

RAPORT

z wykonania symulacji pożaru dotyczącej skuteczności oddymiania grawitacyjnego w klatce schodowej

Obiekt: Liceum Ogólnokształcące nr 1
Inwestor: pl. Krasińskiego 1, 34-400 Nowy Targ
Wykonawca: ATŁAS-POŻ Tymbark 330; 34-650 Tymbark
Podstawa: Zlecenie

Wykonał:	mgr inż. poż. Jacek Atlas <i>Inspektor ochrony p.poż.</i> <i>mgr inż. poż. Jacek Atlas</i>
----------	--

Wer. 1.4 Tymbark 10.2022.

Komenda Wojewódzka
Państwowej Straży Pożarnej
w Krakowie
Wydział Przeciwdziałania Zagrożeniom

1. Charakterystyka użytego programu CFD

1.1. Nazwa programu, wersja, producent.

Do przeprowadzenia szczegółowej analizy oraz otrzymania wyników zawartych w raporcie wykorzystany został program *Fire Dynamics Simulator* wersja 6.7, który jest narzędziem opracowanym przez amerykański instytut naukowo-badawczy **NIST** (*National Institute of Standards and Technology*). Program jest znany oraz stosowany w środowisku inżynierów, pracowników i studentów wyższych uczelni technicznych 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 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 [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.

1.2. Model turbulencji

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

1.3. Model spalania

Użyto modelu *Mixture Fraction*. Model ten przyjmuje następujące uproszczenia:

- 1) 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),
- 2) spalanie następuje natychmiast po zmieszaniu,
- 3) spalanie jest jednoetapowe i całkowite,
- 4) 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 jak ma to miejsce w założonych scenariuszach.

1.4. 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 30%.

1.5. Rodzaj i gęstość siatki obliczeniowej

Użyto siatki regularnej sześcienniej o boku 10 cm. Domena obliczeniowa została podzielona na 4 sieci obliczeniowe.

Komenda Wojewódzka
Państwowej Straży Pożarnej
w Krakowie
Wydział Przeciwdziałania Zagrożeniom

2. Warunki początkowe i brzegowe

2.1. Początkowa temperatura wewnętrzna i zewnętrzna

Przyjęto początkową temperaturę wewnątrz i na zewnątrz obiektu równą 28°C. Taki układ symuluje minimalny wpływ warunków atmosferycznych na skuteczność wentylacji oddymiającej grawitacyjnej.

Wpływ wiatru w układzie niekorzystnym tj „ścinania” słupa dymu na granicy otworów oddymiających oraz napór wiatru zostanie poddany analizie w oddzielnym opracowaniu uwzględniającym średnie prędkości wiatru.

2.2. Materiały elementów budowlanych

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

Tabela 1. Właściwości materiałów budowlanych, wprowadzonych do programu **FDS**.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [6]

Materiał	Gęstość [kg/m ³]	Ciepło właściwe [kJ/kg·K]	Współczynnik przewodzenia ciepła [W/m·K]
Żelbet/elementy murowe	2500	0,84	1,70
szkło	2800	0,75	1,3

2.3. Czas symulacji i krok czasowy

Jako czas symulacji przyjęto czas 1200 sekund. Krok czasowy jest ustalany automatycznie na podstawie liczby **CFL**.

Komenda Wojewódzka
Państwowej Straży Pożarnej
w Krakowie
Wydział Przeciwdziałania Zagrożeniom

3. Cel symulacji:

Potwierdzenie skuteczności funkcjonowania systemu oddymiania klatki schodowej

Warunki systemu oddymiania grawitacyjnego :

- 1) po uruchomieniu systemu (po czasie 360 s) dym przemieszcza się w kierunku urządzeń oddymiających;
- 2) czas oddymiania klatki schodowej (todd) dla systemów grawitacyjnych nie określa się
- 3) przedmiotowa symulacja ma odpowiedzieć na pytanie czy układ architektoniczny klatki schodowej oraz lokalizacja otworu napowietrzającego, oraz otworów oddymiających oraz ich powierzchnie zapewnią skuteczne oddymienie klatki poddanej analizie.
- 4) dla sprawdzenia działania systemu przeprowadzono symulację pożaru na pierwszej kondygnacji nadziemnej
- 5) do symulacji uwzględniono nieuszczelności na otworach drzwiowych prowadzących do klatki schodowej.

4. Opis pracy systemu wentylacji pożarowej:

Analizowana klatka schodowa o pow. ok 34,4 m². (największy rzut poziomy klatki) Do oddymiania przyjęto system grawitacyjnej wentylacji oddymiającej sprzężonej z otworem napowietrzającymi na przyziemiu o pow. 3 m² (okno - drzwi ścienne na wysokości spocznika -1,05). Do oddymiania przyjęto okno ścienne na wysokości spocznika piętrowego (+11.05) ostatniej kondygnacji o pow. czynnej oddymiania 0,764 m². i pow. geometrycznej 1,862 m². oraz okno oddymiające w połąci o pow 1,4x1,14 o pow czynnej oddymiania 0,8 m². Sumaryczna pow. czynna oddymiania to 1,564 m² Otwór napowietrzający i oddymiający uruchamiane są automatycznie z centrali oddymiania.

W symulacji uwzględniono układ otworów oraz ich parametry na podstawie danych podanych przez projektanta. Powierzchnia otworów ze względu na układ konstrukcyjny i ograniczenia Konserwatora Zabytków jest mniejsza niż wymagane 5% największego rzutu poziomego.

Komenda Miejska Państwowa Straż Pożarna
w Krakowie
Wydział Przeciwdziałania Pożarom

5. Scenariusz pożarowy:

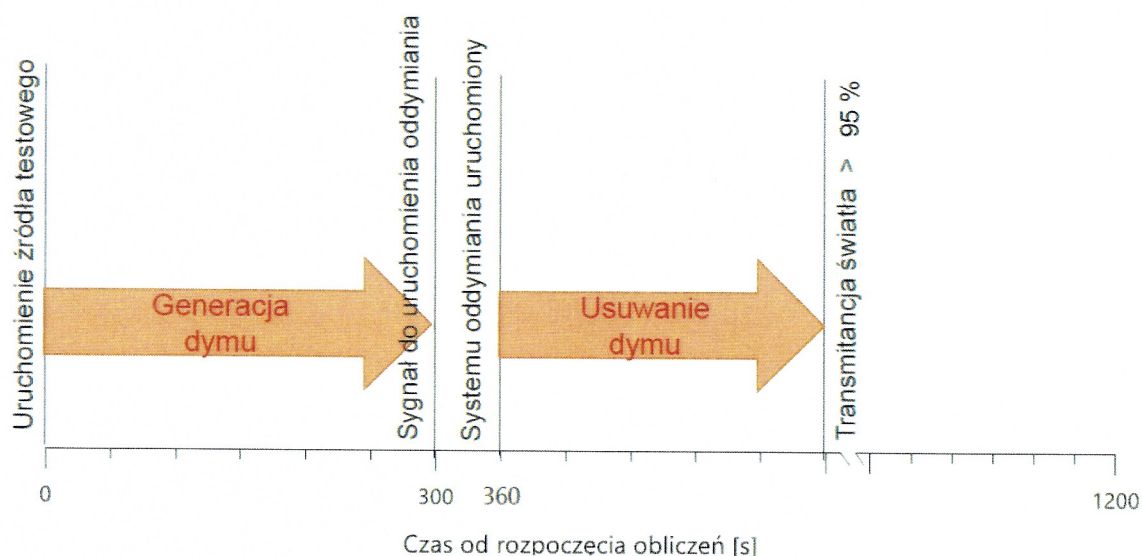
5.1. Przyjęte scenariusze rozwoju pożaru

W celu określenia prawidłowości zaprojektowania instalacji oddymiających założono następujący scenariusz pożarowy:

- źródło testowe zostało umieszczone na kondygnacji parteru.

Etapy symulacji

- 1) uruchomienie źródła testowego, generacja dymu do 300 sekundy
- 2) uruchomienie systemu oddymiania do 360 sekundy
- 3) Usuwanie dymu
- 4) Transmittancja światła $> 95\%$ jako moment skutecznego oddymienia



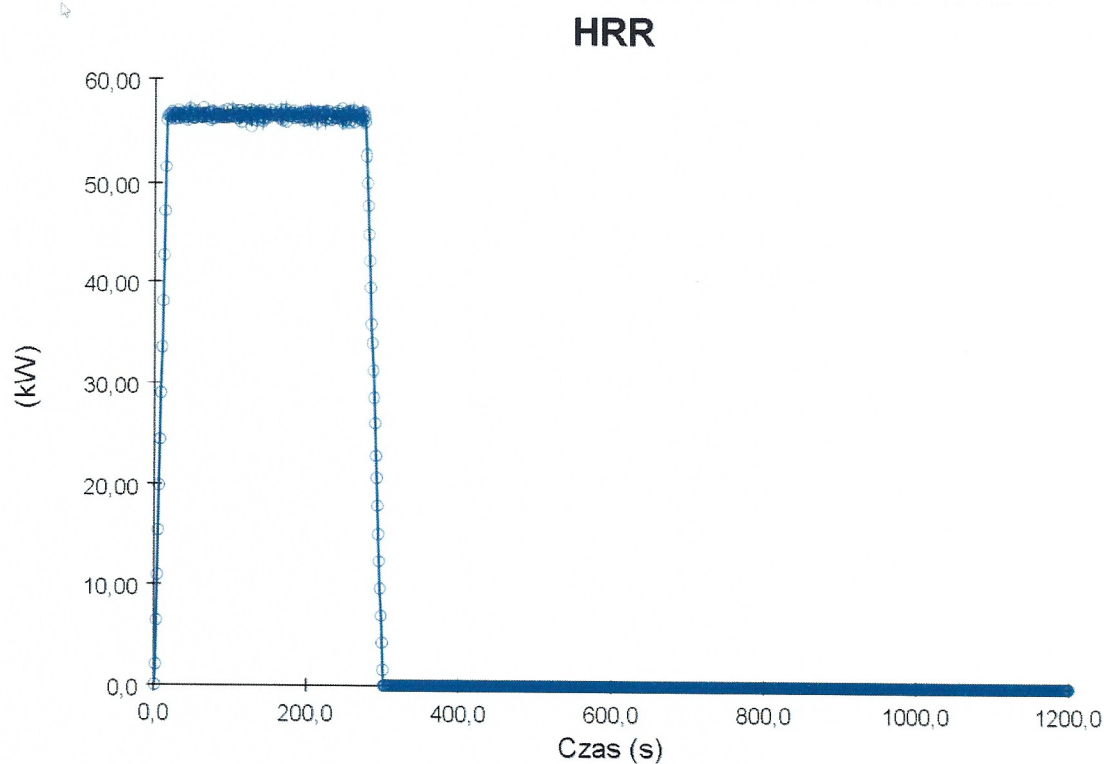
6. Przyjęte parametry pożaru

Dane wyjściowe takie jak: moc pożaru na jednostkę powierzchni oraz powierzchnia pożaru zostały wprowadzone w oparciu o wytyczne **CNBOP –PIB W-0003:2016**

- powierzchnia źródła testowego 0,30x0,45m
- całkowity strumień ciepła wydzielany z jednostki powierzchni źródła testowego wynosi min 471KW/ m²
- promieniowanie cieplne 30% całkowitej mocy źródła testowego.

komenda Wojewódzka
Państwowej Straży Pożarnej
Wydział Przeciwdziałania Zagrożeniom

Krzywa mocy pożaru wygenerowana przez program FDS:



Rys.3 – Krzywa rozwoju mocy pożaru

6.1. Przyjęte parametry paliwa:

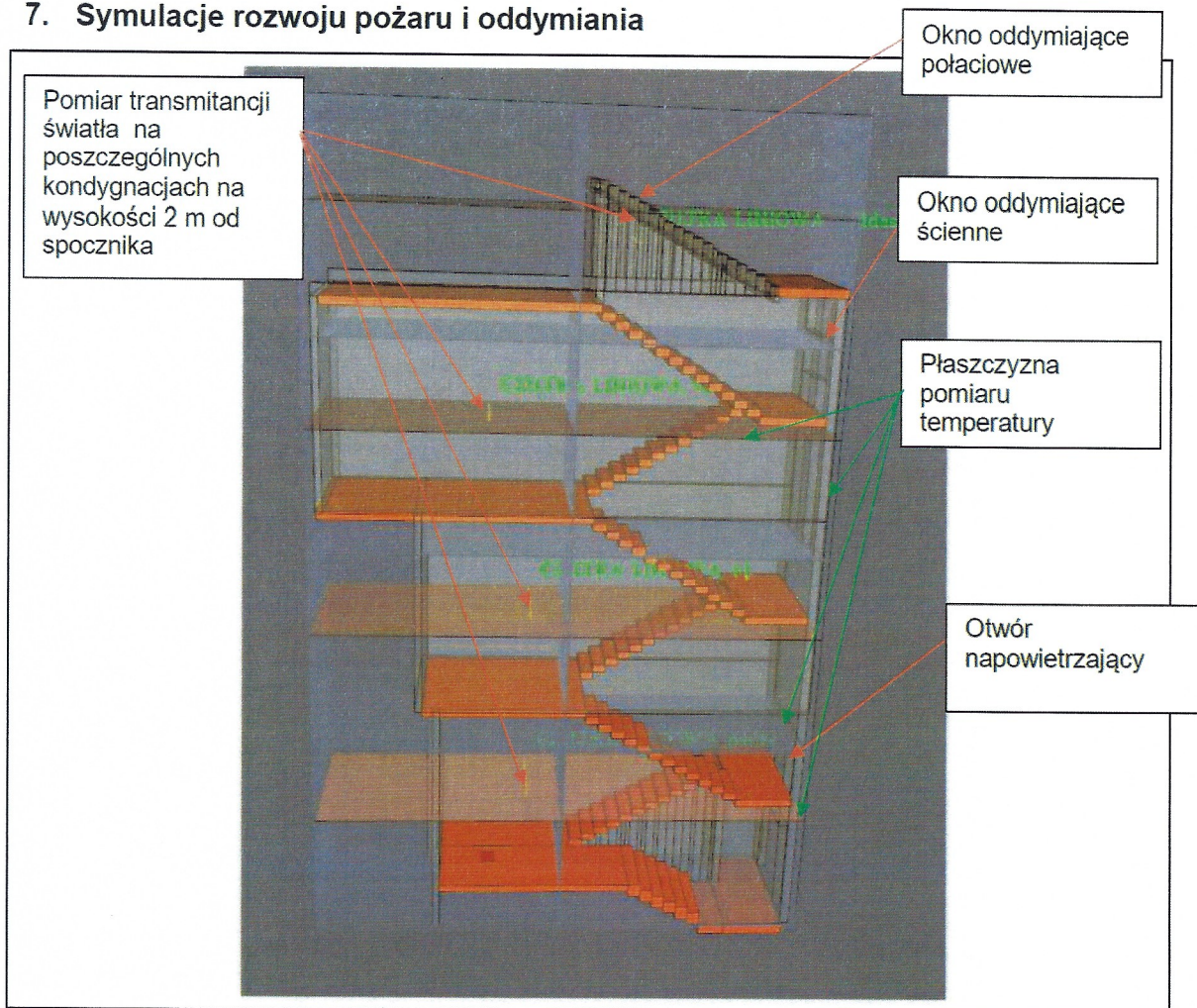
Jako materiał palny przyjęto etanol (C_2H_5OH)

Tabela 3. Właściwości materiału spalanego użyte w symulacji.

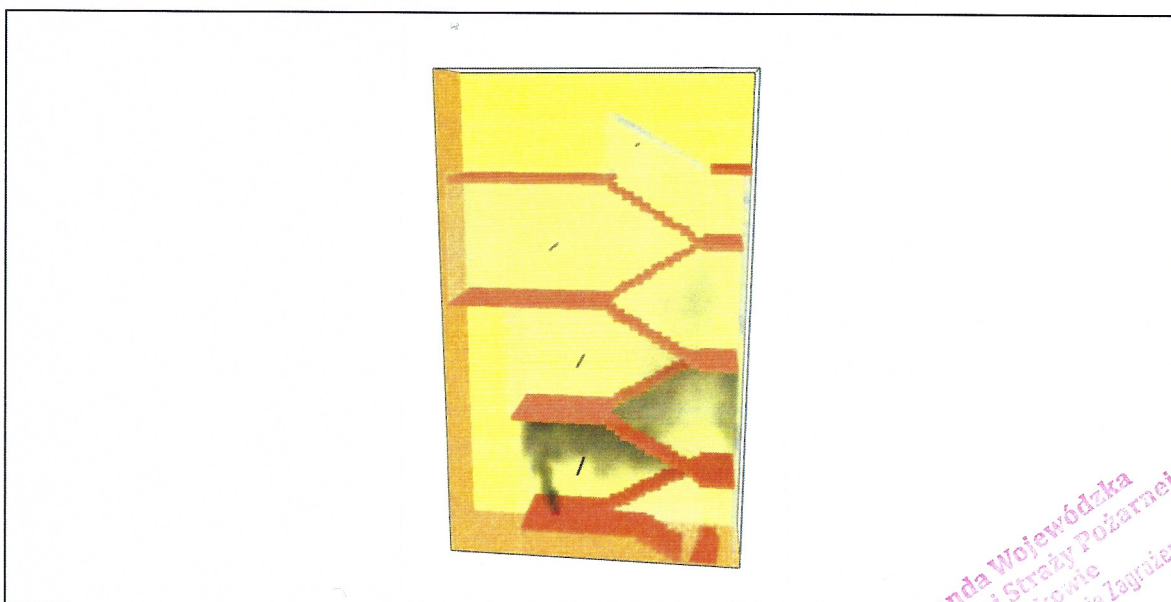
Ciepło spalania [KJ/kg]	26 780
Ułamek masowy dymu [kg_{dymu}/kg_{paliwa}]	0,05

Komenda Powiatowa
Państwowej Straży Pożarnej
w Krakowie
Wydział Przeciwdziałania Złupieniu

7. Symulacje rozwoju pożaru i oddymiania

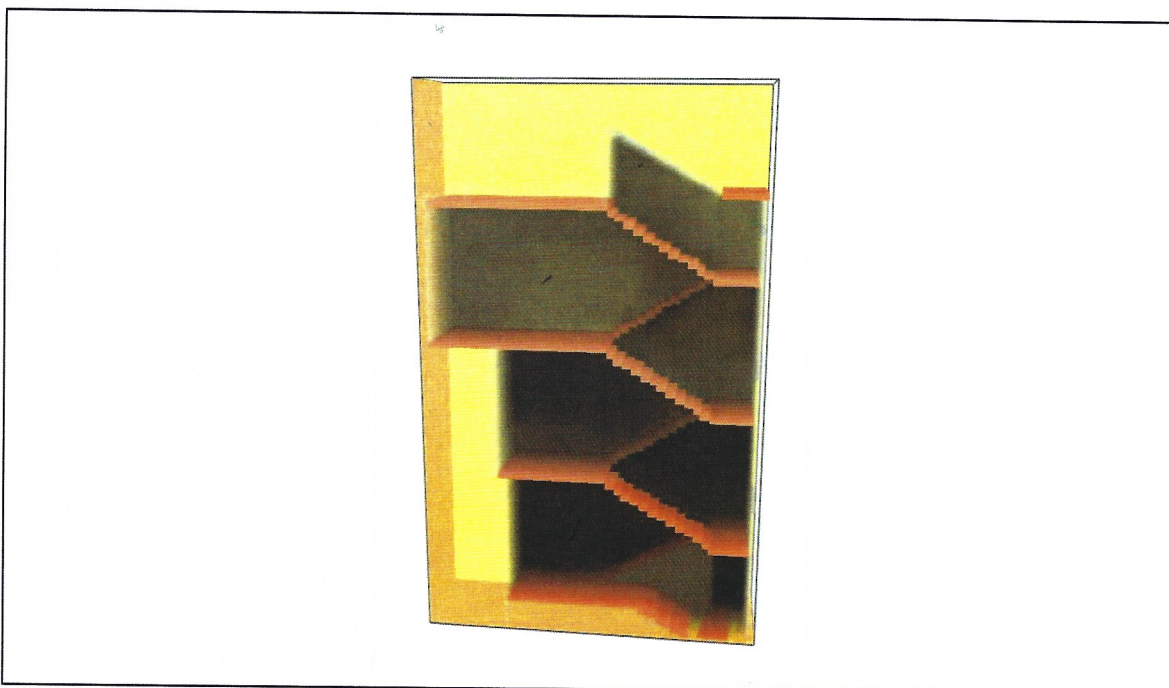


Rys. 1 – Przyjęty model do symulacji

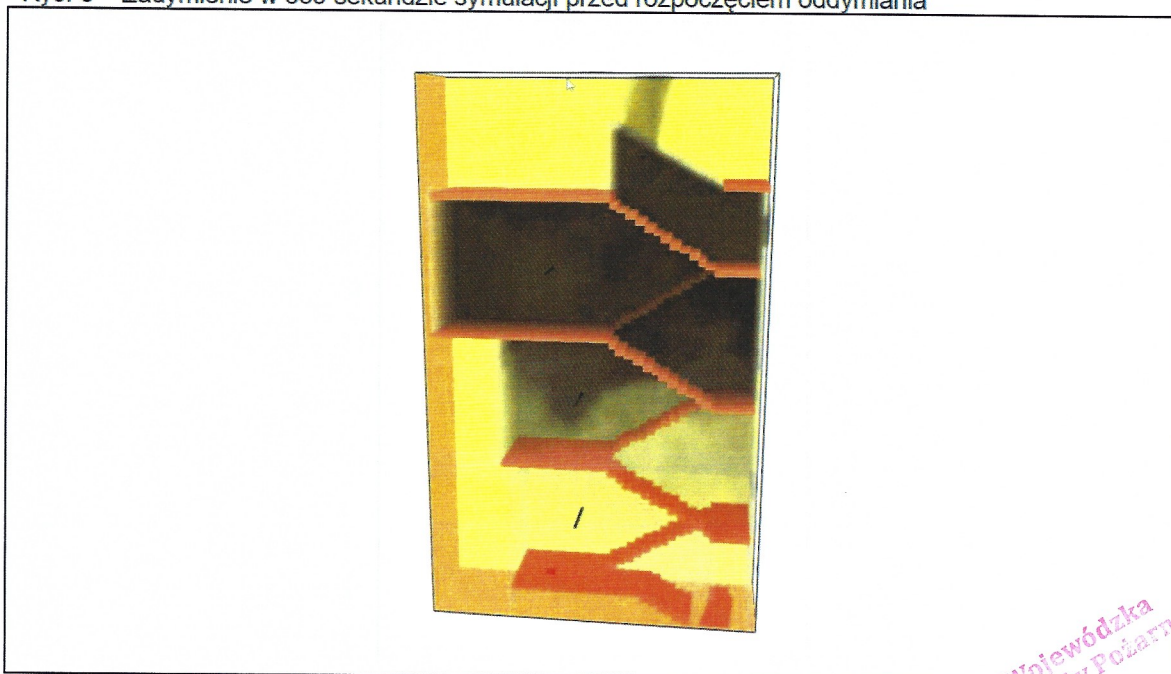


Rys.2 – Zadymienie w 30 sekundzie symulacji

Komenda Wojewódzka
Państwowej Straży Pożarnej
w Krakowie
Wydział Przeciwdziałania Zagrożeniom

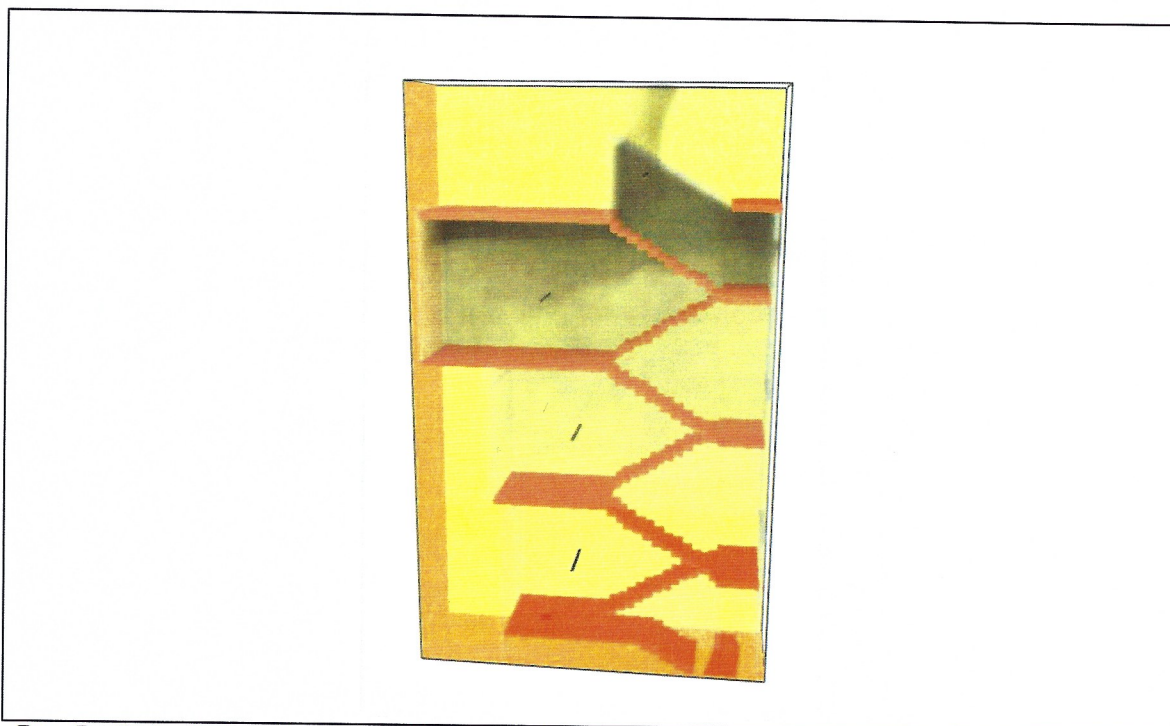


Rys. 3 – Zadymienie w 359 sekundzie symulacji przed rozpoczęciem oddymiania

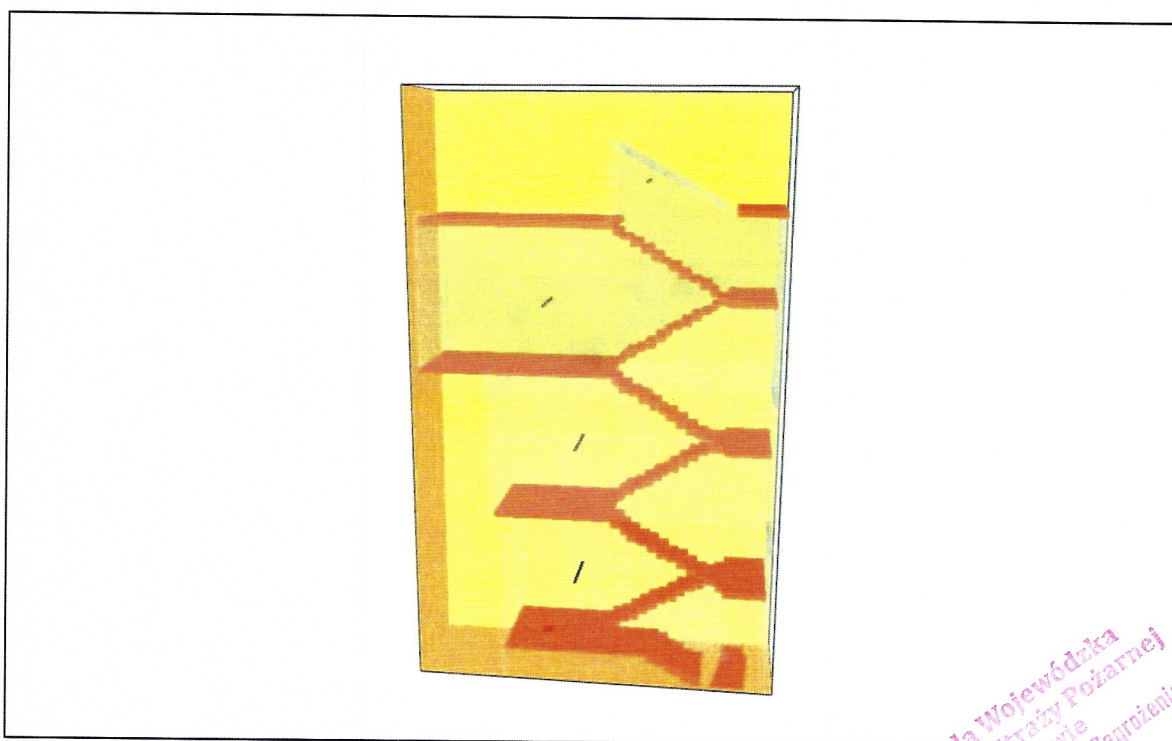


Rys.4 – Zadymienie w 430 sekundzie symulacji. (70s. oddymiania)

Komenda Wojewódzka
Państwowej Straży Pożarnej
w Krakowie
Wydział Przeciwdziałania Zagrożeniom



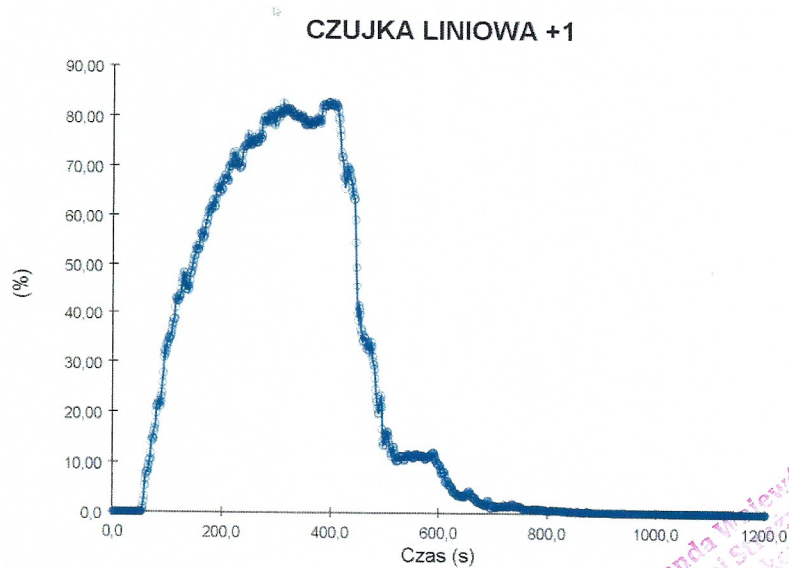
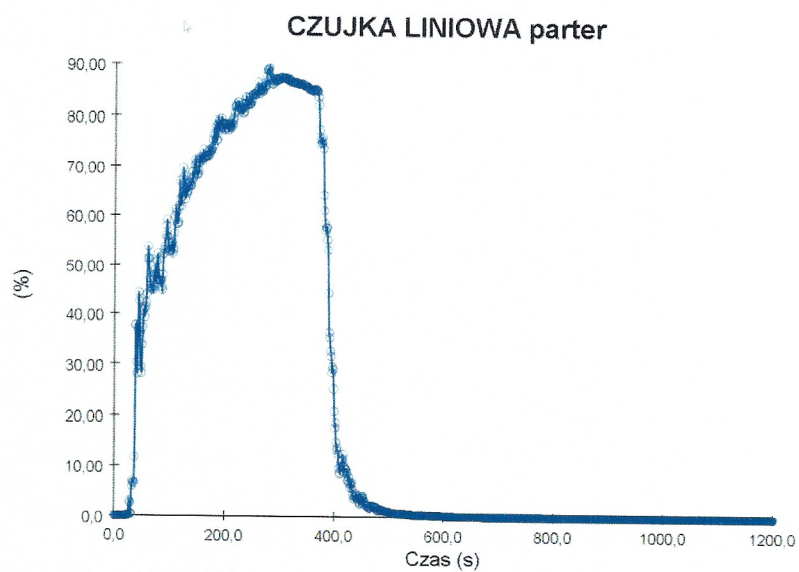
Rys. 5 – Zadymienie w 610 sekundzie symulacji (250 s oddymiania)



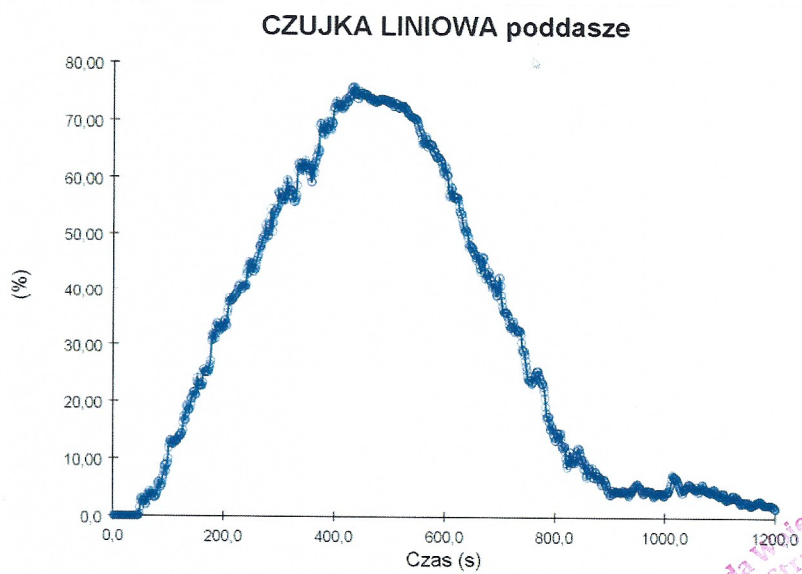
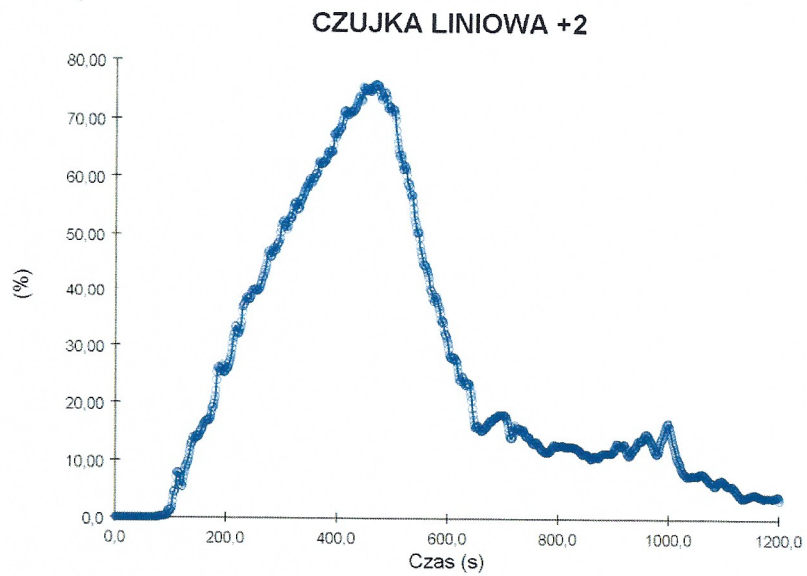
Rys. 6 – Zadymienie w 1040 sekundzie symulacji (680 s oddymiania)

Komenda Wojewódzka
Państwowej Straży Pożarnej
w Krakowie
Wydział Przeciwdziałania Zagrożeniom

Poniżej przedstawiono wykres transmitancji światła na wysokość 2m nad każdym spocznikiem

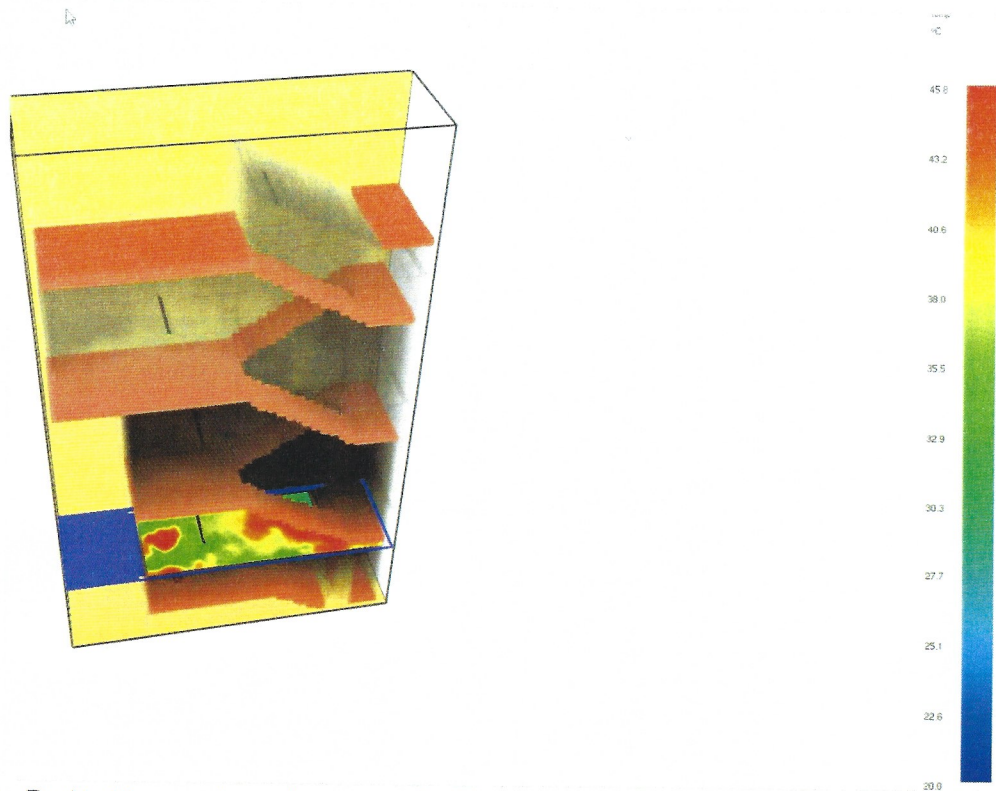


Komenda Wojewódzka
Państwowej Straży Pożarnej
w Krakowie
Wydział Przedwzrostu i Zegrowaniem

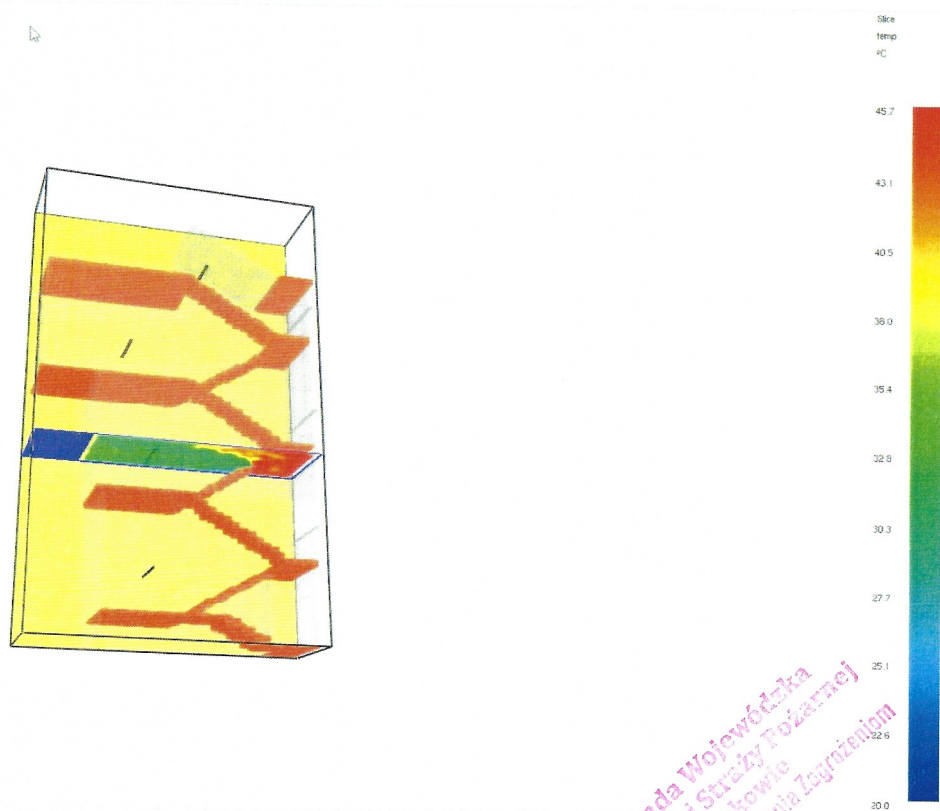


Rys. 7 – Wykres transmitancji światła na wysokości 2 m nad poszczególnymi spocznikami

Komenda Miejska
 Państwowej Straży Pożarnej
 w Krakowie
 Wydział Prezentowania Zagrożeń

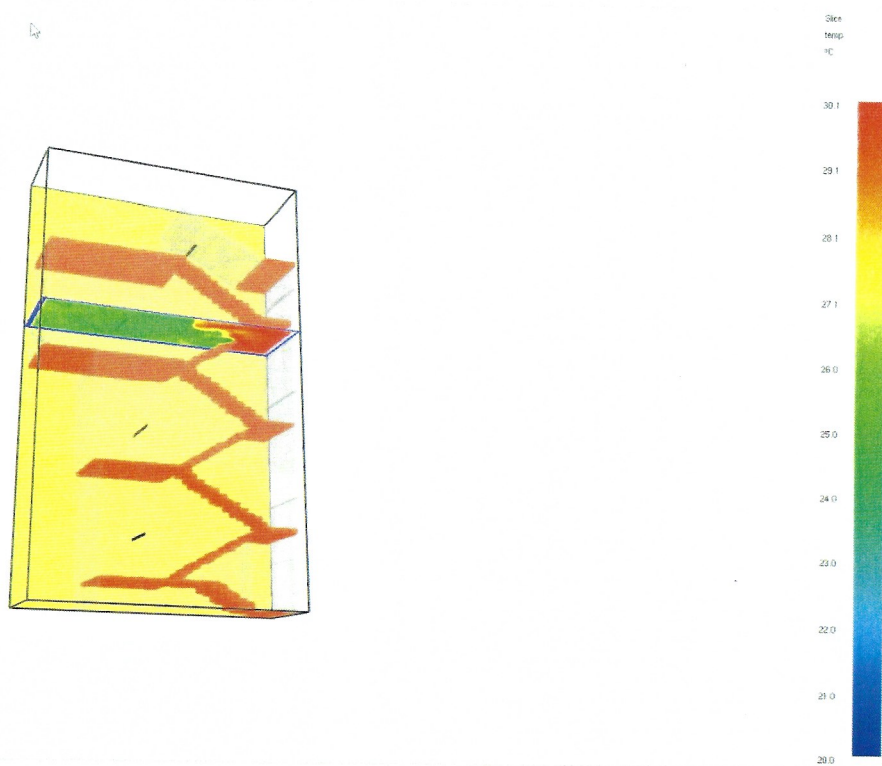


Rys. 8 – Rozkład temperatur parter na wysokości 1,8 m

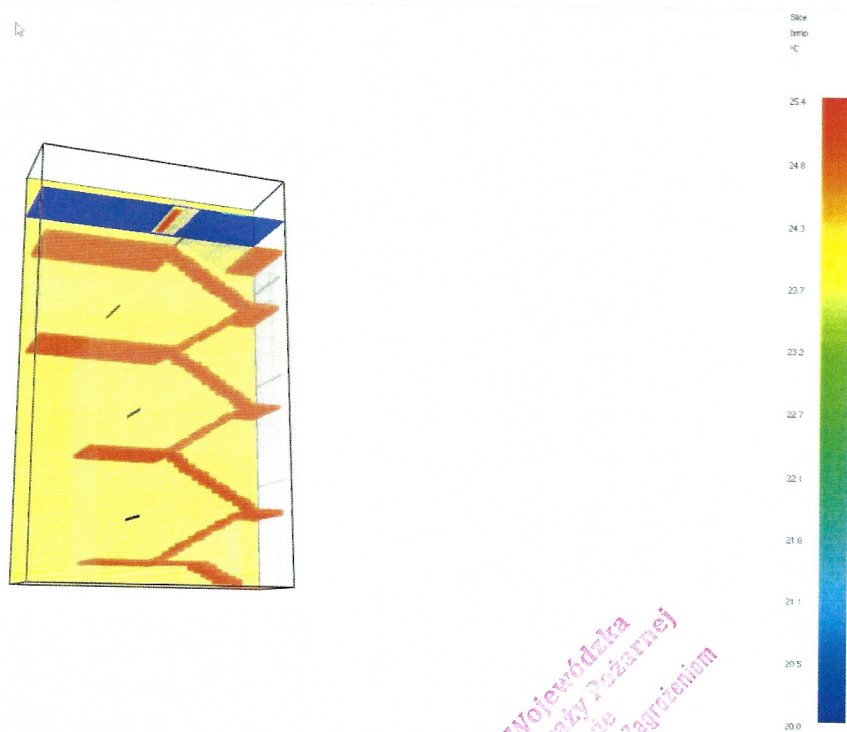


Rys. 9 – Rozkład temperatur kondygnacja +1 na wysokości 1,8 m

Komenda Wojewódzka
Państwowej Straży Pożarnej
w Krakowie
Wydział Przedziałów i Zgromadzeń



Rys. 10 – Rozkład temperatur kondygnacja +2 na wysokości 1,8 m



Rys. 11 – Rozkład temperatur poddasze na wysokości 1,8 m

Komenda Wojewódzka
Państwowej Straży Pożarnej
w Krakowie
Wydział Przeciwdziałania Zagrożeniom

8. Wnioski:

Zgodnie z przyjętymi założeniami do symulacji CFD oddymiania klatek schodowych (Wytyczne CNBOP PIP W-0003:2016 Wyd 2). Dla poszczególnych kondygnacji bezpieczne warunki ewakuacji zostały osiągnięte po czasie [s], od rozpoczęcia oddymiania. Parter; 70 s. ,Kondygnacja +1; 250 s, Kondygnacja +2; 680 s, Poddasze; 640 s. Wydłużenie czasu oddymiania na kondygnacji +2 wynika ze znacznie większej powierzchni spocznika piętrowego w odróżnieniu od pozostałych kondygnacji oraz odległości od drzwi kondygnacji do środkowej części klatki schodowej. W żadnym miejscu klatki schodowej nie mamy zalegania dymu w czasie oddymiania. Zasymulowane zadymienie równomiernie jest przemieszczane w kierunku otworów oddymiających. Niespełnienie parametru 5% pow. czynnej otworów oddymiających nie wpłynęło niekorzystnie na proces oddymiania w zakresie przyjętych założeń wstępnych. Istniejące rozbieżności w stosunku od wymaganej a założonej pow. czynnej wynika z faktu, że tylko na jednej kondygnacji mamy powiększenie klatki schodowej. Na pozostałych kondygnacjach rzut poziomy klatki schodowej jest znacząco mniejszy. Ponadto jak zostało to wskazane powyżej maksymalna temperatura w czasie symulacji nie przekroczyła temp 45,8 °C.

Reasumując powyższe ustalenia można przyjąć, że przyjęte założenia dla oddymiania grawitacyjnego zapewniają dobre warunki ewakuacji.

Przy zmianie znaczącej lokalizacji otworu napowietrzającego i oddymiającego należy wykonać sprawdzenie poprawności przyjętych zmian.

9. 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 1018-5. *Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide. Volume 3: Validation.* 2010.

Komenda Województwa
Państwowego Zarządu
Wydział Pracy i Bezpieczeństwa

- [4] **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.
- [5] **Wytyczne CNBOP-PIB W-0003:2016**
- [6] PN-EN ISO 6946. Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
- [7] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Third Edition. 2002.

Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej
w/ Rozpoznawania Zagrożeń
Wydział Przedziałów i Stacji