

Opinia Techniczna

DJ + MG / 5 / 2017

SYMULACJA CFD

(Computational Fluid Dynamics)

**ANALIZA SKUTECZNOŚCI DZIAŁANIA
GRAWITACYJNEGO SYSTEMU ODDYMIANIA
w budynku Wydziału Ekonomicznego
Zachodniopomorskiego Uniwersytetu
Technologicznego
przy ul. Żołnierskiej 47 w Szczecinie**

Autorzy:

mgr inż. Daniel Jahn
Projektant systemów sygnalizacji pożarowej
Upr. SITP nr D-1479/13
tel. 693 335 024
daniel.jahn@fpsconsulting.pl

mgr inż. Marek Gendek
Rzecznawca do spraw zabezpieczeń
przeciwpożarowych
upr. KG PSP nr 613/2014
tel. 602 48 44 00
mgendek75@gmail.com

Szczecin, lipiec 2017 r.

1. DANE OGÓLNE.....	3
1.1. Przedmiot opracowania	3
1.2. Podstawa opracowania.....	3
1.3. Zawartość opracowania	4
2. KONCEPCJA ODDYMIANIA OBIEKTU	4
2.1. Ustalenia podstawowe	4
2.2 Założenia do analizy skutecznego usuwania dymu przez grawitacyjny system oddymiania	7
4. PRZEWIDYWANY CZAS EWAKUACJI UŻYTKOWNIKÓW OBIEKTU	9
3. SYMULACJE CFD	9
3.1. Charakterystyka systemu	9
3.1.1 Nazwa programu, wersja, producent.....	9
3.1.2 Rodzaj i gęstość siatki obliczeniowej.....	10
3.1.3 Model Turbulencji	10
3.1.4 Model hydrodynamiczny	10
3.1.5 Model spalania	10
3.1.6 Model promieniowania cieplnego.....	10
3.2. Niepewności obliczeniowe i zastosowane współczynniki bezpieczeństwa	11
3.3. Warunki początkowe i brzegowe.....	11
3.3.1. Początkowa temperatura wewnętrzna i zewnętrzna	11
3.3.2. Materiały elementów budowlanych.....	11
3.3.3 Rekcja.....	12
3.3.4 Czas symulacji	12
3.4. Analizowane parametry pożaru	12
3.5. Analizowane scenariusze pożarowe.....	12
4. WYNIKI SYMULACJI CFD.....	15
4.1. Zasięg widzialności w przekroju pionowym– SCENARIUSZ NR 1	15
4.2. Zasięg widzialności w przekroju pionowym– SCENARIUSZ NR 2	26
5. WNIOSKI KOŃCOWE	37
6. BIBLIOGRAFIA.....	39

1. DANE OGÓLNE

1.1. Przedmiot opracowania

Niniejsze opracowanie stanowi analizę CFD działania grawitacyjnego systemu usuwania dymu w budynku Wydziału Ekonomicznego Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego przy ul. Żołnierskiej 47 w Szczecinie

1.2. Podstawa opracowania

Podstawę opracowania stanowią:

- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (t.j. Dz. U. 2015 poz. 1422 ze zm.) – przywołane w dalszej części opracowania jako WT.
- Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. Nr 109, poz. 719) – przywołane w dalszej części opracowania jako WOP.
- Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 lipca 2009 r. w sprawie przeciwpożarowego zaopatrzenia w wodę oraz dróg pożarowych (Dz. U. Nr 124, poz. 1030) – przywołane w dalszej części opracowania jako WD.
- Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 2 grudnia 2015 r. w sprawie uzgadniania projektu budowlanego pod względem ochrony przeciwpożarowej (Dz. U. 2015 poz. 2117).
- PN-B-02877-4:2001 Ochrona przeciwpożarowa budynków -- Instalacje grawitacyjne do odprowadzania dymu i ciepła -- Zasady projektowania.
- Wytyczne CNBOP-PIB W-0003:2016.
- Dokumentacja techniczno-ruchowa urządzeń.
- Rysunki – rzuty kondygnacji budynku.
- Zlecenie i uzgodnienia ze Zleceniodawcą.

1.3. Zawartość opracowania

Opracowanie zawiera część opisową dotyczącą ogólnej charakterystyki obiektu, zasadę funkcjonowania grawitacyjnego systemu wentylacji oddymiającej na klatce schodowej oraz założenia i metodykę wykonywania symulacji CFD. Ponadto raport zawiera zasady prowadzenia analizy numerycznej. Następne rozdziały opracowania przedstawiają opis programu wykorzystanego do wykonania obliczeń numerycznych, wyniki oraz wnioski z przeprowadzonej analizy.

2. KONCEPCJA ODDYMIANIA OBIEKTU

2.1. Ustalenia podstawowe

Niniejsza analiza obejmuje sprawdzenie skuteczności działania grawitacyjnego systemu do usuwania dymu z klatek schodowych w Budynku Wydziału Ekonomicznego Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego przy ul. Żołnierskiej 47 w Szczecinie.

Jest to obiekt użyteczności publicznej. Budynek średniowysoki, podpiwniczony.

Budynek został wybudowany w latach 30-tych XX wieku, zaadaptowany w 1996r do celów dydaktyczno-administracyjnych. Ściany zewnętrzne budynku są murowane z cegły, ocieplone od zewnątrz styropianem .

Ściany wewnętrzne murowane z cegły, natomiast ściany działowe z płyt gipsowo – kartonowych o grubości 12,5 mm i 9,5 mm. Stropy żelbetowe – wylewane, również klatki schodowe żelbetowe – wylewane. Dach obejmuje dwie kondygnacje tzn. III piętro, wykonane w konstrukcji żelbetowej z lukarnami, pokrytymi blachą oraz IV piętro (poddasze wysokie) o konstrukcji drewnianej, płatwiowo – kleszczowej. Dach kryty jest blachą

POWIERZCHNIA, WYSOKOŚĆ I LICZBA KONDYGNACJI	
Kubatura budynku	19943 m ³
Powierzchnia użytkowa	4523 m ²
Wysokość budynku	20,2 m
Liczba kondygnacji nadziemnych	4
Liczba kondygnacji podziemnych	1

Charakter użytkowania obiektu powoduje występowanie materiałów o różnorodnych cechach pożarowych. Materiały palne występują głównie w postaci wyposażenia wewnątrz, urządzeń i instalacji niezbędnych do funkcjonowania budynku (tworzywa

sztuczne, drewno i materiały drewnopodobne, papier itp.). Nie występują natomiast materiały uznawane za niebezpieczne pożarowo, z wyjątkiem niewielkich ilości środków niezbędnych do celów gospodarczych.

Ze względu na swoje przeznaczenie budynek kwalifikuje się do kategorii zagrożenia ludzi ZL III.

W całym budynku, uwzględniając liczbę osób zatrudnionych oraz okresowo przebywających, może jednocześnie wynosić do 500 osób, w tym ok. 450 studentów

Klasyfikacja obiektu i jego części do określonej kategorii zagrożenia ludzi ZL:

ZL I – zawierające pomieszczenia przeznaczone do jednoczesnego przebywania ponad 50 osób nie będących ich stałymi użytkownikami, a nie przeznaczone przede wszystkim do użytku ludzi o ograniczonej zdolności poruszania się,

ZL II –przeznaczone przede wszystkim do użytku ludzi o ograniczonej zdolności,

ZL III – użyteczności publicznej, nie zakwalifikowane do ZL I i ZL II,

ZL IV – budynki mieszkalne,

ZL V – zamieszkania zbiorowego, nie zakwalifikowane do ZL I i ZL II.

Dopuszczalna powierzchnia strefy pożarowej dla jednokondygnacyjnego, niskiego budynku kategorii ZL I wynosi 10 000 m². Budynek handlowy z częścią magazynową stanowi jedną strefę pożarową o powierzchni 5894,7 m².

W chwili obecnej cały budynek tj. część nadziemna i podziemna stanowi jedną strefę pożarową o powierzchni ok. 4523 m². Dopuszczalna wielkość strefy budynku SW ZL III wynosi 5000 m².

Budynek powinien spełniać wymagania dla klasy odporności pożarowej B.

Elementy budynku dla klasy odporności pożarowej B powinny spełniać co najmniej wymagania:

Klasa odporności pożarowej budynku	Klasa odporności ogniowej elementów budynku					
	główna konstrukcja nośna	konstrukcja dachu	strop	ściana zewnętrzna	ściana wewnętrzna	przekrycie dachu
1	2	3	4	5	6	7
„A”	R 240	R 30	RE I 120	E I 120	E I 60	RE 30
„B”	R 120	R 30	RE I 60	E I 60	E I 30	RE 30
„C”	R 60	R 15	RE I 60	E I 30	E I 15	RE 15
„D”	R 30	(-)	RE I 30	E I 30	(-)	(-)
„E”	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)

Oznaczenia w tabeli:

R -nośność ogniowa (w minutach), określona zgodnie z Polską Normą dotyczącą zasad ustalania klas odporności ogniowej elementów budynku, E -szczelność ogniowa (w minutach), określona jw., I -izolacyjność ogniowa (w minutach), określona jw.,

Elementy budynku spełniają powyższe wymagania.

Ewakuacja z obiektu jest realizowana dwiema dwubiegowymi klatkami schodowymi zlokalizowanymi w budynku, które prowadzą na każdą kondygnację przeznaczoną na pobyt ludzi. Klatki usytuowane są symetrycznie i oddalone od siebie ok. 30 m. Obie klatki mają szerokość biegu co najmniej 1,2 m są częściowo wydzielone i zamykane drzwiami. Klatki będą wyposażone w grawitacyjny system do usuwania dymu. Z części środkowej dla pomieszczeń tam zlokalizowanych zapewniono dwa kierunki ewakuacji. Z końcowych fragmentów korytarza zapewniono jeden kierunek ewakuacji. Dla tej części budynku licząc od najwyższej kondygnacji długość dojścia ewakuacyjnego będzie najdłuższa i wynosi 57 m, z czego korytarzami 13 m (od drzwi pomieszczenia 3.7 do klatki schodowej) i klatką schodową 44 m na zewnątrz budynku. Długość dojścia jest przekroczona (nie spełniony §256 pkt. 3 WT). Klatki schodowe są oświetlane światłem słonecznym. Długość przejść ewakuacyjnych w budynku nie przekracza 40 m i nie jest prowadzone przez więcej niż trzy pomieszczenia. Szerokość przejść ewakuacyjnych są zgodne z przepisami techniczno-budowlanymi. Wysokość drogi ewakuacyjnej w budynku jest większa niż 2,2 m i wynosi co najmniej 2,73 m (poza kondygnacją podziemną opis niżej).

W pomieszczeniu 2.20 brak dwóch wyjść ewakuacyjnych oddalone od siebie o co najmniej 5m z sali dydaktycznej przeznaczonej do przebywania w niej ponad 50 osób. Autorzy będą wnosić o pozostawienie niniejszej nieprawidłowości proponując rozwiązania zamienne- autonomiczne certyfikowane czujki dymu połączone w sieć oraz montaż dwóch ścianek EI 60 z drzwiami dymoszczelnymi dzielącymi korytarz na trzy części.

W poziomie parteru zapewniono możliwość wyjścia z budynku dwoma wyjściami z klatek schodowych (szerokość nie mniejsza niż 1,2 m w tym skrzydło czynne 0,9 m), oraz jedno wyjście prowadzące z korytarza bezpośrednio na zewnątrz budynku. Wyjścia z klatek schodowych zamykane drzwiami o szerokości 1,3 m (0,9+0,4m) oraz wyjście z korytarza o szerokość 1,0 m (nie spełniony §239 pkt. 4 WT). Brak zabezpieczenia w poziomie parteru przed omyłkowym zejściem do piwnicy (nie spełniony §250 pkt. 1 WT).

W poziomie piwnicy wyjścia z pomieszczeń prowadzą na korytarz łączący obie klatki schodowe. Wysokość użytkowa korytarza, z uwagi na występujące instalacje techniczne wynosi 2,04 m (na całej jego długości) z lokalnymi obniżeniami 1,92m.

Szerokość korytarzy (piwnica, parter, piętro I, piętro II) jest znacznie większa niż 1,4 m (około 2,5m). Na kondygnacji najwyższej (poddasze) w pobliżu biblioteki i wejścia na poddasze nieużytkowe występują lokalne przewężenia (2 miejsca) do minimalnej szerokości 1,04m i łącznej długości ok. 0,85m. Dla tej części obiektu liczba osób przeznaczonych do ewakuacji jest nie większa niż 20 osób.

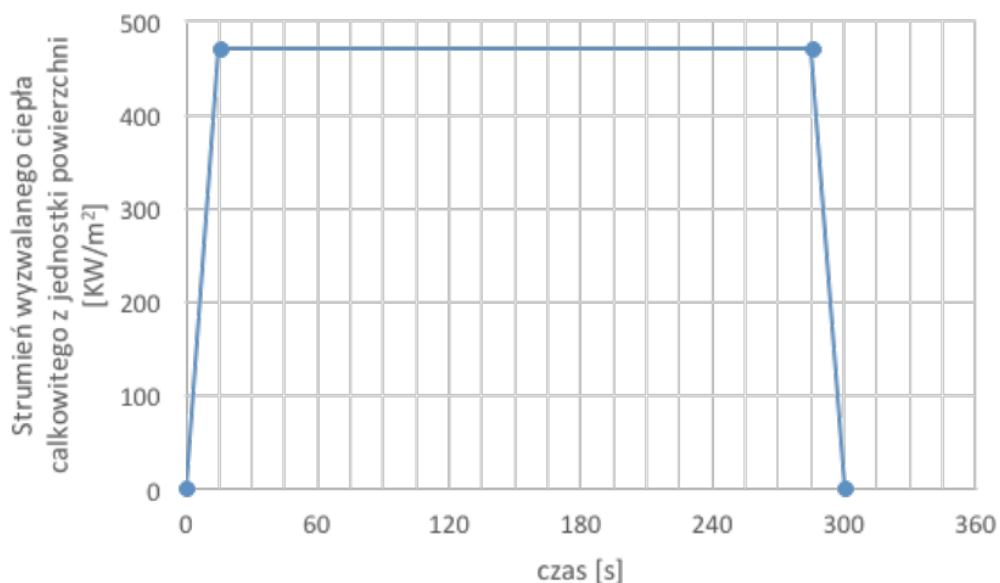
Wysokość drzwi ewakuacyjnych i na drodze ewakuacyjnej w budynku wynosi co najmniej 2 m.

Kierunki drogi ewakuacyjnej oraz wyjścia ewakuacyjne w budynku należy oznakować zgodnie z PN.

2.2 Założenia do analizy skutecznego usuwania dymu przez grawitacyjny system oddymiania

W rozpatrywanym obiekcie, pożar projektowy przyjęto w oparciu o wytyczne CNBOP-PIB W-0003:2016 punkt 7. W symulacji przyjęto następujące założenia:

- modele siatki obliczeniowej charakteryzują się wymiarami 0,1mx0,1mx0,1m,
- całkowity strumień ciepła wyzwalany z jednostki powierzchni źródła testowego wynosi 471 kW/ m²,



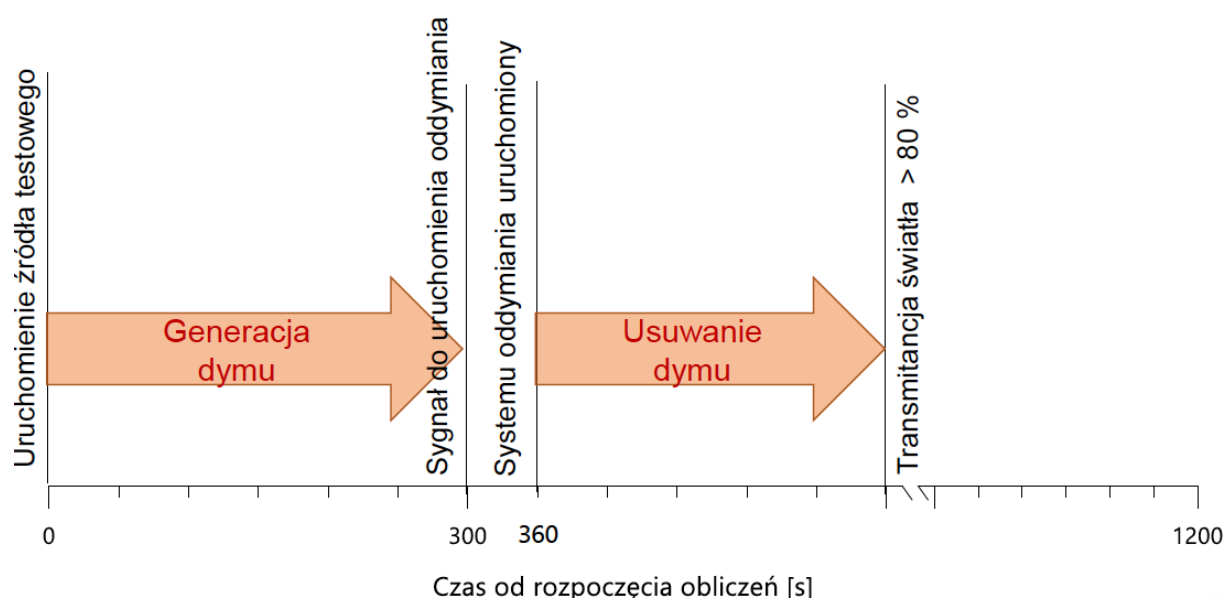
Wykres 1 Przebieg zmian wartości strumienia wyzwalanego ciepła całkowitego z jednostki powierzchni w czasie.

- pominięto wpływ wiatru,
- wymiar źródła testowego 0,30 m x0,45 m,
- jako paliwo przyjęto etanol,
- ciepło spalania 26780 KJ/kg,
- współczynnik dymotwórczości przyjęto 0,05 kg_{dymu} /kg_{paliwa}
- dla okien oddymiających przyjęto aerodynamiczny współczynnik wypływu na poziomie 0,5 (zgodnie z PN EN 12101 dla okien otwieranych na zewnątrz pod kątem 90°), co dało powierzchnię czynną 0,72 m², dla pozostałych otworów napowietrzających i oddymiających przyjęto współczynnik wypływu równy 0,6.

- w symulacji przyjęto skorygowaną wartość powierzchni geometrycznej otworów napowietrzających (uwzględniając domyślną wartość aerodynamicznego współczynnika wypływu określoną w programie FDS na poziomie $0,7 \pm 0,8$) tak, aby wyliczona powierzchnia czynna tychże otworów odpowiadała w przybliżeniu powierzchni czynnej wprowadzonej do symulacji.

Ponad to:

- dym i ciepło będą usuwane drogami wentylacji naturalnej.
- Uruchomienie klap dymowych będzie się odbywało automatycznie po przekroczeniu czasu $300+60$ s.



Rysunek 1 Czas trwania analizy.

Charakterystyka elementów systemu do usuwania dymu dla scenariuszy przedstawiają się następująco:

Scenariusz	Okno/klapa oddymiająca	Drzwi napowietrzające
1 Stan rzeczywisty	Okna dwuskrzydłowe: 76x190 co daje 0,72 m ² powierzchni czynnej.	Drzwi dwuskrzydłowe 200x106. Co daje 1,26 m ² powierzchni czynnej
2 Według wytycznych CNBOP-PIB oraz PN	5% powierzchnię klatki co daje pow. czynną 1,05 m ²	Drzwi napowietrzające o powierzchni czynnej równej 1,36 m ² (o 30% więcej w stosunku do powierzchni klapy oddymiającej).

Tabela 1. Charakterystyka elementów systemu do usuwania dymu.

3. SYMULACJE CFD

3.1. Charakterystyka systemu

3.1.1 Nazwa programu, wersja, producent

Do przeprowadzenia analizy oraz otrzymania wyników zawartych w opracowaniu wykorzystany został program Fire Dynamics Simulator wersja 6.5.3, który jest narzędziem opracowanym przez amerykański instytut naukowo-badawczy NIST (National Institute of Standards and Technology). Program jest powszechnie stosowany w środowisku inżynierów, pracowników naukowych na całym świecie, zajmujących się nowoczesną inżynierią bezpieczeństwa pożarowego. 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 inżynierią bezpieczeństwa pożarowego. Zapewnia możliwość poznania dynamiki zjawiska pożaru oraz zachodzących tam procesów spalania. W zakresie zagadnień związanych z bezpieczeństwem pożarowym, FDS 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 [1]. 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. DNS traktuje turbulencję w sposób deterministyczny.

3.1.2 Rodzaj i gęstość siatki obliczeniowej

Gęstość siatki przyjęta w symulacjach w każdym kierunku nie przekracza 0,1 m. Domena obliczeniowa została podzielona na 5 sieci obliczeniowych. Rozmiar siatki dobrano w oparciu o wytyczne NUREG, publikowane również w instrukcji użytkownika FDS5 User's Guide.

3.1.3 Model Turbulencji

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

3.1.4 Model hydrodynamiczny

Program FDS rozwiązuje numerycznie odpowiednią formę równań Naviera-Stokesa dla przepływów wywołanych przez ogień, ze szczególnym naciskiem na ruch ciepła i transport dymu. Podstawowymi równaniami wykorzystywanymi w symulacjach są równania zachowania masy, momentu i energii dla rozszerzalnych termicznie, wieloskładnikowych gazów idealnych.

3.1.5 Model spalania

MixtureFraction- model ten przyjmuje następujące uproszczenia:

- c) 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),
- d) spalanie następuje natychmiast po zmieszaniu,
- e) spalanie jest jednoetapowe i całkowite,
- f) procent powstającego tlenku węgla jest stały i wynika z początkowych założeń symulacji a nie z aktualnych warunków spalania.

Założenia te dają prawidłowe wyniki w przypadku pożarów kontrolowanych przez paliwo.

3.1.6 Model promieniowania cieplnego

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

całkowej 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.

3.2. Niepewności obliczeniowe i zastosowane współczynniki bezpieczeństwa

Poniżej przedstawiono średnie procentowe niepewności obliczeniowe dla poszczególnych parametrów.

Mierzona wielkość	Niepewność (%)
Temperatura warstwy podsufitowej dymu	15
Wysokość strefy wolnej od zadymienia	13
Temperatura strumienia podsufitowego	16
Temperatura płomienia	14
Stężenia gazów	9
Stężenie dymu i widzialność	33
Ciśnienie	40
Strumień ciepła	20
Temperatura powierzchni	14

Tabela 3. Średnie błędy wyznaczania wielkości fizycznych w FDS.

3.3. Warunki początkowe i brzegowe

3.3.1. Początkowa temperatura wewnętrzna i zewnętrzna

Przyjęto początkową temperaturę zewnątrz obiektu równą 20°C.

3.3.2. Materiały elementów budowlanych

Właściwości materiałów budowlanych przyjęto w symulacji na podstawie normy PN-EN ISO 6946 [6].

Materiał	Gęstość [kg/ m ³]	Ciepło właściwe[kJ/kg*K]	Współ. Przewodzenia ciepła [W/m*K]
Żelbet	2500	0,84	1,7
Szkło	2500	0,84	0,3
Cegła szczelinowa	1150	0,88	0,52
Tynk wapienny	1700	0,84	0,7

Tabela 4. Właściwości materiałów budowlanych, wprowadzonych do programu FDS.
Źródło: Opracowanie własne.

3.3.3 Rekcja

Jako materiał spalania przyjęto reakcję etanolu.

3.3.4 Czas symulacji

Jako czas symulacji przyjęto 1200 sekund. Zgodnie z rysunkiem nr. 1. Krok czasowy jest ustalany automatycznie na podstawie liczby CFL, przy użyciu schematu L^∞ .

3.4. Analizowane parametry pożaru

Podczas analizy numerycznej sprawdzeniu podlegał zasięg widzialności w przekroju pionowym klatki schodowej. Przyjęto, że obie klatki są takie same. Zasięg widzialności założono wartość krytyczną równą 10 m.

Założono, iż źródło testowego dymu zlokalizowane jest na drugiej kondygnacji nadziemnej.

W pierwszych sekundach symulacji uruchomione zostaje źródło testowe. Dym wydostaje się swobodnie na klatkę schodową. Po czasie 300s zostaje uruchomiony system GSO. Pełne otwarcie wszystkich otworów następuje w czasie równym 60s. Od tej pory następuje proces usuwania dymu z klatki schodowej.

Oceniano czy ilość dymu, która dostała się (poprzez źródło testowe) może zagrażać ewakuującym się ludziom.

Dane wyjściowe zostały odczytane poprzez wizualizację w programie SmokeView.

3.5. Analizowane scenariusze pożarowe

W obiekcie przeanalizowano dwa scenariusze pożarowe.

Scenariusz 1 odzwierciedla działanie systemu opartego na istniejących otworach, wg ich wymiarów rzeczywistych.

Otwór oddymiający stanowiłoby istniejące okno dwuskrzydłowe o wymiarach 76x190cm. Zakładając otwarcie skrzydeł okna na całą szerokość (90°) oraz przyjmując współczynnik wypływu równy 0,5 otrzymalibyśmy powierzchnię czynną równą $0,72 \text{ m}^2$. Istniejące drzwi zewnętrzne o wymiarach 200x106 (drzwi dwuskrzydłowe) dałyby nam $2,12 \text{ m}^2$ powierzchni geometrycznej oraz powierzchnię czynną równą $1,27 \text{ m}^2$.

Scenariusz nr. 2 natomiast odzwierciedla działanie systemu oddymiania wykonanego zgodnie z wytycznymi CNBOP- PIB W-0003:2016.

Wyliczenia powierzchni czynnej według wspomnianych wytycznych są zgodne również z polską normą **PN-B-02877-4:2001**.

Powierzchnia czynna klapy dymowej (A_{cz}) w budynkach niskich i średniowysokich powinna odpowiadać 5% powierzchni obliczeniowej klatki schodowej (A_{ks-o}), jednak nie mniej niż 1 m^2 .

$$A_{cz} = \max(0,05 \times A_{ks-o}; 1) [\text{m}^2]$$

$$\text{Dla } A_{ks-o} = 20,99[\text{m}^2], \quad A_{cz} = 1,05 [\text{m}^2]$$

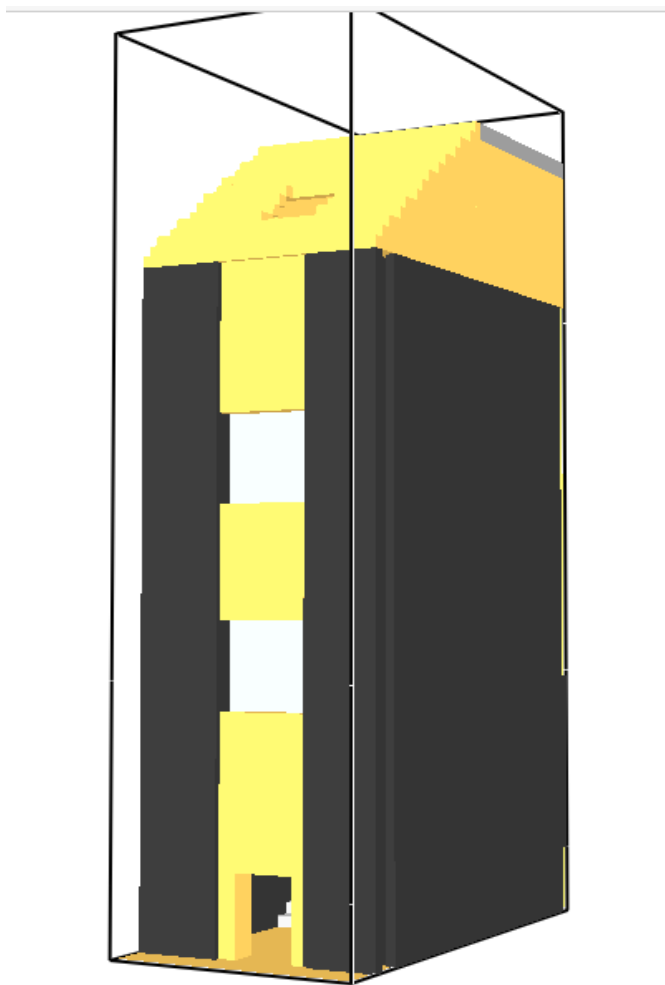
W przypadku rozpatrywania otworu kompensacyjnego w postaci drzwi otwartych pod kątem co najmniej 90° powierzchnię kompensacyjną geometryczną uzyskuje się jako 30 % większą od powierzchni geometrycznej urządzeń oddymiających (tabela nr 1).

$$A_{komp_geom} \geq 1,3 A_{odd_geom}$$

Istnieje zależność, aby powierzchnia czynna takiego otworu (A_{cz_komp}) była równa lub większa od okna odymiającego (A_{cz}).

Analiza porównawcza dwóch scenariuszy polegać będzie na sprawdzeniu skuteczności usuwania dymu z klatki schodowej w czasie oraz w zakresie widzialności w przekroju pionowym klatki schodowej.

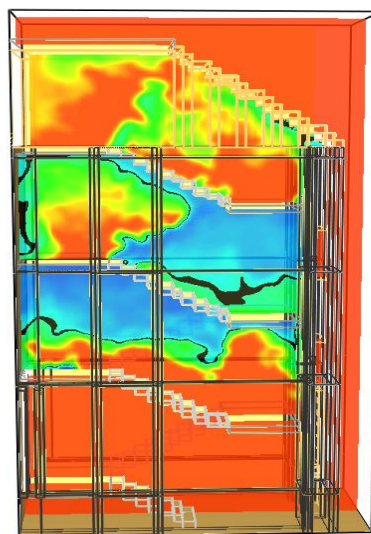
Model klatki schodowej – „pożar testowy” w klatce schodowej



4. WYNIKI SYMULACJI CFD

4.1. Zasięg widzialności w przekroju pionowym– SCENARIUSZ NR 1

Zasięg widzialności w klatce schodowej po 60s (napełnianie klatki dymem testowym)



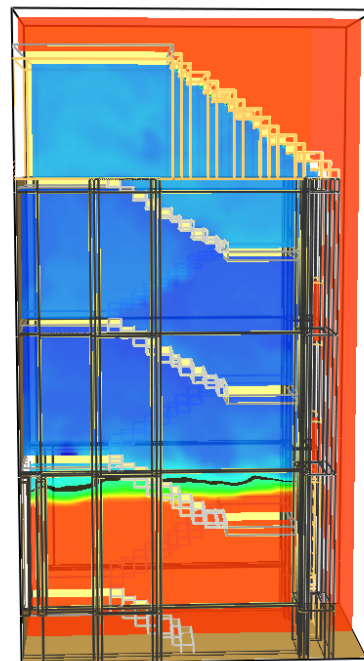
Slice
VIS_CO_9H0.1
m



Time: 60.0

Zasięg widzialności w klatce schodowej po 180 s (napełnianie klatki dymem testowym)

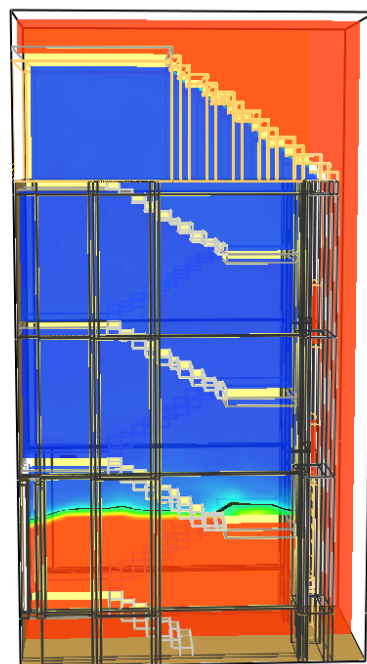
Slice
VIS_CO.9H0.1
m



Time: 180.0

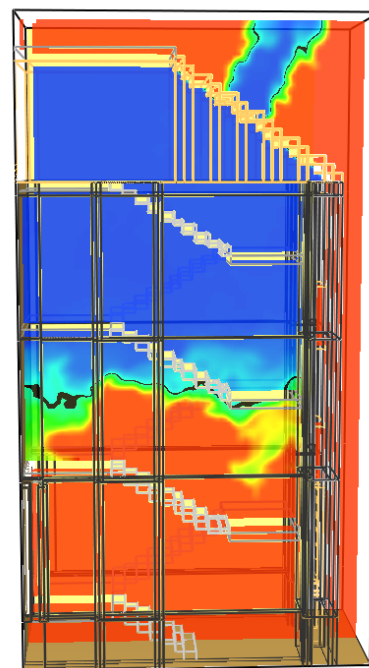


Zasięg widzialności w klatce schodowej po 360 s

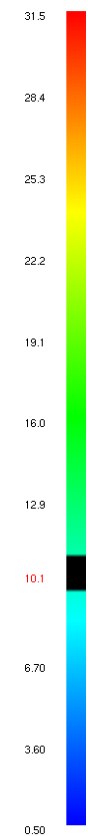


Time: 360.0

Zasięg widzialności w klatce schodowej po 420 s (60 s po uruchomieniu GSO)

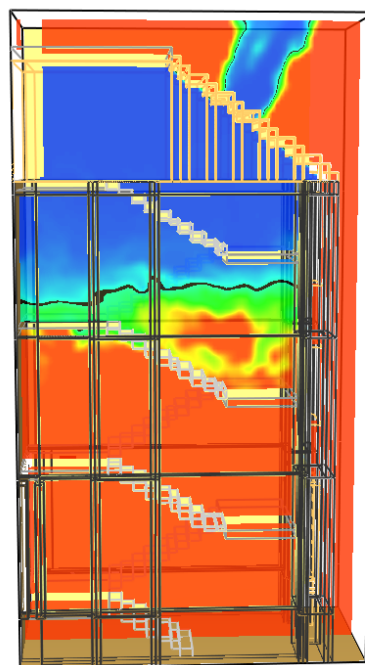


Slice
VIS_CO.9H0.
m

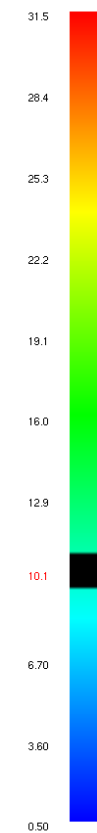


Time: 420.0

Zasięg widzialności w klatce schodowej po 480 s (120 s po uruchomieniu GSO)



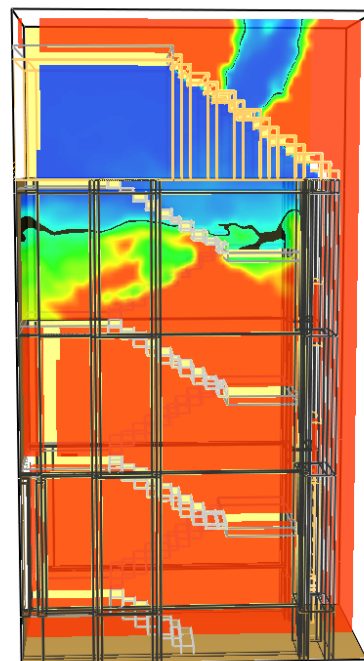
Slice
VIS_CO.9HO.1
m



Time: 480.0

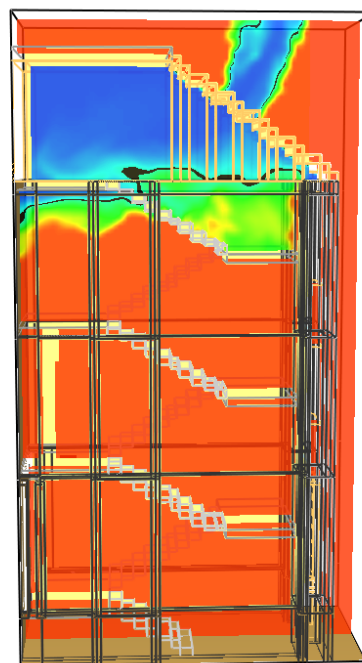
Zasięg widzialności w klatce schodowej po 540 s (180 s po uruchomieniu GSO)

Slice
VIS_C0.9H0.1
m



Time: 540.0

Zasięg widzialności w klatce schodowej po 600 s (240 s po uruchomieniu GSO)

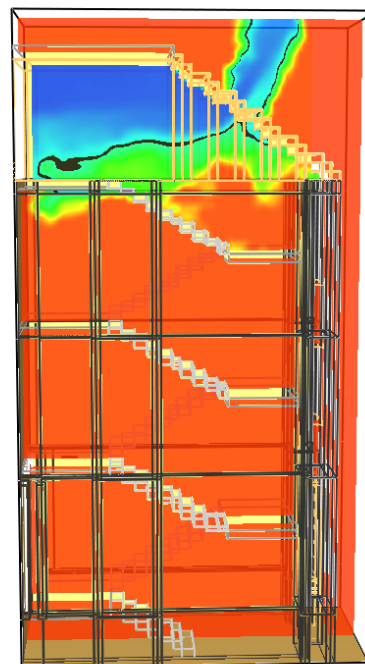


Slice
VIS_CO.9H0.1
m



Time: 600.0

Zasięg widzialności w klatce schodowej po 660s (300 s po uruchomieniu GSO)



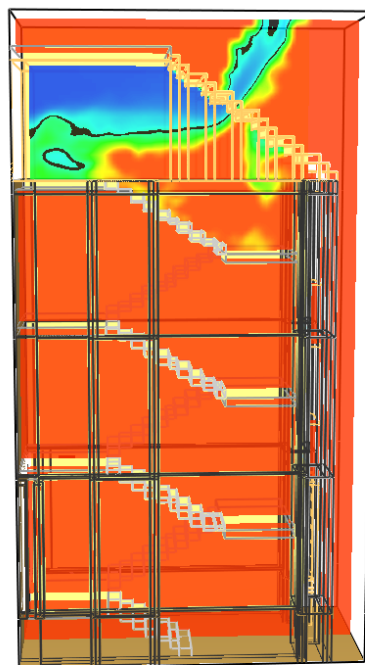
Slice
VIS_CO.9H0.1
m



Time: 660.0

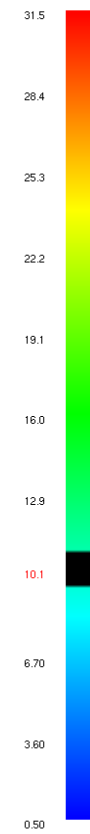
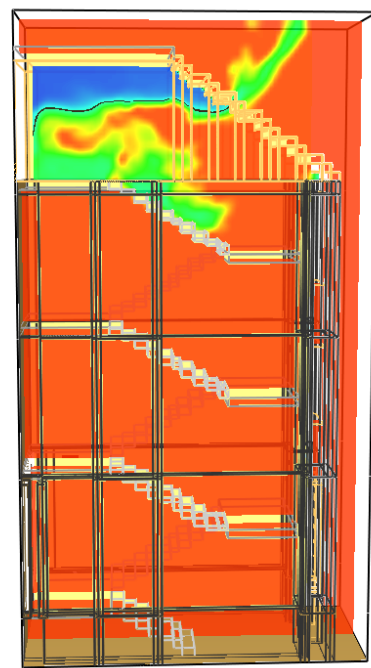
Zasięg widzialności w klatce schodowej po 720 s (360 s po uruchomieniu GSO)

Slice
VIS_CO.9H0.1
m



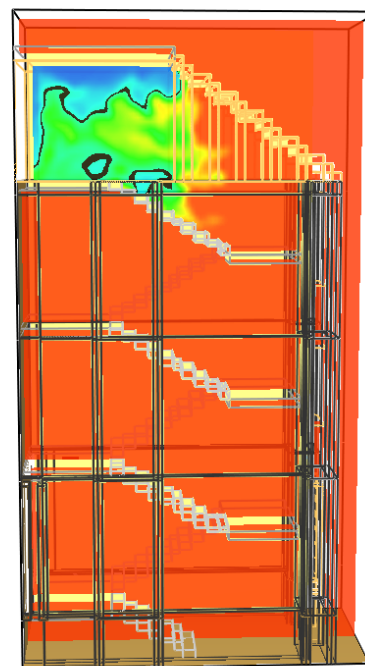
Zasięg widzialności w klatce schodowej po 900 s (540 s po uruchomieniu GSO)

Slice
VIS_CO.9H0.1
m

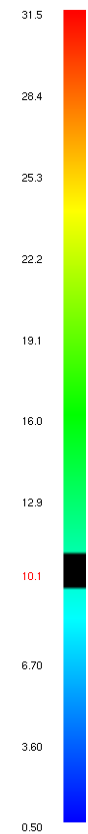


Time: 900.0

Zasięg widzialności w klatce schodowej po 1200 s (840 s po uruchomieniu GSO)



Slice
VIS_CO.9H0.
m



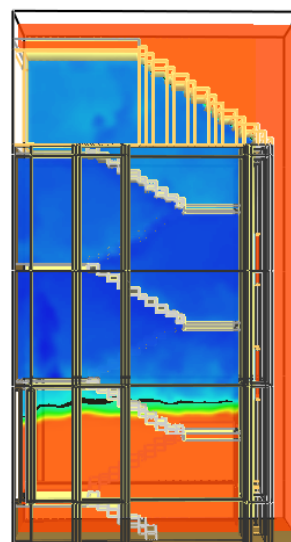
Time: 1200.0

4.2. Zasięg widzialności w przekroju pionowym– SCENARIUSZ NR 2

Zasięg widzialności w klatce schodowej po 60s (napełnianie klatki dymem testowym)



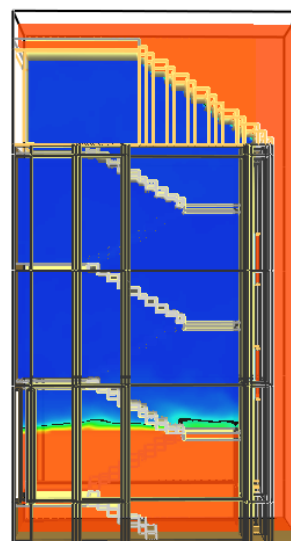
Zasięg widzialności w klatce schodowej po 180 s (napełnianie klatki dymem testowym)



Time: 180.0



Zasięg widzialności w klatce schodowej po 360 s



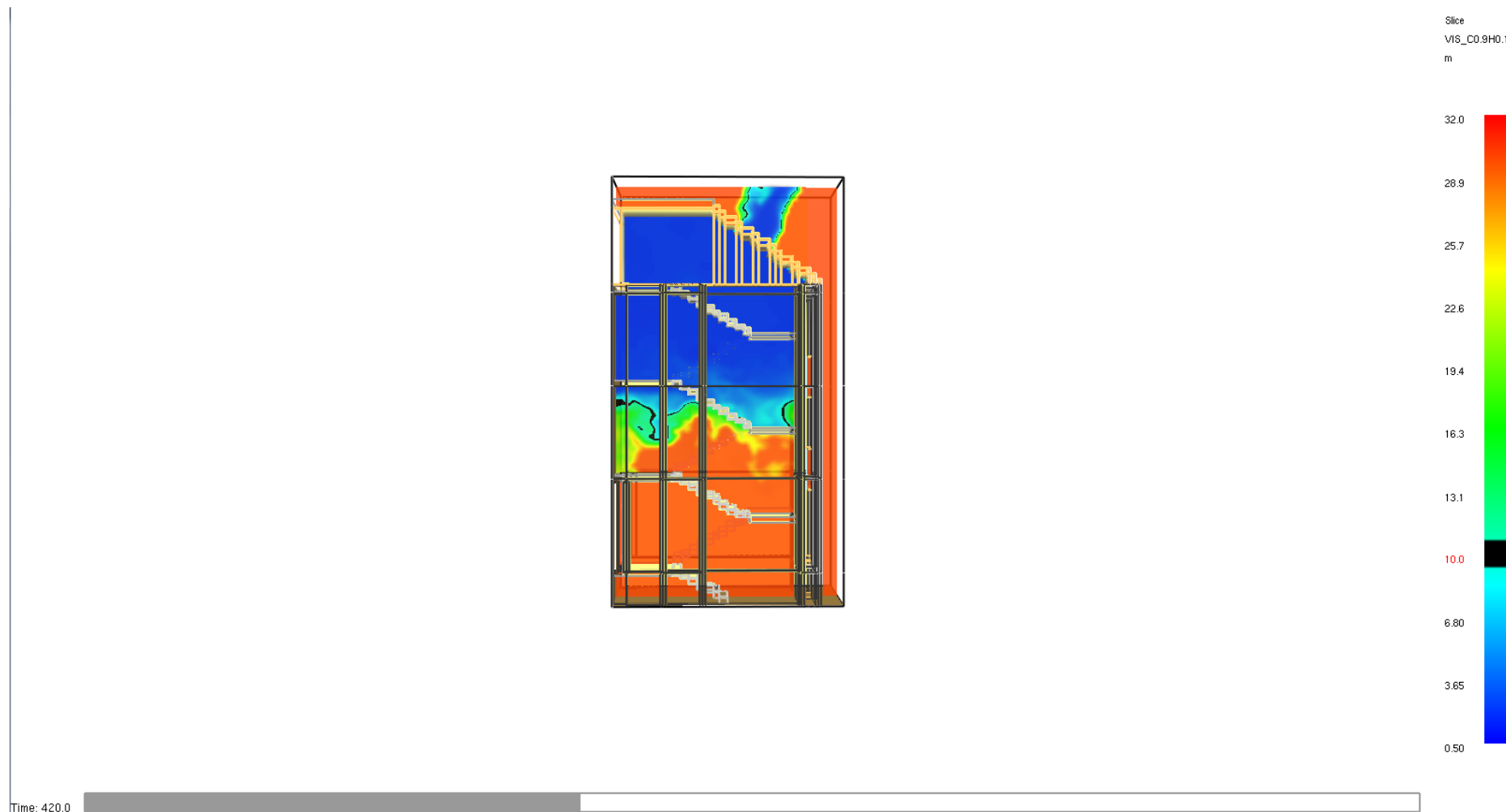
Slice
VIS_CO.9H0.1
m



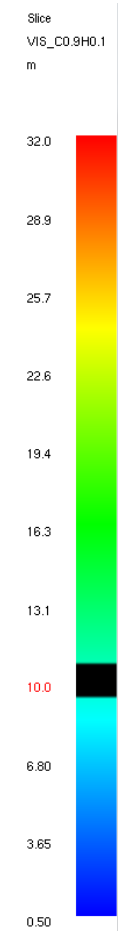
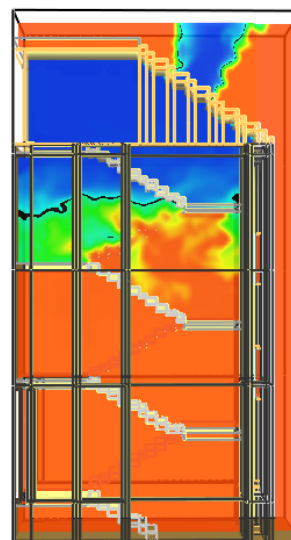
Time: 360.0



Zasięg widzialności w klatce schodowej po 420 s (60 s po uruchomieniu GSO)



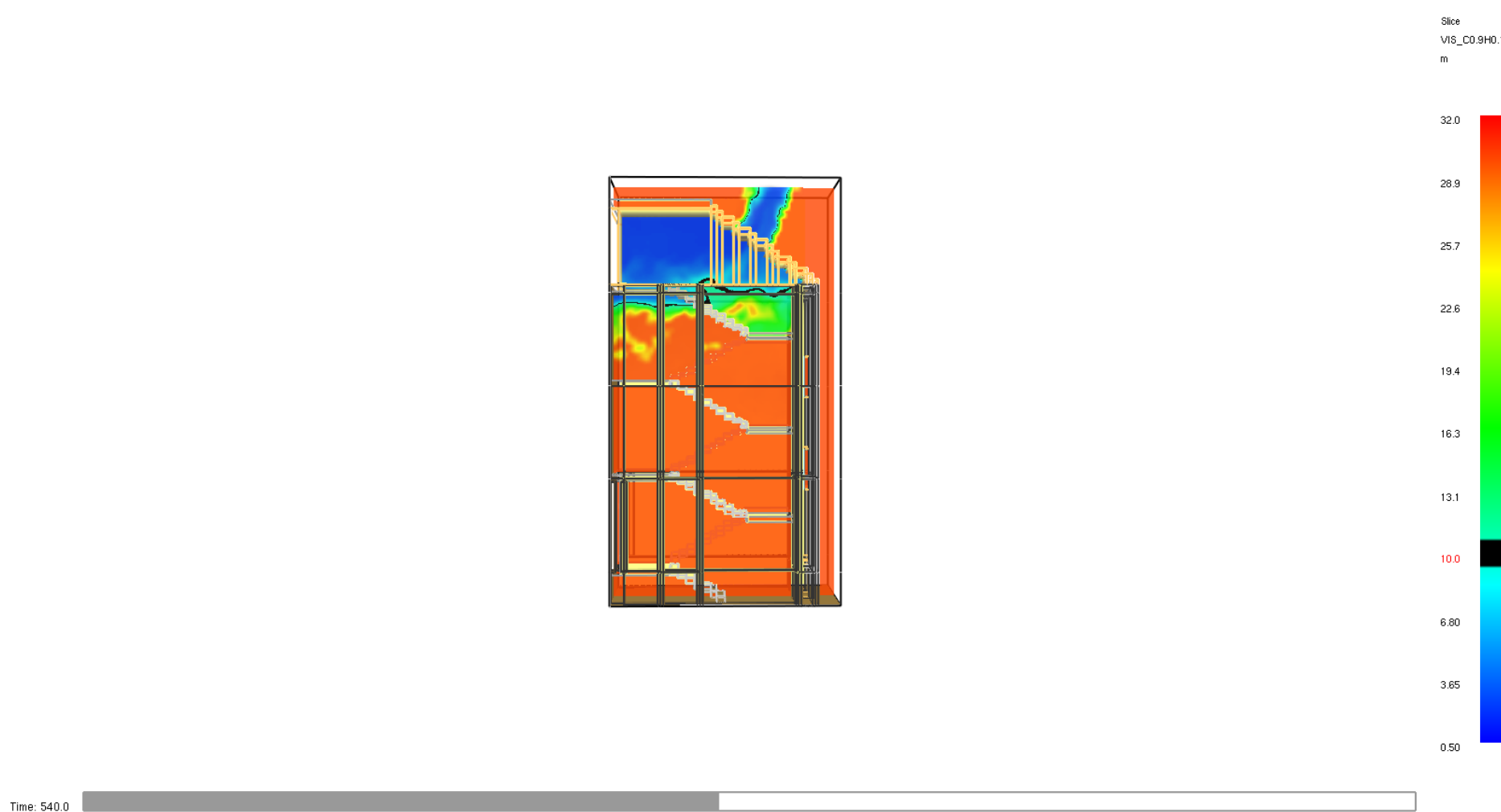
Zasięg widzialności w klatce schodowej po 480 s (120 s po uruchomieniu GSO)



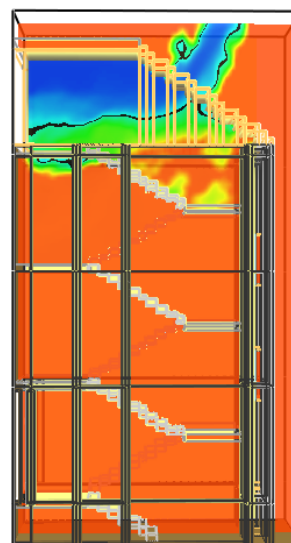
Time: 480.0



Zasięg widzialności w klatce schodowej po 540 s (180 s po uruchomieniu GSO)



Zasięg widzialności w klatce schodowej po 600s (240 s po uruchomieniu GSO)

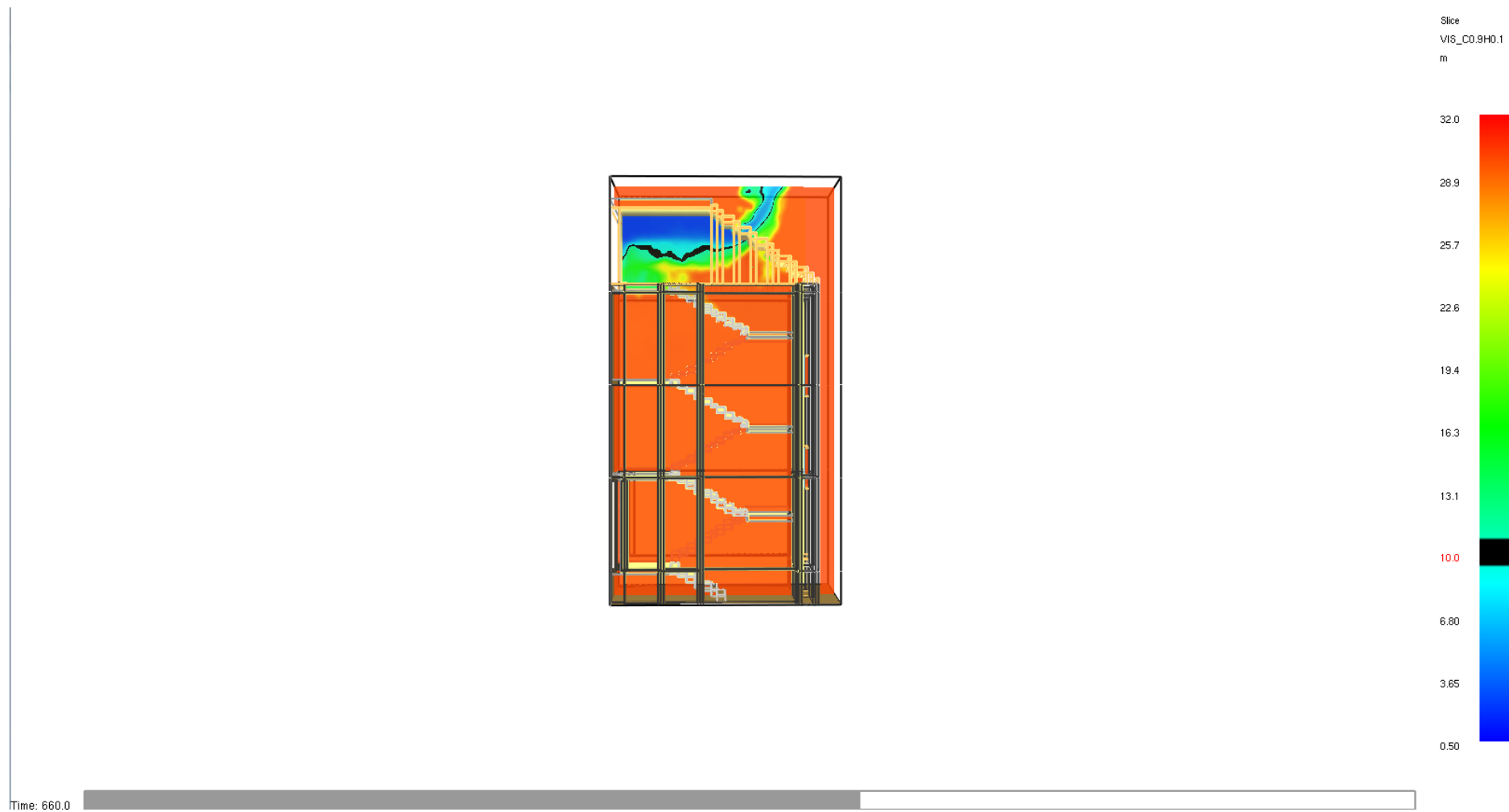


Slice
VIS_CO.9H0.1
m

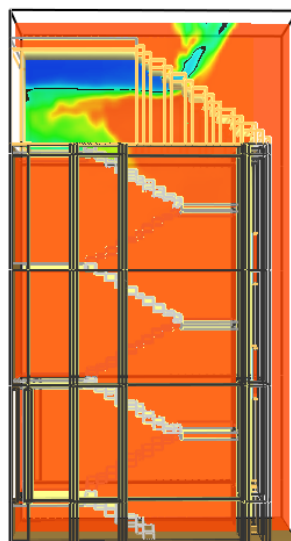


Time: 600.0

Zasięg widzialności w klatce schodowej po 660 s (300 s po uruchomieniu GSO)



Zasięg widzialności w klatce schodowej po 720 s (360 s po uruchomieniu GSO)



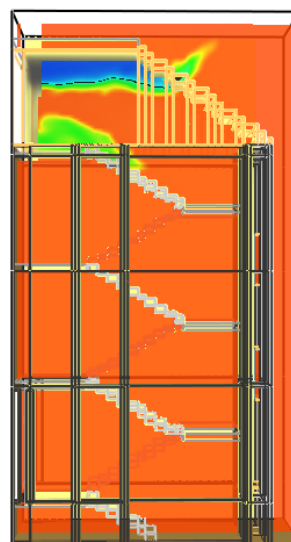
Slice
VIS_CO.9H0.1
m



Time: 720.0



Zasięg widzialności w klatce schodowej po 900 s (540 s po uruchomieniu GSO)



Slice
VIS_CO.9H0.1
m



Time: 900.0



Zasięg widzialności w klatce schodowej po 12000 s (840 s po uruchomieniu GSO)



5. WNIOSKI KOŃCOWE

W przedmiotowym opracowaniu analizowano warunki ewakuacji, jakie zapewniać będą dwie klatki schodowe wyposażone grawitacyjne systemy usuwania dymu, zlokalizowane w budynku Wydziału Ekonomicznego Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego przy ul. Żołnierskiej 47 w Szczecinie

W celu sprawdzenia skuteczności działania grawitacyjnego systemu oddymiania przeprowadzono symulacje CFD dla dwóch scenariuszy:

1. Otwory wlotowe i wylotowe istniejące w omawianych klatkach schodowych.
2. Otwory wlotowe i wylotowe według wytycznych CNBOP-PIB W-0003:2016 oraz PN-B -02877-4:2001.

Podstawowym kryterium analizy CFD klatki schodowej jest czas usuwania dymu. Według wytycznych CNBOP, czas oddymienia klatki schodowej (todd) nie powinien być dłuższy niż wynik iloczynu liczby kondygnacji powyżej źródła testowego (z uwzględnieniem kondygnacji ze źródłem testowym) i średniego czasu usuwania dymu z pojedynczej kondygnacji, wynoszącego 60s na kondygnację.

Rozpatrywane powierzchnie otworów kompensacyjnych i oddymiania w scenariuszu nr 2 (według wytycznych CNBOP-PIB W-0003:2016) pokrywają się z polską normą **PN-B-02877-4**.

Analizując zasięg widzialności należy stwierdzić, że w trakcie trwania usuwania dymu przez GSO (czas liczony od 360 s) przy scenariuszu nr. 1 warunki ewakuacji są znacznie gorsze niż w przypadku scenariusza nr 2. Istniejąca powierzchnia czynna otworu wylotowego jest zbyt mała i nie spełnia wymogów polskiej normy jak również cytowanych wytycznych CNBOP.

Podsumowując należy stwierdzić, iż projektowany grawitacyjny system oddymiania w obu klatkach należy projektować wykorzystując niniejszą analizę. Ze względów praktycznych oraz niewielkich różnic w wielkości klatek schodowych należałoby dobrać jednakowe okna oddymiające. Do celów projektowych należy przyjąć największą powierzchnię klatki schodowej (t.j. 21,65 m²- zgodnie z inwentaryzacją). Wymagana powierzchnia czynna tych okien musi wynosić minimum 5% pow. klat. schodowej czyli 1,09 m². Dachowe okna oddymiające należy sytuować

w górnej 1/3 części wysokości dachu. Powierzchnię otworów kompensacyjnych (napowietrzających) należy wyliczyć jako 130% powierzchni geometrycznej okien. Z uwagi na opracowaną ekspertyzę techniczną dla obiektu i zaproponowane rozwiązania zamienne centralki sterujące oddymianiem muszą mieć możliwość obsługi łącznie: 31 czujek optycznych dymu oraz 10 sygnalizatorów akustycznych (Certyfikowanych jak elementy systemu sygnalizacji pożarowej).

6. BIBLIOGRAFIA

1. Health and Safety Laboratory: Gobeau N., Ledin H.S, Lea C.J. Guidance for HSE Inspectors: Smoke movement in complex enclosed spaces - Assessment of Computational Fluid Dynamics. HSL, 2002.
2. K. McGrattan, S. Hostikka, J. Floyd, R. McDermott. NIST Special Publication 1019-5. Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide. 2010.
3. K. McGrattan, R. McDermott, S. Hostikka, J. Floyd,. NIST Special Publication 1018-
4. Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide. Volume 3: Validation. 2010.
5. Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej, Biuro Rozpoznawania Zagrożeń. Procedury organizacyjno-techniczne w sprawie spełnienia wymagań w zakresie bezpieczeństwa pożarowego w inny sposób niż określono to w przepisach techniczno-budowlanych. 10.2008.
6. NUREG 1824, United States Nuclear Regulatory Commission. Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant applications, Volume 6 Fire Dynamics Simulator. 2007.
7. PN-EN ISO 6946. Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
8. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Third Edition. 2002.
9. Published Document PD 7974-6:2004. The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings. Part 6: Human factors: Life safety strategies-Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6).
10. Foster J. A., Roberts G. V.: Research Report Number 61/1994: „Measurements of the Firefighting Environment”.
11. 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.
12. NFPA 72: National Fire Alarm and Signaling Code. 2013 Edition.
13. Cel i metodyka prowadzenia analizy CFD dr inż. G. Sztarbała