

F&K Group Sp. z o. o.
ul. Zbigniewa Romaszewskiego 6 lok. B3
01-892 Warszawa
tel.: 22 740 32 32
tel.: 507 821 449 • 723 339 800
www.fkce.pl • biuro@fkce.pl

Studio Wentylacji Wojciech Łochnicki
ul. Jacka Bierezina 31, 94-239 Łódź
NIP: 7272633349

Nazwa opracowania:	Wykonanie raportu z symulacji CFD działania grawitacyjnego systemu oddymiania z nawiewem mechanicznym dla głównej klatki schodowej budynku NSA w Warszawie przy ul. Jasnej 2/4
Obiekt:	Budynek Naczelnego Sądu Administracyjnego
Adres:	Ul. Jasna 2/4 Warszawa
Inwestor:	Skarb Państwa – Naczelny Sąd Administracyjny z siedzibą w Warszawie (00-011), ul. Gabriela Piotra Boduena 3/5, NIP: 5251568048 REGON: 000849310

Analiza skuteczności działania systemu wentylacji oddymiającej klatkę schodową w budynku administracyjnym przy ul. Jasnej 2/4 w Warszawie

Branża:	Sanitarna / Ochrona przeciwpożarowa	Nr projektu: 2249
---------	--	-----------------------------

Opracował:	Podpis:
mgr inż. Artur Majka	Artur Majka <i>Artur Majka</i> mgr inż. pożarnictwa
Sprawdził:	Podpis:
mgr inż. Mateusz Fliszkiewicz	Mateusz Fliszkiewicz <i>Mateusz Fliszkiewicz</i> mgr inż. pożarnictwa

Warszawa, czerwiec 2024

Spis treści

1. Dane ogólne	3
2. Koncepcja oddymiania klatki schodowej	4
3. Symulacje CFD	5
4. Wyniki symulacji CFD	10
5. Wnioski	22
6. Bibliografia	24

1. DANE OGÓLNE

1.1. PRZEDMIOT OPRACOWANIA

Niniejsze opracowanie stanowi raport z symulacji CFD zawierający sprawdzenie skuteczności działania projektowanego systemu grawitacyjnej wentylacji oddymiającej z nawiewem mechanicznym dla klatki schodowej w budynku administracyjnym zlokalizowanym przy ul. Jasnej 2/4 w Warszawie.

1.2. CEL OPRACOWANIA

Celem opracowania jest sprawdzenie skuteczności działania systemu wentylacji oddymiającej klatkę schodową w budynku administracyjnym. W tym celu wykonana została analiza projektowanego grawitacyjnego systemu oddymiania z nawiewem mechanicznym. System został oparty na automatycznie otwieranych oknach oddymiających zlokalizowanych na piątym piętrze budynku oraz na wentylatorze napowietrzającym. Głównym kryterium oceny skuteczności systemu jest zdolność do oczyszczania klatki schodowej z dymu.

1.3. PODSTAWA OPRACOWANIA

Podstawą opracowania są:

- a) zlecenie inwestora,
- b) projekt budowlany architektoniczno-konstrukcyjny,
- c) obowiązujące przepisy przeciwpożarowe i techniczno-budowlane,
- d) obowiązujące normy,
- e) uzgodnienia branżowe.

1.4. ZAWARTOŚĆ OPRACOWANIA

Opracowanie zawiera część opisową przedstawiającą ogólną zasadę funkcjonowania systemu wentylacji oddymiającej, opis założeń przyjętych do wykonania symulacji. Kolejne rozdziały dokumentu przedstawiają opis programu wykorzystanego do wykonania obliczeń numerycznych, wyniki oraz wnioski i zalecenia dodatkowe z przeprowadzonej analizy.

2. KONCEPCJA ODDYMIANIA KLATKI SCHODOWEJ

2.1. USTALENIA PODSTAWOWE

Niniejsza analiza obejmuje sprawdzenie skuteczności działania grawitacyjnego systemu oddymiania z nawiewem mechanicznym klatkę schodową w budynku administracyjnym zlokalizowanym przy ul. Jasnej 2/4 w Warszawie.

Celem wykonania analizy jest sprawdzenie skuteczności działania systemu oddymiania dla klatki schodowej w budynku administracyjnym – dla analizowanej klatki schodowej system wentylacji został oparty na automatycznie otwieranych oknach oddymiających zlokalizowanych na piątym piętrze w budynku oraz na wentylatorze napowietrzającym. Główny punkt nawiewu kompensacyjnego zlokalizowany jest na poziomie parteru. Klatka schodowa jest obudowana ścianami i stropami o wymaganej przepisami klasie odporności ogniowej oraz zamykana drzwiami EI30.

2.2. ZAŁOŻENIA DO KONCEPCJI ODDYMIANIA

Skuteczność grawitacyjnego systemu wentylacji oddymiającej klatkę schodową determinowana jest odpowiednim zabezpieczeniem drzwi oraz wejść na klatkę schodową z przylegających pomieszczeń oraz korytarzy (wykonanie ich w odpowiedniej odporności ogniowej i/lub dymoszczelności). Głównym zadaniem systemu jest jak najszybsze oczyszczenie z dymu pionowej drogi ewakuacyjnej na skutek chwilowego przedostania się produktów spalania do wnętrza klatki schodowej. W przypadku ciągłego rozszczelnienia klatki schodowej oraz wydobywania się dymu i ciepła z przylegającego piętra objętego pożarem system wentylacji oddymiającej nie będzie w stanie zapewnić odpowiednich warunków środowiska umożliwiających ewakuację ludzi z piętra powyżej kondygnacji objętej pożarem. Dlatego też skuteczność działania systemu wentylacji oddymiającej należy analizować w aspekcie zdolności do jak najszybszego oczyszczenia klatki schodowej z dymu i ciepła.

Przy przeprowadzaniu symulacji CFD z założeniami zgodnymi z wytycznymi CNBOP-PIB jako kryterium prawidłowego działania grawitacyjnego systemu oddymiania klatki schodowej przyjmuje się zdolność do oddymienia klatki schodowej z dymu i innych produktów spalania.

W rozpatrywanej klatce schodowej pomieszczenia przyległe bezpośrednio do niej oraz te posiadające wyjścia na korytarze połączone z klatką schodową będą zamykane drzwiami o wymaganej dla budynku klasie odporności ogniowej. W klatce schodowej projektuje się usuwanie dymu realizowane poprzez dwa okna oddymiające o wymiarach 108 x 180 [cm] każde. W momencie wykrycia pożaru na klatce schodowej okna uchylają się o kąt 24 st. Nawiew kompensacyjny o wydajności 20 00 m³/h zlokalizowany zgodnie z projektem wentylacji.

W analizowanej klatce schodowej funkcjonować będzie automatyczny systemy detekcji dymu powodujące uruchomienie systemu wentylacji oddymiającej

3. SYMULACJE CFD

3.1. CHARAKTERYSTYKA UŻYTEGO PROGRAMU CFD

3.1.1. NAZWA PROGRAMU, WERSJA, PRODUCENT

Do przeprowadzenia szczegółowej analizy oraz otrzymania wyników zawartych w raporcie 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 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.

3.1.2. RODZAJ I GĘSTOŚĆ SIATKI OBLICZENIOWEJ

Użyto siatki regularnej sześcienniej o boku 20 cm. Domena obliczeniowa została podzielona na 8 siatek obliczeniowych. Rozmiar siatki dobrano w oparciu o:

- a) wytyczne Health and Safety Laboratory [2],
- b) wytyczne NUREG, publikowane również w instrukcji użytkownika FDS6 User's Guide [3].

3.1.3. MODEL TURBULENCJI

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

3.1.4. MODEL SPALANIA

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

- a) skład stechiometryczny mieszaniny palnej jest definiowany przez ułamek masowy gazów palnych i produktów spalania oraz powietrza,
- b) spalanie następuje natychmiast po zmieszaniu,
- c) spalanie jest jednoetapowe i całkowite,
- d) procent powstającego tlenu 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.

3.1.5. 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%.

3.2. NIEPEWNOŚCI OBLICZENIOWE I ZASTOSOWANE WSPÓLCZYNNIKI BEZPIECZEŃSTWA

W tabeli 1 przedstawiono średnie procentowe niepewności obliczeniowe dla poszczególnych parametrów.

Tabela 1. Średnie błędy wyznaczania wielkości fizycznych w FDS.

Źródło: [5]

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

3.3. WARUNKI POCZĄTKOWE I BRZEGOWE

3.3.1. POCZĄTKOWA TEMPERATURA WEWNĘTRZNA I ZEWNĘTRZNA

We wszystkich scenariuszach przyjęto temperaturę wewnątrz i na zewnątrz obiektu równą 20 st. C.

3.3.2. MATERIAŁY ELEMENTÓW BUDOWLANYCH

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

Tabela 2. Właściwości materiałów budowlanych, wprowadzonych do programu FDS.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [6]

Material	Gęstość [kg/m ³]	Ciepło właściwe [kJ/kg·K]	Współczynnik przewodzenia ciepła [W/m·K]
Żelbet	2500	0,84	1,70
Błoczki betonowe	800	0,84	0,30
Płyta gipsowo-kartonowa	1000	1,00	0,30
Szkło	2500	0,84	0,80
Stal	7850	0,44	58
Tynk wapienny	1700	0,84	0,70

3.3.3. MATERIAŁ PALNY

W symulacjach jako materiał palny przyjęto etanol o cieple spalania 26 780 kJ/kg oraz ułamku masowym dymu 0,05 kg/kg [17].

3.3.4. ZASTOSOWANE SCHEMATY I USTAWIENIA NUMERYCZNE

W symulacji użyto domyślnych ustawień programu z wyjątkiem sposobu obliczania kroku czasowego. Krok czasowy jest obliczany z zachowaniem kryterium CFL, tzn:

$$CFL = \delta t \frac{\|\bar{u}\|}{\delta x} < 1$$

Krok czasowy obliczany jest automatycznie zgodnie z jednym z trzech schematów, odnoszących się do sposobu normalizacji wektora prędkości. Domyślnym schematem dla użytej wersji 6.5.3 jest schemat L_∞ :

$$\frac{\|\bar{u}\|}{\delta x} = \max\left(\frac{|u|}{\delta x}, \frac{|v|}{\delta y}, \frac{|w|}{\delta z}\right)$$

3.3.5. CZAS SYMULACJI

Jako czas symulacji przyjęto 1200 sekund. Krok czasowy jest ustalany automatycznie na podstawie liczby CFL, przy użyciu schematu L_{∞} .

3.3.6. PARAMETRY POŻARU

Pożar został zlokalizowany zgodnie ze wskazaniami wytycznych CNBOP-PIB [17].

W symulacji przyjęto stałe warunki, założenia przedstawiono poniżej:

- a) pożar testowy o stałej mocy około 64 kW – czas trwania 300 s od początku symulacji,
- b) gęstość mocy pożaru - 270 kW/m²;
- c) ułamek promieniowania - 0,3;
- d) współczynnik produkcji sadzy - 0,05 kg/kg;
- e) ciepło spalania etanolu - 26 780 kJ/kg.

3.3.7. POZOSTAŁE ZAŁOŻENIA

Poniżej przedstawiono pozostałe założenia przyjęte na potrzeby wykonania symulacji komputerowej w rozpatrywanej klatce schodowej:

- a) w symulacji pożar zlokalizowano na spoczniku 2 kondygnacji nadziemnej w klatce schodowej – automatyczne otwarcie okien oddymiających w 360 sekundzie symulacji,
- b) w symulacji założono uruchomienie wentylatora napowietrzającego w 360 sekundzie symulacji.

3.4. ANALIZOWANE PARAMETRY POŻARU

Podczas analizy numerycznej sprawdzeniu podlegają następujące parametry:

- a) czas oczyszczenia klatki schodowej z produktów spalania od momentu zakończenia procesu spalania – czas, po którym zasięg widzialności 2 m powyżej spocznika ostatniej kondygnacji klatki schodowej osiągnie wartość akceptowalną, tj. wartość > 10 m,
- b) zasięg widzialności w przekroju pionowym przez klatkę schodową,
- c) temperatury występującej w obrębie klatki schodowej.

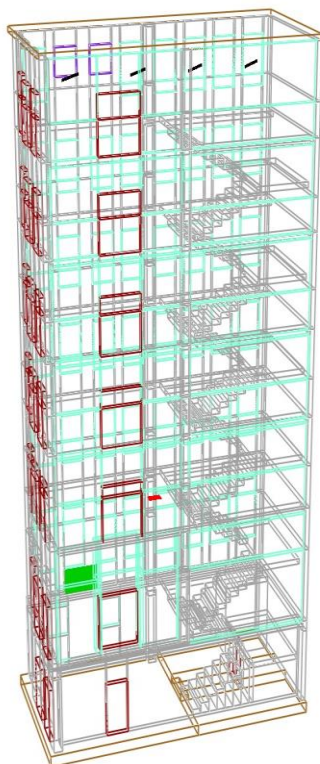
Dane wyjściowe zostały odczytane poprzez wizualizację w programie SmokeView, a także wcześniej zdefiniowane punkty i płaszczyzny pomiarowe.

Domyślnie program Smokeview na wizualizacji wyników odcina wartości poniżej 1 centyla i powyżej 99 centyla, tak aby graficzne odwzorowanie wyników w całej rozpatrywanej przestrzeni było bardziej czytelne. Dlatego w raporcie nie pokazano najwyższej temperatury nad pożarem, ale obszar powyżej rozpatrywanej temperatury granicznej.

3.5. ANALIZOWANE SCENARIUSZE POŻAROWE

W klatce schodowej przeanalizowano jeden scenariusz pożarowych w którym pożar zlokalizowany jest na poziomie drugiej kondygnacji nadziemnej.

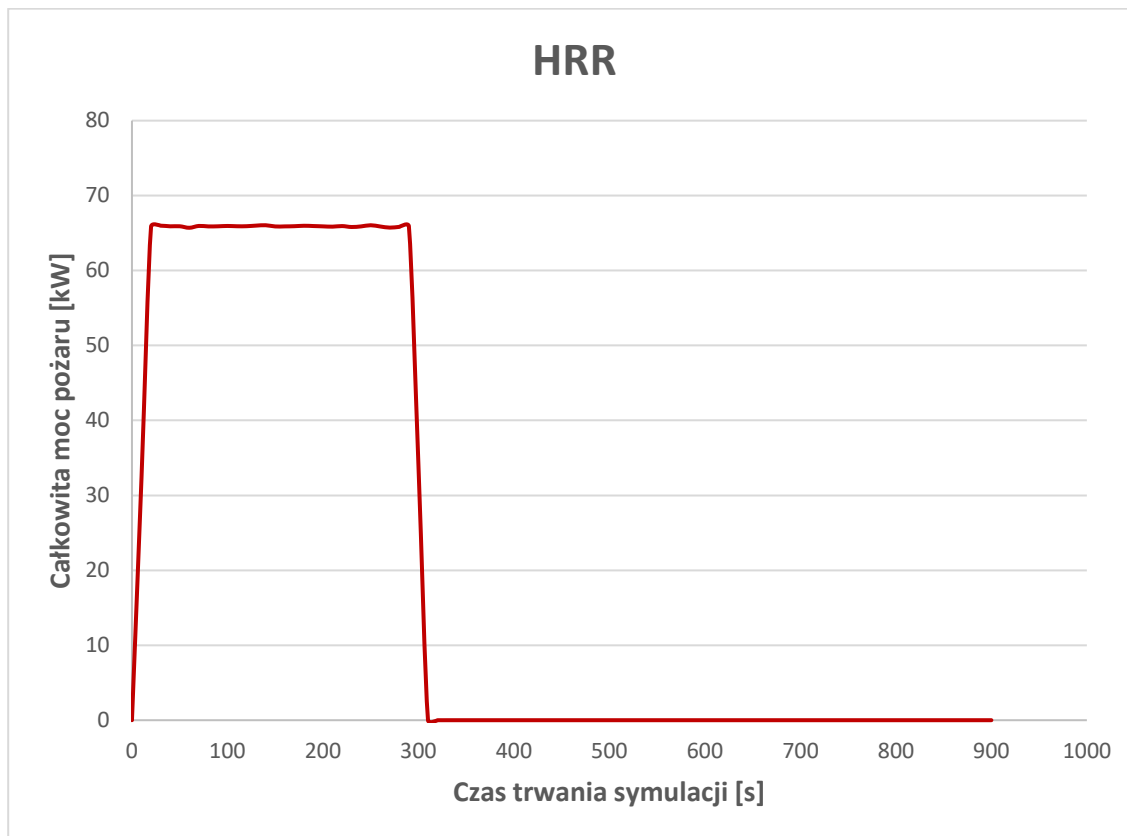
Model klatki schodowej:



4. WYNIKI SYMULACJI CFD

4.1.1. KRZYWA MOCY POŻARU

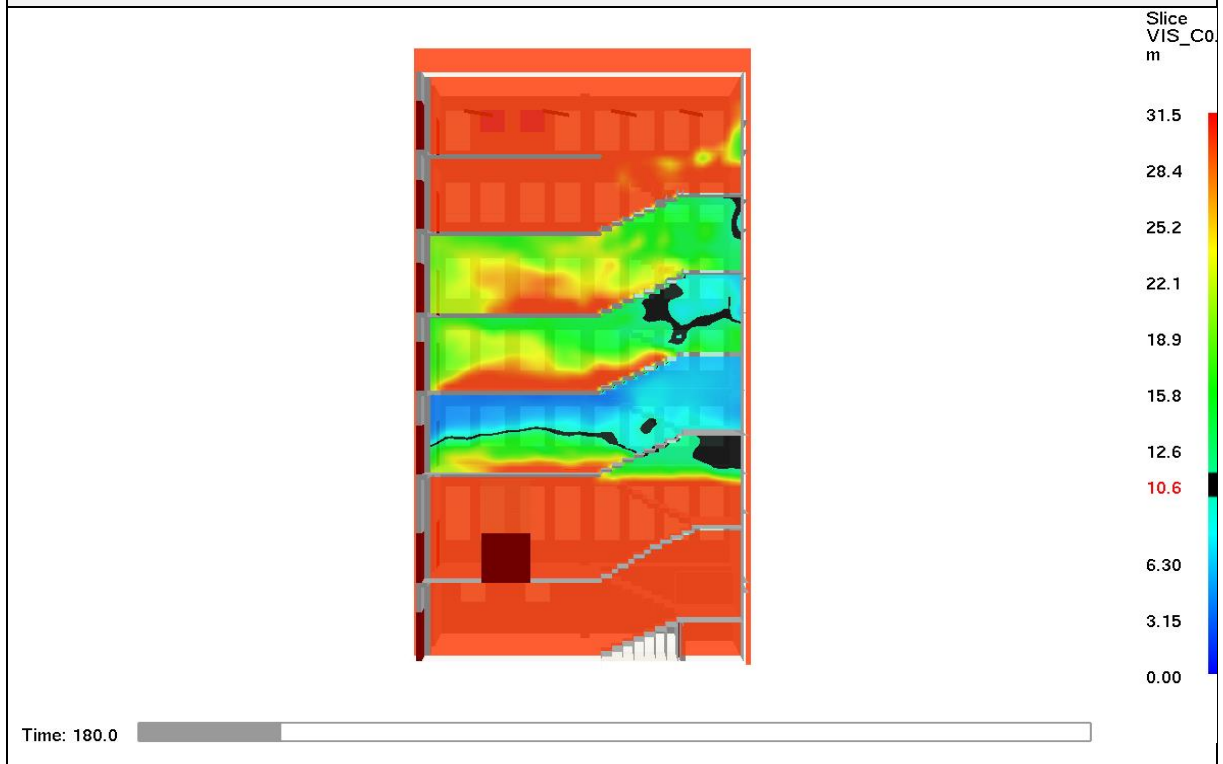
Wykres nr 1. Krzywa rozwoju pożaru, wygenerowana przez program FDS.



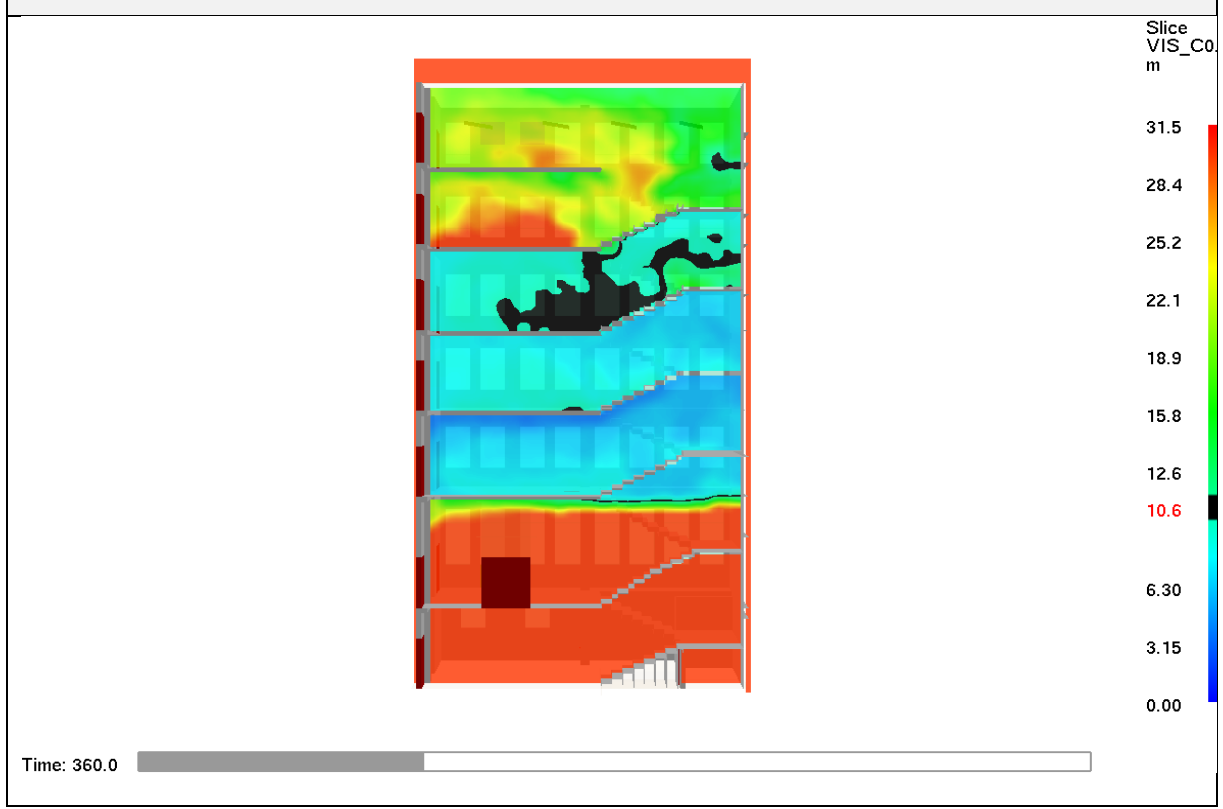
Maksymalna moc pożaru przez 300 s od początku symulacji.

4.1.2. ZASIĘG WIDZIALNOŚCI W PRZEKROJU PIONOWYM POPROWADZONYM PRZEZ KŁATKĘ SCHODOWĄ

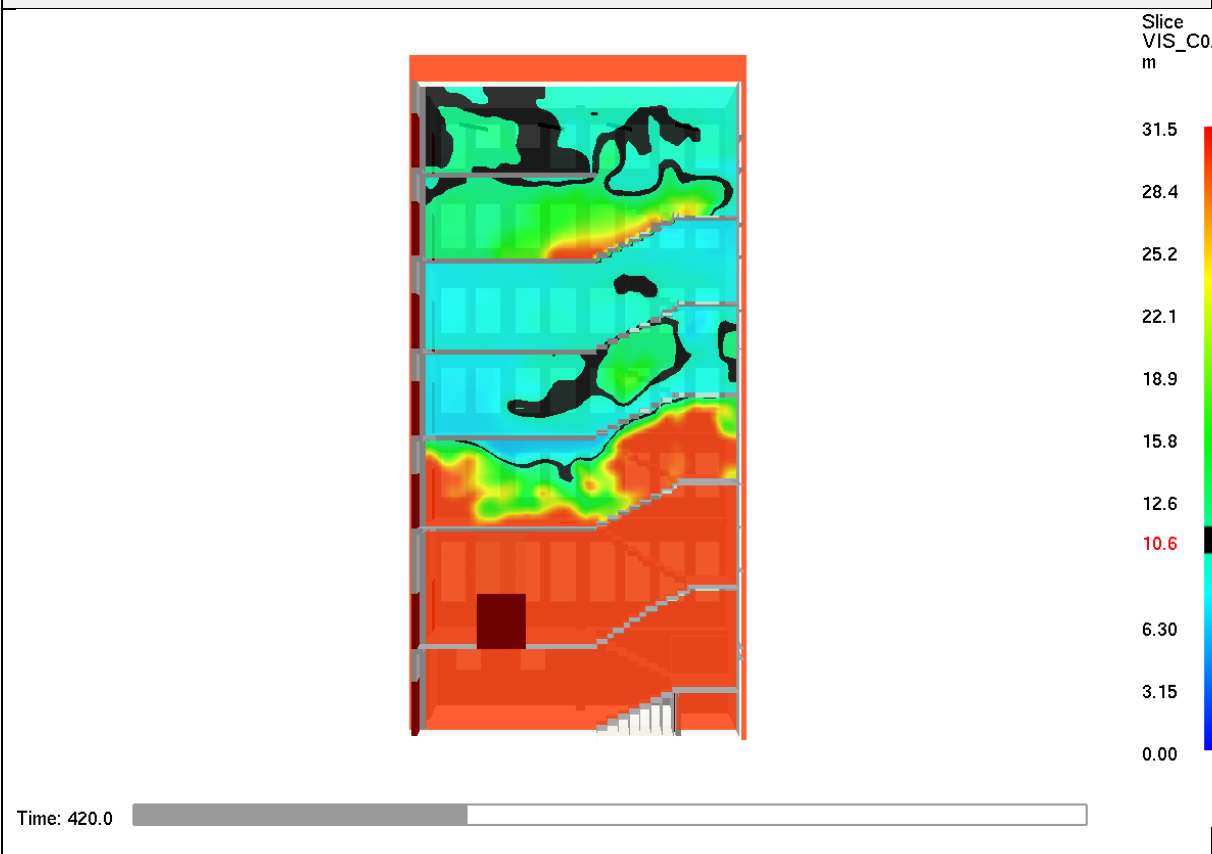
Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 180 sekundach



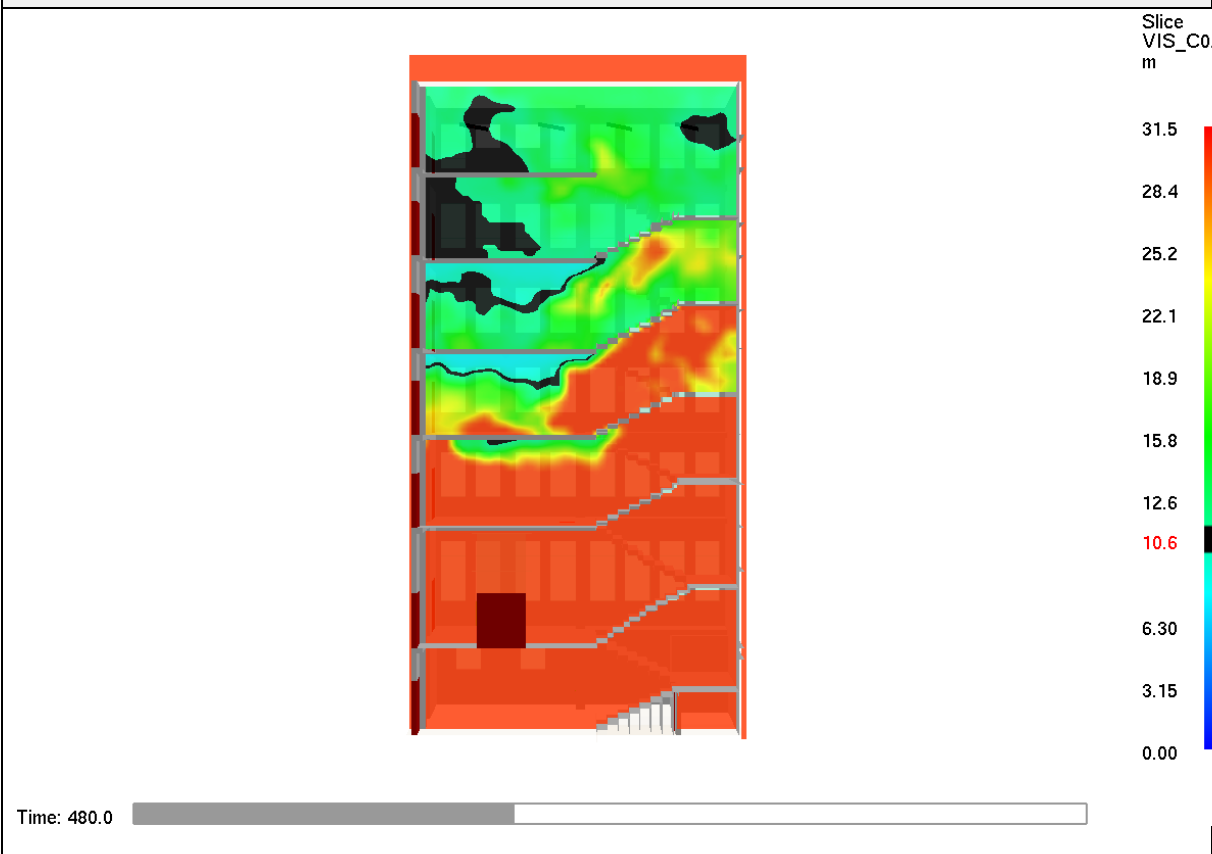
Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 360 sekundach



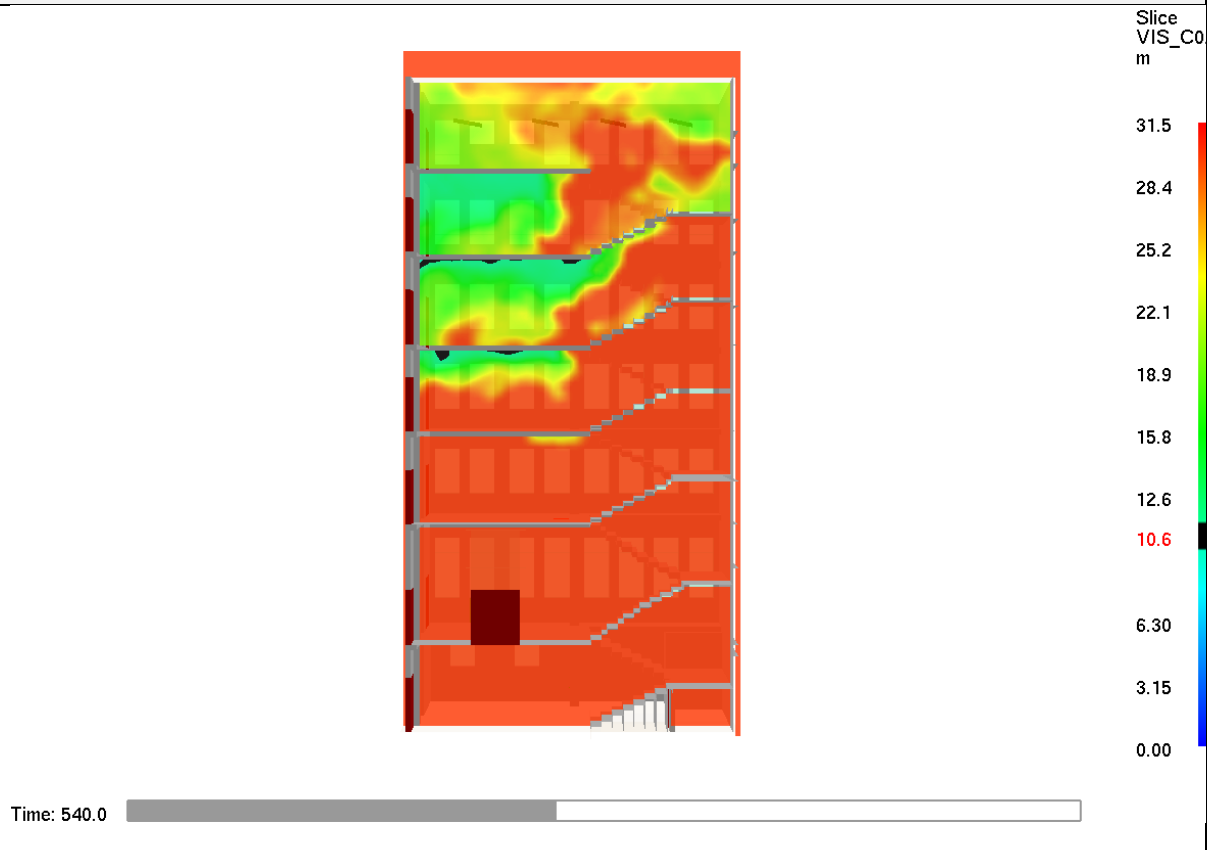
Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 420 sekundach



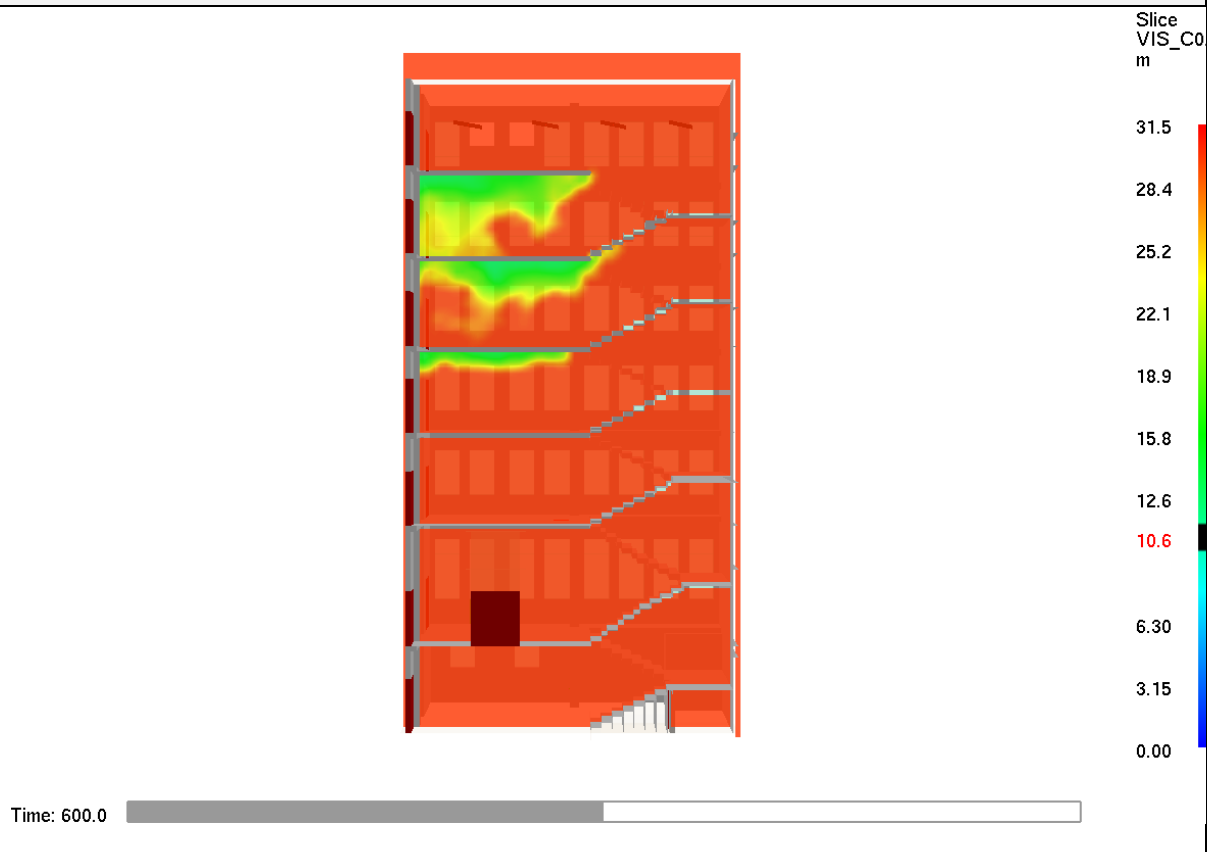
Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 480 sekundach



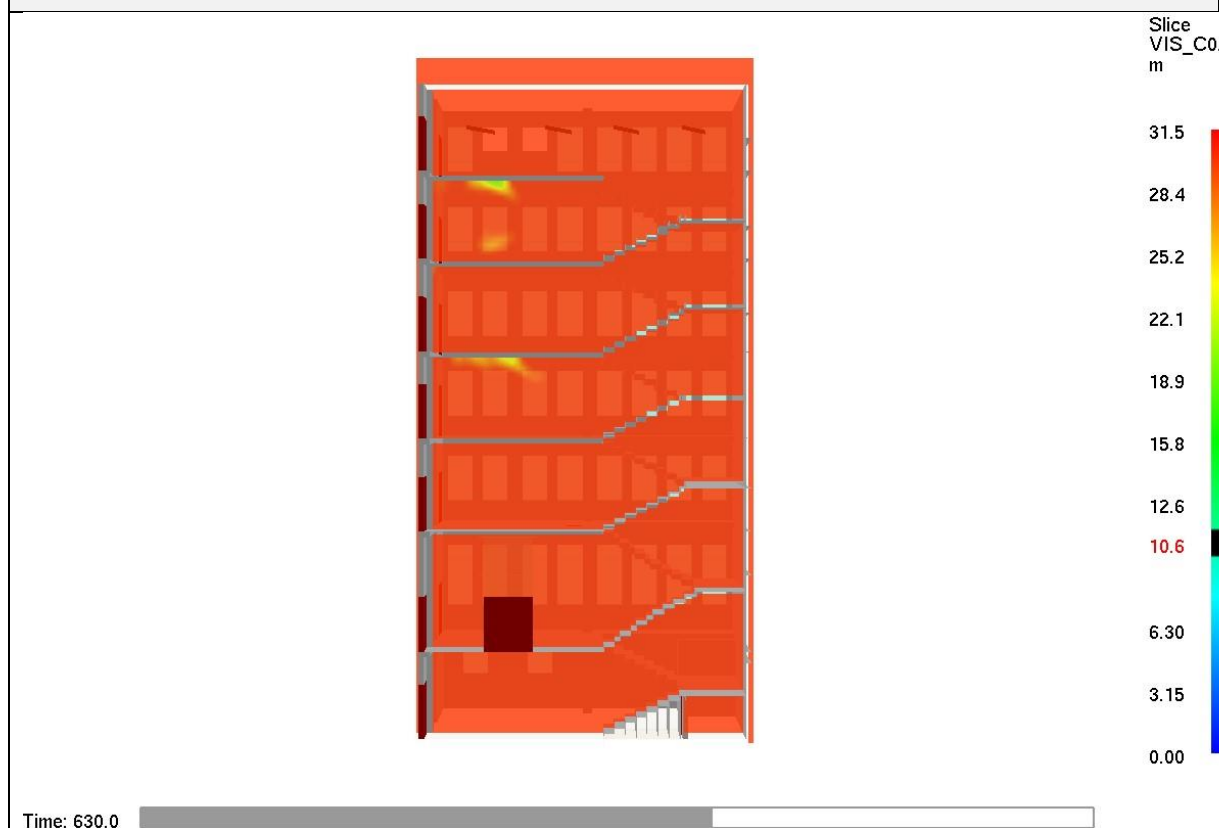
Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 540 sekundach



Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 600 sekundach

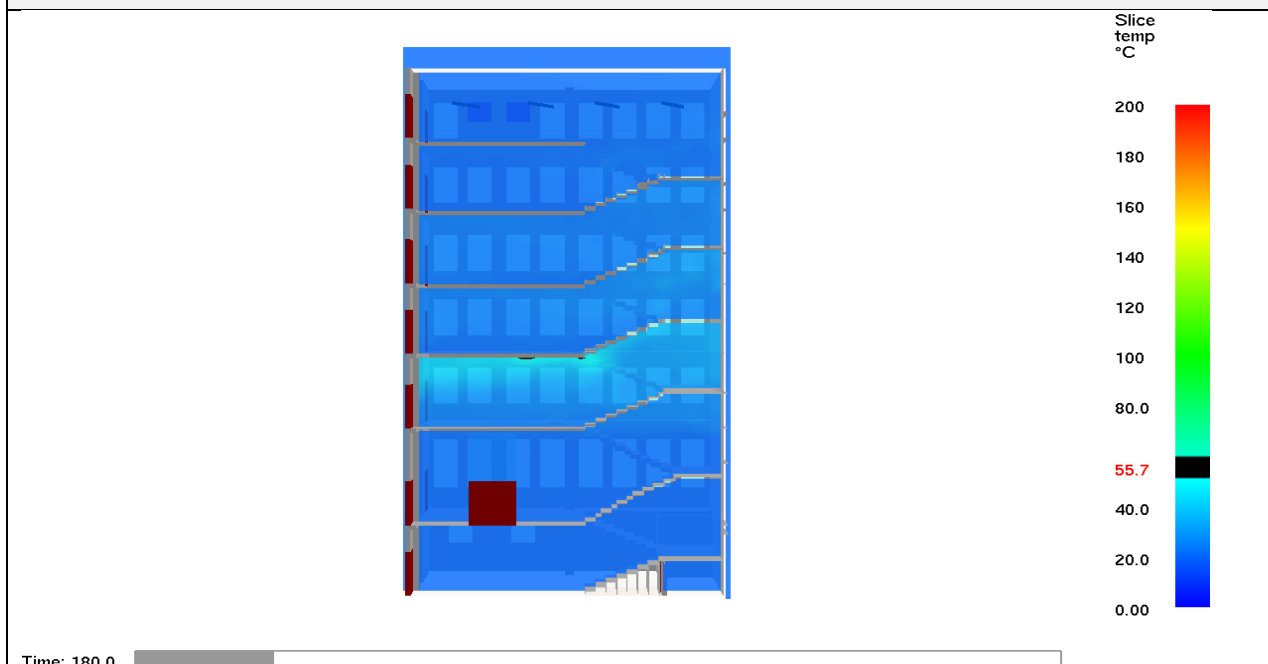


Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 630 sekundach

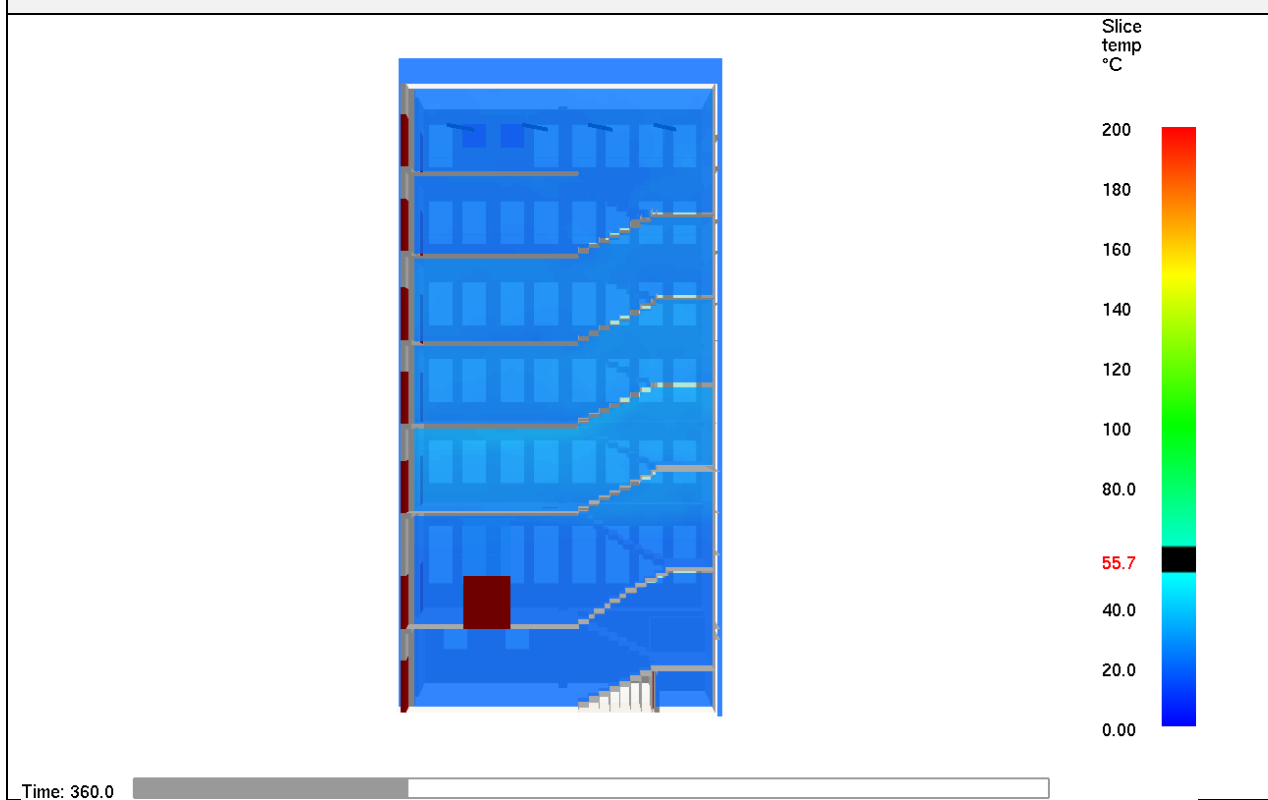


4.1.3. TEMPERATURA W PRZEKROJU PIONOWYM POPROWADZONYM PRZEZ KLATKĘ

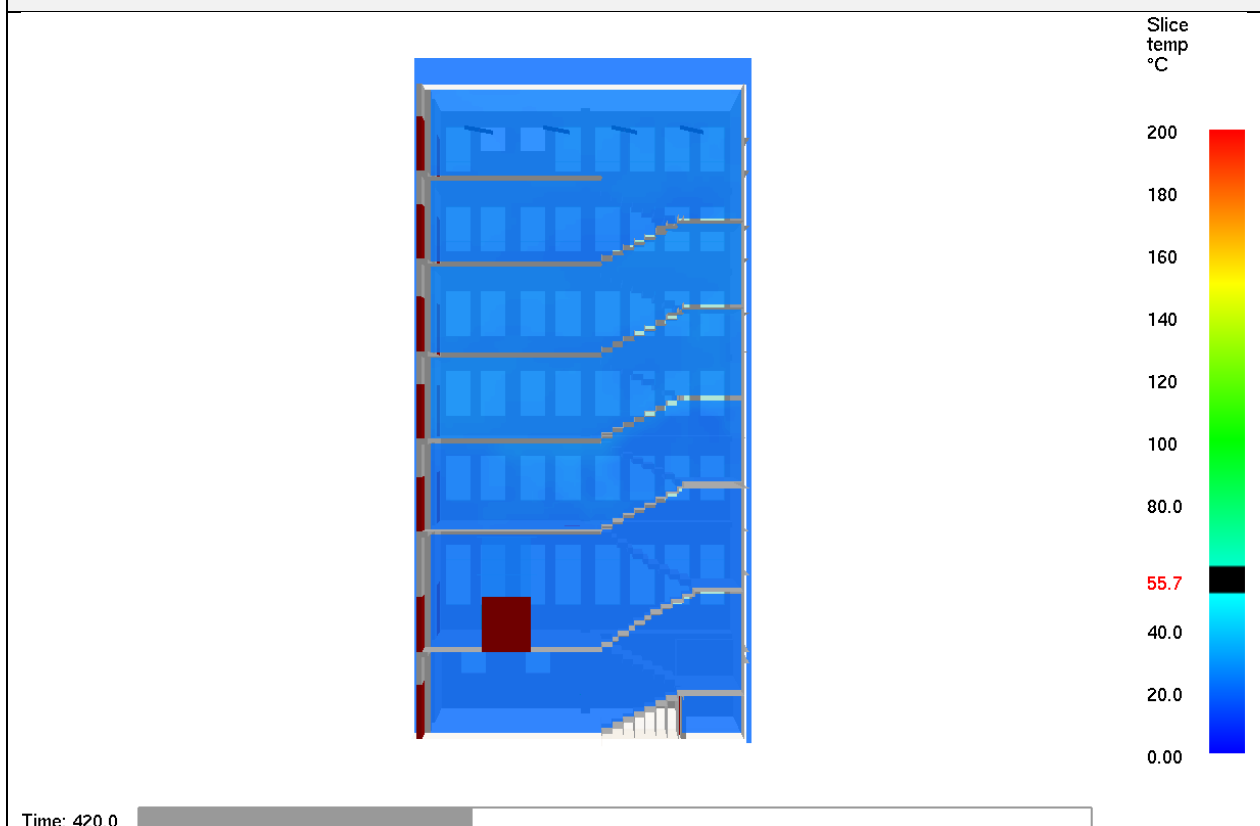
Scenariusz nr 1 - rozkład temperatury po 180 sekundach



Scenariusz nr 1 - rozkład temperatury po 360 sekundach

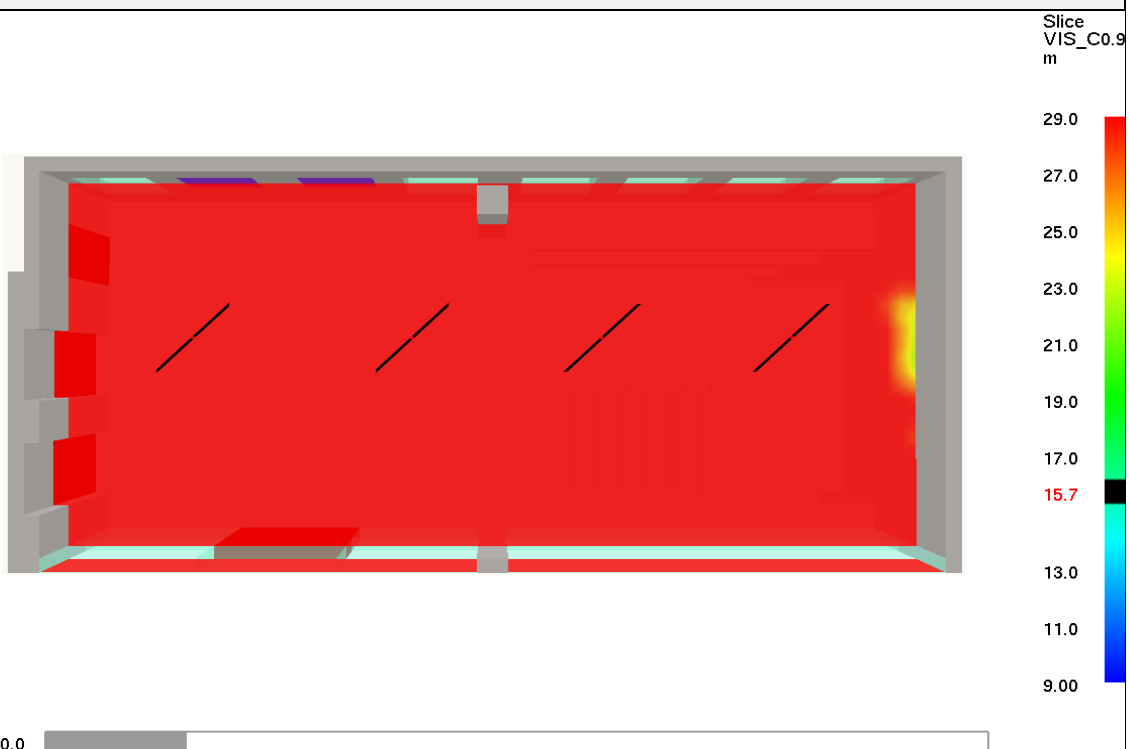


Scenariusz nr 1 - rozkład temperatury po 420 sekundach

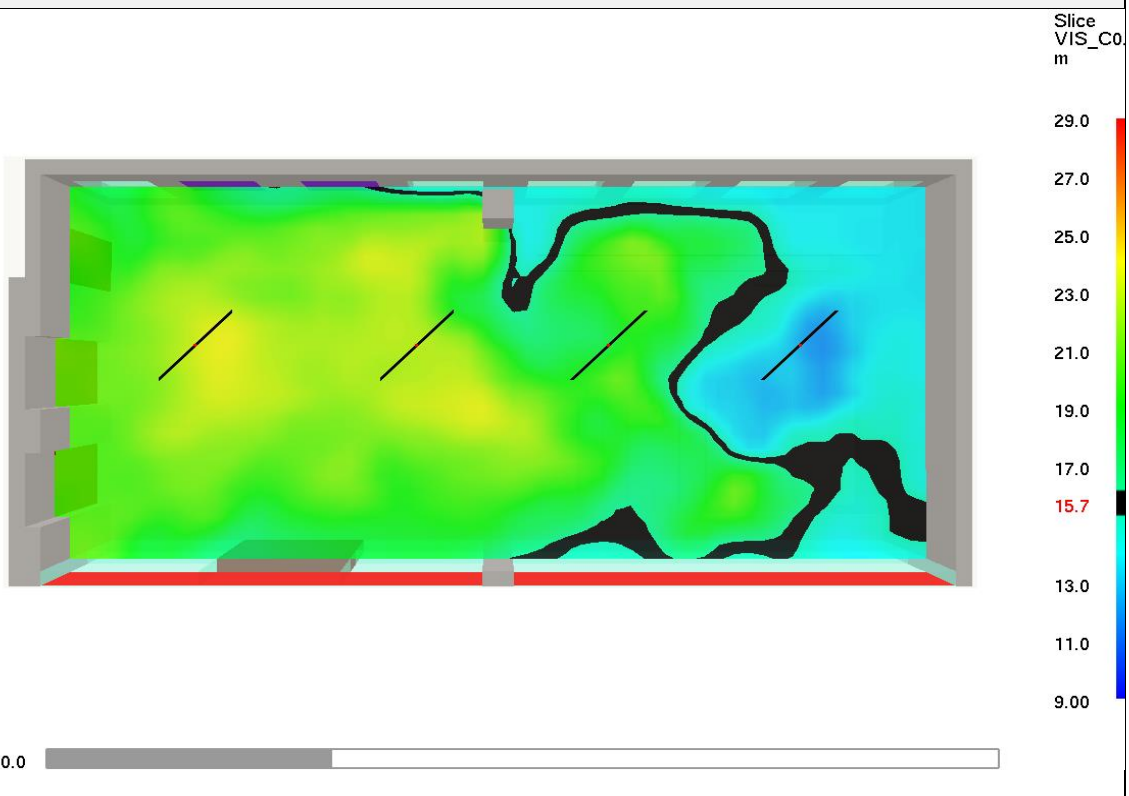


4.1.4. ZASIĘG WIDZIALNOŚCI 2 M NAD SPOCZNIKIEM OSTATNIEJ KONDYGNACJI KLATKI SCHODOWEJ

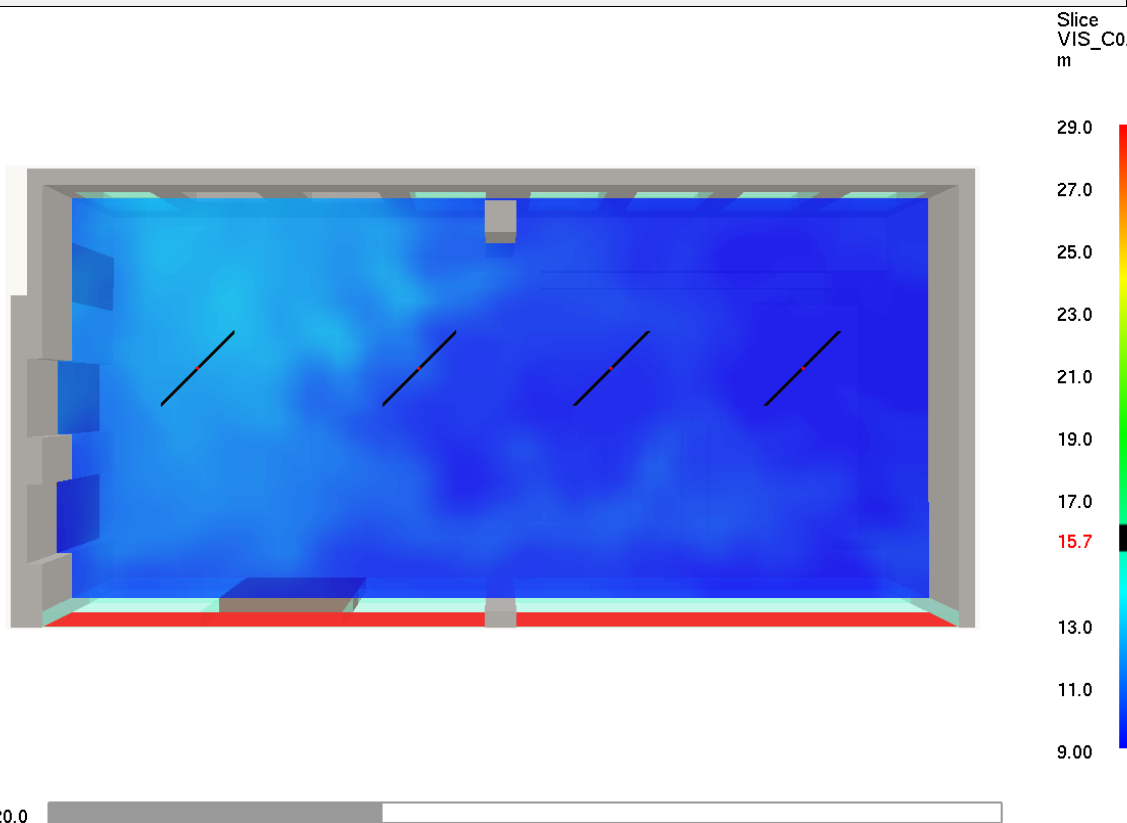
Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 180 sekundach



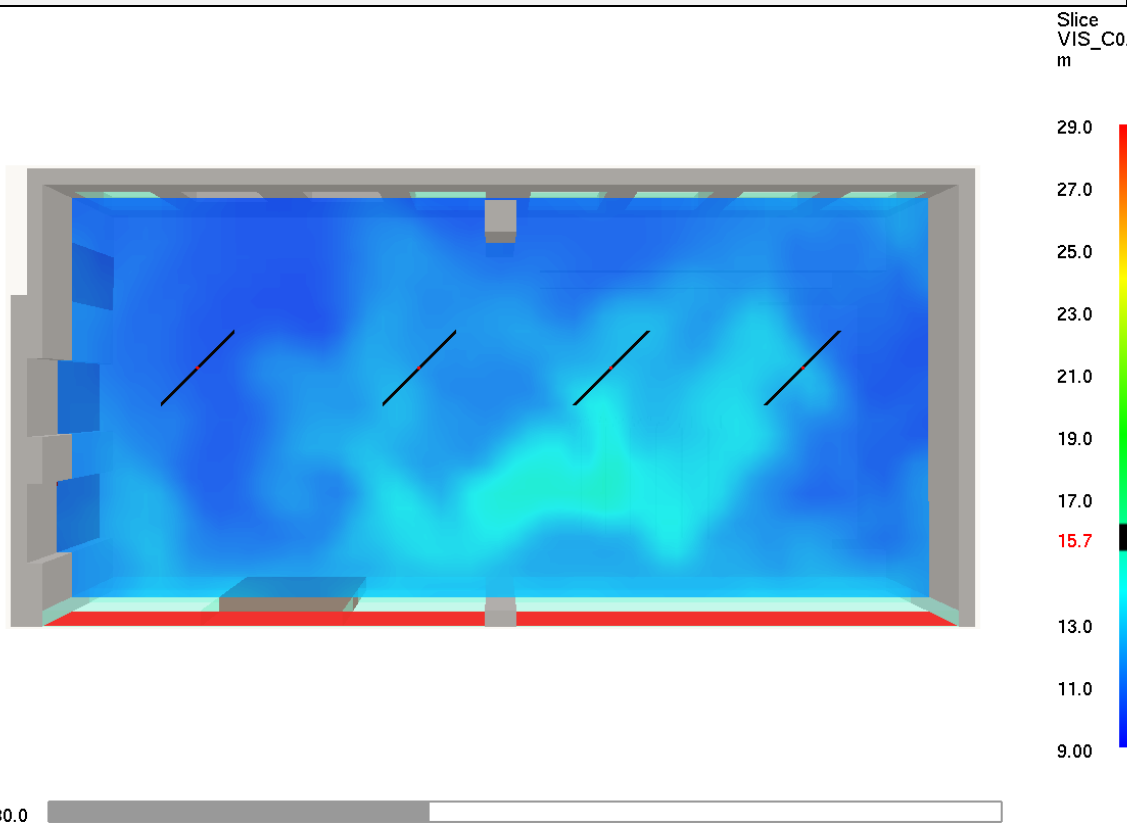
Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 360 sekundach



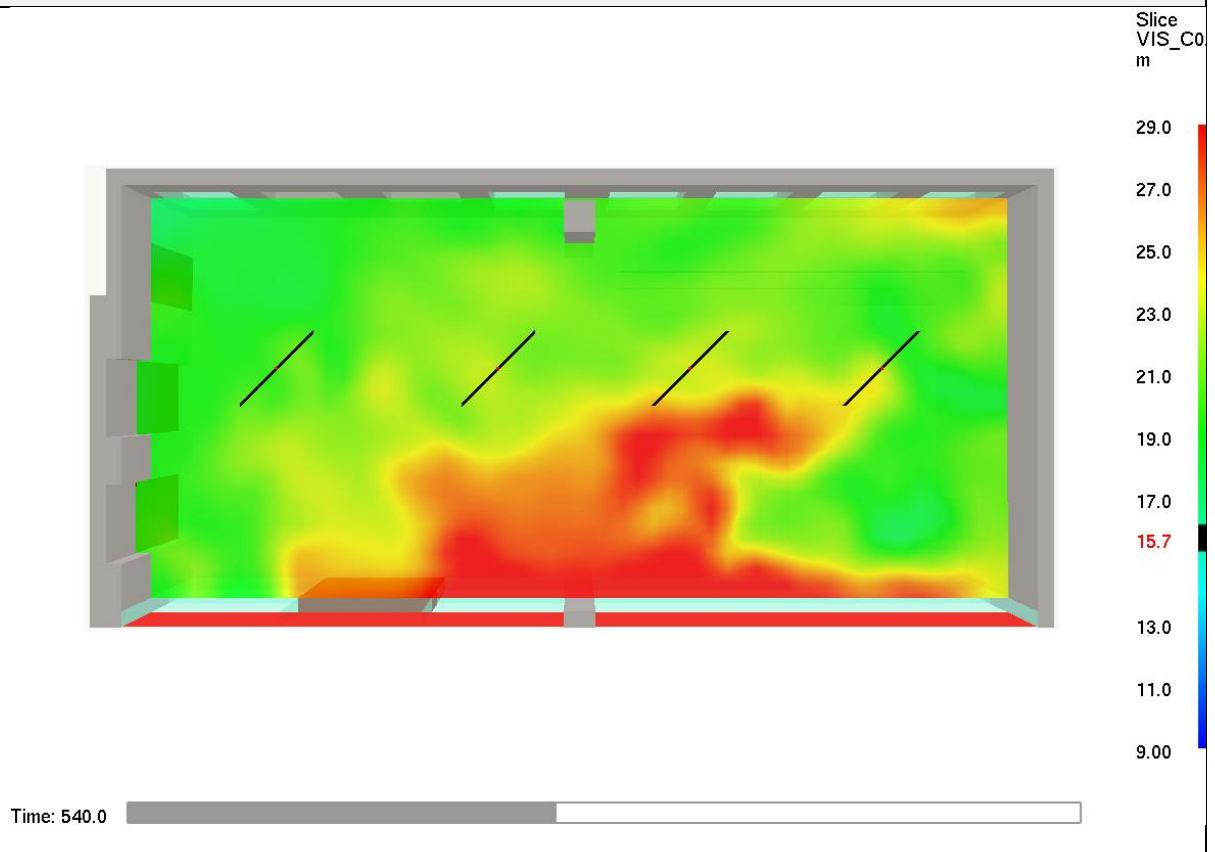
Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 420 sekundach



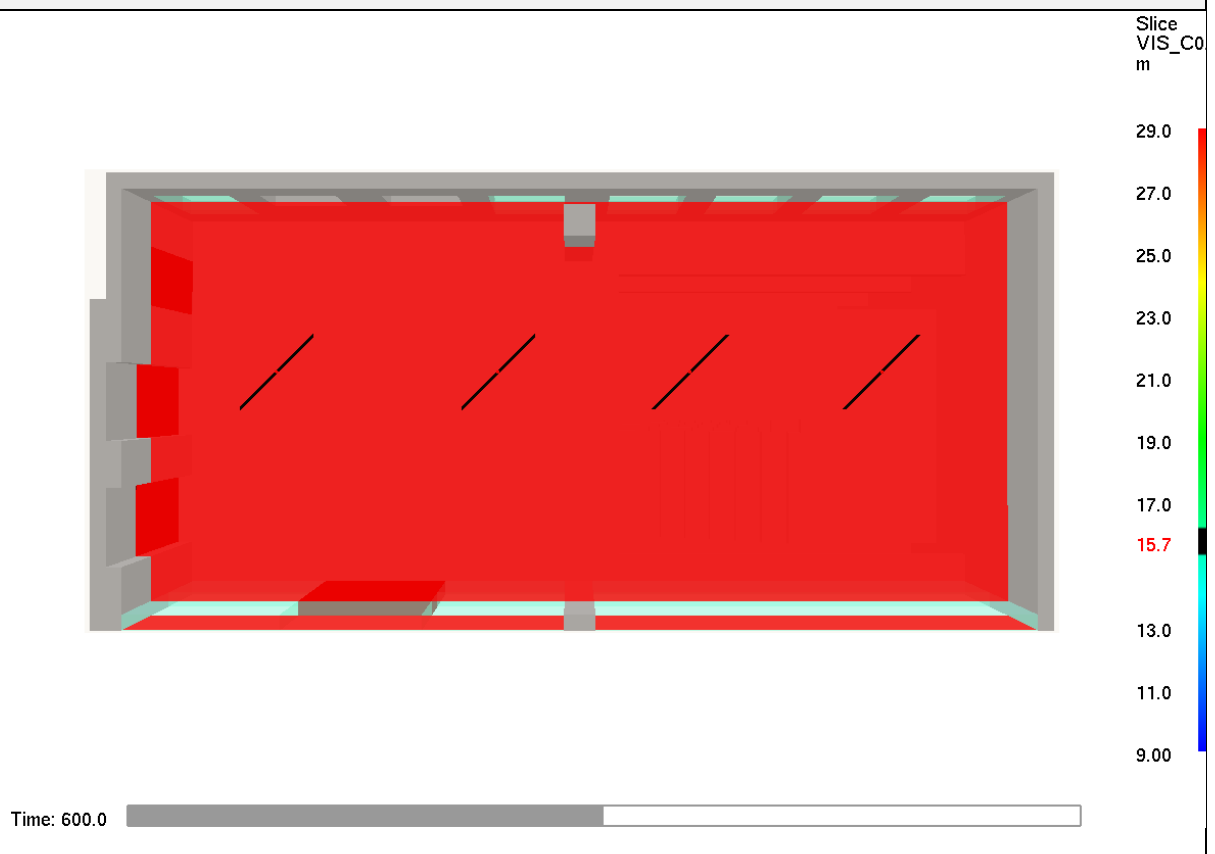
Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 480 sekundach



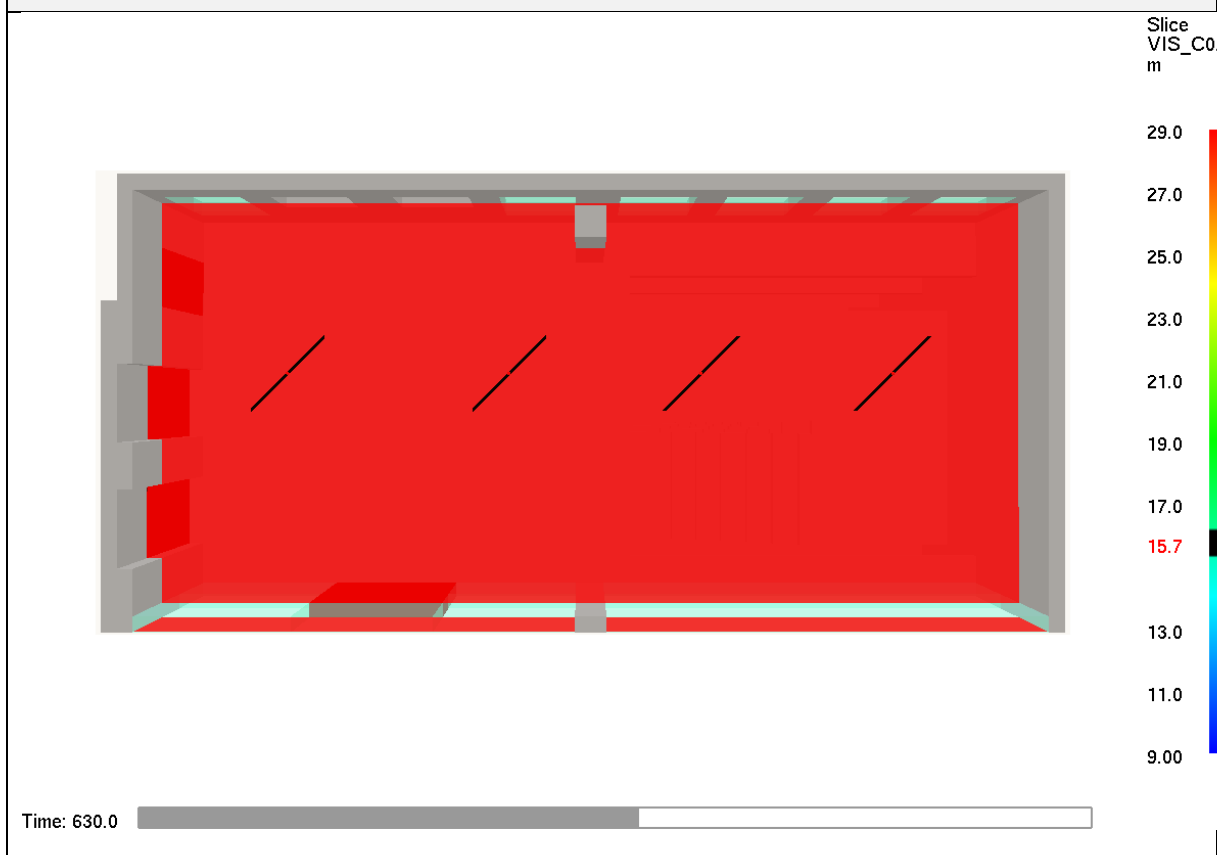
Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 540 sekundach



Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 600 sekundach

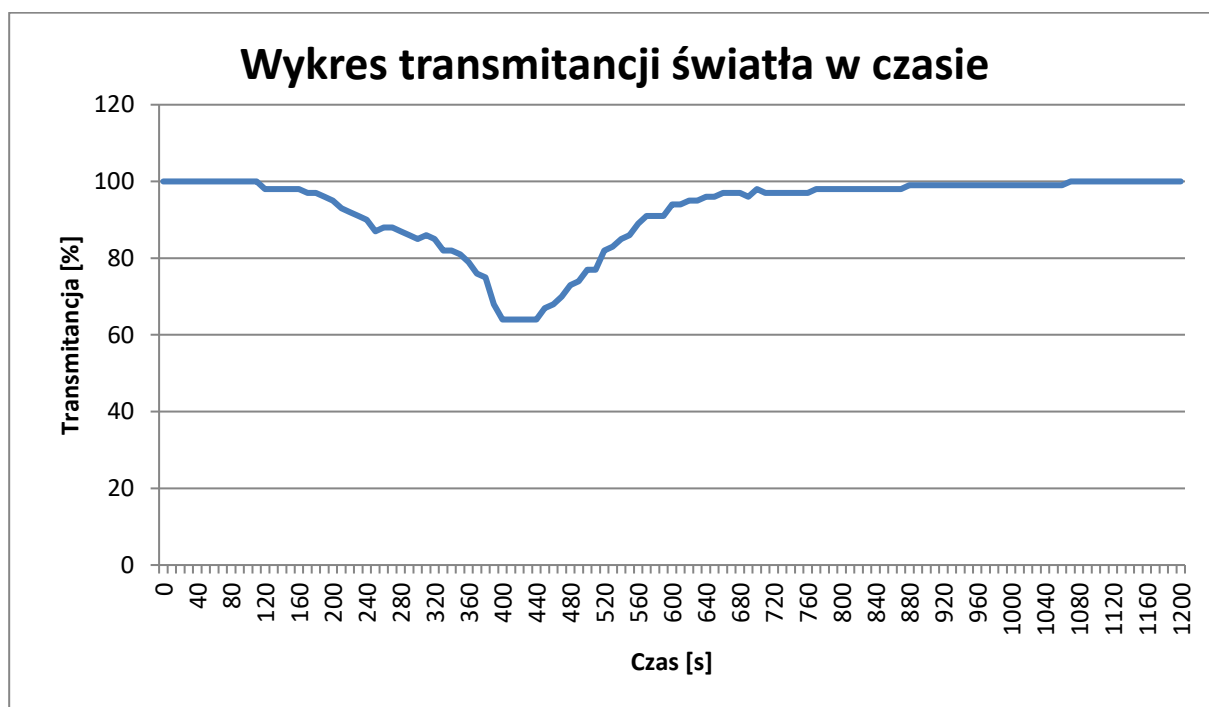


Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 630 sekundach



4.1.5. WYKRES ZMIAN TRANSMITANCJI ŚWIATŁA 2 M NAD SPOCZNIKIEM OSTATNIEJ KONDYGNACJI

W scenariuszu zmierzono zmiany transmitancji światła 2 m nad spocznikiem ostatniej kondygnacji. Poniżej przedstawiono wykres zmiany transmitancji światła pozwalające określić czas oczyszczania przestrzeni klatki schodowej z dymu.



5. WNIOSKI

W budynku administracyjnym zlokalizowanym przy ul. Jasnej 2/4 w Warszawie będącym przedmiotem analizy zastosowano obudowaną klatkę schodową do której prowadzą drzwi o wymaganej klasie odporności ogniowej. W związku z tym, należy założyć, że przy prawidłowej eksploatacji budynku, dym na klatkę schodową będzie wydostawał się tylko w sytuacji, gdy drzwi z pomieszczenia objętego pożarem będą otwarte. Sytuacja taka może mieć miejsce w przypadku stałego zablokowania drzwi lub podczas ewakuacji ludzi z zagrożonej kondygnacji. W związku z tym głównym celem projektowym systemu wentylacji oddymiającej jest zdolność do jak najszybszego oczyszczenia klatki schodowej z produktów spalania (po usunięciu źródła dymu). Skuteczność oczyszczania przekłada się bezpośrednio na możliwość bezpiecznej ewakuacji oraz warunki prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych.

Analizując wyniki symulacji CFD dla klatki schodowej w analizowanym budynku stwierdza się, że w czasie trwania pożaru testowego, zadymieniu ulega cała przestrzeń klatki schodowej. Zaobserwować można, iż widzialność w przestrzeni klatki schodowej spada poniżej 10 m. Następnie w wyniku automatycznego otwarcia okien oddymiających oraz uruchomienia wentylatora napowietrzającego na płaszczyznach wynikowych widoczne jest usuwanie dymu, aż do momentu całkowitego oczyszczenia klatki schodowej. Temperatura jest przekroczona jedynie w najbliższym obrębie pożaru testowego, po jego wygaszeniu temperatura w szybkim czasie ulega zmniejszeniu.

W scenariuszu dla analizowanej klatki schodowej licząc czas od momentu uruchomienia systemu wentylacji oczyszczenie z dymu, w przekroju pionowym do poziomu zasięgu widzialności powyżej 10 m nastąpiło po ok. 180 sekundach od uruchomienia wentylacji oddymiającej (540 sekunda symulacji). Całkowite oczyszczenie przestrzeni klatki schodowej z dymu nastąpiło po 270 sekundach. Co oznacza, że klatka schodowa została oczyszczona z dymu i innych produktów spalania. Według wykresu wymagane 95% transmitancji 2 m nad spocznikiem ostatniej kondygnacji osiągnięto po 260 sekundach w 530 sekundzie symulacji.

Według wytycznych CNBOP-PIB [17] został określony wymagany czas oddymienia klatki schodowej w przypadku stosowania systemu oddymiania grawitacyjnego z nawiewem mechanicznym. Zgodnie z wytycznymi należy określić, iż klatka schodowa zostanie oczyszczona z dymu w 260 sekund. Co oznacza, że 1 m wysokości klatki schodowej jest oddymiany krócej niż w 18 sekund.

Na podstawie przeprowadzonych symulacji nasuwają się następujące wnioski:

- W analizowanych scenariuszach klatka schodowa zostaje oczyszczona z dymu.
- Podczas ewakuacji w obszarze klatki schodowej, nie doszło do przekroczenia temperatury 60°C (analizowane 54°C z uwagi współczynnik dla bezpieczeństwa osób ewakuowanych).

Zaprojektowana grawitacyjna wentylacja oddymiająca z nawiewem mechanicznym dla rozpatrywanej klatki schodowej spełnia swoją rolę i przy założeniach jakie przyjęto w analizie jest w stanie oczyścić tą przestrzeń z dymu.

Biorąc pod uwagę wyniki symulacji CFD przedstawione powyżej, należy uznać, że projektowany system wentylacji oddymiania zapewnia wymagany poziom bezpieczeństwa dla interweniujących ekip ratowniczo – gaśniczych, co jest spełnieniem zapisu §207 Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. Nr 75, poz. 690 z późn. Zm.), dotyczącego bezpieczeństwa ekip ratowniczych, a także spełni wymagania Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/ 2011 załącznik 1 pkt. 2.

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 1018-5. Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide. Volume 3: Validation. 2010.
- [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] 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.
- [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, Fifth Edition. 2016.
- [8] 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).
- [9] Foster J. A., Roberts G. V.: Research Report Number 61/1994: „Measurements of the Firefighting Environment”.
- [10] 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.
- [11] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz.U. Nr 75, poz. 690) z późn. zm.
- [12] Polska Norma - PN-B-02877-4 Ochrona przeciwpożarowa budynków. Instalacje grawitacyjne do odprowadzania dymu i ciepła. Zasady projektowania.
- [13] NFPA 72: National Fire Alarm and Signaling Code. 2013 Edition.
- [14] Wytyczne VdS 221:2001-08(01) Urządzenia do oddymiania klatek schodowych. Projektowanie i instalowanie.
- [15] Ilnicki Michał, Krauze Andrzej, Fliszkievicz Mateusz: Podstawowe błędy popełniane w czasie wykonywania analiz skuteczności systemów oddymiania z wykorzystaniem symulacji CFD. Ochrona przeciwpożarowa - Zakopane 2011.
- [16] Kim A.K. i Loughheed G.D., The protection of glazing systems with dedicated sprinklers, Journal of Fire Protection Engineering, Vol. 2, 1990, pp. 49-59.
- [17] CNBOP-PIB W-0003:2016, wydanie 2, maj 2019 Systemy oddymiania klatek schodowych.