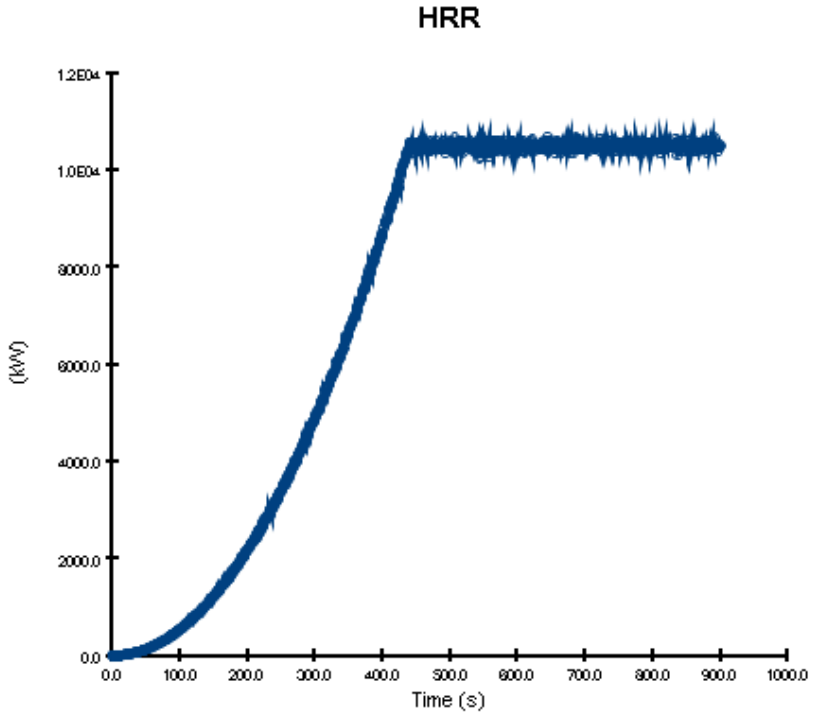
Ze względu na funkcję rozpatrywanej przestrzeni i wynikające z nie obciążenia pożarowe założono pożar w przestrzeni sceny, który będzie rozwijał się przez cały czas objęty analizą wg krzywej kwadratowej αt^2 dla pożarów szybko rozwijających się (fast growing fires α=0,04689 kW/s^2) wg BS 7346-5 oraz BRE 368 do maksymalnej mocy. Jako materiał palny przyjęto wystrój teatralny składający się z 75% drewna oraz 25% tworzyw sztucznych. Należy jednak pamiętać, że strefie pożarowej sceny zgodnie z par. 258 warunków technicznych stosowanie do wykończenia wnętrz materiałów i wyrobów łatwo zapalnych, których produkty rozkładu termicznego są bardzo toksyczne lub intensywnie dymiące, jest zabronione.

Dla pożaru projektowego SP1 założona powierzchnia pożaru (po osiągnięciu mocy maksymalnej) wynosi ok. 9m^2 natomiast dla pożaru projektowego SP2 założona powierzchnia pożaru wynosi około 18 m^2.

Rys. 5.3. Krzywa rozwoju pożaru na przykładzie pożaru SP1



Rys. 5.4. Krzywa rozwoju pożaru na przykładzie pożaru SP2



5.3.2. Czas trwania symulacji

W niniejszym raporcie przedstawiono wyniki w zakresie prognozy stopnia zadymienia i temperatur w kontekście analizy warunków ewakuacji dla czasu do 10 minut o momentu powstania pożaru. Założono, iż 10 min jest średnim prognozowanym czasem jaki może upłynąć od chwili powstania pożaru do momentu przyjazdu pierwszych jednostek ratowniczo – gaśniczych.

Na czas ten składają się:

Tab. 5.2. Parametry czasu trwania symulacji

Czas na potwierdzone wykrycie pożaru	3 min
Czas od wykrycia pożaru do zadysponowania jednostek PSP	2 min
Czas na dojazd jednostek PSP do obiektu	2 min
Czas rozwinięcia i podania środków gaśniczych	3 min
ŁĄCZNIE	10 min (600 sekund)

Zakłada się, że po uruchomieniu instalacji zraszaczowej moc pożaru utrzymywać się będzie na stałym poziomie. Zakłada się, że instalację zraszaczową uruchamiana będzie przez przeszkolony i odpowiedzialny personel lub kierującego akcją ratowniczo-gaśniczą. Przyjęto, że czas po jakim poda się środki gaśnicze wynosić będzie 600 s.

Założony czas dojazdu należy potwierdzić stosownym pismem z odpowiedniej miejscowo Komendy Powiatowej lub Jednostki Ratowniczo- Gaśniczej. Jeżeli założony czas uruchomienia instalacji zraszaczowej będzie inny obliczenia należy przeprowadzić ponownie.

Biorąc pod uwagę wyposażenie budynku w system sygnalizacji pożaru oraz fakt, iż w obiekcie występuje obecność personelu ochrony całodobowo, a także lokalizację budynku w odległości mniejszej niż 2 km od najbliższych jednostek ratowniczo- gaśniczych PSP można uznać, iż powyższe czasy zawierają dostateczny margines bezpieczeństwa.

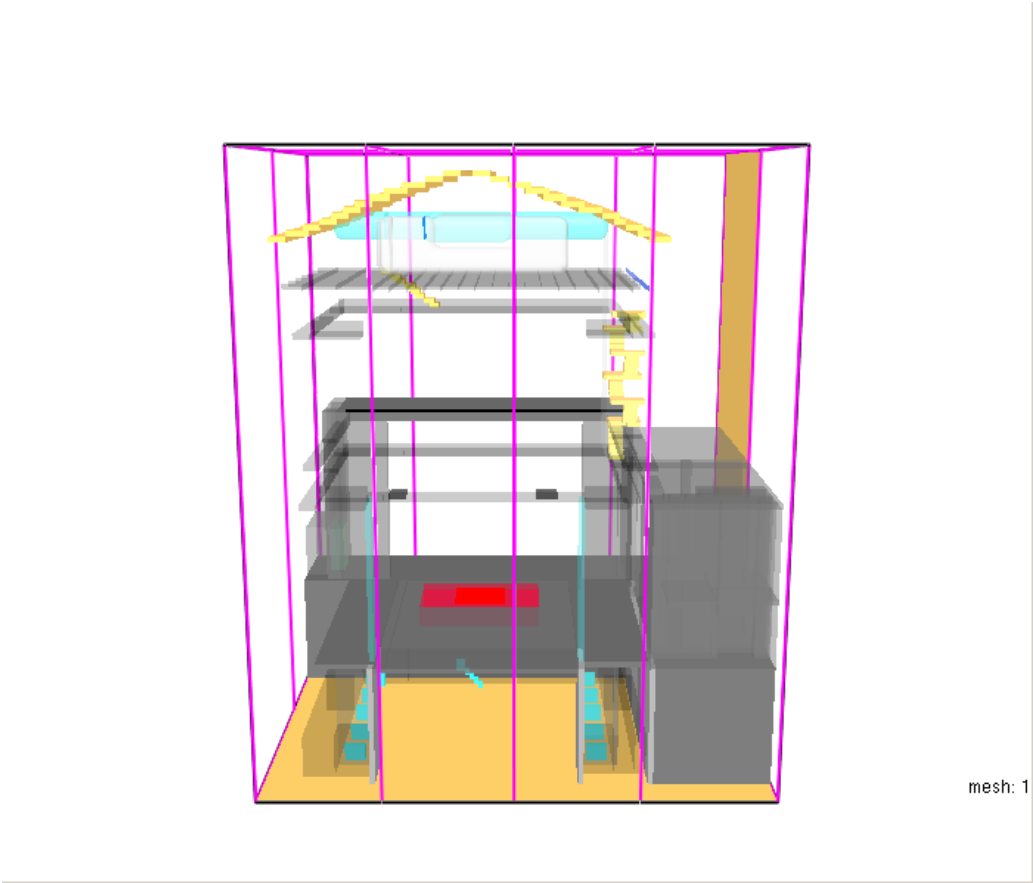
5.3.3. Siatka obliczeniowa modelu CFD

Użyto siatki jednolitej sześciennej o wymiarach 30 x 30 x 30 cm. Model został podzielony na 8 sieci obliczeniowych.

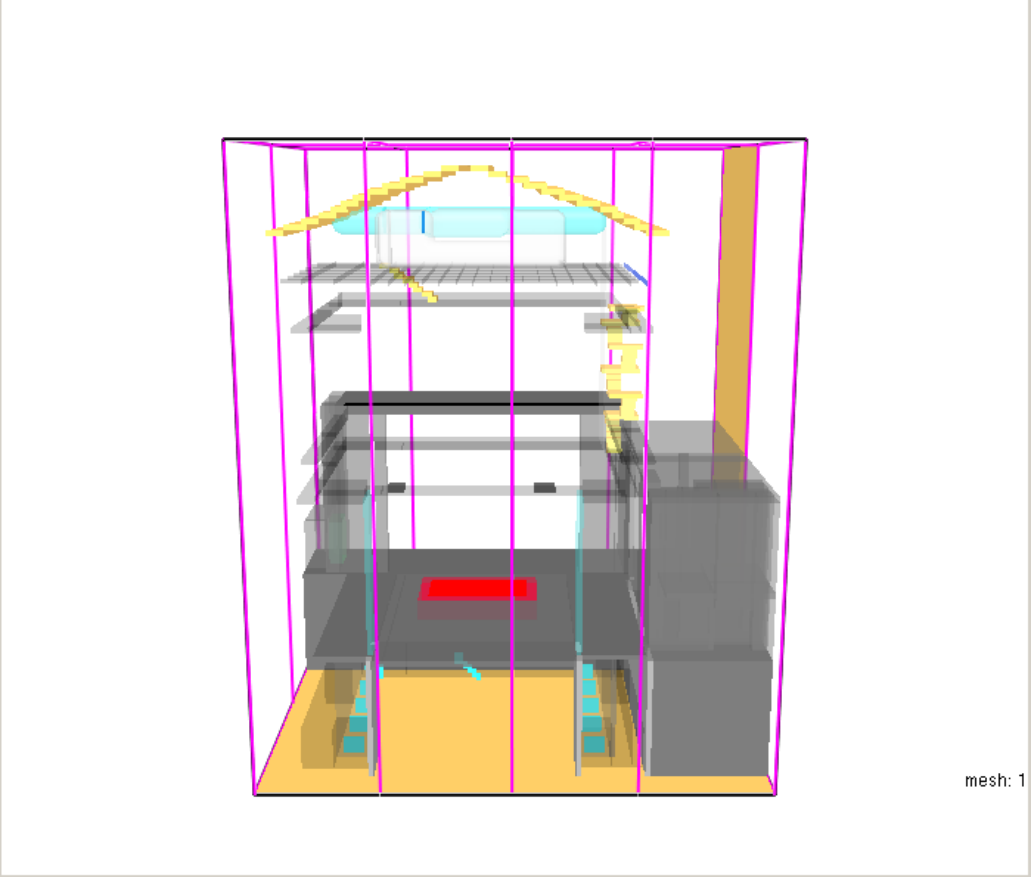
5.3.4. Model obliczeniowy i geometria przestrzeni

Widok modelu obliczeniowego wraz z lokalizacją pożaru projektowego

Rys. 5.5. Widok modelu dla pożaru SP 1.



Rys. 5.6. Widok modelu dla pożaru SP 2.



5.4. Oszacowanie wymaganego czasu ewakuacji

Na potrzeby niniejszej analizy całkowity czas potrzebny do ewakuacji (RSET) osób przebywających w częściach budynku objętych przedmiotowym opracowaniem wyznaczono w oparciu o rekomendacje dokumentu BSI PD 7974-6:2004

5.4.1. Podstawowe założenia dotyczące ewakuacji:

W przedmiotowej analizie przyjęto następujące założenia:

- Obiekt wyposażony co najmniej w dwustopniowy system wykrywania pożaru oraz system sygnalizacji pożaru – kategoria A2;
- Założono, iż potwierdzone wykrycie pożaru (alarm drugiego stopnia) nastąpi w czasie nie dłuższym niż 90 sekund od momentu powstania pożaru (Δt_{det}=90s);
- Dźwiękowy system ostrzegania zostanie uruchomiony bezpośrednio po wykryciu pożaru (Δt_a=0s);
- Założono, iż w rozpatrywanej części obiektu znajdować się będą przede wszystkim osoby będące jego stałymi użytkownikami – pracownicy – (familiar), bez ryzyka snu (awake) – kategoria projektowa A;
- Założono, iż w obiekcie znajdować się będą przede wszystkim osoby sprawne ruchowo;

- Rozpatrywane obszary budynku e względu na kształt można określić jako przestrzenne o mało skomplikowanej, otwartej geometrii (przyjęto obiekt kategorii B1);
- Szerokość dróg i wyjść ewakuacyjnych jest adekwatna do ilości osób mogących przebywać w obiekcie,
- W obiekcie przewiduje się obecność personelu ochrony. Ze względu ma jednoprzestrzenny charakter rozpatrywanej przestrzeni osoby w niej przebywające będą świadome faktu zaistnienia zagrożenia. Wobec powyższych przyjmuje się poziom zarządzania obiektem M2;
- Przyjęto czas przejścia do wyjść ewakuacyjnych jak do maksymalnej długości przejścia dla kategorii zagrożenia ludzi do której zakwalifikowano analizowaną przestrzeń (ZLI), tj. 40m;
- Do analizy przyjęto, że ewakuacja będzie następowała poprzez wszystkie wyjścia ewakuacyjne zlokalizowane w obrębie sceny;
- Ewakuacja możliwa jest w co najmniej dwóch kierunkach.

5.4.2. Czas do podjęcia ewakuacji (Δt_{pre})

Dla obiektów o kategorii użytkowników A, stopniu kompilkacji geometrii B1, z zainstalowanym system wykrywania pożaru (A2) oraz poziomem zarządzania M2 tabela c.1. dokumentu BSI PD 7974-6 podaje czas do rozpoczęcia ewakuacji (Δt_{pre}) odpowiednio:

- 60 sekund dla pierwszych osób podejmujących ewakuację $\Delta t_{pre(1st\ percentile)}$
- Kolejne 120 sekund dla ostatnich osób podejmujących ewakuację $\Delta t_{pre(99th\ percentile)}$

5.4.3. Czas dojścia do strefy bezpiecznej (Δt_{trav})

Najbardziej niekorzystna długość przejścia ewakuacyjnego nie przekracza 40 m.

Zgodnie z punktem D.1 normy BSI PD 7974-6, przyjęto średnią prędkość poruszania się ludzi po poziomych drogach ewakuacyjnych równą S=1,2 m/s.

Maksymalny czas dojścia do strefy bezpiecznej wynosi ok. Δt_{trav}=34 s.

5.4.4. Wymagany czas bezpiecznej ewakuacji (RSET)

Wymagany czas bezpiecznej ewakuacji wynosi:

RSET=$\Delta t_{det}+\Delta t_a+\Delta t_{pre1\%}+\Delta t_{trav}$=184 s, przyjęto 210s (3,5 min) dla pierwszych osób podejmujących ewakuację

RSET=$\Delta t_{det}+\Delta t_a+\Delta t_{pre1\%}+\Delta t_{pre99\%}+\Delta t_{trav}$=304 s, przyjęto 360s (6 min) dla ostatnich osób podejmujących ewakuację

5.4.5. Kryteria bezpiecznej ewakuacji

Warunki bezpiecznej ewakuacji oceniono na podstawie kryterium widzialności na wysokości 1,80 m nad posadzką oraz kryterium temperatury dymu. Na podstawie DSI PD 7974-6 przyjęto wartości odpowiednio:

- Zasięg widzialności co najmniej 10 m (dla elementów odbijających światło);
- Temperatura dymu na przejściach ewakuacyjnych nieprzekraczająca 60^0C.

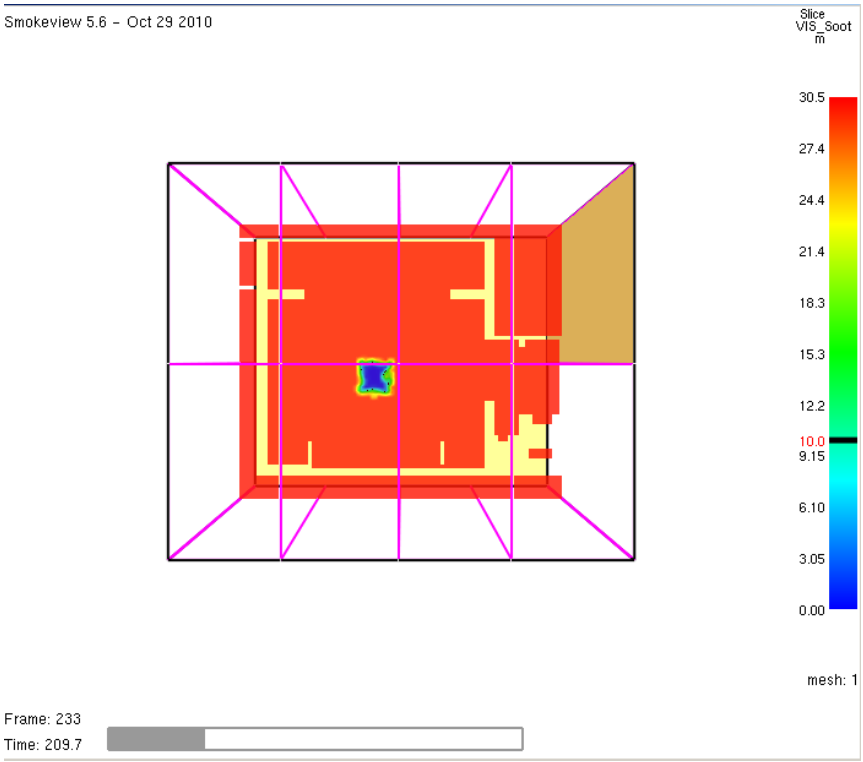
W przypadku rozpatrywanym w niniejszym opracowaniu decydujące znaczenie ma kryterium zasięgu widzialności (tzn. krytyczne poziomy widzialności na drogach ewakuacyjnych jest przekraczany znacznie szybciej niż krytyczny poziom temperatury).

5.4.6. Kryteria dodatkowej analizy dotyczącej warunków działania ekip gaśniczych

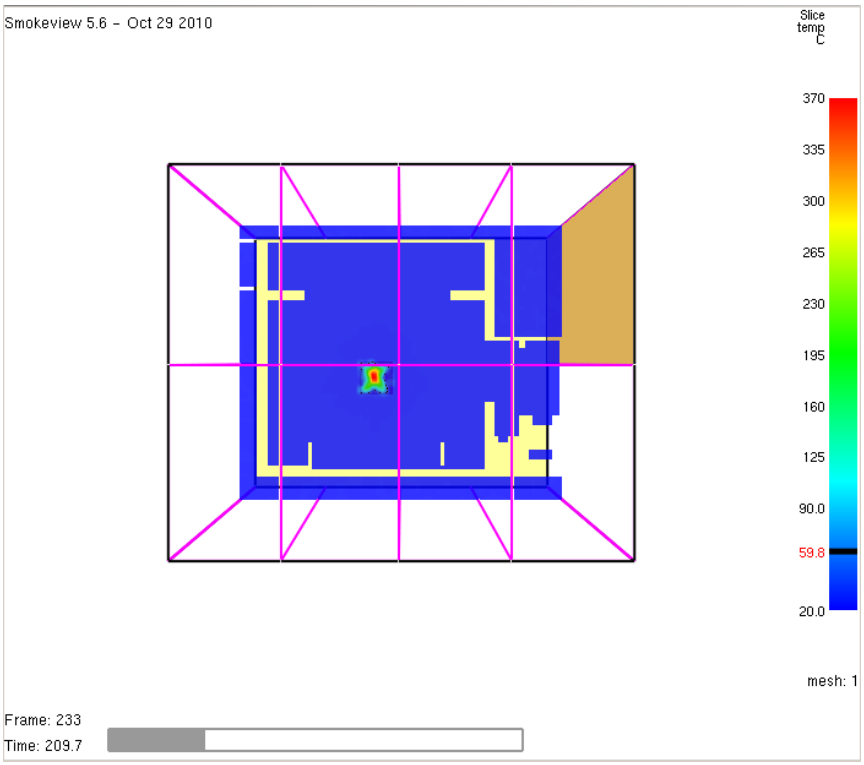
Jako kryterium uproszczonej analizy dotyczącej warunków działania ekip ratowniczo-gaśniczych przyjęto temperaturę nieprzekraczającą 100^0C na wysokości ok. 1,50 m oraz widoczność 5 m, w czasie od 10 minut od momentu powstania pożaru.

6. Wyniki symulacji CFD

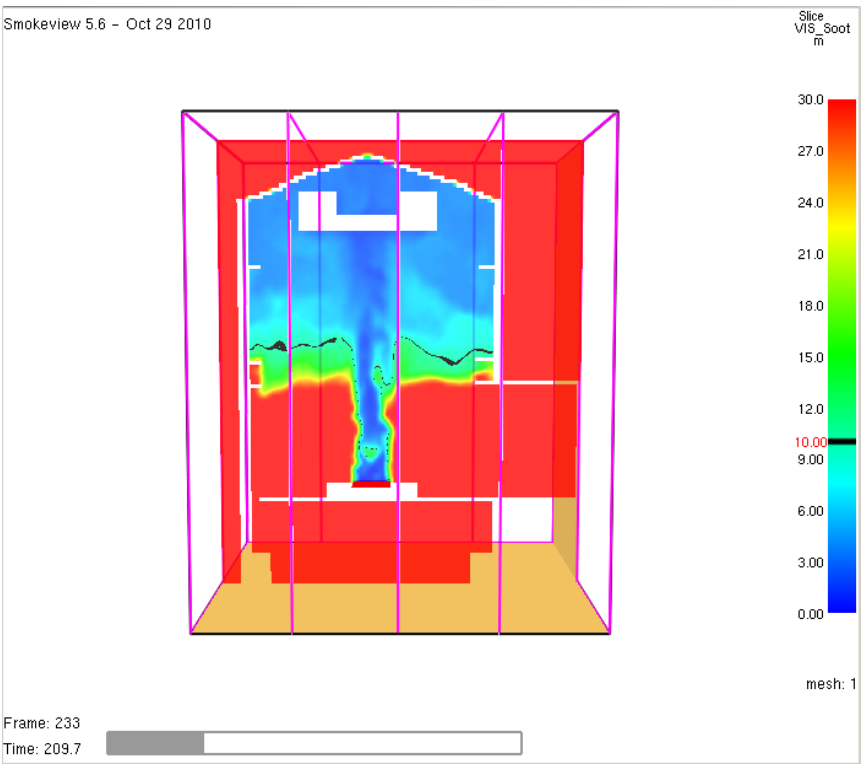
6.1. Pożar wg scenariusza nr 1 – przestrzeń sceny głównej (moc pożaru 4,5 MW)



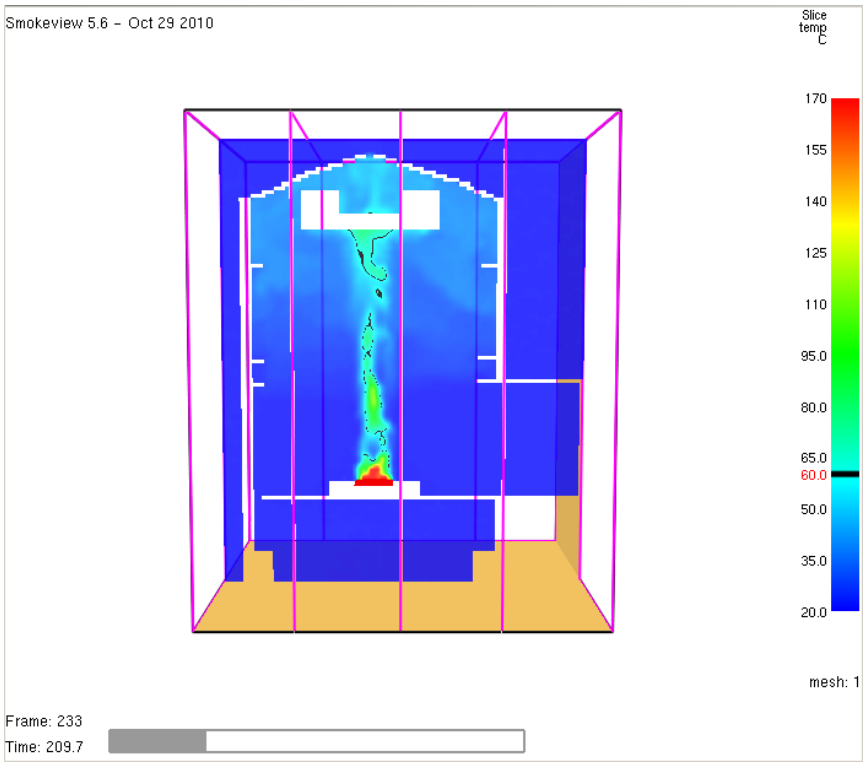
Rys. 6.1 Zakres widzialności na wysokości 1,8m nad posadzką sceny dla czasu 210 s – czas ewakuacji pierwszych osób



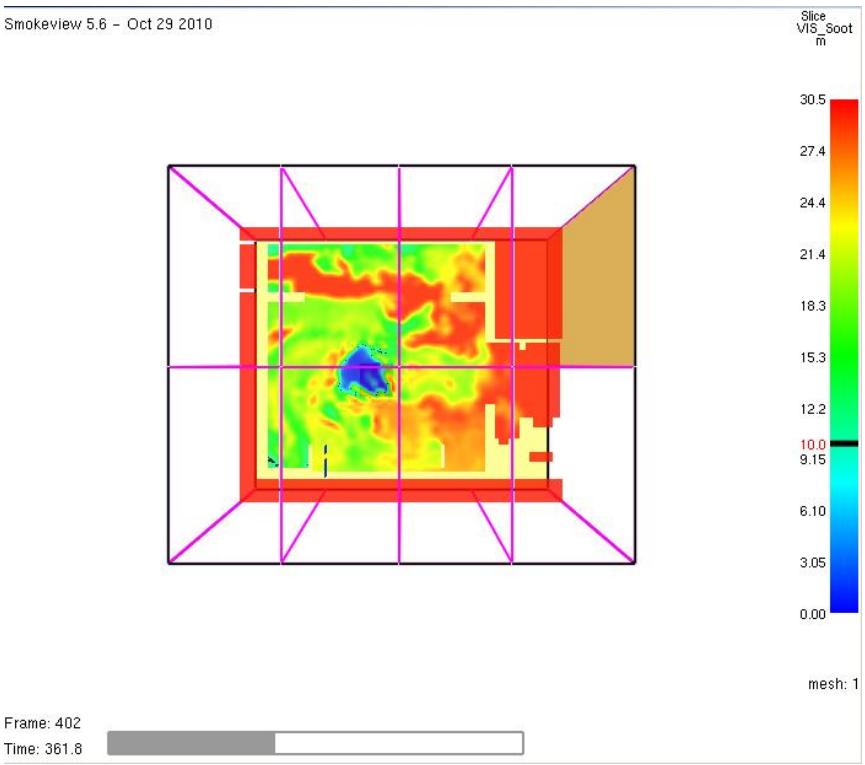
Rys. 6.2. Zakres temperatury na wysokości 1,8m nad posadzką sceny dla czasu 210 s – czas ewakuacji pierwszych osób



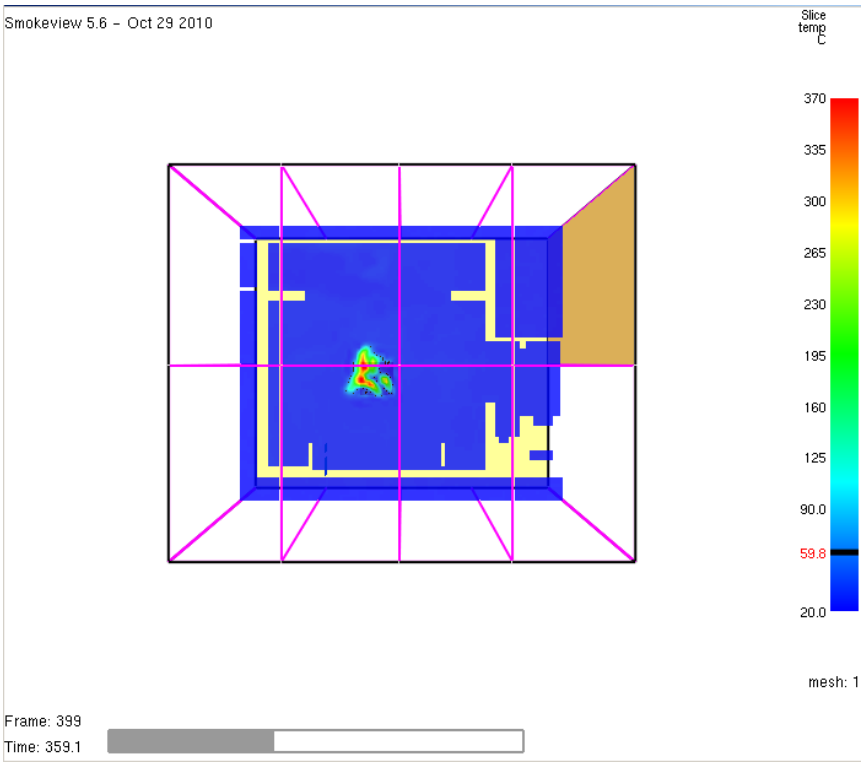
Rys. 6.3. Zakres widzialności nad posadzką sceny w przekroju podłużnym dla czasu 210 s – czas ewakuacji pierwszych osób



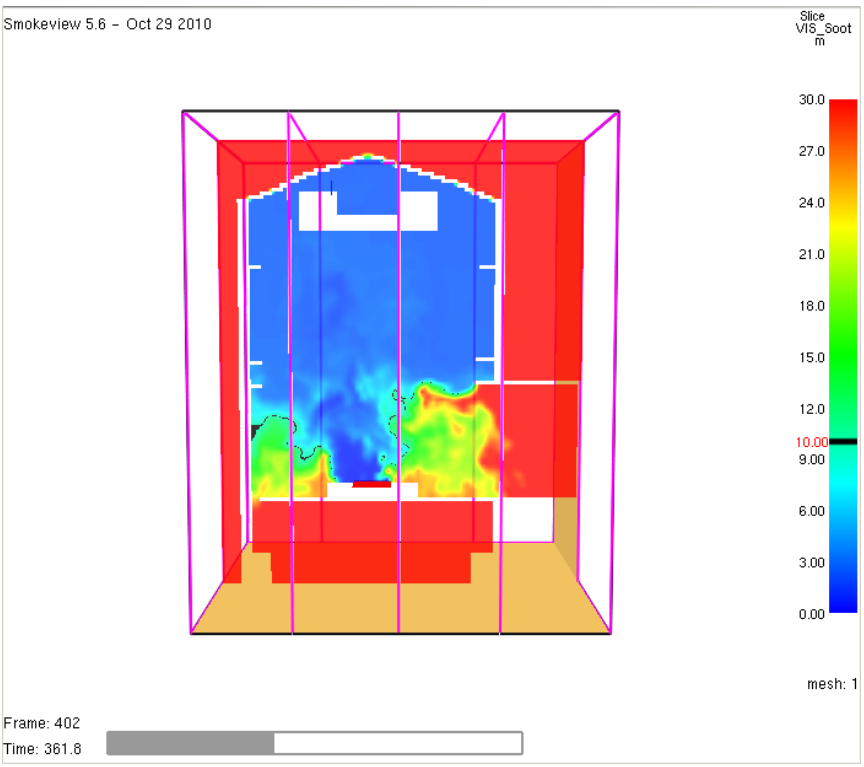
Rys. 6.4. Zakres temperatury nad posadzką sceny w przekroju poprzecznym dla czasu 210 s – czas ewakuacji pierwszych osób



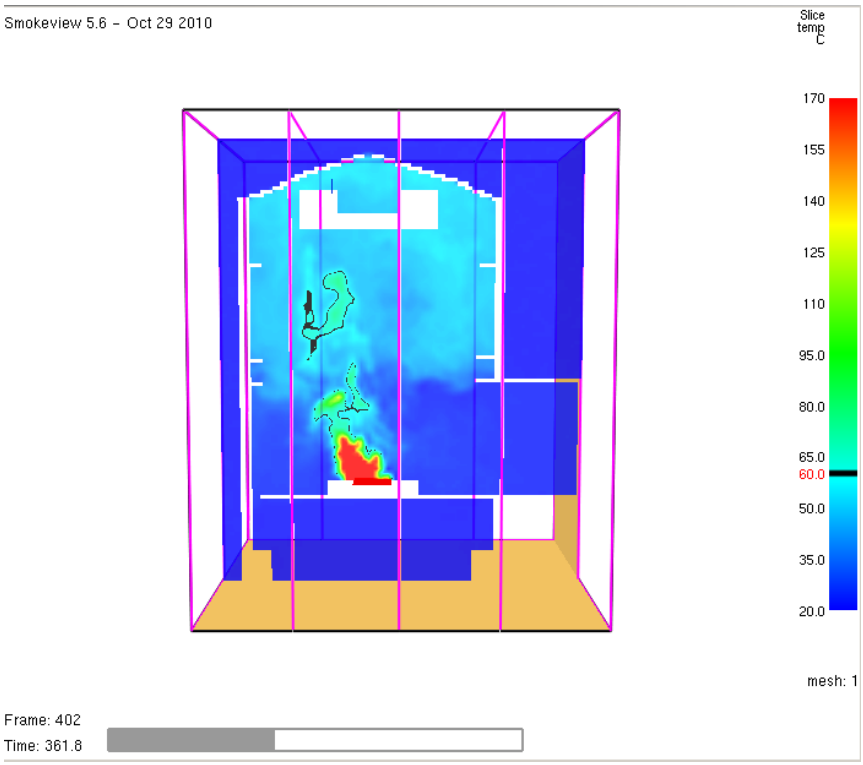
Rys. 6.5. Zakres widzialności na wysokości 1,8m nad posadzką sceny dla czasu 360 s – czas koniec ewakuacji wszystkich osób



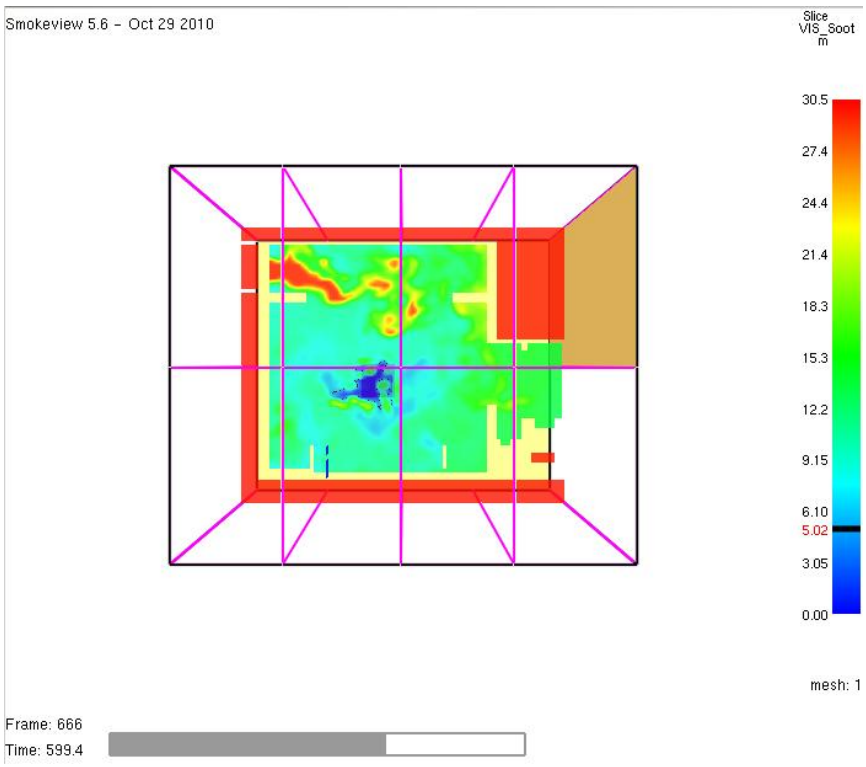
Rys. 6.6. Zakres temperatury na wysokości 1,8m nad posadzką sceny dla czasu 360 s – czas koniec ewakuacji wszystkich osób



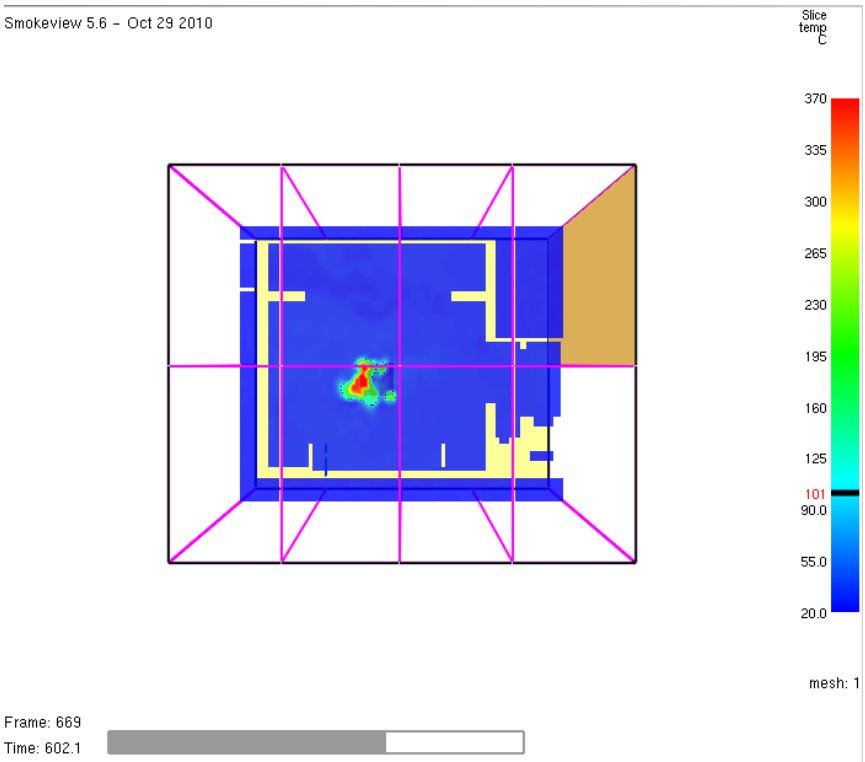
Rys. 6.7. Zakres widzialności nad posadzką sceny w przekroju poprzecznym dla czasu 360 s – czas koniec ewakuacji wszystkich osób



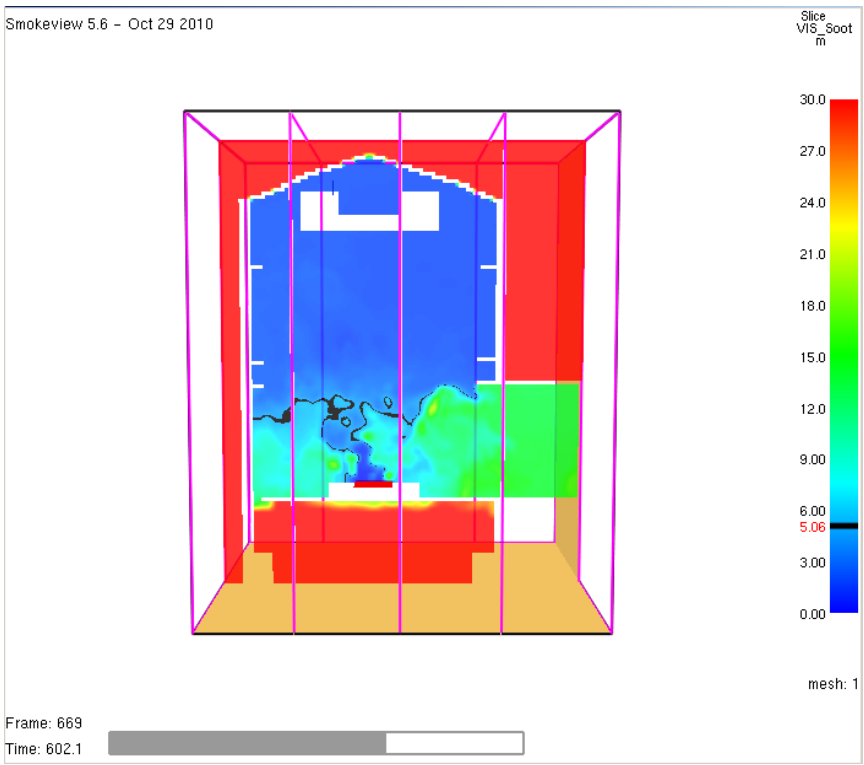
Rys. 6.8. Zakres temperatury na wysokości 1,8m nad posadzką sceny w przekroju podłużnym dla czasu 360 s – czas koniec ewakuacji wszystkich osób



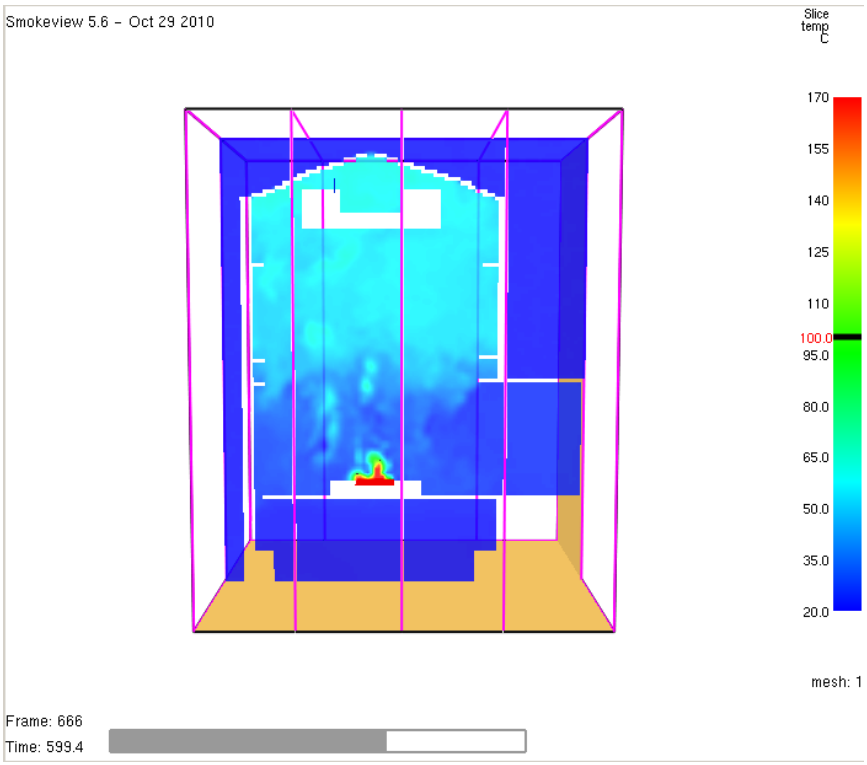
Rys. 6.9. Zakres widzialności na wysokości 1,5m nad posadzką sceny dla czasu 600 s – przewidywany czas rozpoczęcia działań ekip ratowniczo - gaśniczych



Rys. 6.10. Zakres temperatury na wysokości 1,5m nad posadzką sceny dla czasu 600 s – przewidywany czas rozpoczęcia działań ekip ratowniczo - gaśniczych

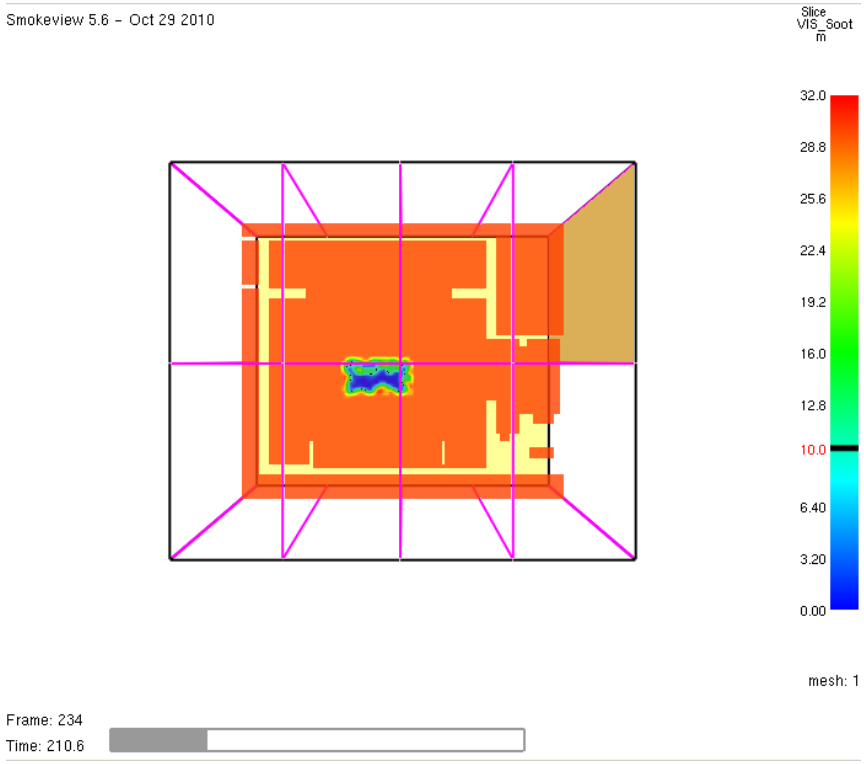


Rys. 6.11. Zakres widzialności nad posadzką sceny w przekroju poprzecznym dla czasu 600 s – przewidywany czas rozpoczęcia działań ekip ratowniczo - gaśniczych

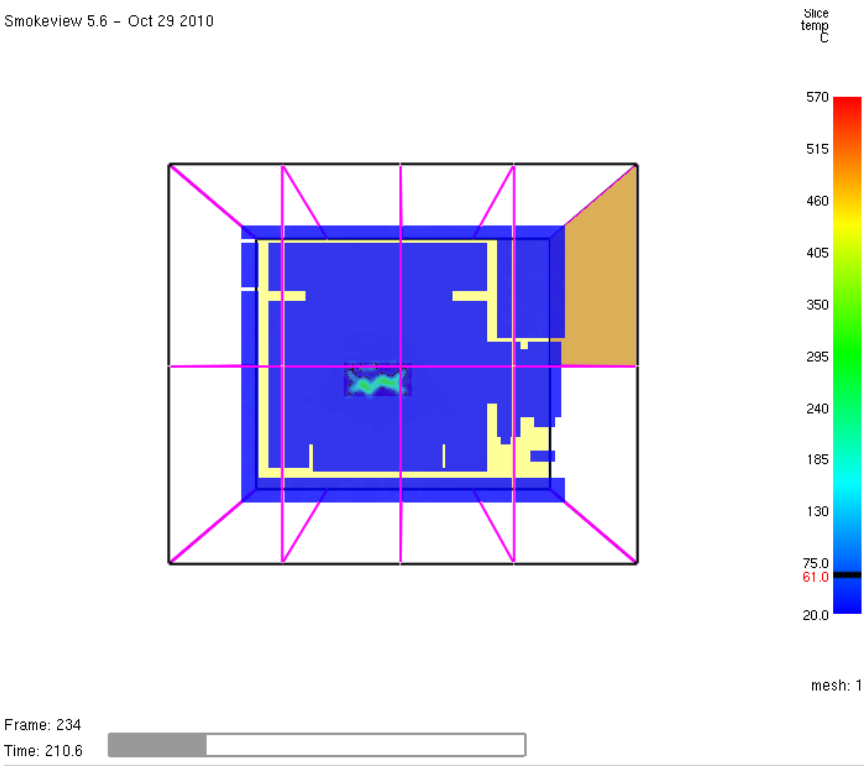


Rys. 6.12. Zakres temperatury nad posadzką sceny w przekroju poprzecznym dla czasu 600 s – przewidywany czas rozpoczęcia działań ekip ratowniczo – gaśniczych

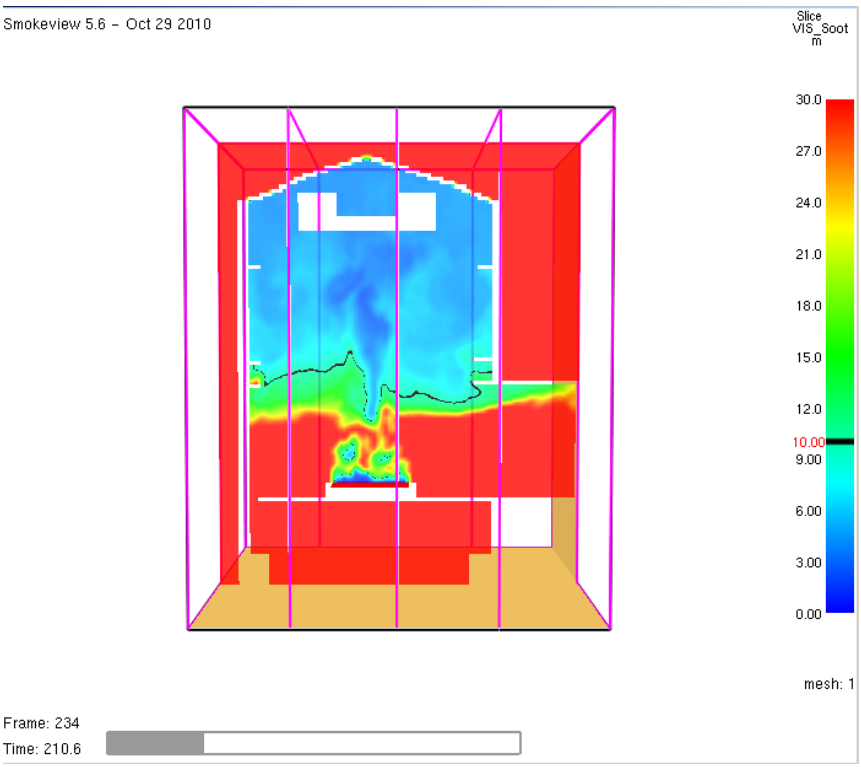
6.2. Pożar wg scenariusza nr 2 – przestrzeń sceny głównej (moc pożaru 9 MW)



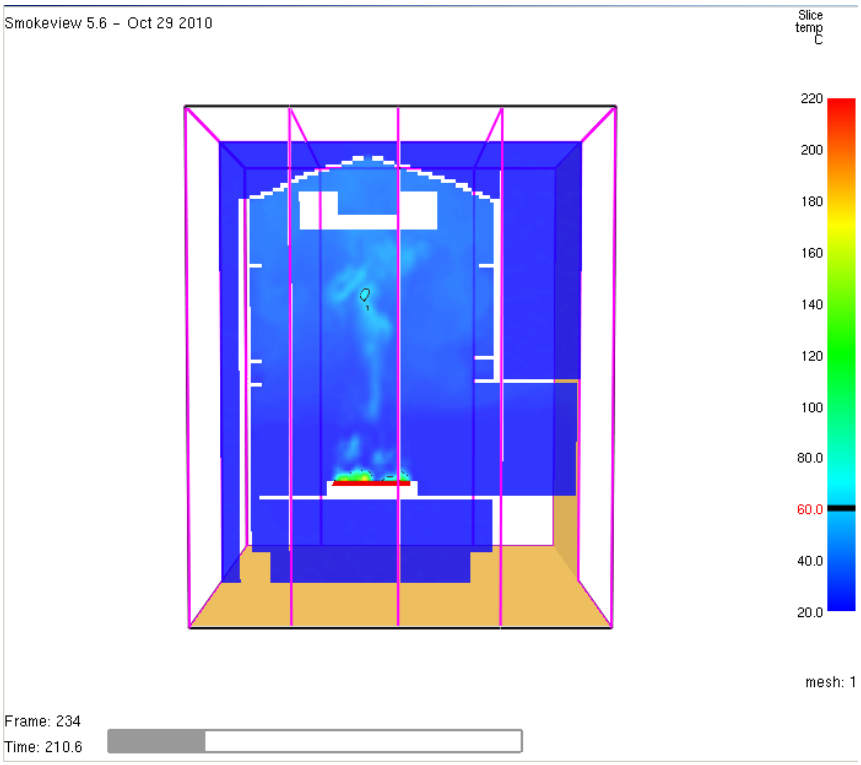
Rys. 6.13. Zakres widzialności na wysokości 1,8m nad posadzką sceny dla czasu 210 s – czas ewakuacji pierwszych osób



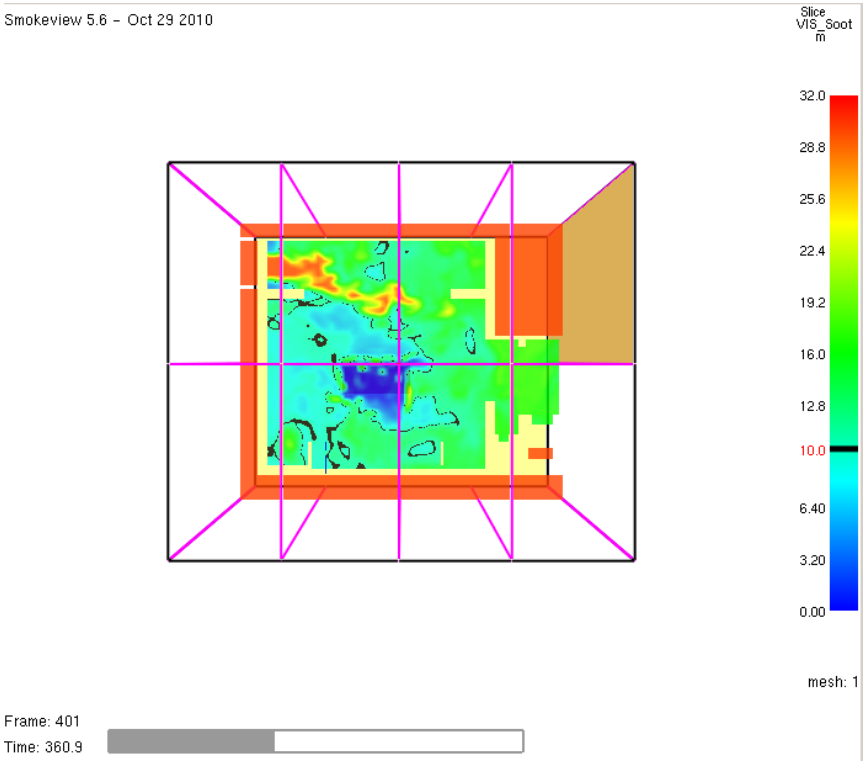
Rys. 6.14. Zakres temperatury na wysokości 1,8m nad posadzką sceny dla czasu 210 s – czas ewakuacji pierwszych osób



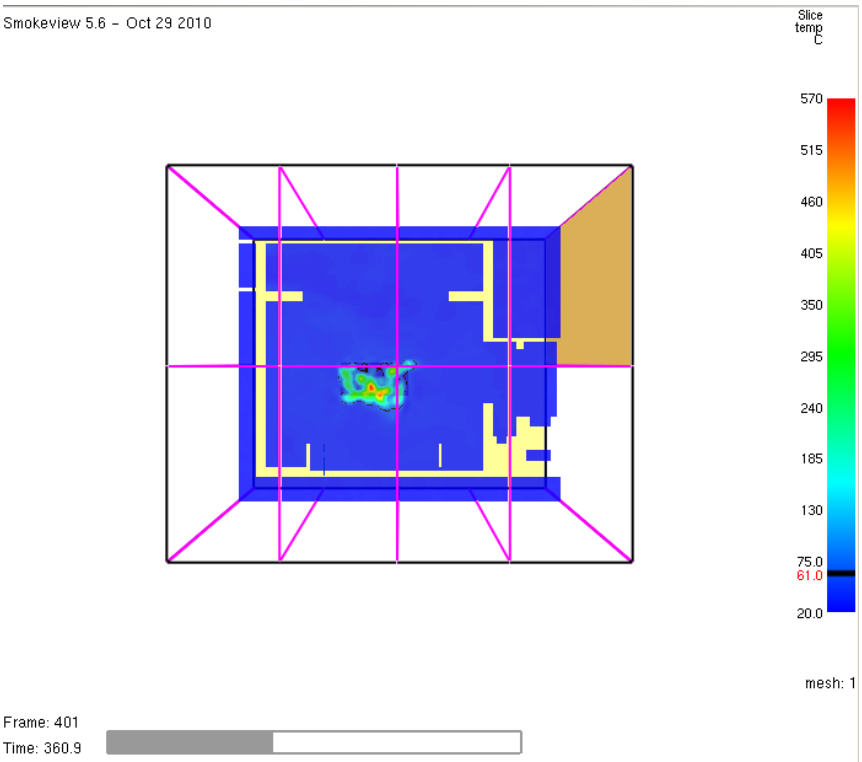
Rys. 6.15. Zakres widzialności nad posadzką sceny w przekroju podłużnym dla czasu 210 s – czas ewakuacji pierwszych osób



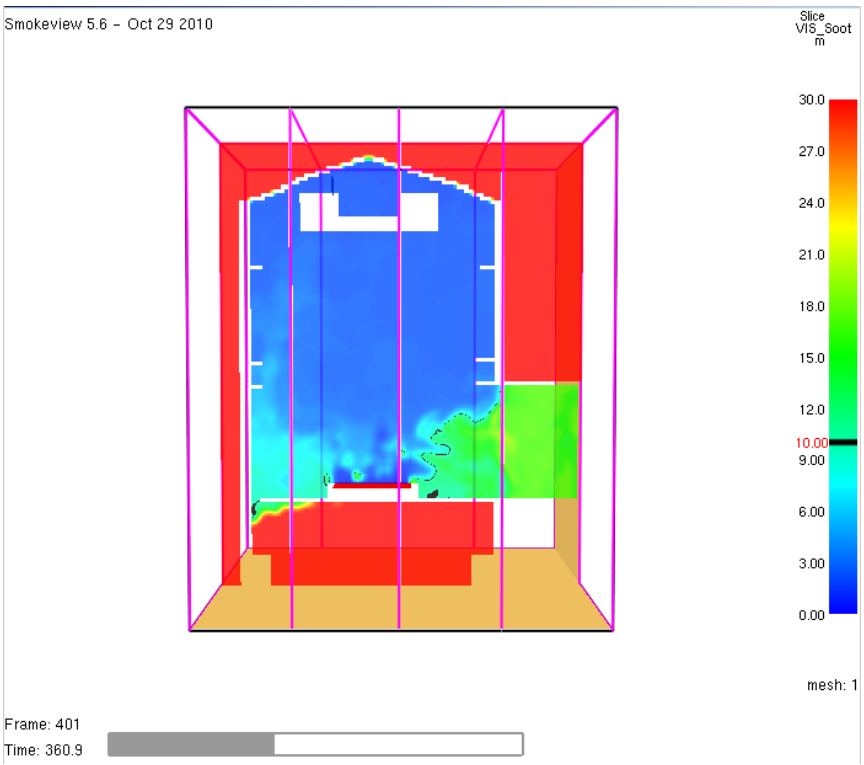
Rys. 6.16. Zakres temperatury nad posadzką sceny w przekroju poprzecznym dla czasu 210 s – czas ewakuacji pierwszych osób



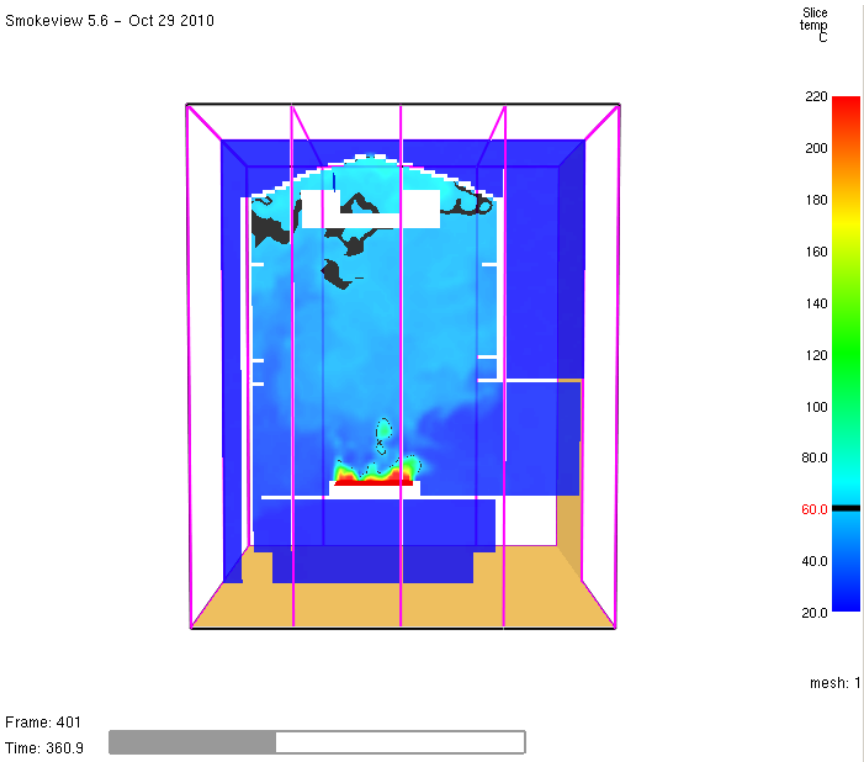
Rys. 6.17. Zakres widzialności na wysokości 1,8m nad posadzką sceny dla czasu 360 s – czas koniec ewakuacji wszystkich osób



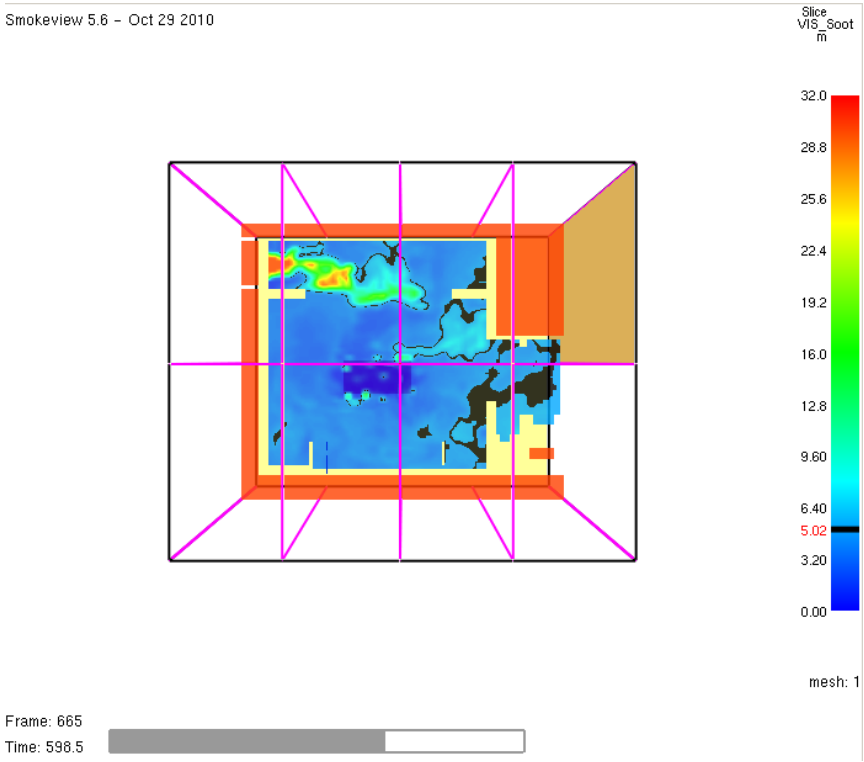
Rys. 6.18. Zakres temperatury na wysokości 1,8m nad posadzką sceny dla czasu 360 s – czas koniec ewakuacji wszystkich osób



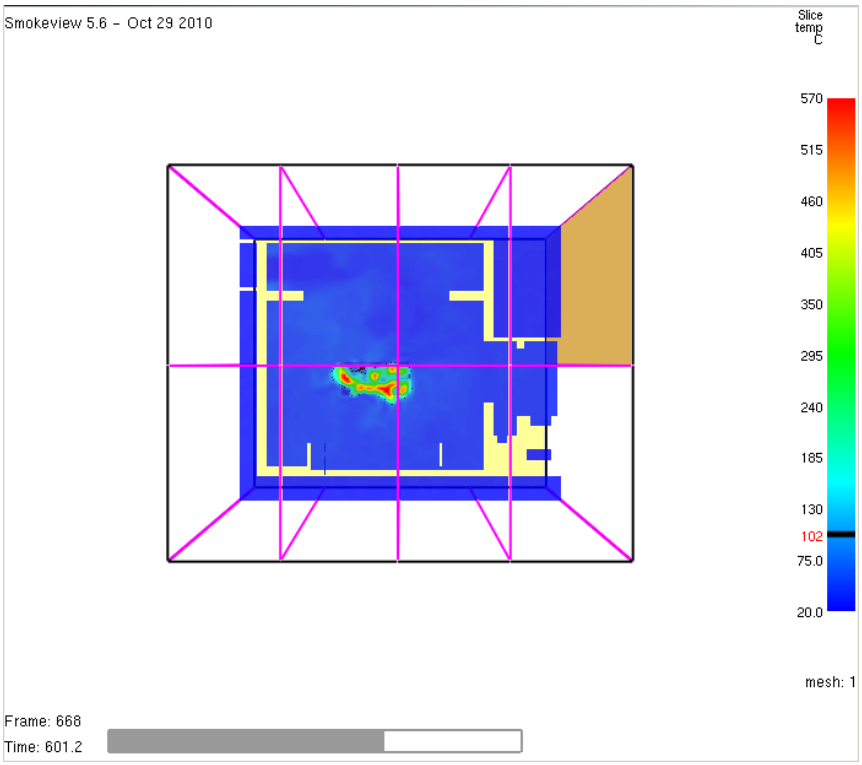
Rys. 6.19. Zakres widzialności nad posadzką sceny w przekroju poprzecznym dla czasu 360 s – czas koniec ewakuacji wszystkich osób



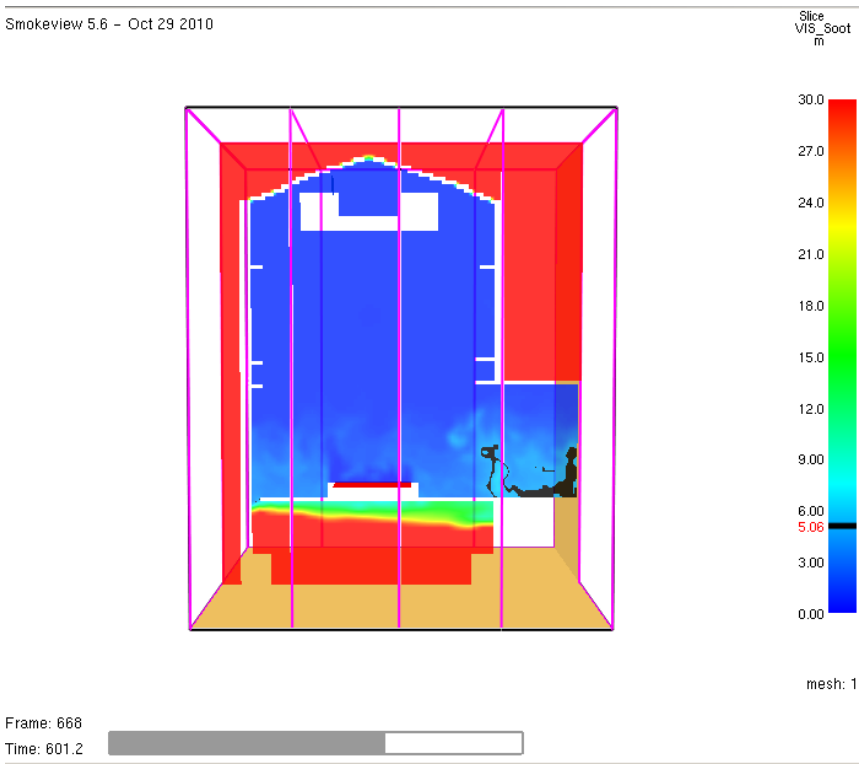
Rys. 6.20. Zakres temperatury na wysokości 1,8m nad posadzką sceny w przekroju podłużnym dla czasu 360 s – czas koniec ewakuacji wszystkich osób



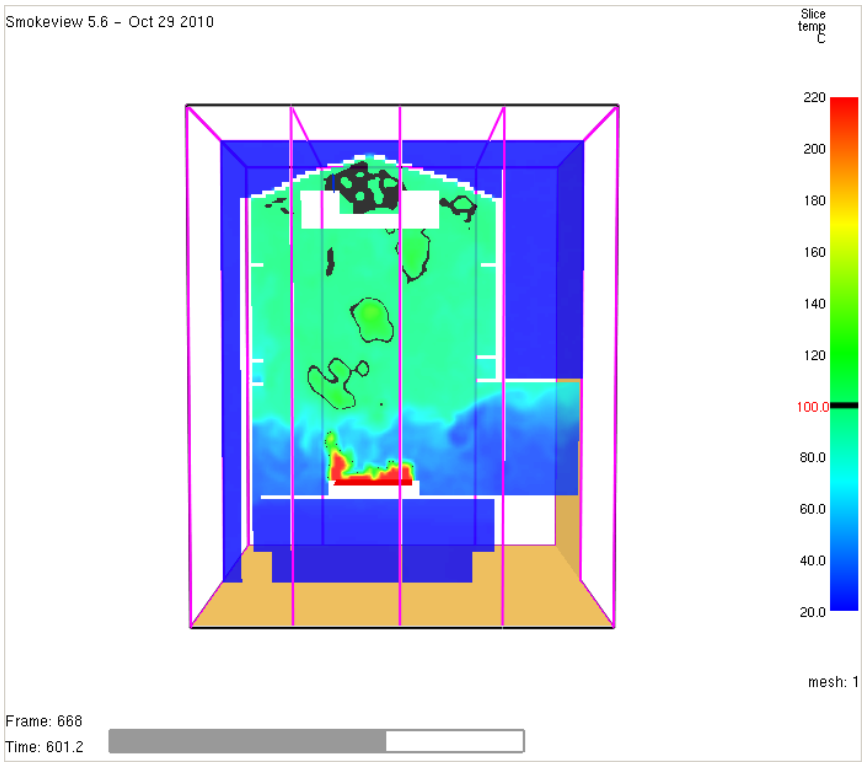
Rys. 6.21. Zakres widzialności na wysokości 1,8m nad posadzką sceny dla czasu 600 s – przewidywany czas rozpoczęcia działań ekip ratowniczo - gaśniczych



Rys. 6.22. Zakres temperatury na wysokości 1,5m nad posadzką sceny dla czasu 600 s – przewidywany czas rozpoczęcia działań ekip ratowniczo - gaśniczych



Rys. 6.23. Zakres widzialności nad posadzką sceny w przekroju poprzecznym dla czasu 600 s – przewidywany czas rozpoczęcia działań ekip ratowniczo - gaśniczych



Rys. 6.24. Zakres temperatury nad posadzką sceny w przekroju poprzecznym dla czasu 600 s – przewidywany czas rozpoczęcia działań ekip ratowniczo - gaśniczych

7. Wnioski z analizy

7.1. Analiza prognozowanego stopnia zadymienia i temperatur

W ramach przeprowadzonej analizy CFD sprawdzono warunki ewakuacji (tj. zasięg widzialności i temperaturę w obszarze sceny głównej w czasie potrzebnym do ewakuacji osób ze strefy pożarowej (scena).

Przeprowadzono analizę prognozowanego stopnia zadymienia oraz temperatury dla przypadku pożarowego usytuowanego w najniekorzystniejszej lokalizacji względem wyjść ewakuacyjnych, skutkujących ich jednoczesnym zadymieniem już we wczesnej fazie rozwoju pożaru. Niniejsza analiza wykazała, iż parametrem decydującym o spełnieniu kryteriów bezpiecznej ewakuacji dla wszystkich rozpatrywanych przypadków pożarowych jest zasięg widzialności na wysokości 1,8 m nad poziomem sceny w obrębie wyjść ewakuacyjnych, ograniczający dostęp do nich lub uniemożliwiający bezpieczną ewakuację.

7.2. Warunki w strefie oddymiania (poziom sceny) objętej pożarem w czasie ewakuacji

Dla lokalizacji pożaru modelowego SP1, w czasie ewakuacji pierwszych osób (tj. m.in. osób znajdujących się blisko miejsca zaistnienia pożaru) przyjętym jako 210 s (3,5 minuty), wymagany zasięg widzialności 10 m (mierzony na poziomie 1,8 m nad posadzką sceny) jest zachowany niemal na całym obszarze sceny, poza lokalnymi spadkami widzialności w miejscach przyległych do źródła pożaru.

W analizowanym przypadku, pomimo lokalnie występujących niewielkich obszarów o obniżonej widzialności, wciąż istniej możliwość ewakuacji przez wszystkie wyjścia ewakuacyjne. Równocześnie, we wszystkich przypadkach temperatura dymu mierzona na wysokości 1,8 m nad posadzką (poza obszarem bezpośrednio nad miejscem pożaru) jest znacznie poniżej wartości granicznej umożliwiającej bezpieczną ewakuację tj. 60^0C.

Do czasu przyjętego jako koniec ewakuacji z całego analizowanego obszaru tj. 360 s (6 minut), następuje stopniowe zadymienie obszaru przyległego do pożaru. Niemniej jednak, w tym czasie nadal istnieje możliwość ewakuacji poprzez wyjścia ewakuacyjne. W analizowanym przypadku temperatura warstwy gorącej dymu (poza obszarem bezpośrednio w pobliżu miejsca pożaru) jest poniżej wartości granicznej (tj. 60^0C).

Dla lokalizacji pożaru modelowego SP2, w czasie ewakuacji pierwszych osób (tj. m.in. osób znajdujących się blisko miejsca zaistnienia pożaru) przyjętym jako 210 s (3,5 minuty), wymagany zasięg widzialności 10 m (mierzony na poziomie 1,8 m nad posadzką sceny) jest zachowany niemal na całym obszarze sceny, poza lokalnymi spadkami widzialności w miejscach przyległych do źródła pożaru.

W analizowanym przypadku, pomimo lokalnie występujących niewielkich obszarów o obniżonej widzialności, wciąż istniej możliwość ewakuacji przez wszystkie wyjścia ewakuacyjne. Równocześnie, we wszystkich przypadkach temperatura dymu mierzona na wysokości 1,8 m nad posadzką (poza obszarem bezpośrednio nad miejscem pożaru) jest znacznie poniżej wartości granicznej umożliwiającej bezpieczną ewakuację tj. 60^0C.

Do czasu przyjętego jako koniec ewakuacji z całego analizowanego obszaru tj. 360 s (6 minut), następuje stopniowe zadymienie obszaru przyległego do pożaru. Niemniej jednak, w tym czasie nadal istnieje możliwość ewakuacji poprzez wyjścia ewakuacyjne. W analizowanym przypadku temperatura warstwy gorącej dymu (poza obszarem bezpośrednio w pobliżu miejsca pożaru) jest poniżej wartości granicznej (tj. 60^0C).

7.3. Warunki po czasie potrzebnym do bezpiecznej ewakuacji

Dla pożaru modelowego SP1, po czasie 600 s od początku pożaru (zakładany czas rozpoczęcia działań ekip ratowniczo – gaśniczych PSP, po czasie ewakuacji ostatnich osób z przestrzeni obiektu) obszar sceny ulega stopniowemu zadymieniu. Do czasu 600s nie obserwuje się znaczącego przyrostu temperatury na poziomie 1,8 m (temperatura jest znacznie poniżej 100^0C), uniemożliwiającego prowadzenie działań przez ekipy ratowniczo – gaśnicze. Na podstawie powyższego można stwierdzić, że dla przyjętych parametrów pożaru projektowego (mocy krzywej rozwoju), zapewnione są warunki do działań ekip ratowniczo – gaśniczych.

Dla pożaru modelowego SP2, po czasie 600 s od początku pożaru (zakładany czas rozpoczęcia działań ekip ratowniczo – gaśniczych PSP, po czasie ewakuacji ostatnich osób z przestrzeni obiektu) obszar sceny ulega niemal całkowitemu zadymieniu. Do czasu 600s nie obserwuje się znaczącego przyrostu temperatury na poziomie 1,8 m (temperatura jest znacznie poniżej 100^0C), uniemożliwiającego prowadzenie działań przez ekipy ratowniczo – gaśnicze. Na podstawie powyższego można stwierdzić, że dla przyjętych parametrów pożaru projektowego (mocy krzywej rozwoju), nie są zapewnione warunki do działań ekip ratowniczo – gaśniczych (ze względu na zasięg widoczności).

7.4. Wnioski końcowe

Podsumowując wyniki otrzymane w przeprowadzonych symulacjach CFD można uznać, iż proponowany system oddymiania – w połączeniu z systemem sygnalizacji pożaru oraz instalacji zraszaczowej zapewni wymagany poziom bezpieczeństwa dla użytkowników poprzez zachowanie warunków na chronionych drogach ewakuacyjnych. Należy pamiętać iż, aby ręczne uruchomienie instalacji zraszaczowej nastąpiło w jak najkrótszym czasie przez przeszkolony i wykwalifikowany personel Teatru, w tym celu należy stworzyć odpowiednie procedury dla osób odpowiedzialnych za ewakuację i regularnie sprawdzać ich sposób realizacji. Uruchomienie instalacji zraszaczowej w czasie trwania ewakuacji sprawi ograniczenie rozwoju pożaru, a co za tym idzie pozwoli na zachowanie bezpiecznych warunków ewakuacji jak i prowadzenia działań ratowniczo – gaśniczych.

Jednocześnie należy podkreślić, iż instalacja zraszaczowa tylko ogranicza szybkość rozwoju pożaru powodując wychłodzenie warstwy dymu a co za tym idzie jej opadanie. W tym kontekście szczególnie istotne jest wczesne wykrycie pożaru i niezwłoczne zawiadomienie najbliższej JRG, a także rygorystyczne stosowanie zaleceń dotyczących rodzaju materiałów i sposobu ich składowania, w szczególności w obszarach poprzez które przebiegają drogi ewakuacyjne jak i stanowią przestrzeń napływu powietrza rekompensującego system oddymiania (napowietrzanie).

W celu weryfikacji założeń projektowych systemu oddymiania mechanicznego sceny na podstawie powyższej analizy należy przeprowadzić próby ciepłym dymem (zgodnie z AS 4391-1999 Smoke management systems-Hot smoke test) na wykonanej już instalacji.

8. Podsumowanie

Dokumentacja zawiera kompletna analizę CFD działania systemu oddymiania mechanicznego sceny.

Opracowanie jest zgodne z postanowieniami umowy [1] oraz dokumentów związanych. W opracowaniu wykorzystano uzgodnienia poczynione z Zamawiającym w trakcie procesu projektowego.

Opracowanie jest kompletne z uwagi na cel, jakiemu służy.