



<b>Nazwa opracowania:</b>	<b>Raport z symulacji CFD działania systemu mechanicznej wentylacji oddymiającej</b>
<b>Obiekt:</b>	<b>Zespół Szkół Ekonomicznych im. Janusza Korczaka w Dębicy.</b>
<b>Adres:</b>	<b>Dębica, ul. Ogrodowa 20, 39-200 Dębica.</b>

**Wyniki analizy skuteczności działania projektowanych systemów wentylacji mechanicznej oddymiającej w klatce schodowej budynku oświaty zlokalizowanym przy ul. Ogrodowej 20 w Dębicy.**

<b>Branża:</b>	<b>Sanitarna / Ochrona przeciwpożarowa</b>	<b>Nr projektu:</b> <b>1858</b>
----------------	--	------------------------------------

<b>Opracował/a:</b>	<b>Podpis:</b>
mgr inż. Maciej Albrechtowicz	
<b>Sprawdził/a:</b>	
mgr inż. Mateusz Fliszkiewicz	<b>Mateusz Fliszkiewicz</b>  mgr inż. pożarnictwa

Czerwiec 2023

## Spis treści

1. Dane ogólne .....	3
2. Koncepcja oddymiania klatki schodowej .....	4
3. Symulacje CFD .....	6
4. Wyniki symulacji CFD .....	12
5. Sprawdzenie klasy temperaturowej wentylatorów wyciągowych po 700 s.....	40
6. Wnioski .....	42
7. Bibliografia .....	43

## **1. DANE OGÓLNE**

### **1.1. PRZEDMIOT OPRACOWANIA**

Niniejsze opracowanie stanowi raport z symulacji CFD zawierający sprawdzenie skuteczności działania projektowanego systemu mechanicznej wentylacji oddymiającej z grawitacyjnym nawiewem dla klatki schodowej w budynku oświaty (ZSE im. Janusza Korczaka) zlokalizowanym przy ul. Ogrodowej w Dębicy.

### **1.2. CEL OPRACOWANIA**

Celem opracowania jest sprawdzenie skuteczności działania systemu wentylacji oddymiającej klatki schodowej, w których przewidziano mechaniczny system wentylacji oddymiającej z grawitacyjnym napływem powietrza. W tym celu wykonana została analiza projektowanego systemu. Głównym kryterium oceny skuteczności systemu jest czas oczyszczania klatki schodowej z dymu. Dodatkowo sprawdzona została klasa temperaturowa wentylatorów wyciągowych.

### **1.3. PODSTAWA OPRACOWANIA**

Podstawą opracowania są:

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

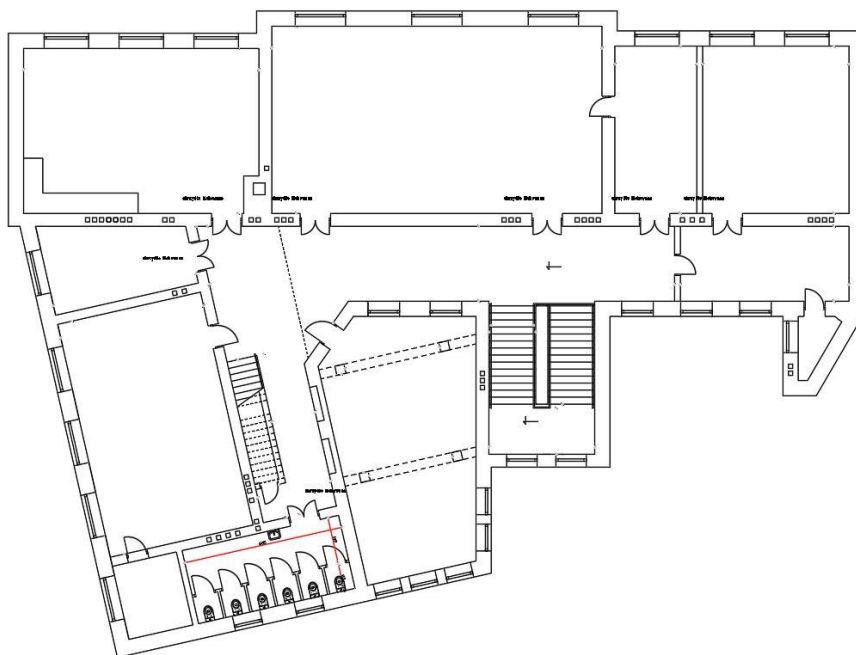
### **1.4. ZAWARTOŚĆ OPRACOWANIA**

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 systemu oddymiania klatki schodowej analizowanego obiektu. Klatka schodowa składa się z dwóch części. Pierwsza jest konstrukcją dwubiegową od poziomu piwnicy do poziomu 3 kondygnacji (2 piętro). Druga część stanowi kontynuację klatki schodowej w postaci jednego biegu prowadzącego na poddasze użytkowe. Znajduje się ona w innym miejscu w budynku i komunikacja między jedną i drugą częścią pionowej drogi ewakuacyjnej zapewniona jest korytarzem (długość dojścia około 12 m). Poniżej przedstawiono rzut 3 kondygnacji obiektu obrazujący rozmieszczenia opisywanych biegów klatki schodowej.



Zaprojektowany system mechanicznej wentylacji z grawitacyjnym napowietrzaniem przewiduje punkty wciągowe w dwóch miejscach klatki schodowej – pierwszy w ścianie ponad ostatnim spocznikiem dwubiegowej części głównej klatki schodowej. Górna krawędź punktu wciągowego zaprojektowana została na wysokości około 50 cm poniżej stropu.

Drugi punkt wciągowy zaprojektowany został w stropie poddasza, nad korytarzem prowadzącym do jednobiegowej części klatki schodowej. Wentylator ten został zaprojektowany w miejscu planowanej klapy dymowej (Ekspertyza techniczna dotycząca stanu ochrony przeciwpożarowej, w istniejącym budynku Zespołu Szkół Ekonomicznych im. Janusza Korczaka w Dębicy - dostosowanie budynku do obowiązujących przepisów przeciwpożarowych w związku z decyzją Komendanta Powiatowego PSP w Dębicy).

Napowietrzanie realizowane będzie poprzez automatyczne otwarcie drzwi wejściowych w piwnicy budynku (od strony dziedzińca szkoły) oraz poprzez 3 punkty nawiewu grawitacyjnego zlokalizowane w pomieszczeniach toalet (nr 0/15, 1/14, 2/14). Punkty te będą złożone z żaluzji w ścianie budynku (żaluzje zastąpią istniejące okna), kanału przez pomieszczenia toalety oraz kraty ponad drzwiami prowadzącymi z przestrzeni klatki schodowej do toalety. Na każdej kondygnacji przyjęto żaluzję ścianą (czerpnia powietrza) o wymiarach 590x1200 mm. Powierzchnia czynna 0,38 m<sup>2</sup>.

Celem wykonania analizy jest sprawdzenie skuteczności działania systemu oddymiania klatki schodowej.

W wszystkich przypadkach założono ten sam pożar testowy o mocy i krzywej rozwoju zgodnie z wytycznymi CNBOP-PIB [17].

## **2.2. ZAŁOŻENIA DO KONCEPCJI ODDYMIANIA**

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 pięter 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. Użytkownicy obiektu winni być przeszkoleni i świadomi konieczności zamykania drzwi do pomieszczeń przylegających do klatki schodowej mimo braku zachowania przez nie klasy odporności ogniowej lub dymoszczelności.

Zgodnie z wytycznymi CNBOP-PIB dla klatek schodowych z wyciągiem mechanicznym nie ma zdefiniowanego kryterium czasowego na usunięcie gorących gazów pożarowych.

W rozpatrywanej klatce schodowej pomieszczenia przyległe bezpośrednio do klatki schodowej nie są zamykane drzwiami o klasie odporności ogniowej i/lub dymoszczelności.

Wyciąg mechaniczny realizowany będzie przy pomocy dwóch punktów wyciągowych każdy o wydajności 20 000 m<sup>3</sup>/h. Lokalizacja punktów została przedstawiona w podrozdziale 2.1.

Napowietrzanie grawitacyjne realizowane będzie zgodnie z wytycznymi z poprzedniego podrozdziału.

Na klatkach schodowych funkcjonować będzie automatyczny systemy detekcji dymu powodujący uruchomienie systemu wentylacji oddymiającej oraz ogłoszenie alarmu dźwiękowego dla wszystkich użytkowników.

### **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:

- spalanie następuje natychmiast po zmieszaniu,
- spalanie jest jednoetapowe i całkowite, skład stechiometryczny mieszaniny palnej jest definiowany przez ułamek masowy gazów palnych i produktów spalania oraz powietrza,
- 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.

### 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 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 i jest jednym z parametrów symulacji. Przyjęto ułamek promieniowania 30%.

## 3.2. NIEPEWNOŚCI OBLICZENIOWE I ZASTOSOWANE WSPÓŁCZYNNIKI 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

Przyjęto początkową temperaturę wewnątrz i na 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].

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

Źródło: opracowanie własne na podstawie [6]

Material	Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ]	Ciepło właściwe [kJ/kg·K]	Współczynnik przewodzenia ciepła [W/m·K]
Żelbet	2500	0,84	1,70
Cegła	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  $L_\infty$ :

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



### **3.3.5. CZAS SYMULACJI**

Jako czas symulacji przyjęto 900 sekund. Krok czasowy jest ustalany automatycznie na podstawie liczby CFL, przy użyciu schematu  $L_{\infty}$ .

### **3.3.6. PARAMETRY POŻARU**

Pożar został zlokalizowany w najbardziej niekorzystnym miejscu dla danej symulacji.

W symulacji skuteczności wentylacji oddymiającej przyjęto stałe warunki dla wszystkich symulacji, 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/m<sup>2</sup>;
- c) ułamek promieniowania - 0,3;
- d) współczynnik produkcji sadzy - 0,05 kg/kg;
- e) ciepło spalania etanolu - 26 780 kJ/kg.

W przypadku symulacji klasy temperaturowej przyjęto, że pożar osiąga maksymalną moc około 3200 kW. Do pomieszczenia objętego pożarem zostają otwarte drzwi i nie są zamykane przez cały czas trwania obliczeń. Dodatkowo w celu zapewnienia odpowiedniego dostępu tlenu umożliwiającego rozwój pożaru do założonej mocy otwarte zostają dwa okna do wskazanych pomieszczeń.

### **3.3.7. POZOSTAŁE ZAŁOŻENIA**

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

- a) pożar zlokalizowano na klatce schodowej – otwarcie drzwi napowietrzających, uruchomienie wentylatorów wyciągowych – 60 sekund po zakończeniu procesu spalania – w 360 s symulacji CFD,
- b) na potrzeby sprawdzenia klasy temperaturowej wentylatorów wyciągowych przyjęto pożary w pomieszczeniach lekcyjnych z ciągłym otwarciem drzwi wejściowych do tego pomieszczenia,
- c) pominięto wpływ wiatru na skuteczność otworów oddymiających.

### **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 w przekroju klatki schodowej osiągnie wartość akceptowalną, tj. wartość > 10 m,
- b) temperatury występującej w obrębie klatki schodowej,
- c) temperatury gazów pożarowych usuwanych przez wentylatory wyciągowe.

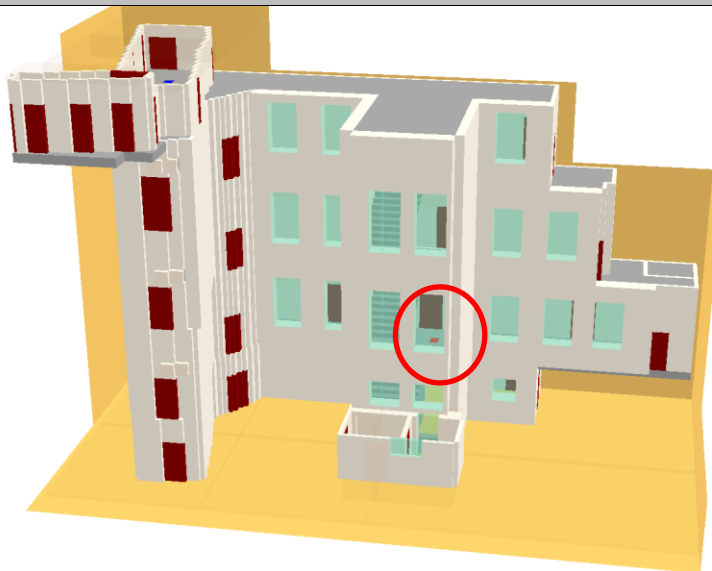
Dane wyjściowe zostały odczytane poprzez wizualizację w programie SmokeView, a także wcześniej zdefiniowane punkty i płaszczyzny pomiarowe.

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.

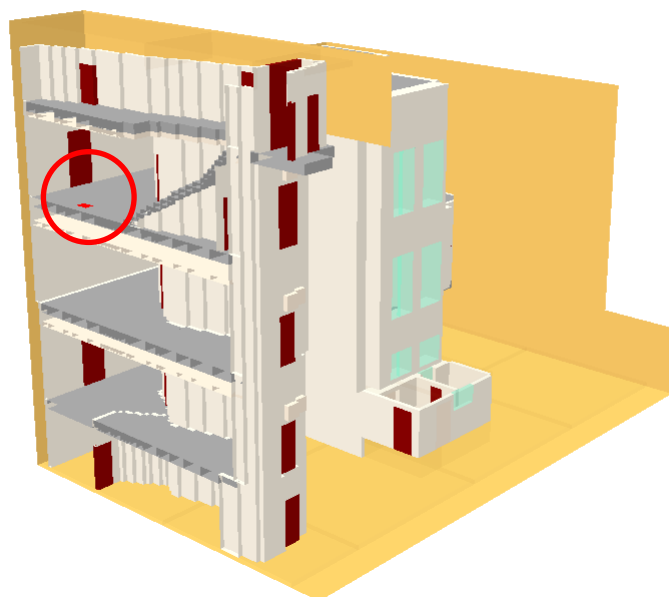
### 3.5. ANALIZOWANE SCENARIUSZE POŻAROWE

W przedmiotowym budynku wykonano 2 scenariusze rozwoju pożaru w przedmiotowej klatce schodowej. Dodatkowo założono 2 scenariusze pożarów dla sprawdzenia klasy temperaturowej wentylatorów wyciągowych

Lokalizacja pożaru – scenariusz 1



Lokalizacja pożaru – scenariusz 2

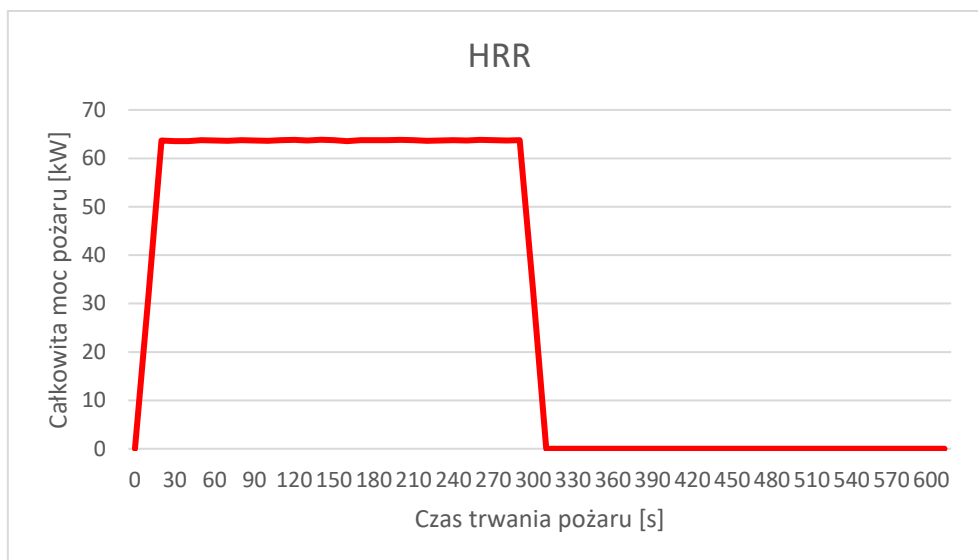


Dodatkowo założono 2 scenariusze pożarów dla sprawdzenia klasy temperaturowej wentylatorów wyciągowych w pomieszczeniach nr 3/3 oraz 2/3.

## 4. WYNIKI SYMULACJI CFD

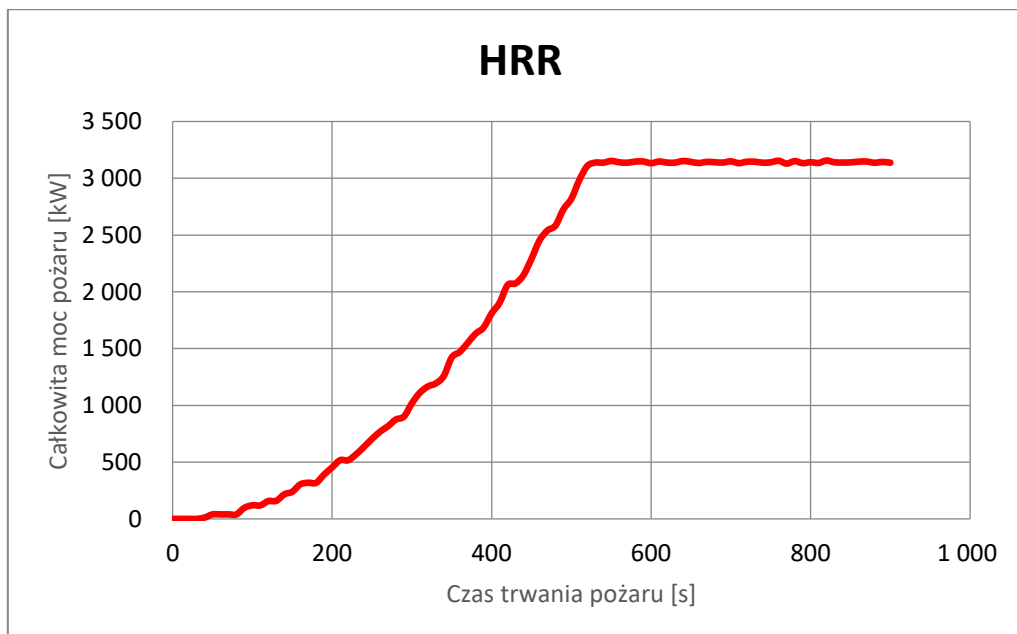
### 4.1.1. KRZYWA MOCY POŻARU

Wykres nr 1. Krzywa rozwoju pożaru testowego (sprawdzenie skuteczności wentylacji oddymiającej), wygenerowana przez program FDS.



Maksymalna moc pożaru przez 300 s od początku symulacji.

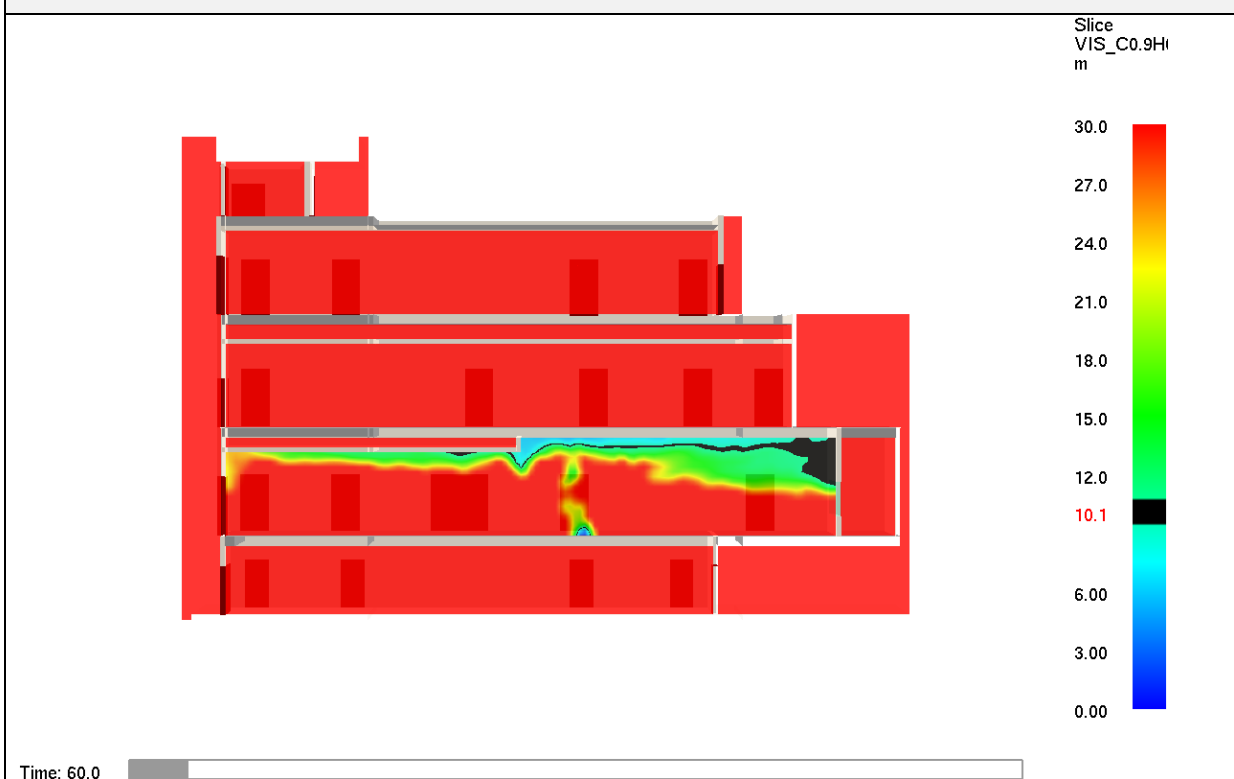
Wykres nr 2. Krzywa rozwoju pożaru w pomieszczeniu (sprawdzenie klasy temperaturowej wentylatorów wyciągowych), wygenerowana przez program FDS.



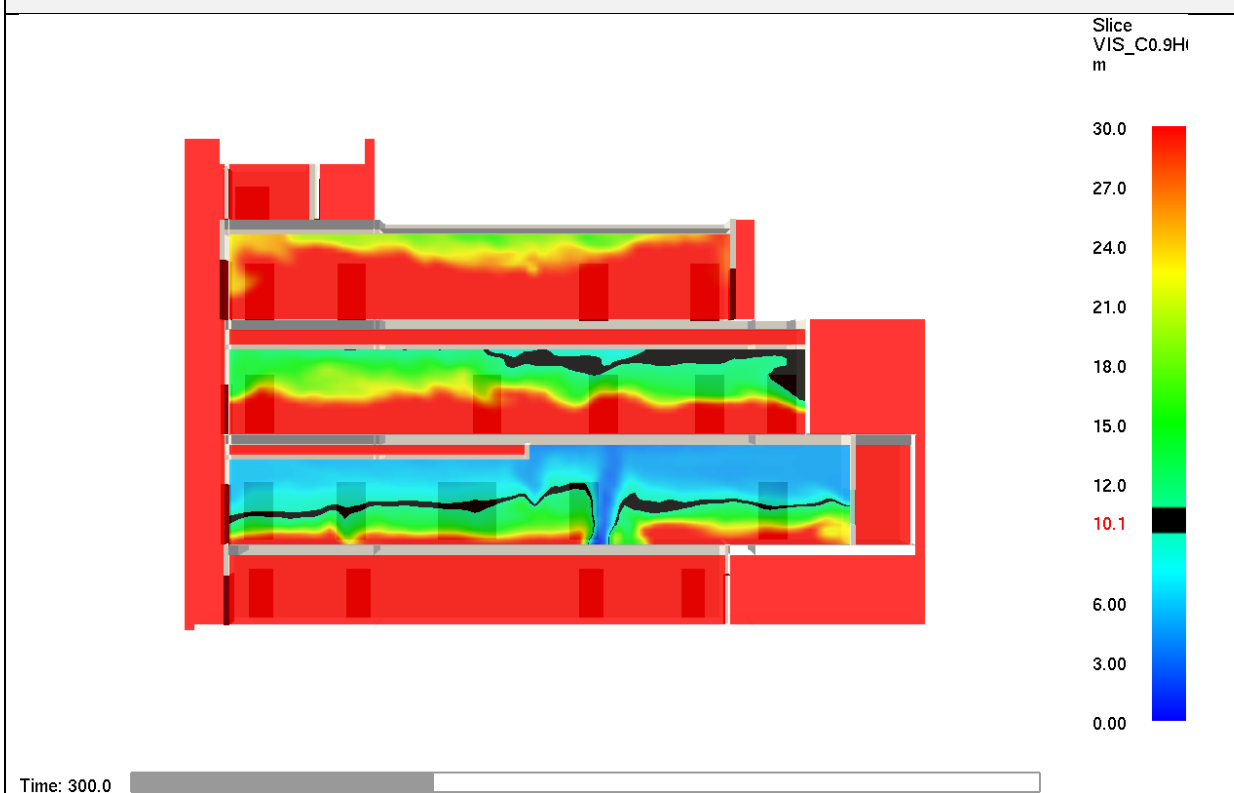
Maksymalna moc pożaru około 3200 kW w 520 s od początku symulacji.

#### 4.1.2. ZASIĘG WIDZIALNOŚCI W PRZEKROJU PIONOWYM POPROWADZONYM PRZEZ KLATKĘ SCHODOWĄ

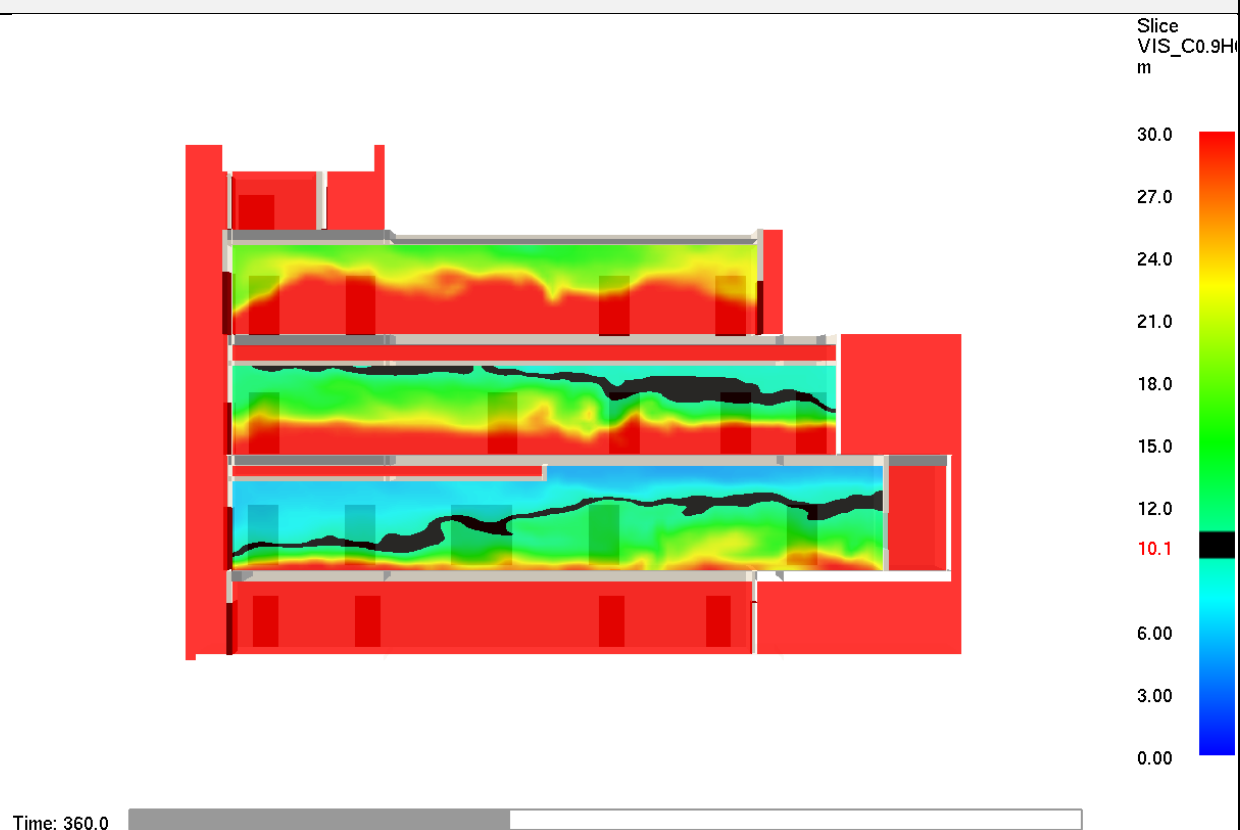
Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 60 sekundach



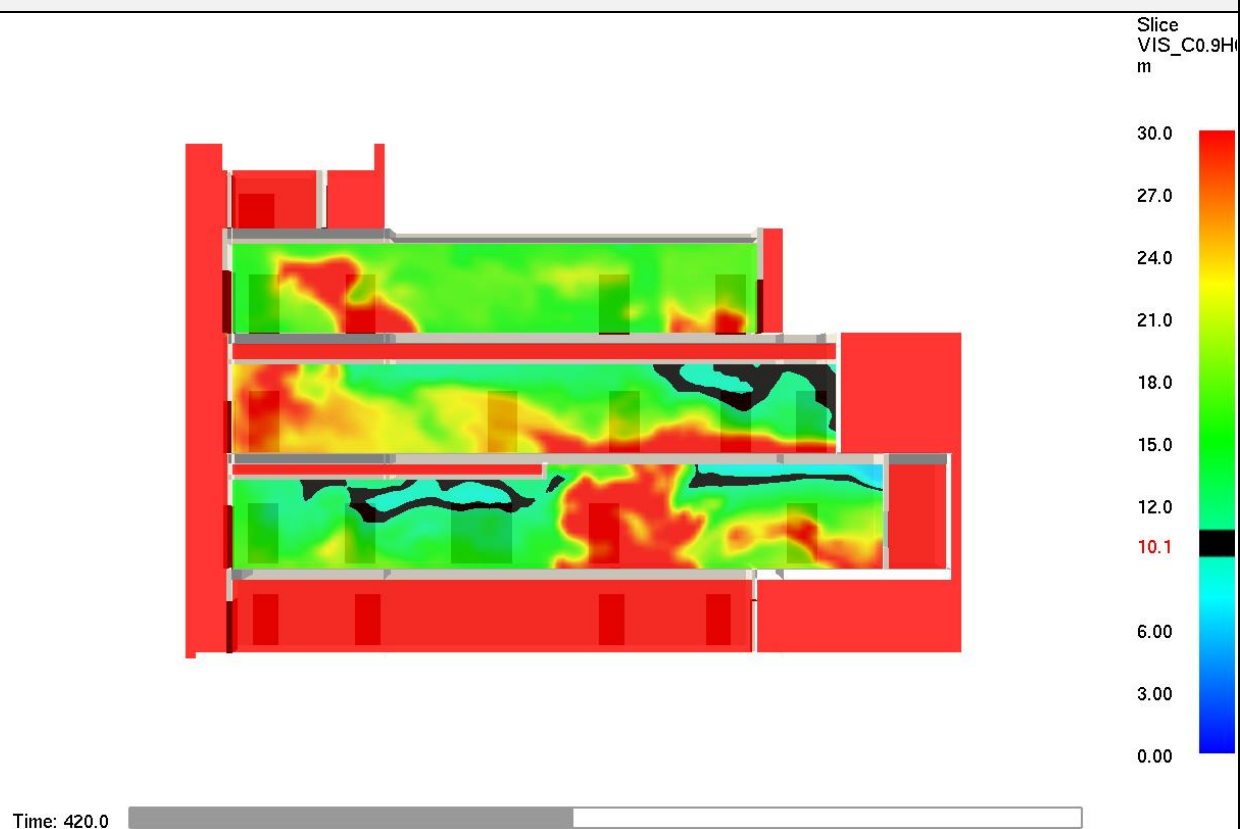
Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 300 sekundach



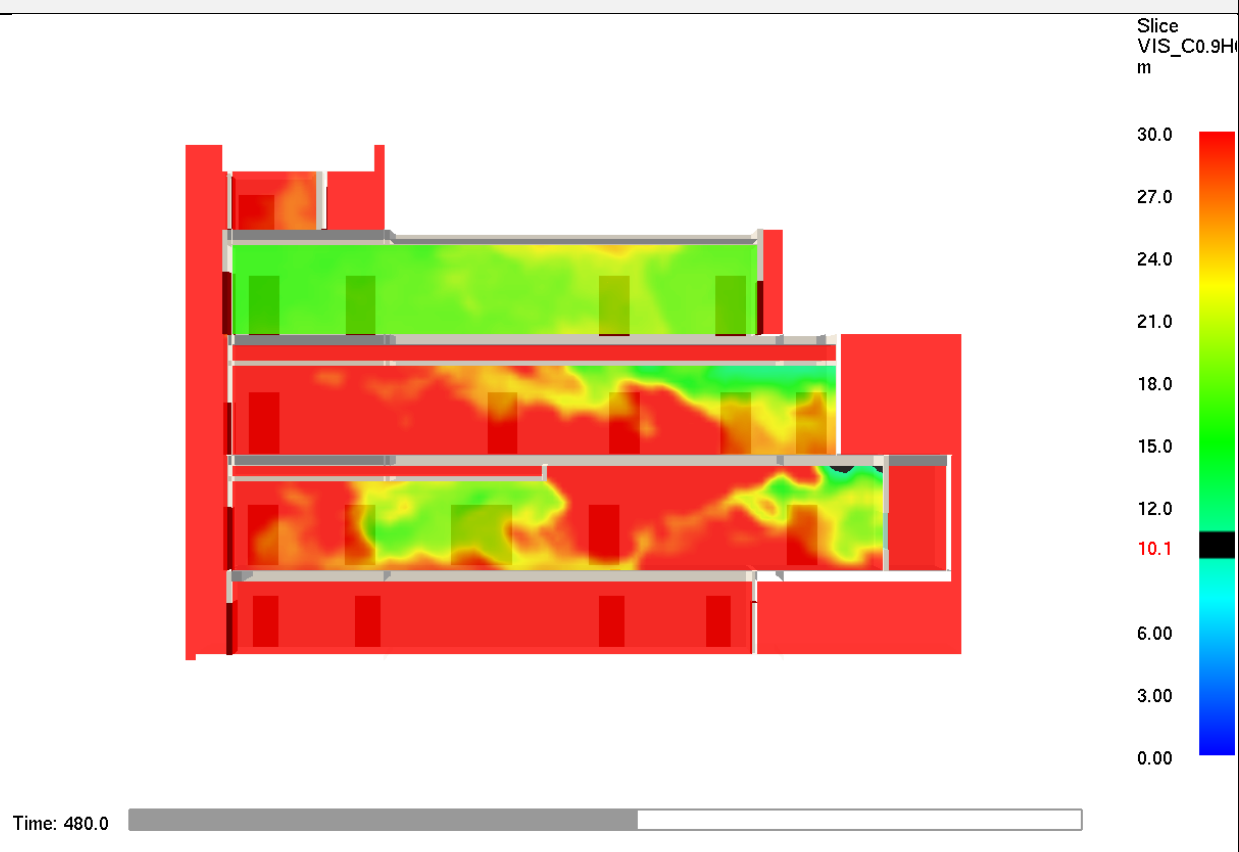
### Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 360 sekundach



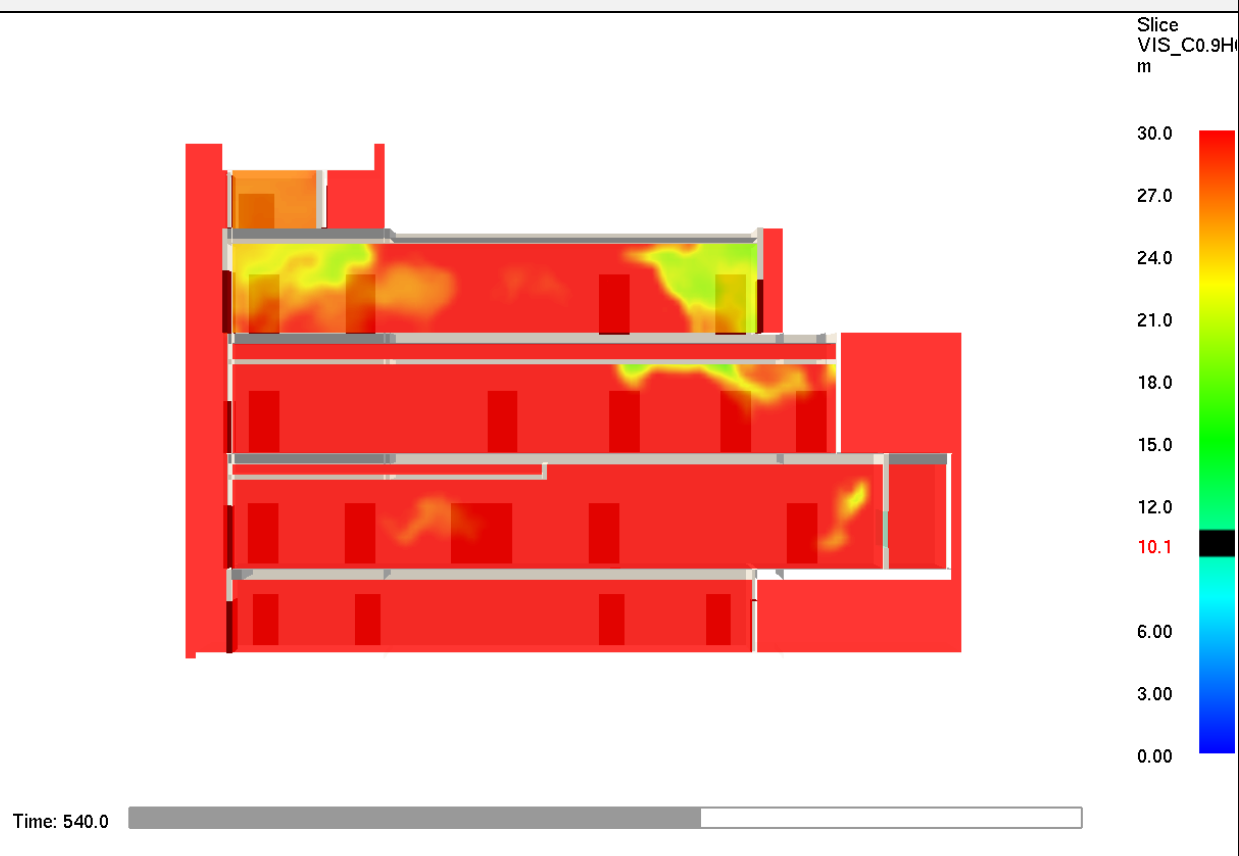
### Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 420 sekundach



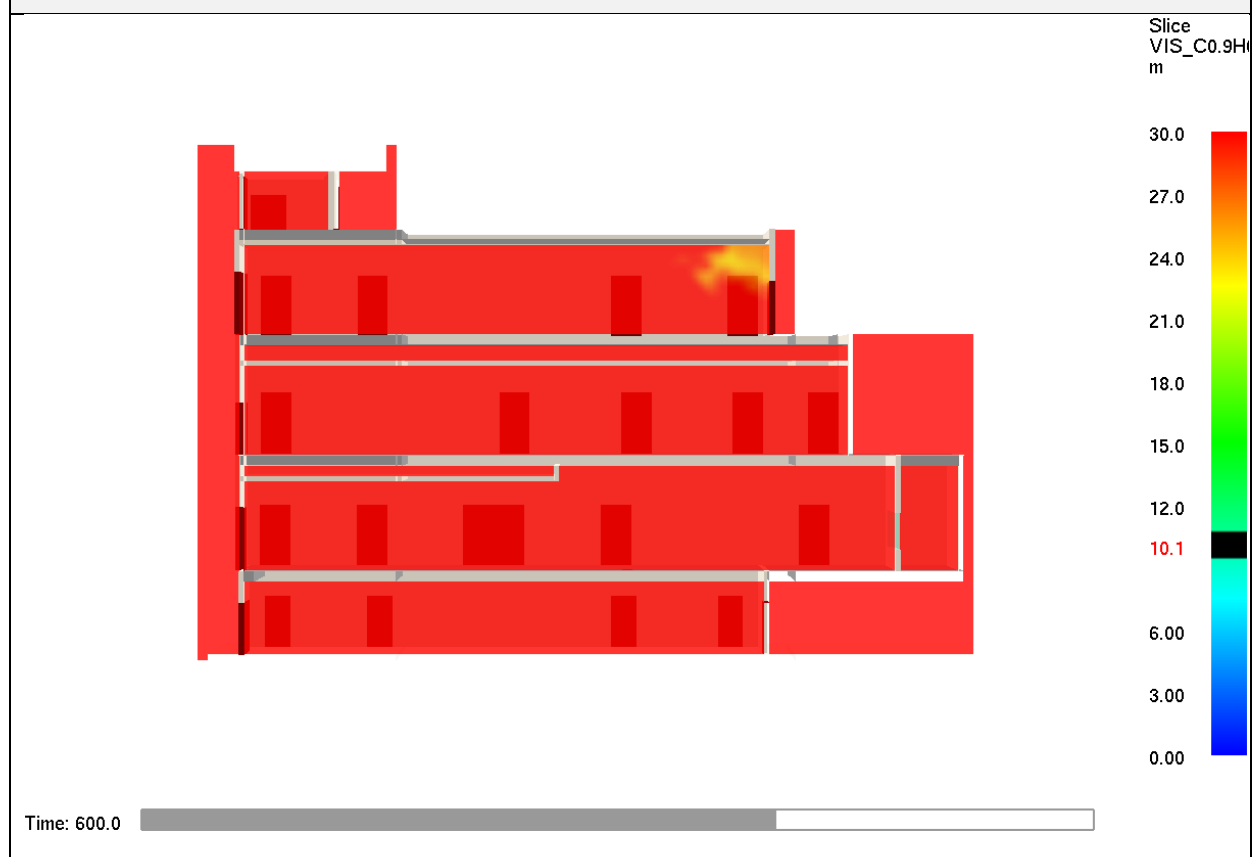
Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 480 sekundach



Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 540 sekundach

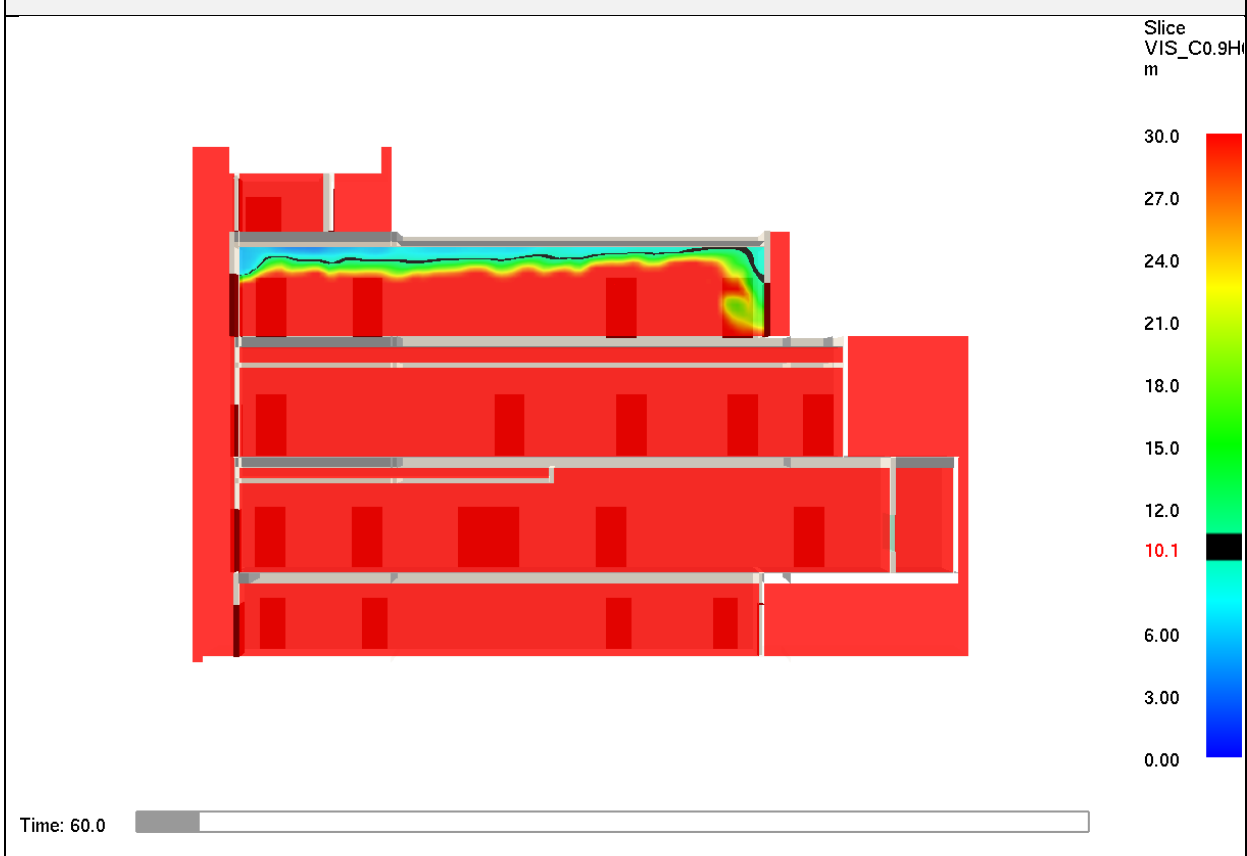


# Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 600 sekundach

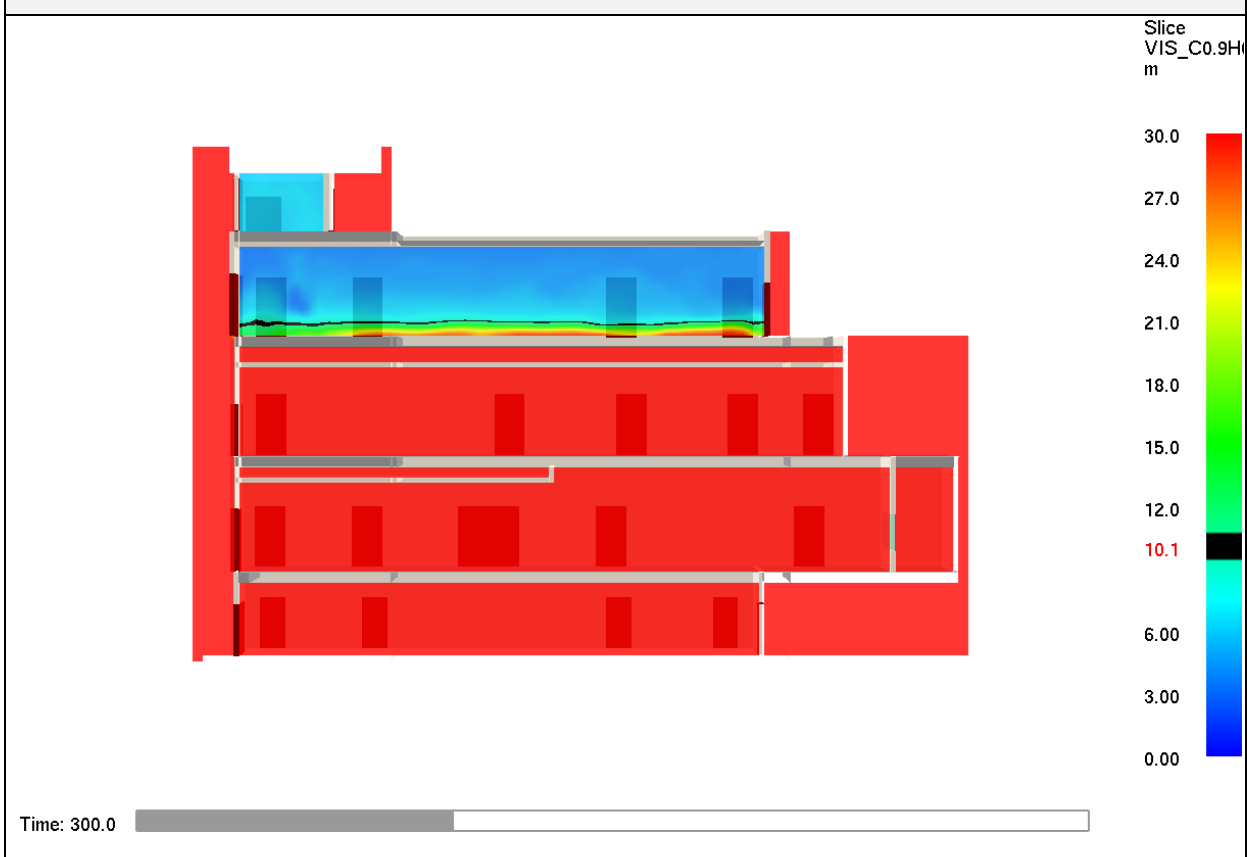




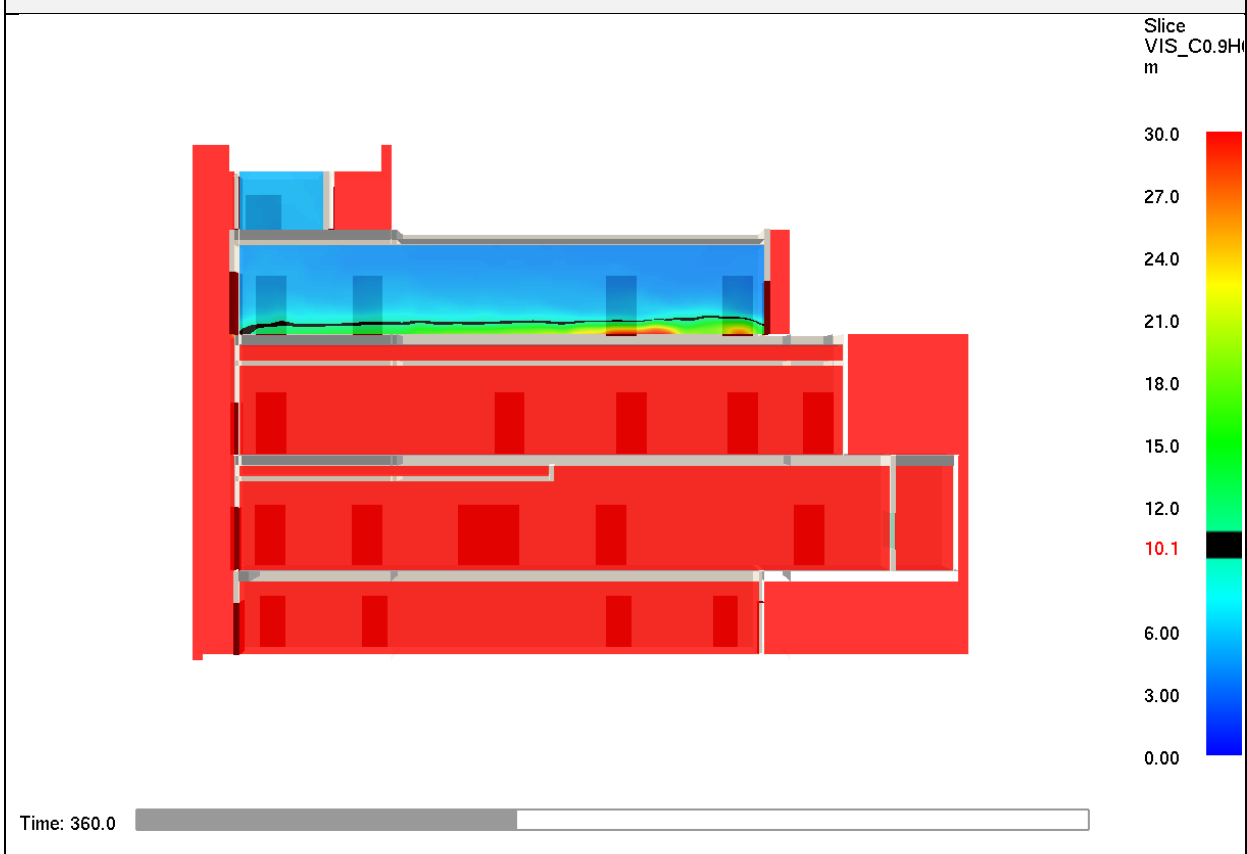
## Scenariusz nr 2 - spadek zasięgu widzialności po 60 sekundach



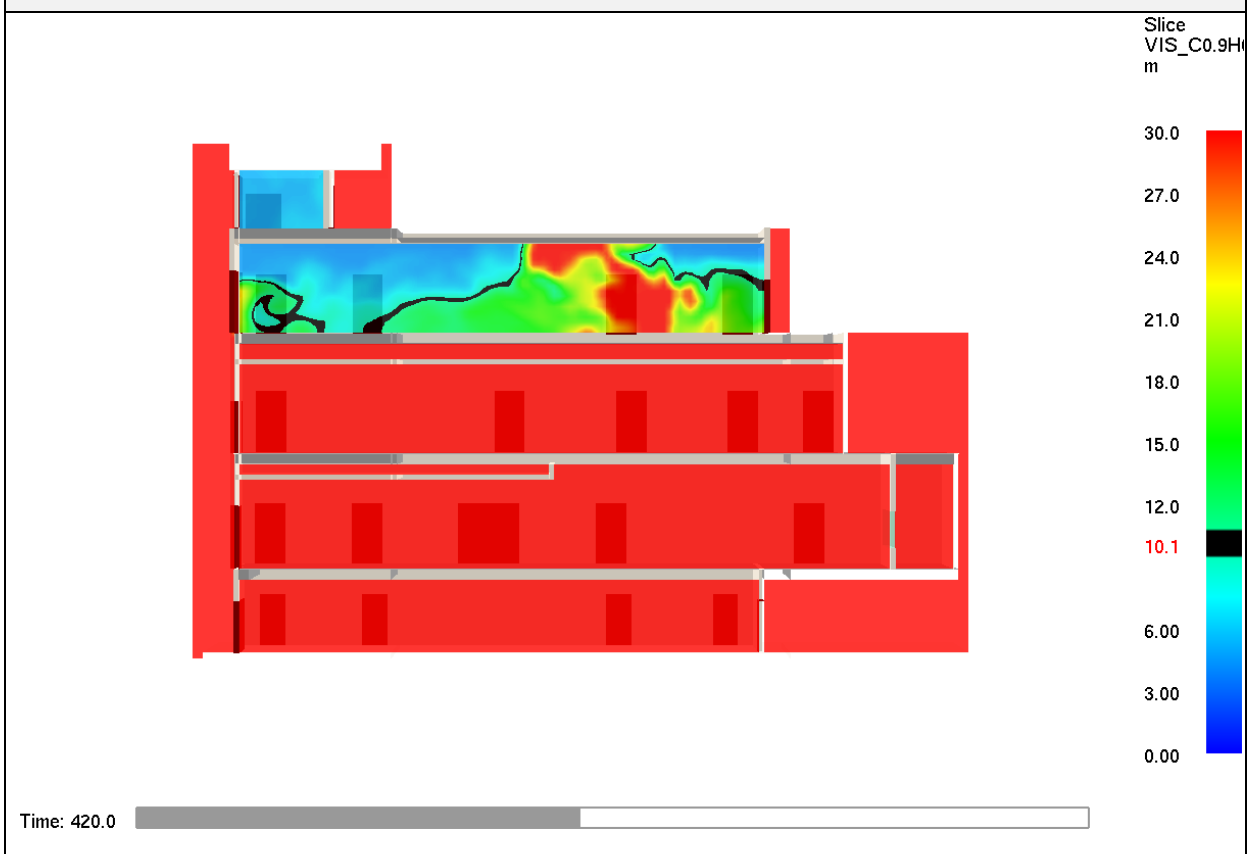
## Scenariusz nr 2 - spadek zasięgu widzialności po 300 sekundach



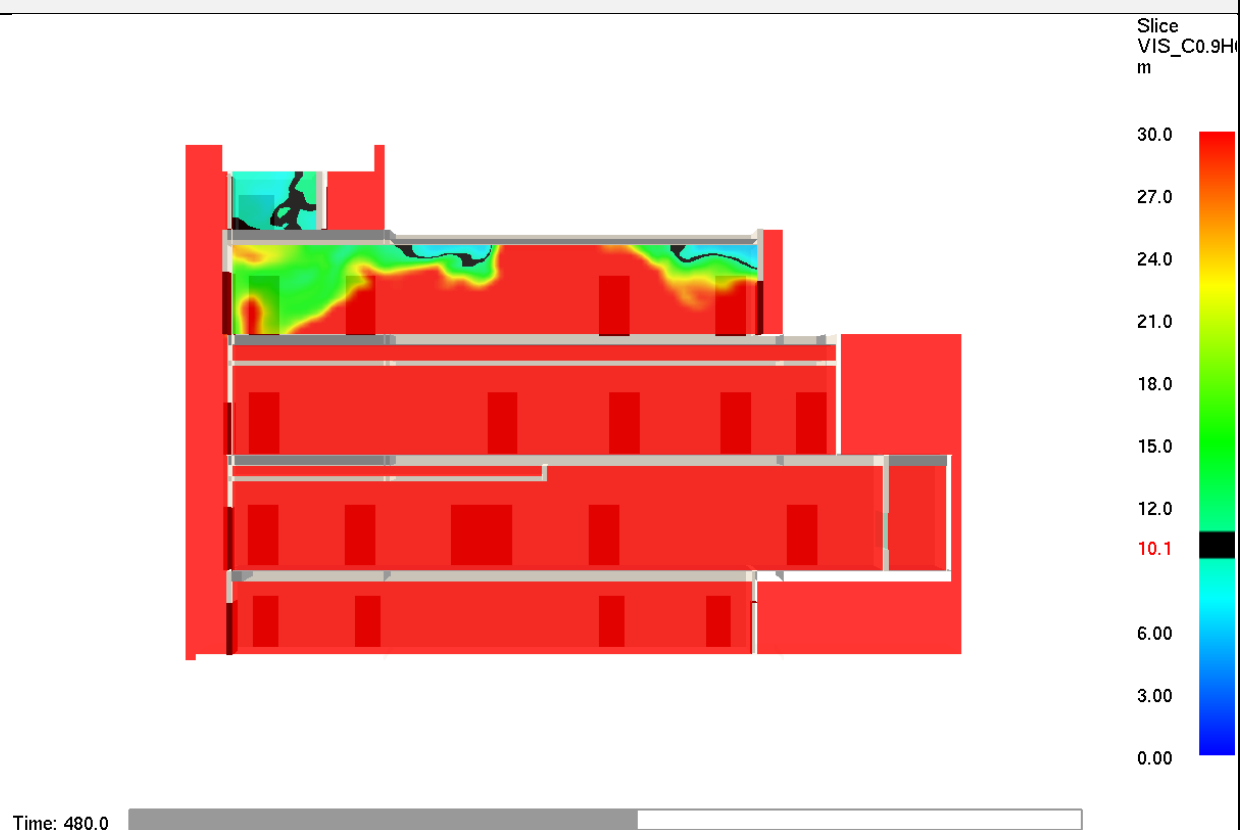
## Scenariusz nr 2 - spadek zasięgu widzialności po 360 sekundach



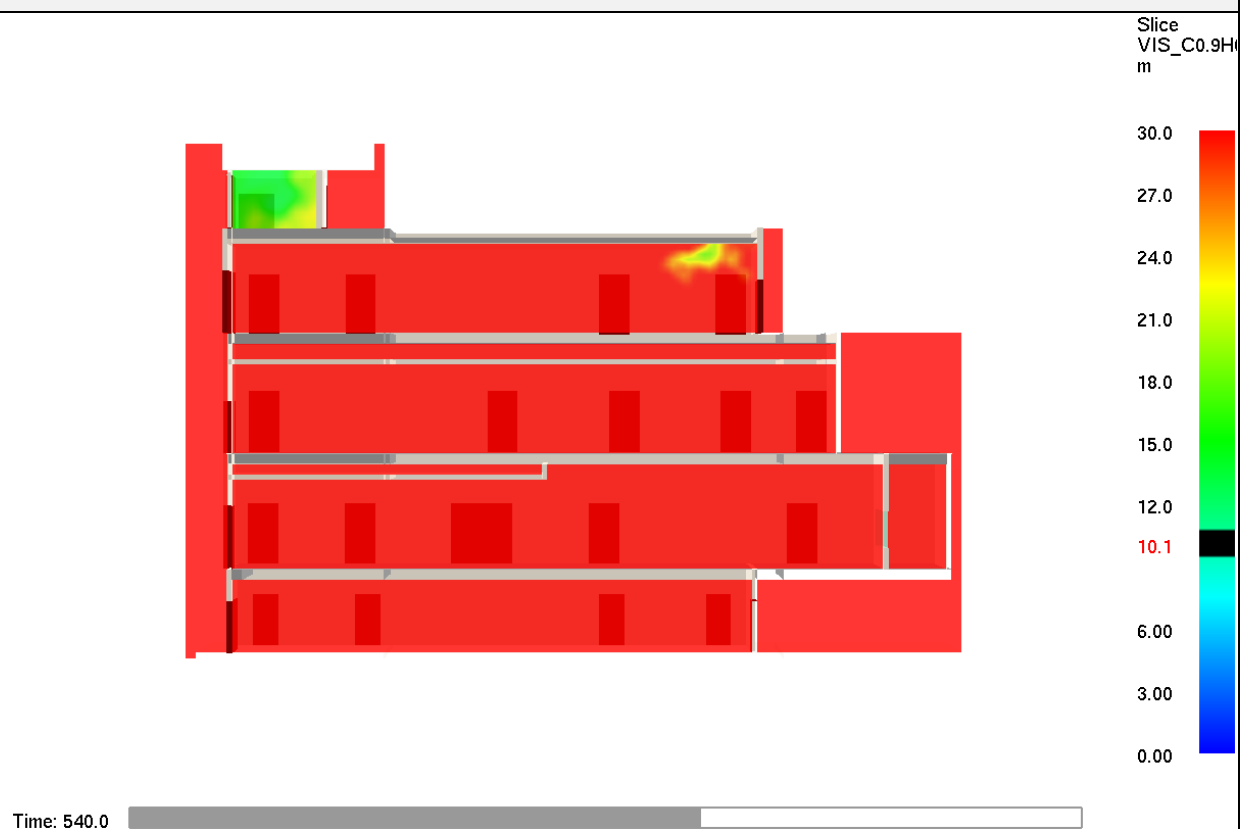
## Scenariusz nr 2 - spadek zasięgu widzialności po 420 sekundach



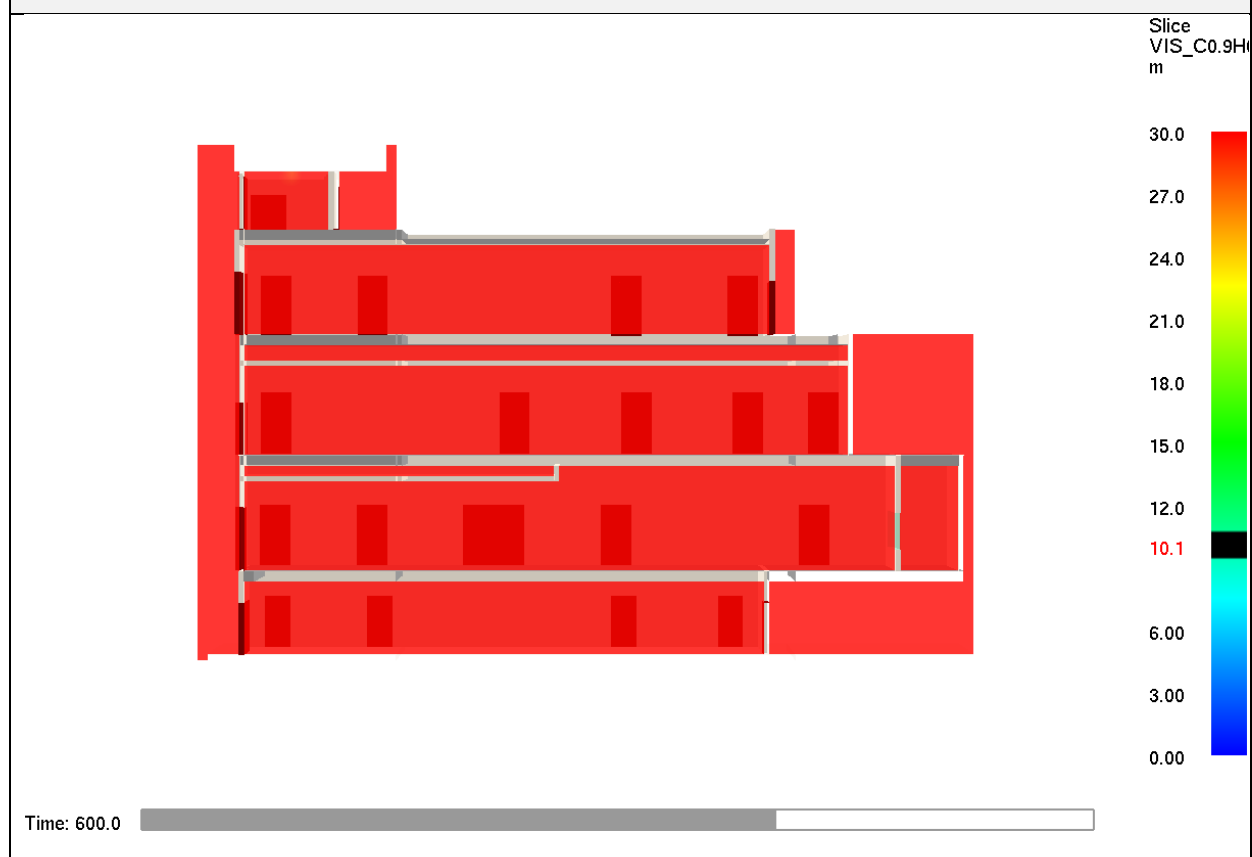
## Scenariusz nr 2 - spadek zasięgu widzialności po 480 sekundach



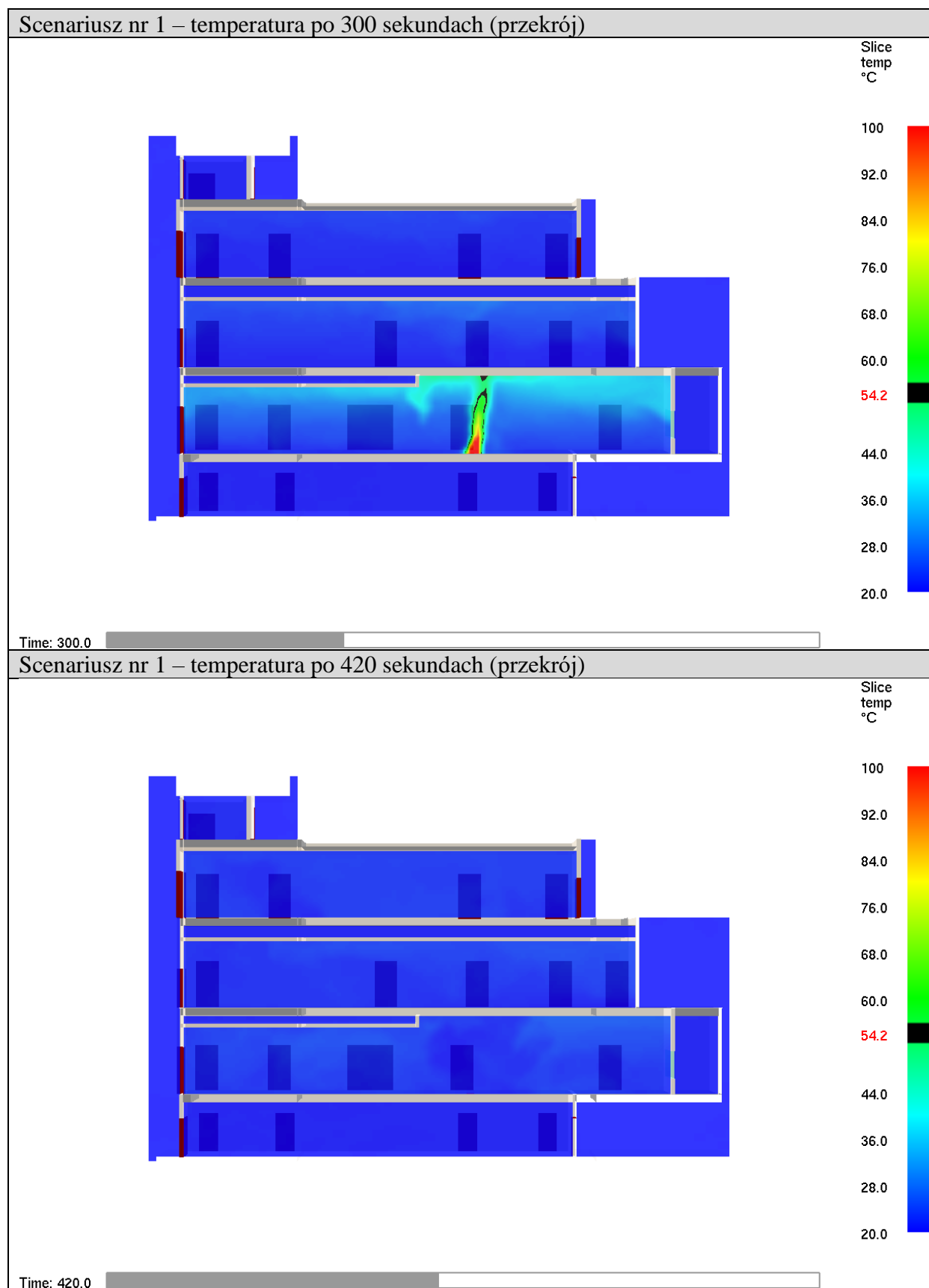
## Scenariusz nr 2 - spadek zasięgu widzialności po 540 sekundach



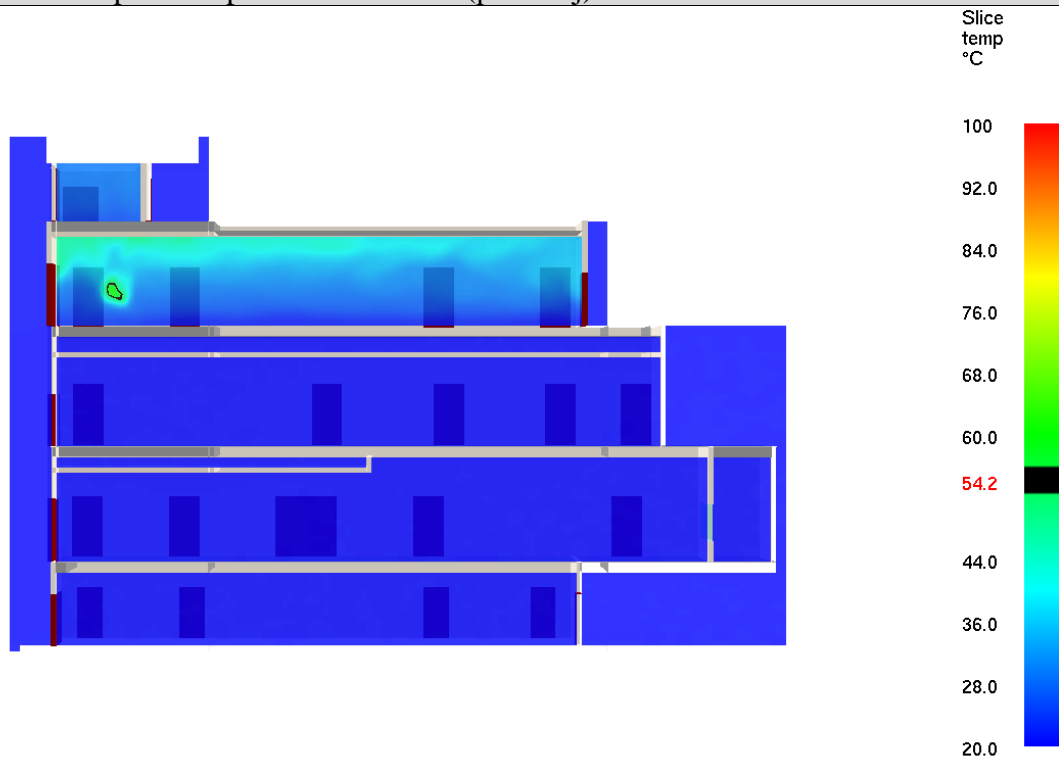
## Scenariusz nr 2 - spadek zasięgu widzialności po 600 sekundach



#### 4.1.3. TEMPERATURA W PRZĘKROJU PIONOWYM POPROWADZONYM PRZĘZ KLATKĘ

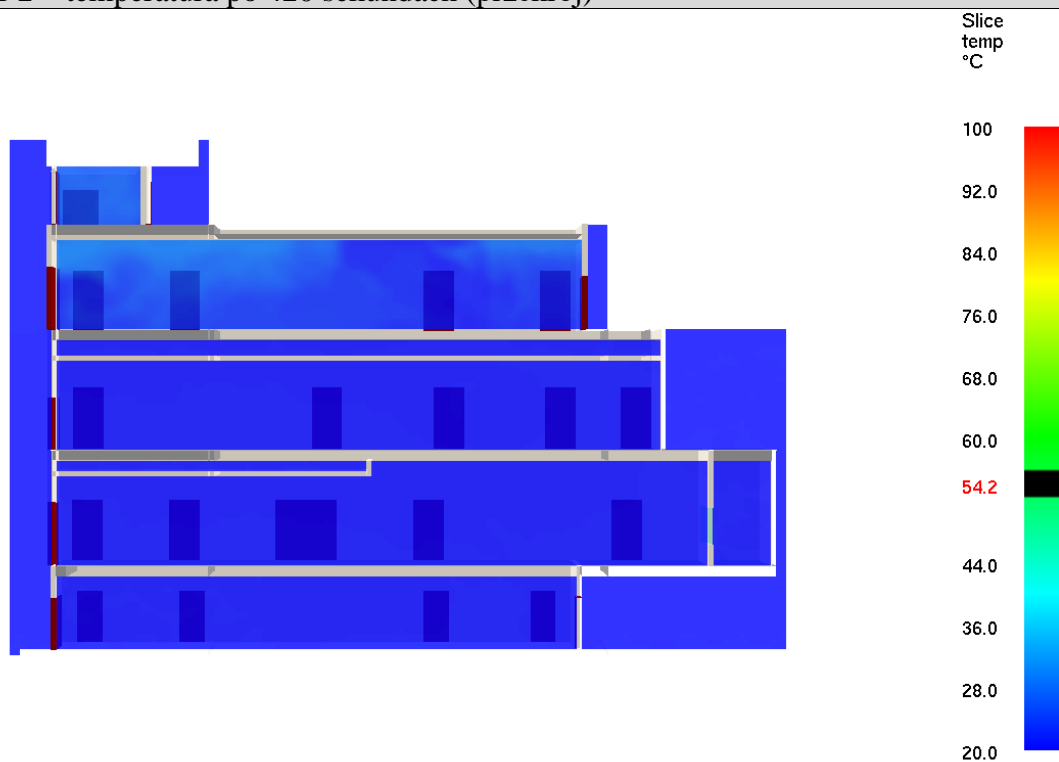


### Scenariusz nr 2 – temperatura po 300 sekundach (przekrój)



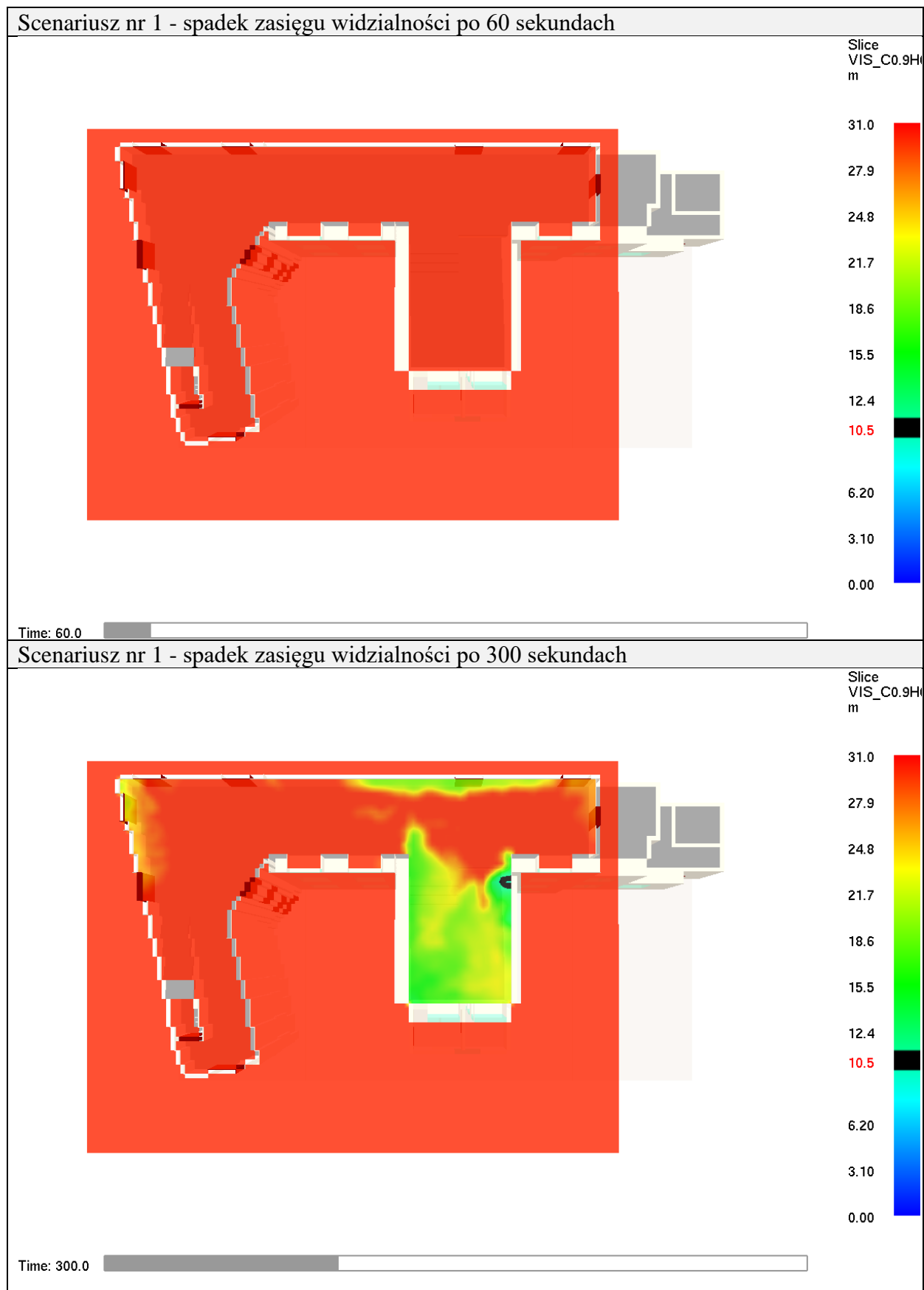
Time: 300.0

### Scenariusz nr 2 – temperatura po 420 sekundach (przekrój)

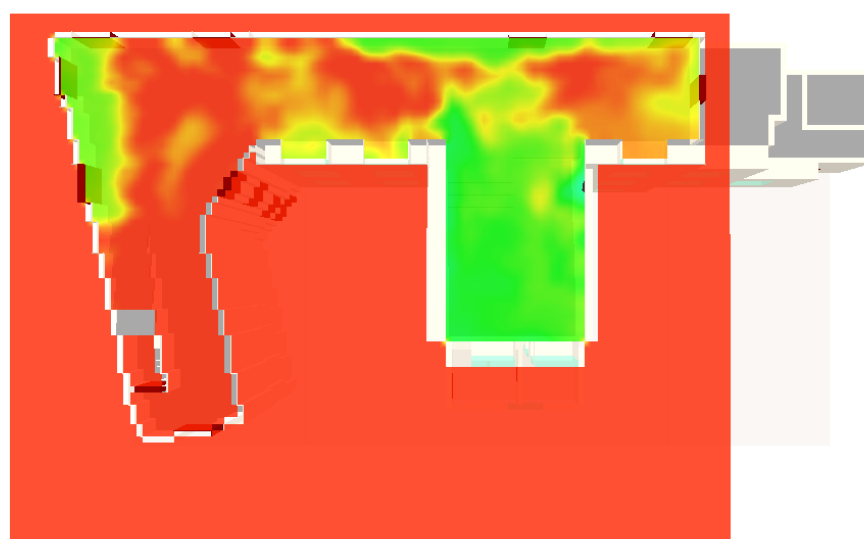


Time: 420.0

#### 4.1.4. ZASIĘG WIDZIALNOŚCI 1.8 M NA 3 KONDYGNACJI



Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 360 sekundach

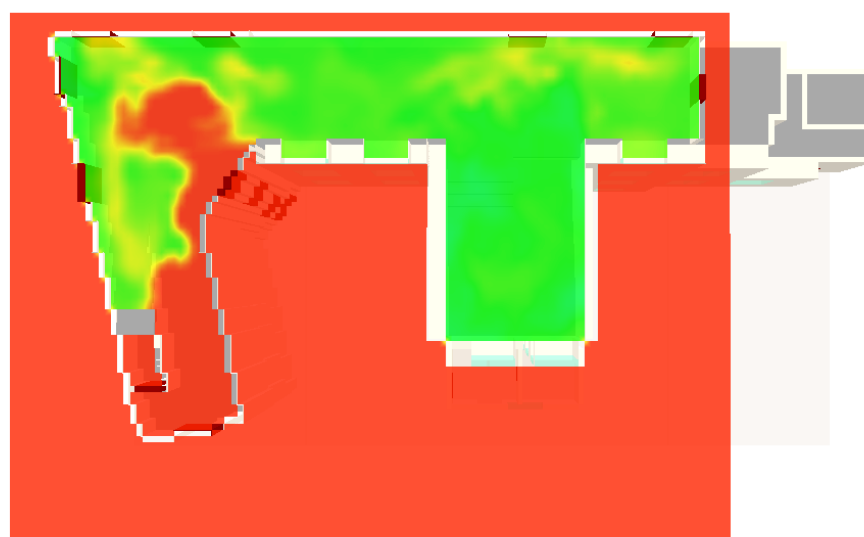


Slice  
VIS\_C0.9H  
m

31.0  
27.9  
24.8  
21.7  
18.6  
15.5  
12.4  
10.5  
6.20  
3.10  
0.00

Time: 360.0

Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 420 sekundach



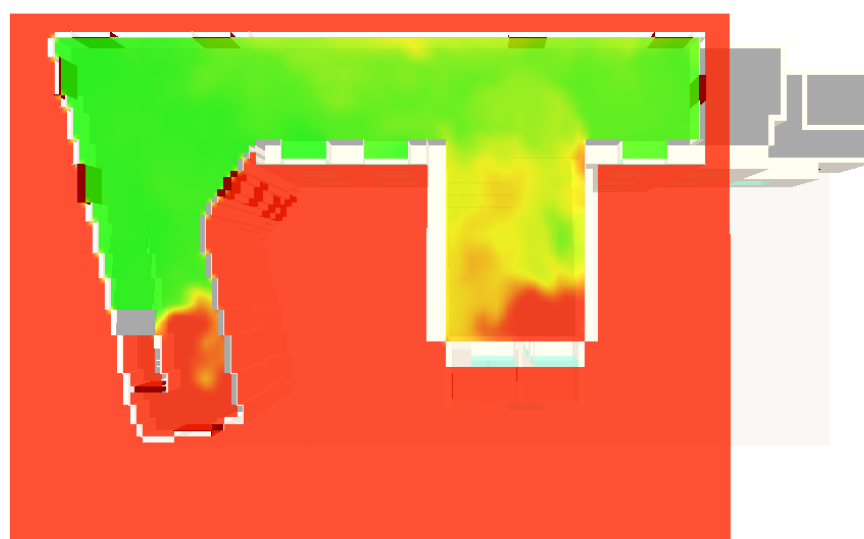
Slice  
VIS\_C0.9H  
m

31.0  
27.9  
24.8  
21.7  
18.6  
15.5  
12.4  
10.5  
6.20  
3.10  
0.00

Time: 420.0



Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 480 sekundach

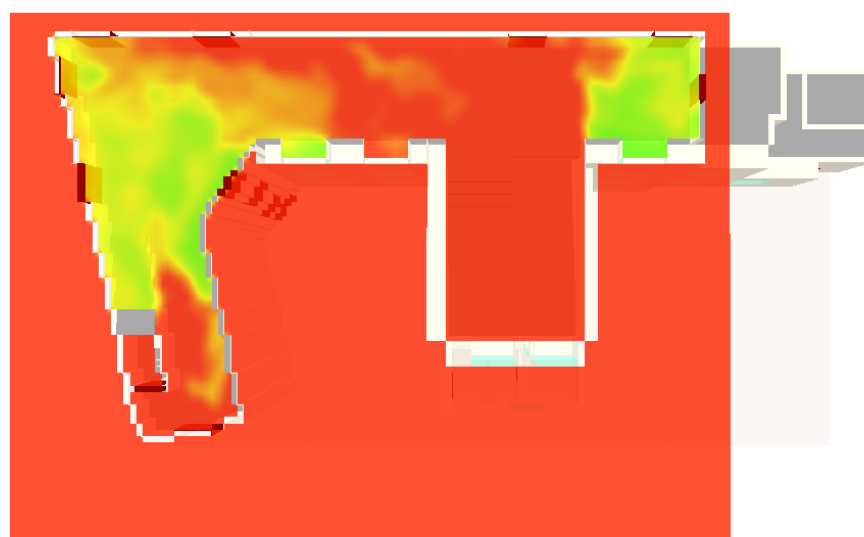


Slice  
VIS\_C0.9H  
m

31.0  
27.9  
24.8  
21.7  
18.6  
15.5  
12.4  
10.5  
6.20  
3.10  
0.00

Time: 480.0

Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 540 sekundach

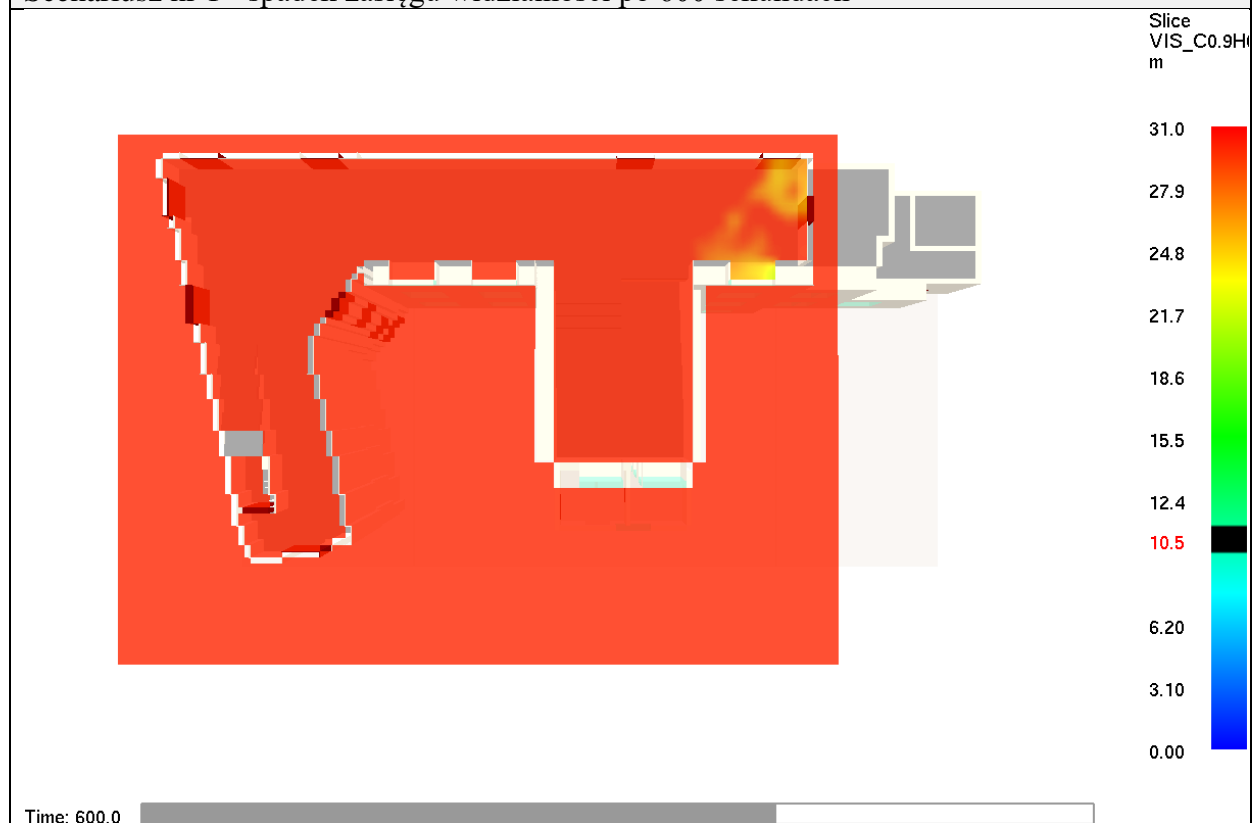


Slice  
VIS\_C0.9H  
m

31.0  
27.9  
24.8  
21.7  
18.6  
15.5  
12.4  
10.5  
6.20  
3.10  
0.00

Time: 540.0

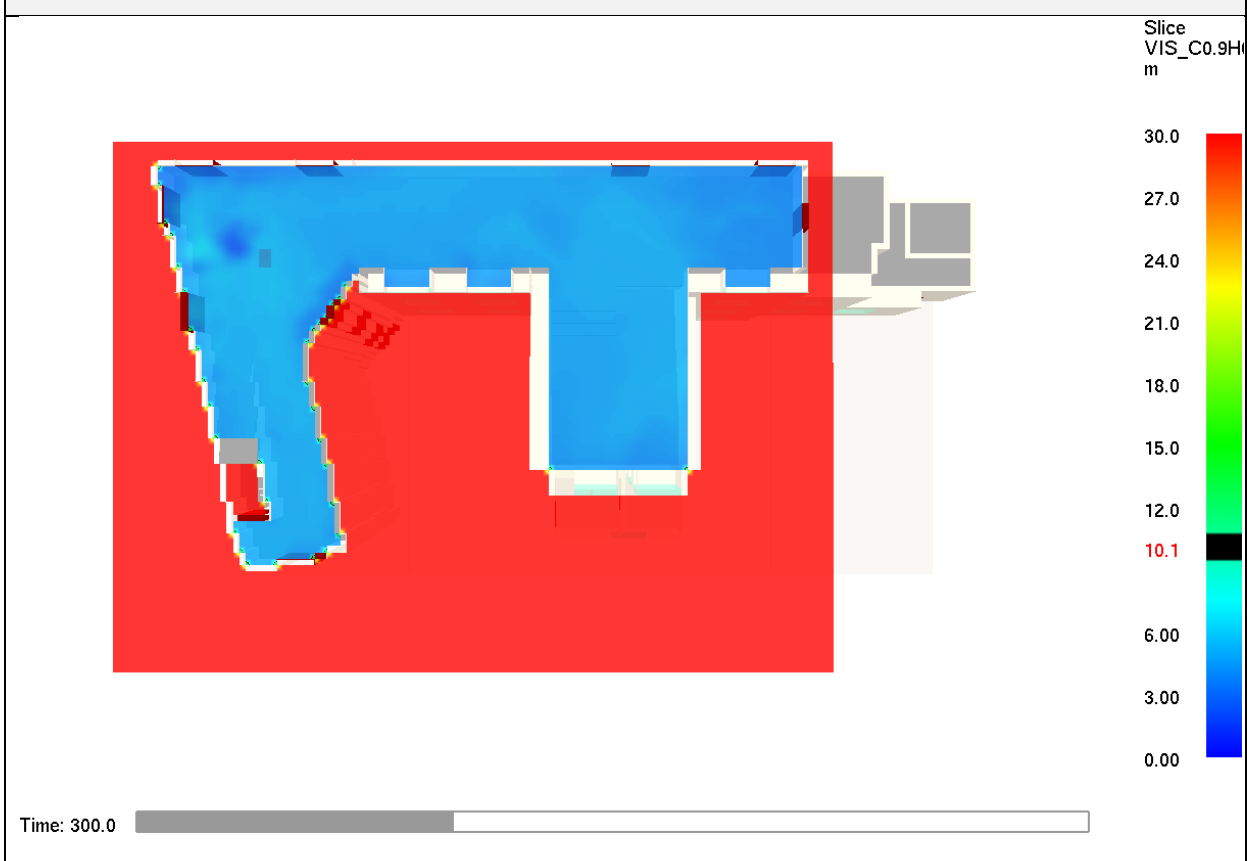
Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 600 sekundach



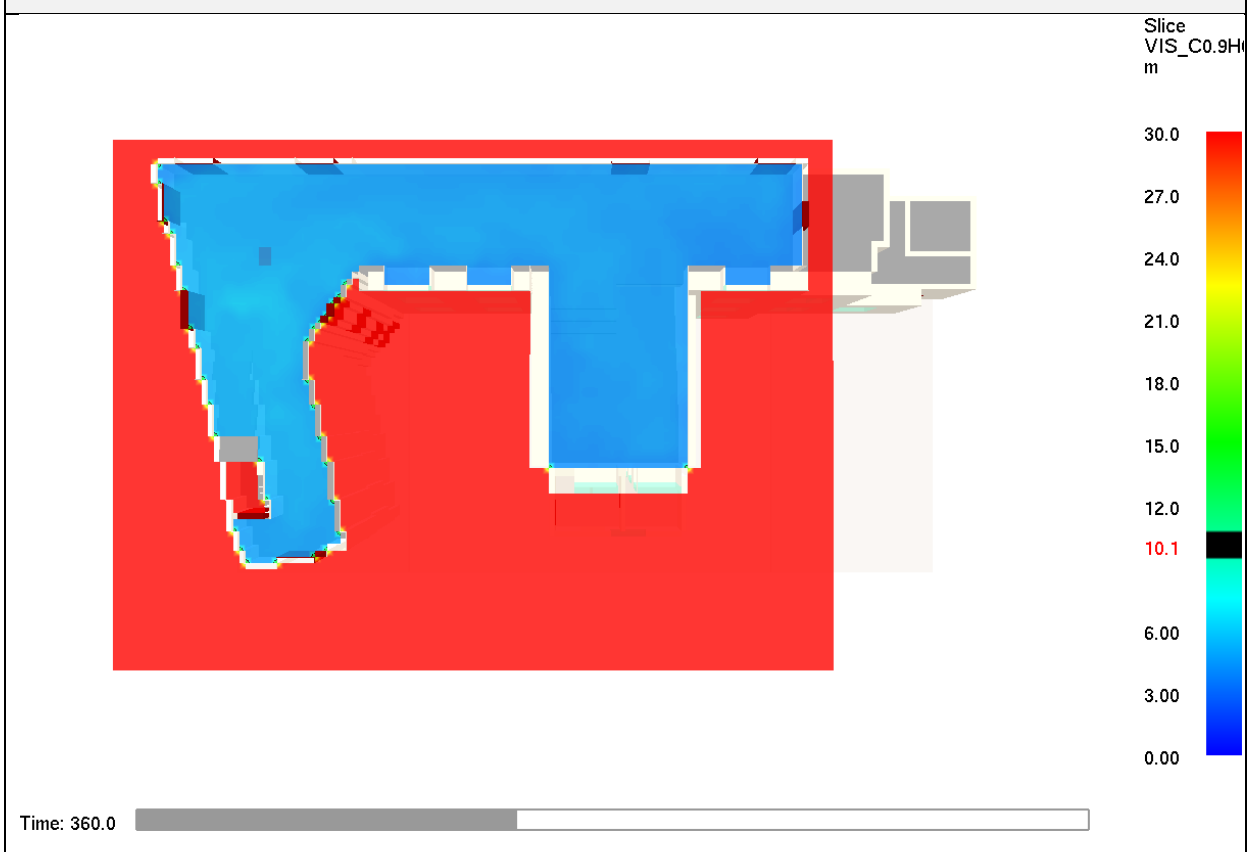
## Scenariusz nr 2 - spadek zasięgu widzialności po 60 sekundach



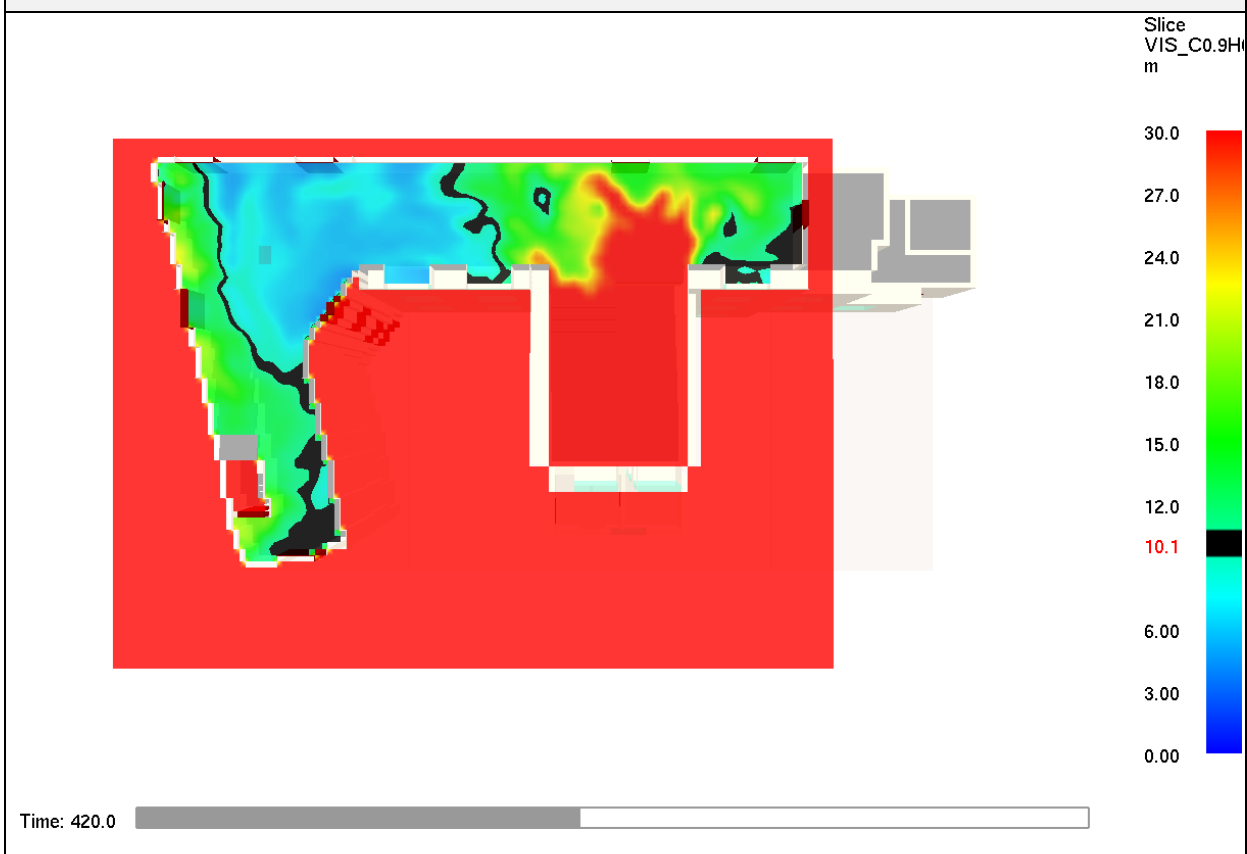
## Scenariusz nr 2 - spadek zasięgu widzialności po 300 sekundach



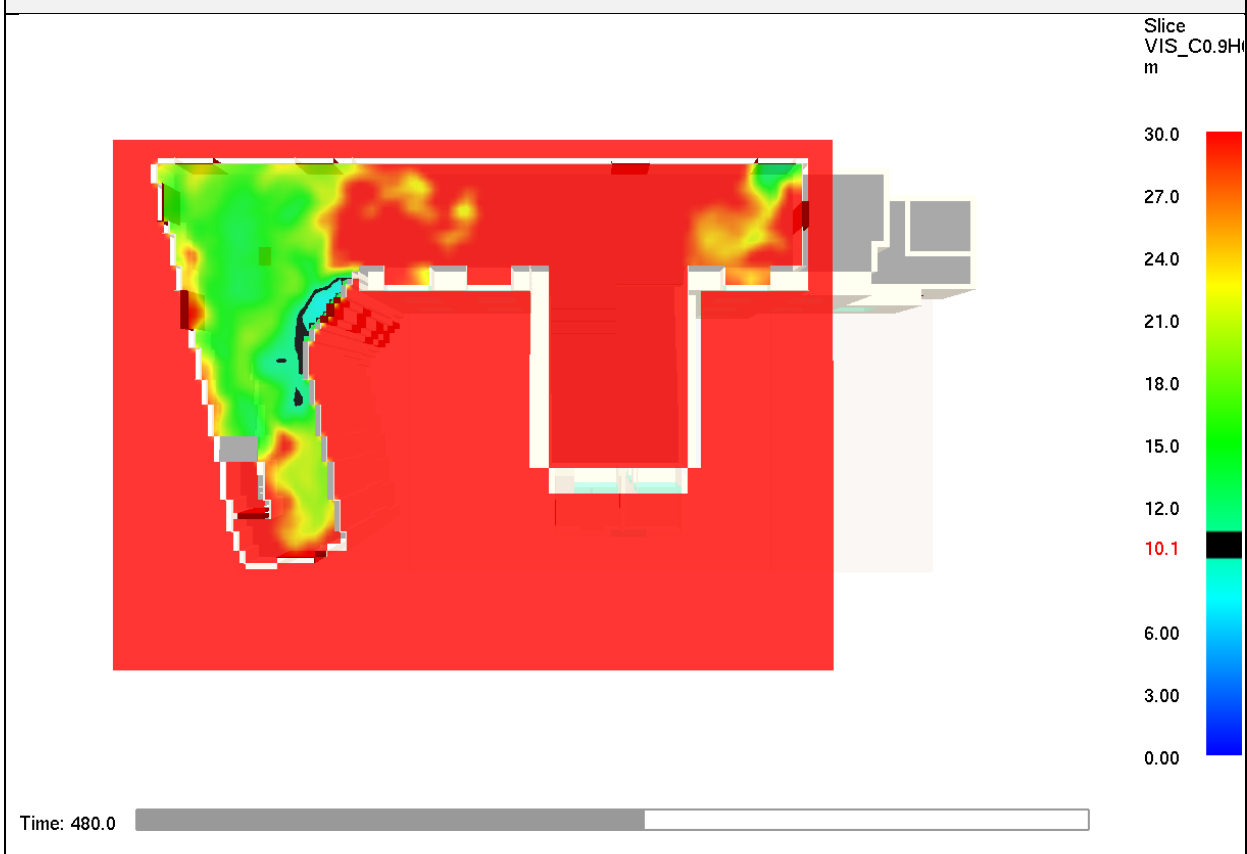
## Scenariusz nr 2 - spadek zasięgu widzialności po 360 sekundach



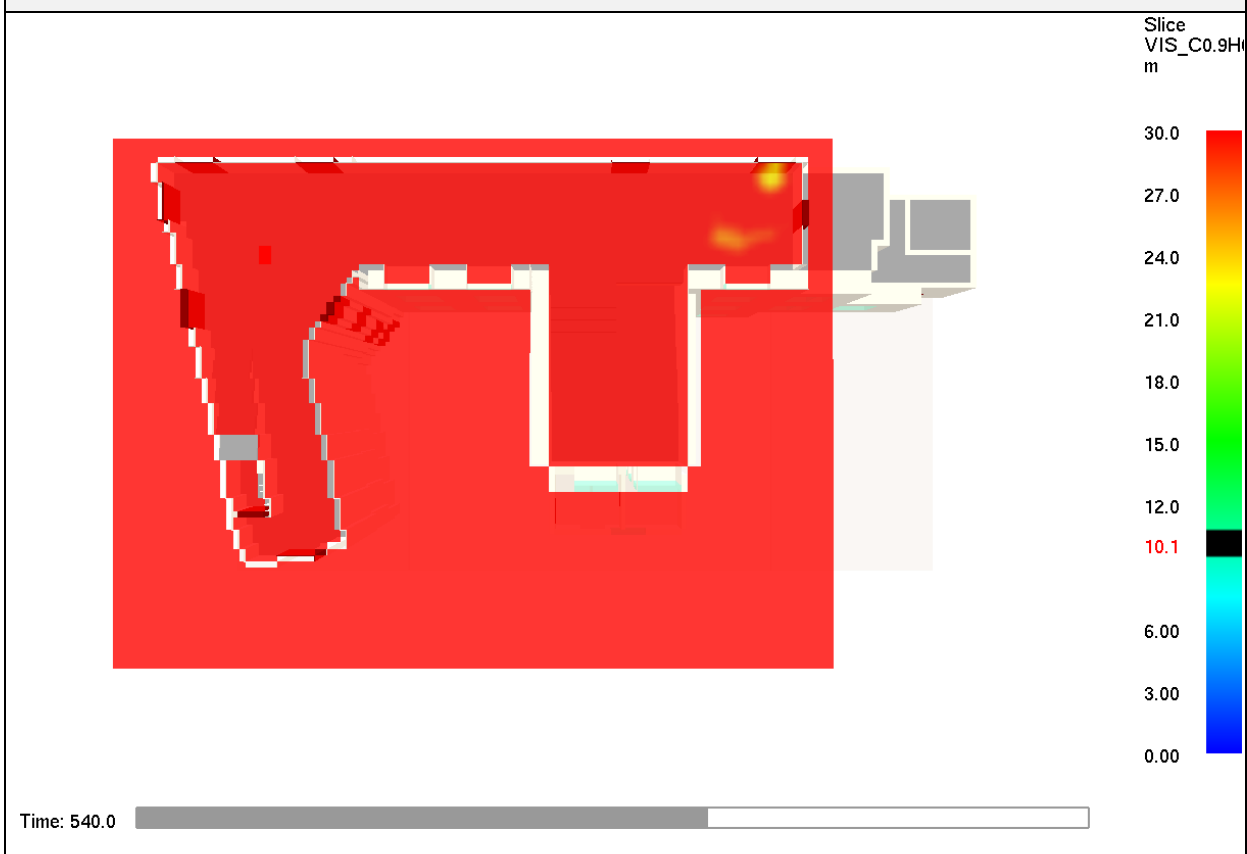
## Scenariusz nr 2 - spadek zasięgu widzialności po 420 sekundach



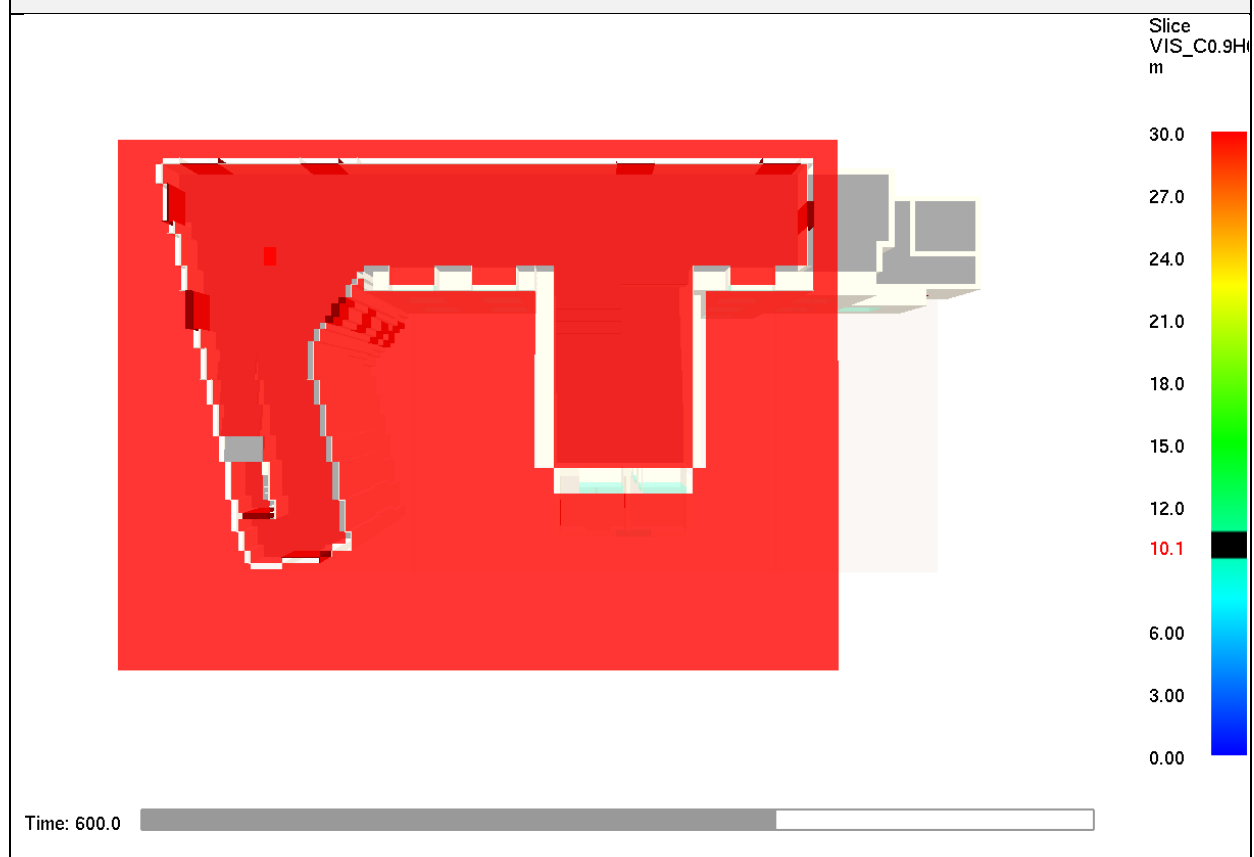
Scenariusz nr 2 - spadek zasięgu widzialności po 480 sekundach



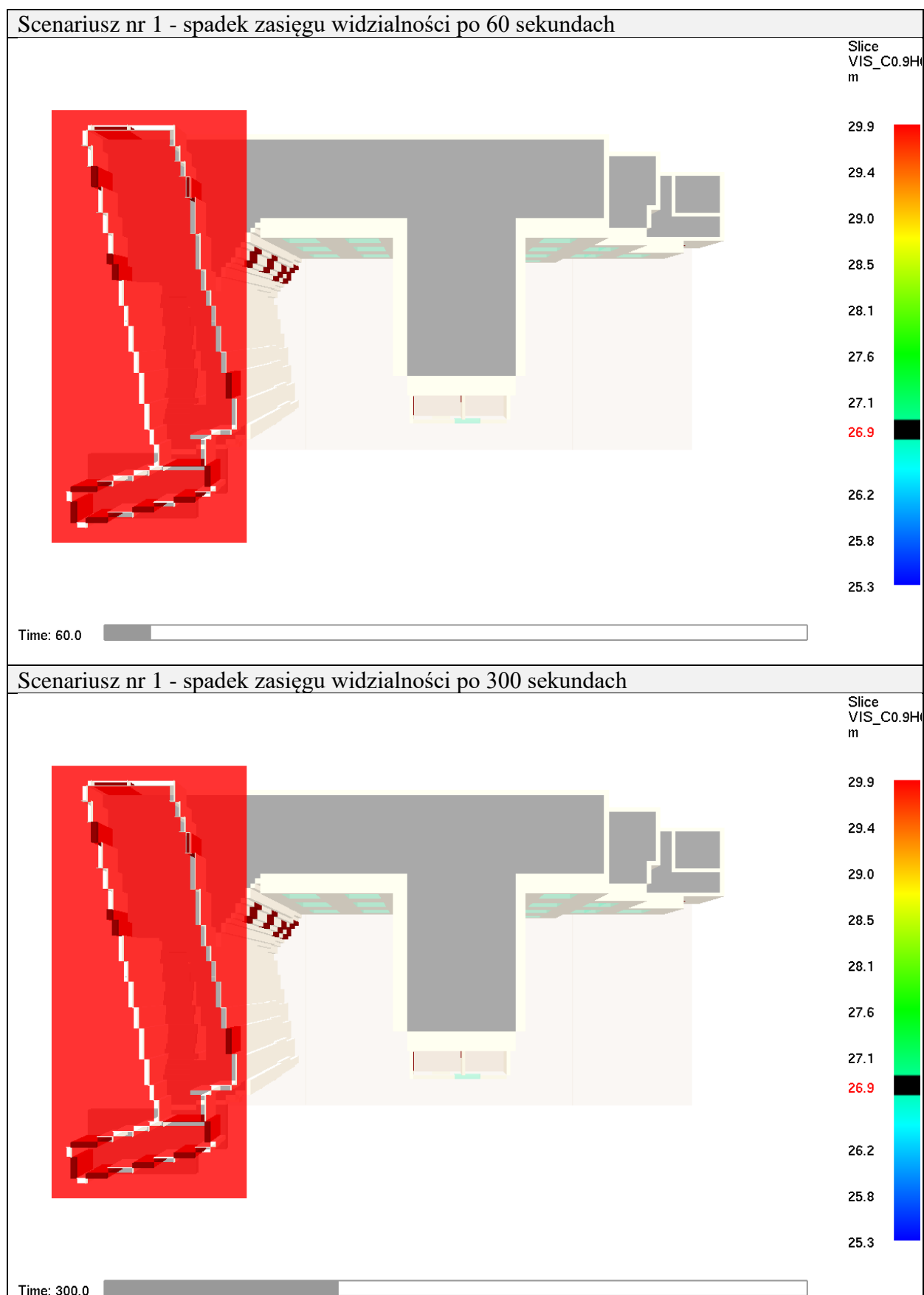
Scenariusz nr 2 - spadek zasięgu widzialności po 540 sekundach



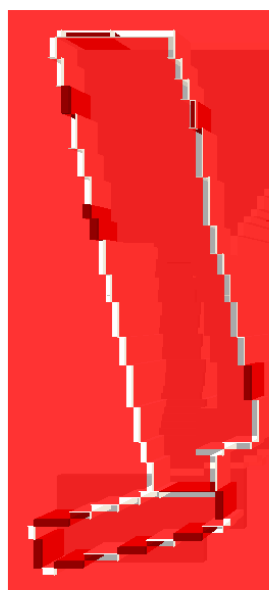
## Scenariusz nr 2 - spadek zasięgu widzialności po 600 sekundach



#### 4.1.5. ZASIĘG WIDZIALNOŚCI 1.8 M NA KORYTARZU PODDASZA



# Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 360 sekundach

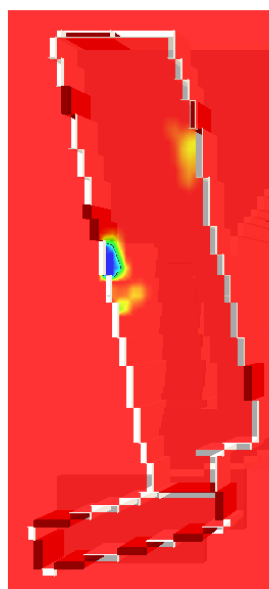


Slice  
VIS\_C0.9H  
m

29.9  
29.4  
29.0  
28.5  
28.1  
27.6  
27.1  
26.9  
26.2  
25.8  
25.3

Time: 360.0

# Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 420 sekundach



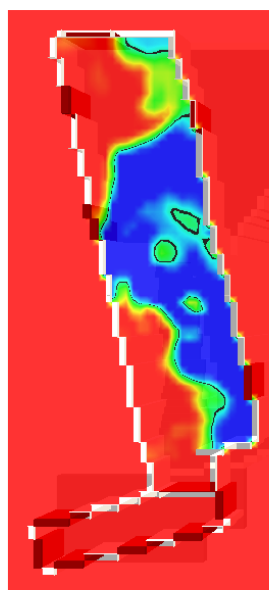
Slice  
VIS\_C0.9H  
m

29.9  
29.4  
29.0  
28.5  
28.1  
27.6  
27.1  
26.9  
26.2  
25.8  
25.3

Time: 420.0



Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 480 sekundach

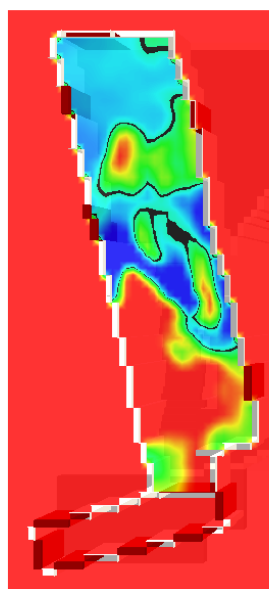


Slice  
VIS\_C0.9H  
m

29.9  
29.4  
29.0  
28.5  
28.1  
27.6  
27.1  
26.9  
26.2  
25.8  
25.3

Time: 480.0

Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 540 sekundach

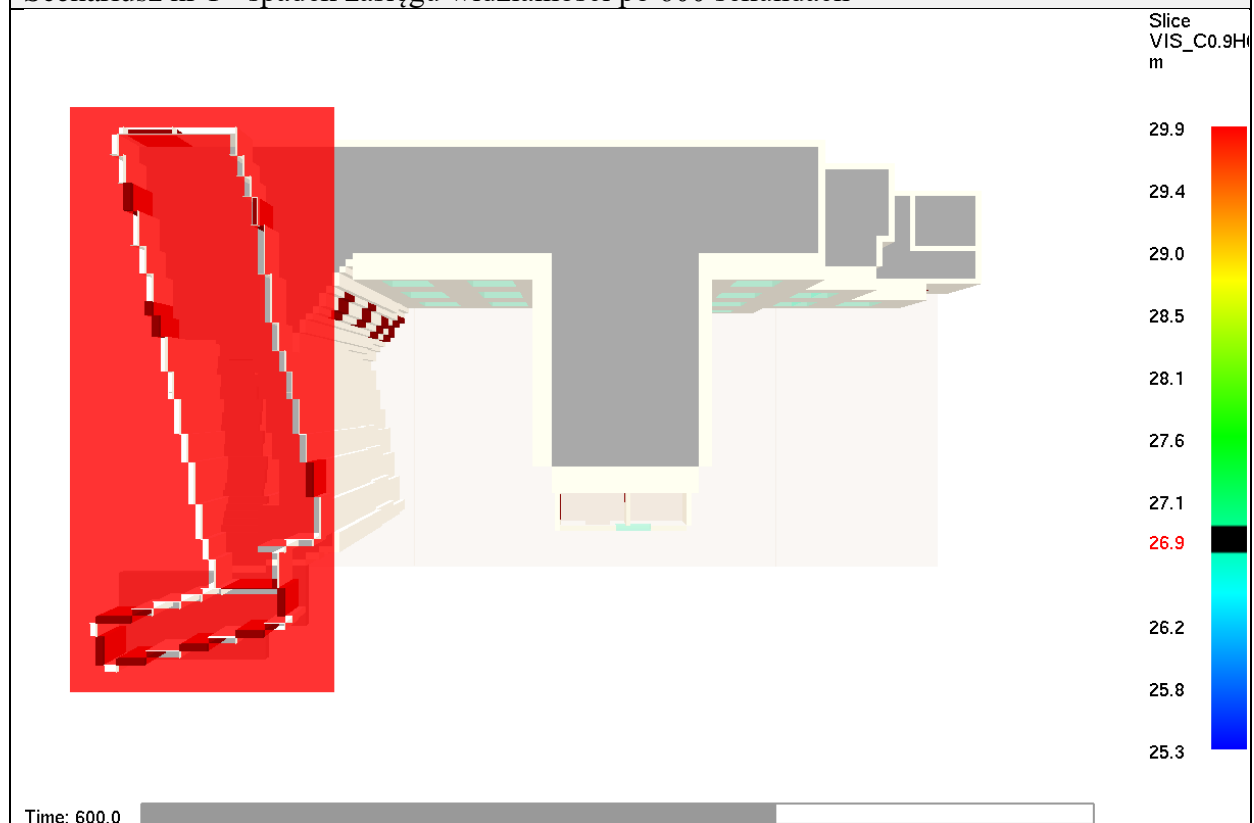


Slice  
VIS\_C0.9H  
m

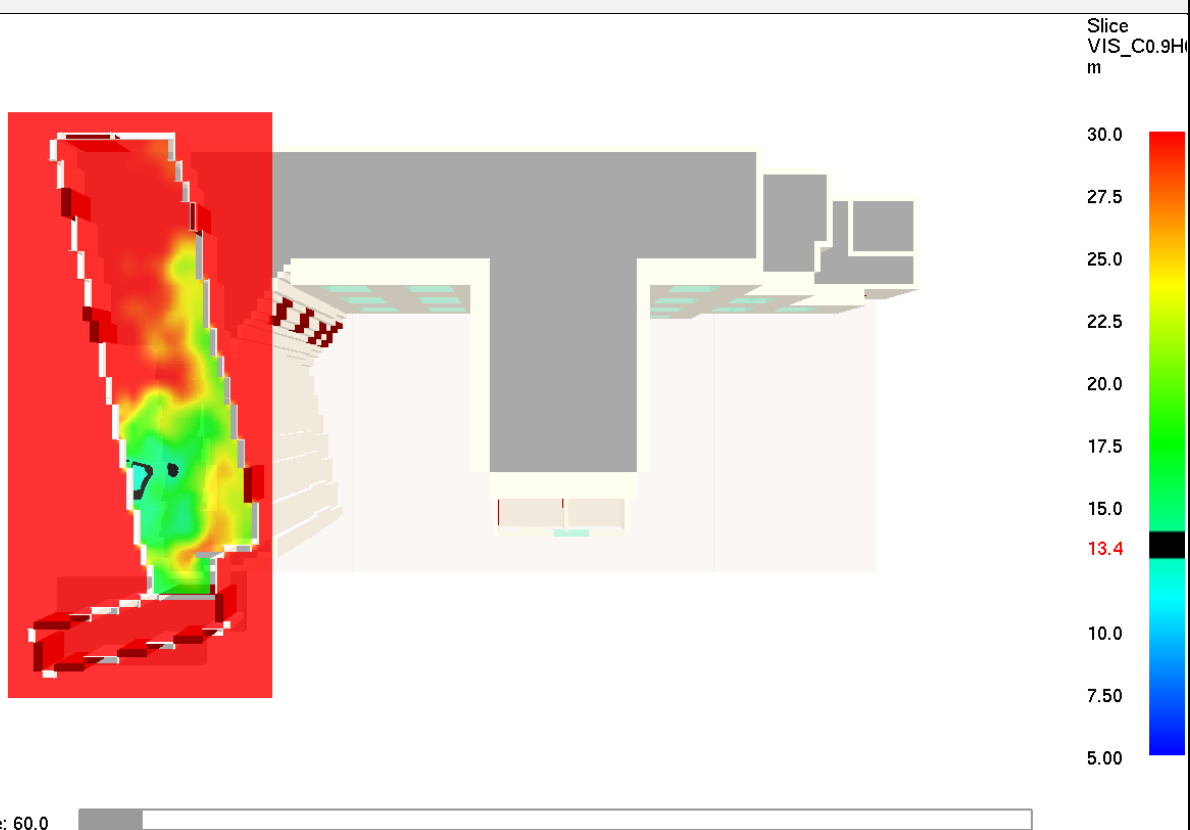
29.9  
29.4  
29.0  
28.5  
28.1  
27.6  
27.1  
26.9  
26.2  
25.8  
25.3

Time: 540.0

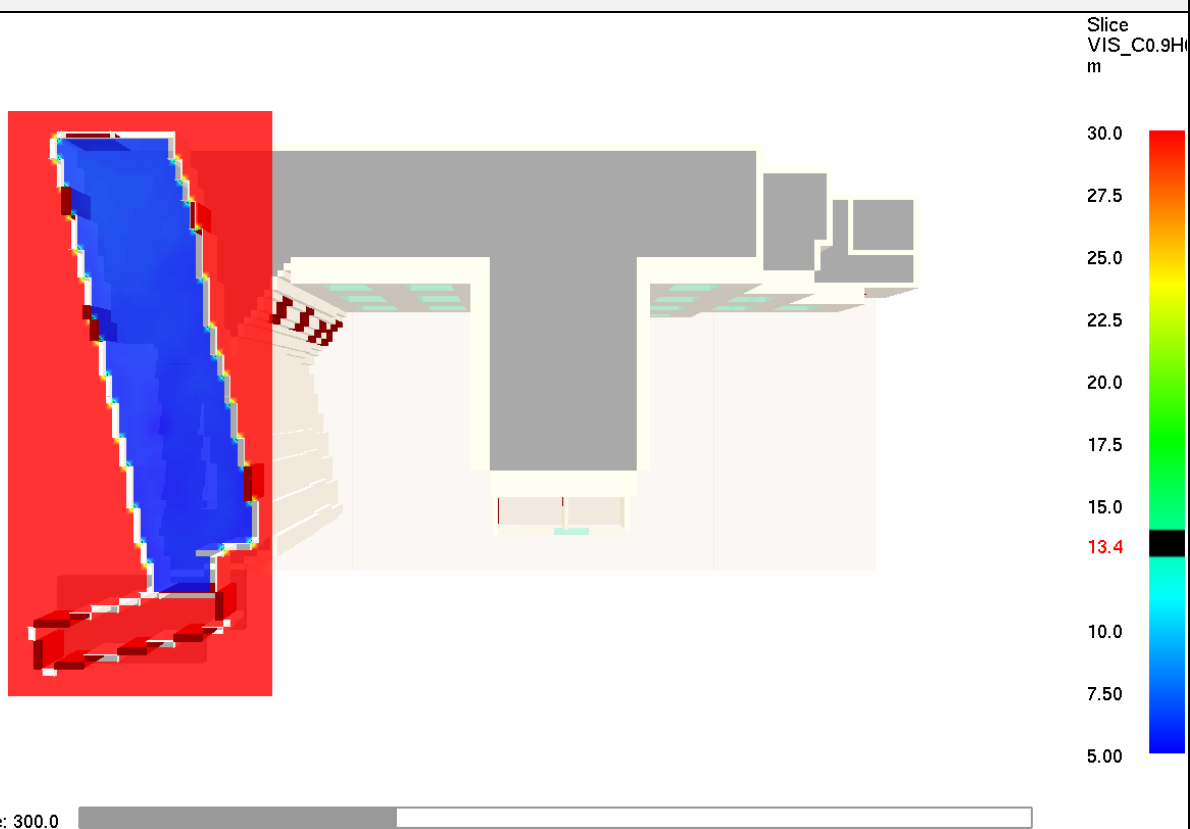
Scenariusz nr 1 - spadek zasięgu widzialności po 600 sekundach



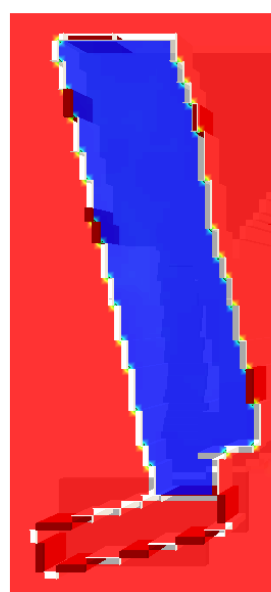
## Scenariusz nr 2 - spadek zasięgu widzialności po 60 sekundach



## Scenariusz nr 2 - spadek zasięgu widzialności po 300 sekundach



## Scenariusz nr 2 - spadek zasięgu widzialności po 360 sekundach

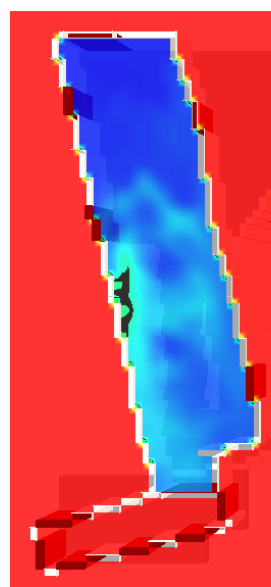


Slice  
VIS\_C0.9H  
m

30.0  
27.5  
25.0  
22.5  
20.0  
17.5  
15.0  
13.4  
10.0  
7.50  
5.00

Time: 360.0

## Scenariusz nr 2 - spadek zasięgu widzialności po 420 sekundach

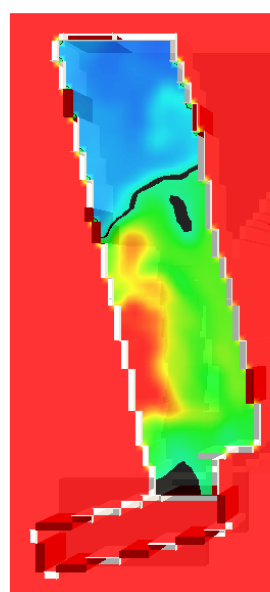


Slice  
VIS\_C0.9H  
m

30.0  
27.5  
25.0  
22.5  
20.0  
17.5  
15.0  
13.4  
10.0  
7.50  
5.00

Time: 420.0

## Scenariusz nr 2 - spadek zasięgu widzialności po 480 sekundach

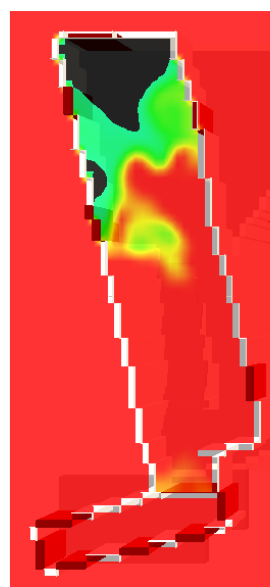


Slice  
VIS\_C0.9H  
m

30.0  
27.5  
25.0  
22.5  
20.0  
17.5  
15.0  
13.4  
10.0  
7.50  
5.00

Time: 480.0

## Scenariusz nr 2 - spadek zasięgu widzialności po 540 sekundach

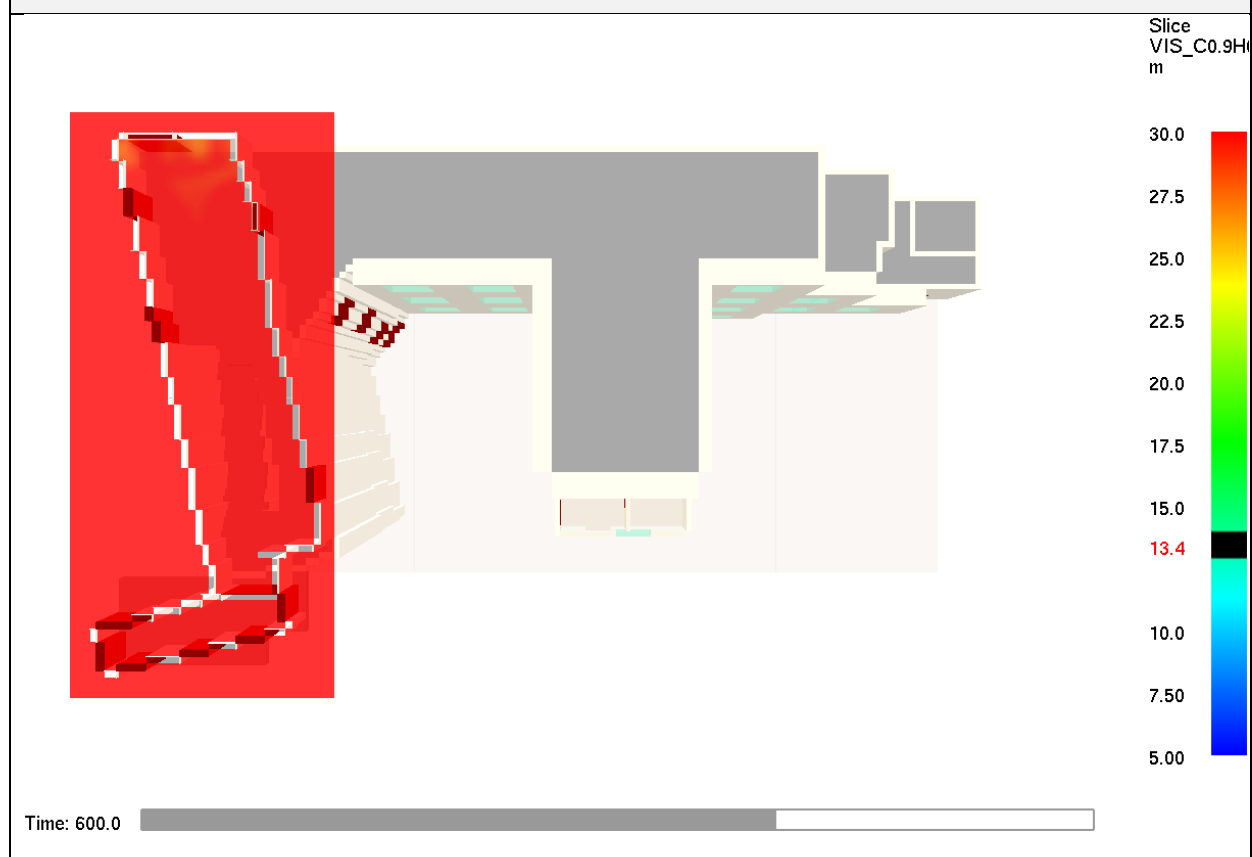


Slice  
VIS\_C0.9H  
m

30.0  
27.5  
25.0  
22.5  
20.0  
17.5  
15.0  
13.4  
10.0  
7.50  
5.00

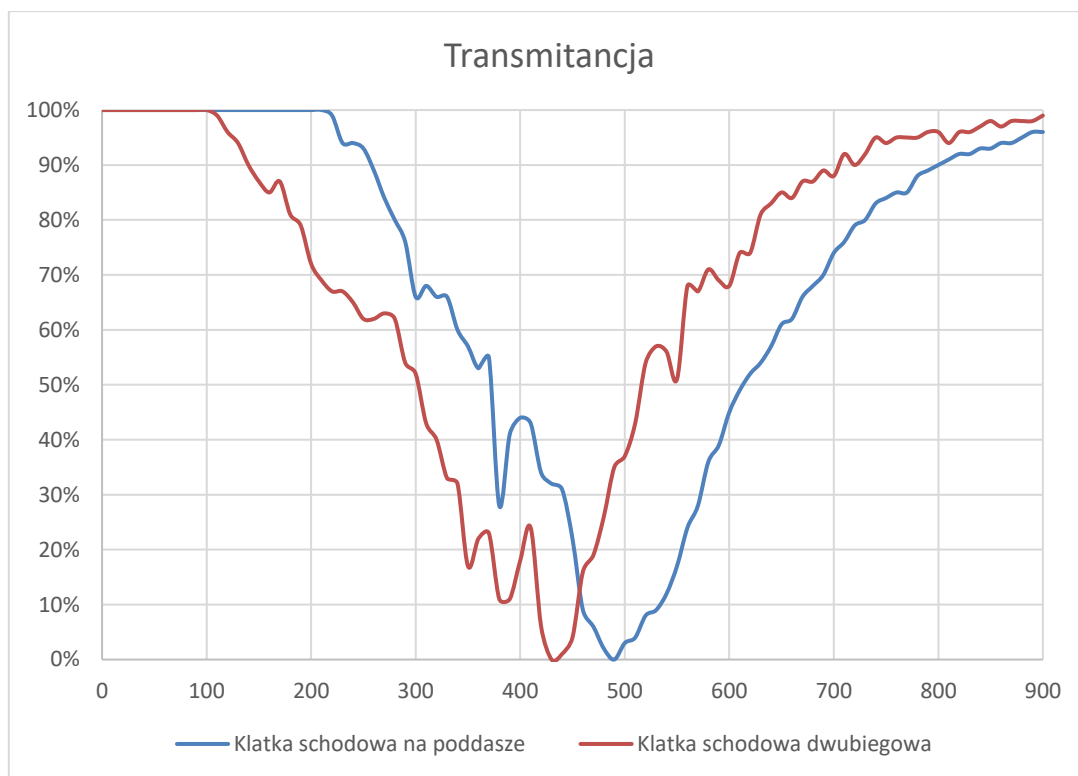
Time: 540.0

## Scenariusz nr 2 - spadek zasięgu widzialności po 600 sekundach

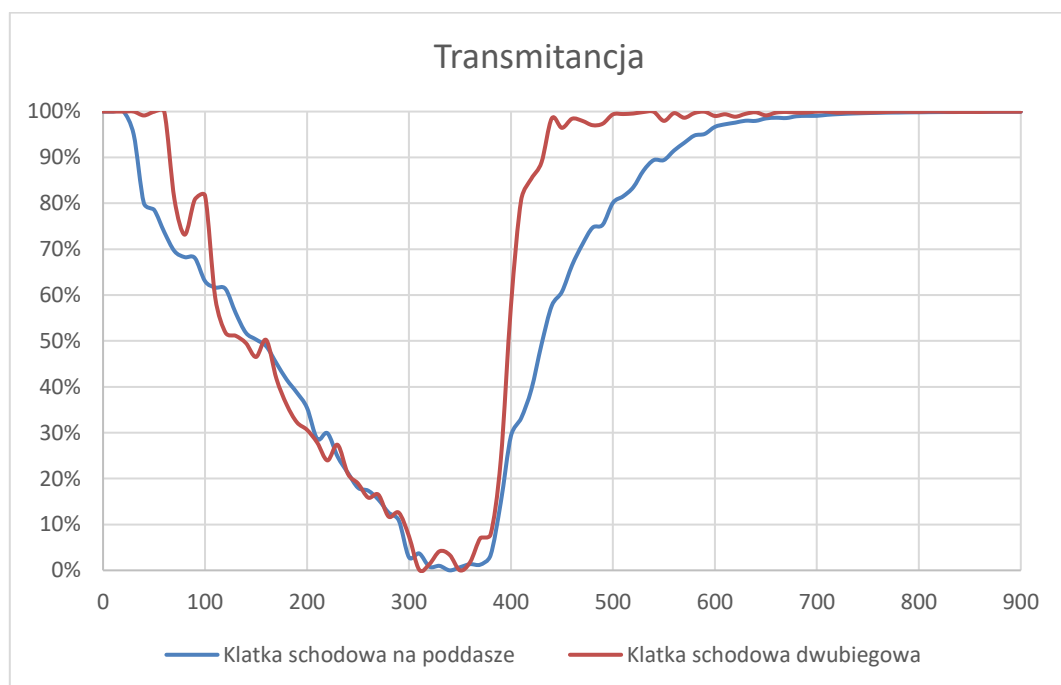


#### 4.1.6. WYKRES TRANSMITANCJI NA WYSOKOŚCI 2,0 M NAD POSADZKĄ

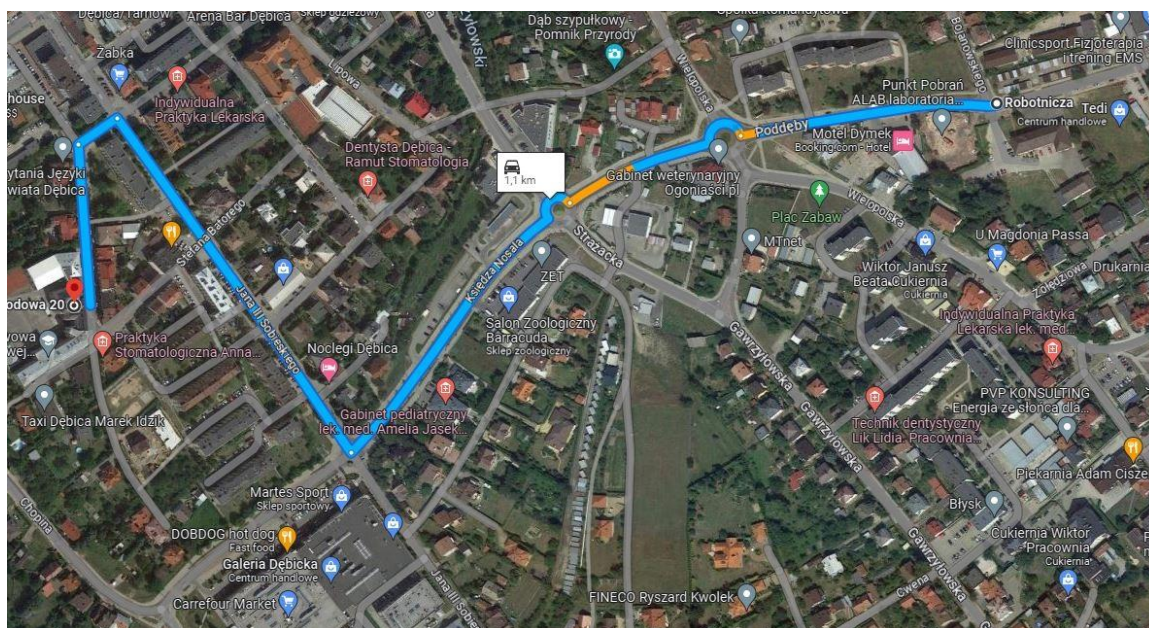
Scenariusz nr 1



Scenariusz nr 2



W celu sprawdzenia klasy temperaturowej konieczne jest oszacowanie czasu podjęcia interwencji ratowniczo-gaśniczej przez strażaków. Poniżej przedstawiono obliczenia tego czasu. Najbliższa Jednostka Ratowniczo-Gaśnicza Państwowej Straży Pożarnej znajduje się przy ul. Poddęby 6A (JRG PSP Dębica) w Dębicy - od projektowanego budynku znajduje się w odległości ok. 1,1 km. Poniżej przedstawiona została jedna z możliwych dróg dojazdu do omawianego budynku (źródło: <http://google.maps.pl>).



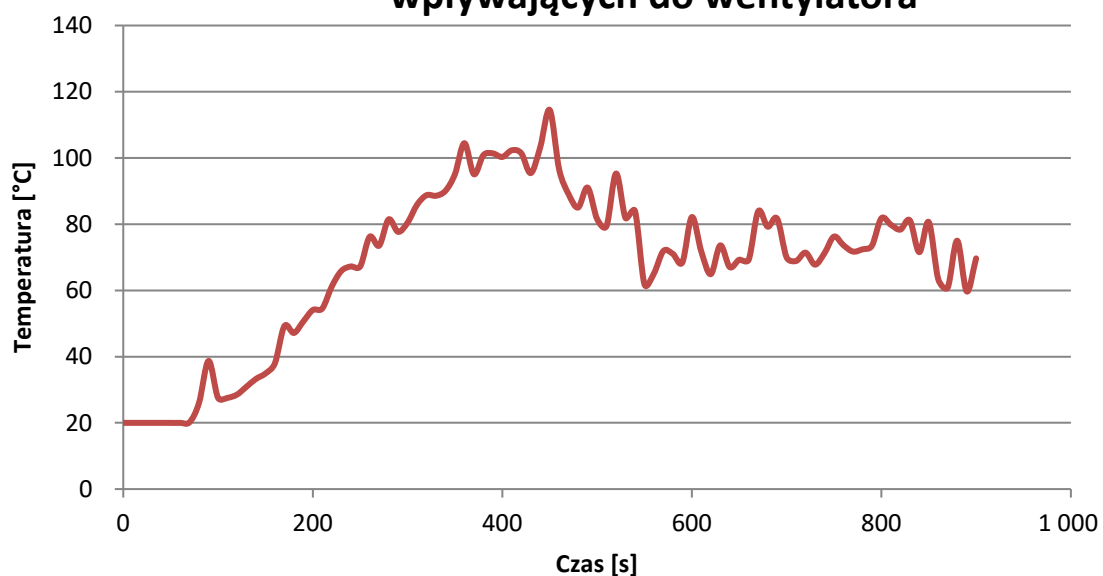
- czas detekcji (wystąpienie alarmu II stopnia): 60 s
- czas transmisji i powiadamiania jednostki ratowniczo-gaśniczej: 60 s
- czas wyjazdu 1 samochodu gaśniczego (w nocy): 120 s
- czas dojazdu (prędkość średnia - 40 km/h [15]): 99 s
- czas na rozpoznanie oraz przygotowanie linii gaśniczych: 180 s
- czas dotarcia do źródła pożaru: 180 s

W związku z powyższym można założyć, że po około 700 sekundach ekipy ratownicze powinny rozpocząć działania gaśnicze. Zdarzenie to uniemożliwi dalszy rozwój pożaru.

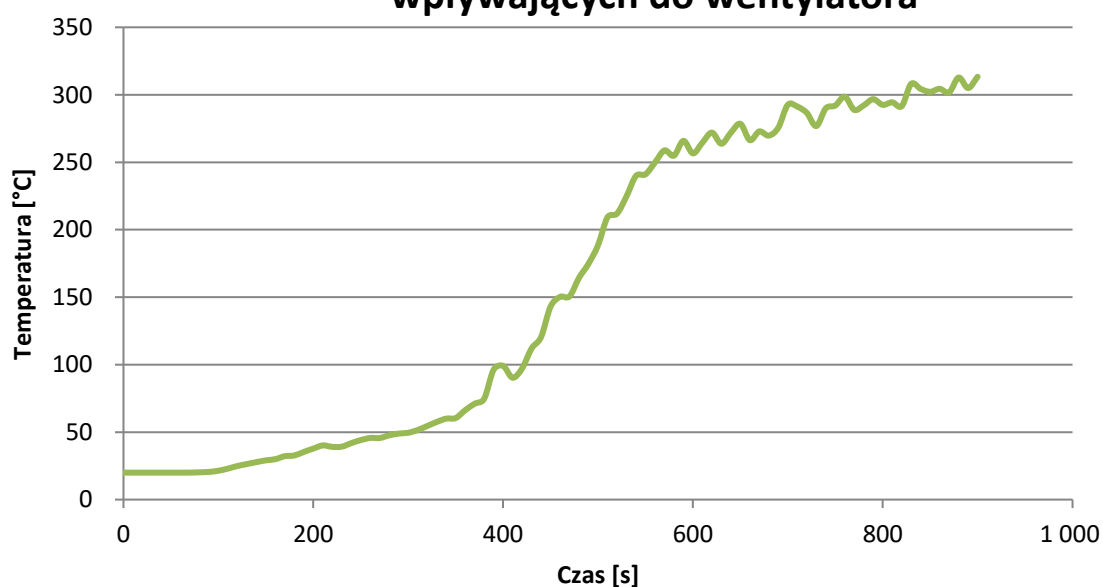
W symulacjach komputerowych mierzono średnie temperatury gazów na kratkach wyciągowych. Poniżej przedstawiono wykresy dla dwóch wentylatorów wyciągowych. W żadnym z wskazanych przypadków nie została przekroczona temperatura krytyczna.



**Wykres średniej temperatury gazów pożarowych  
wpływających do wentylatora**



**Wykres średniej temperatury gazów pożarowych  
wpływających do wentylatora**



## 6. WNIOSKI

W budynku będącym przedmiotem analizy zastosowano oddymiane klatki schodowej. 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 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. Należy jeszcze raz podkreślić konieczność przeszkolenia i uzyskania odpowiedniego poziomu świadomości o konieczności zamykania drzwi do pomieszczeń przylegających do klatki schodowej w celu ograniczenia rozwoju pożaru w pomieszczeniu i przedostawania się zadymienia na klatkę schodową.

Analizując wyniki symulacji CFD dla klatki stwierdza się, że po zakończeniu pożaru testowego, zadymieniu ulega przestrzeń klatki schodowej. Zaobserwować można iż, widzialność jest poniżej 10 m. Następnie w wyniku uruchomienia wentylatorów wyciągowych i otwarciu otworów napowietrzających (drzwi wejściowych oraz 3 punkty nawiewnych z łazienek na trzech kondygnacjach nadziemnych) widoczne jest usuwanie dymu, aż do momentu oczyszczenia każdej klatki schodowej. W każdym przypadku po 240 s od usunięcia źródła zadymienia przestrzeń klatki schodowej zostaje oczyszczona z produktów spalania do poziomu zapewniającego możliwość bezpiecznej ewakuacji. Parametr transmitancji jest spełniony po dłuższym okresie czasu ze względu na dużą kubaturę klatki schodowej i pojawiania się resztek sadzy i innych gazów pożarowych w trakcie pracy wentylacji mechanicznej i wymuszonym przemieszczaniu powietrza do wentylatorów.

W żadnym momencie podczas ewakuacji w obszarze klatki schodowej, nie doszło do przekroczenia temperatury 60°C (analizowane 54°C z uwagi na błąd obliczeniowy).

Analizując wyniki klasy wentylatorów wyciągowych można stwierdzić, że w żadnym z przypadków, do czasu szacowanego podjęcia działań gaśniczych przez ekipy ratownicze, temperatura gazów pożarowych nie przekroczyła 300°C. Dlatego można zastosować wentylatory wyciągowe w klasie F<sub>400</sub>120.

Biorąc pod uwagę wyniki symulacji CFD przedstawione powyżej należy uznać, że projektowany system wentylacji oddymiania klatki schodowej zapewnia wymagany poziom bezpieczeństwa pożarowego dla osób przebywających w budynku, a zatem spełnione zostaną zapisy §270 ust. 1 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.).

## 7. 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, Fliszkiewicz Mateusz: Podstawowe błędy popełniane w czasie wykonywania analiz skuteczności systemów oddymiania z wykorzystaniem symulacji CFD. Ochrona przeciwpożarowa - Zakopane 2011.
- [16] Kim A.K. i Lougheed 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.