

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

Nazwa opracowania:	Raport z symulacji CFD działania systemu wentylacji oddymiającej klatki schodowej
Obiekt:	Rozbudowa i przebudowa żłobka wraz z infrastruktura towarzyszącą (w tym dróg wewnętrznych i parkingu)
Adres:	dz. nr 156, oś. Batorego 18, Miasto Nowy Tomyśl, gm. Nowy Tomyśl, pow. nowotomyski, woj. wielkopolskie
Inwestor:	Gmina Nowy Tomyśl ul. Poznańska 33 64-300 Nowy Tomyśl

**Analiza skuteczności działania systemu wentylacji oddymiającej klatki schodowej
w budynku żłobka na os. Batorego 18 w Nowym Tomyślu**

Branża:	Sanitarna / Ochrona przeciwpożarowa	Nr projektu: 2069
---------	--	-----------------------------

Opracował:	mgr inż. Piotr Giziewicz	Podpis: Piotr Giziewicz mgr inż. pożarnictwa
Sprawdził:	mgr inż. Mateusz Fliszkiewicz	Mateusz Fliszkiewicz mgr inż. pożarnictwa

Grudzień 2023 r.

Spis treści

1. Dane ogólne	3
2. Koncepcja oddymiania klatki schodowej	4
3. Symulacje CFD	6
4. Wyniki symulacji CFD	12
5. Wnioski	71
6. Bibliografia	73

1. DANE OGÓLNE

1.1. PRZEDMIOT OPRACOWANIA

Niniejsze opracowanie stanowi raport z symulacji CFD zawierający sprawdzenie skuteczności działania projektowanego systemu wentylacji oddymiającej dla klatki schodowej w budynku żłobka na os. Batorego 18 w Nowym Tomysku.

1.2. CEL OPRACOWANIA

Celem opracowania jest sprawdzenie skuteczności działania systemu wentylacji oddymiającej klatki schodowej w budynku żłobka na os. Batorego 18 w Nowym Tomysku. W tym celu wykonana została analiza projektowanego systemu oddymiania grawitacyjnego poprzez 2 pary drzwi napowietrzających 2 okna napowietrzające zlokalizowanych na 1. kondygnacji nadziemnej i usuwania dymu przez 4 okna oddymiające zlokalizowane w ścianie 2. kondygnacji klatki schodowej. 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 systemu oddymiania klatki schodowej w budynku żłobka na os. Batorego 18 w Nowym Tomyślu.

Celem wykonania analizy jest sprawdzenie skuteczności systemu oddymiania klatki schodowej w budynku żłobka na os. Batorego 18 w Nowym Tomyślu. System wentylacji dla analizowanej klatki schodowej został oparty na napowietrzaniu grawitacyjnym przez 2 pary drzwi wejściowych oraz jedno okno zlokalizowane na 1. kondygnacji nadziemnej klatki schodowej oraz 4 oknach oddymiających znajdujących się w ścianie najwyższej kondygnacji klatki schodowej. Cały układ izolowany pożarowo.

W symulacji założono pożar testowy zgodnie z wytycznymi CNBOP-PIB [17].

2.2. ZAŁOŻENIA DO KONCEPCJI ODDYMIANIA

Skuteczność 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 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.

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 tejże klatki schodowej z dymu i innych produktów spalania. Jednakże zgodnie z wytycznymi CNBOP-PIB [17] nie ma ograniczeń co do czasu, w którym analizowana klatka powinna zostać oddymiona, natomiast należy go określić.

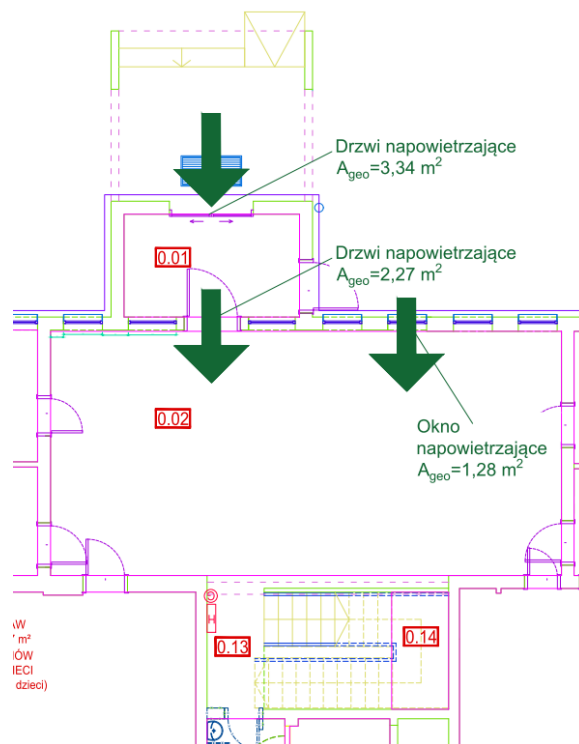
W rozpatrywanej klatce schodowej pomieszczenia przyległe bezpośrednio do klatki oraz te posiadające wyjścia na korytarze połączone z klatką schodową będą zamykane drzwiami o wymaganej klasie odporności ogniowej.

W analizowanej klatce schodowej projektuje się usuwanie dymu realizowane przez 4 okna oddymiające powierzchni geometrycznej $A_{geo}=1,28\text{ m}^2$ każde, co daje sumaryczną powierzchnię geometryczną oddymiania $A_{geo}=5,12\text{ m}^2$ umiejscowione w ścianie klatki schodowej na najwyższej kondygnacji klatki schodowej. Natomiast nawiew powietrza do klatki schodowej realizowany będzie grawitacyjnie poprzez otwarcie 2 par drzwi o wymiarach 1,67x2,00m oraz 1,15x1,97m oraz jednego okna o powierzchni geometrycznej $A_{geo}=1,28\text{ m}^2$, zlokalizowanych na poziomie 1. kondygnacji nadziemnej klatki schodowej. Z powyższego wynika, że powierzchnia geometryczna drzwi napowietrzających wynosi odpowiednio

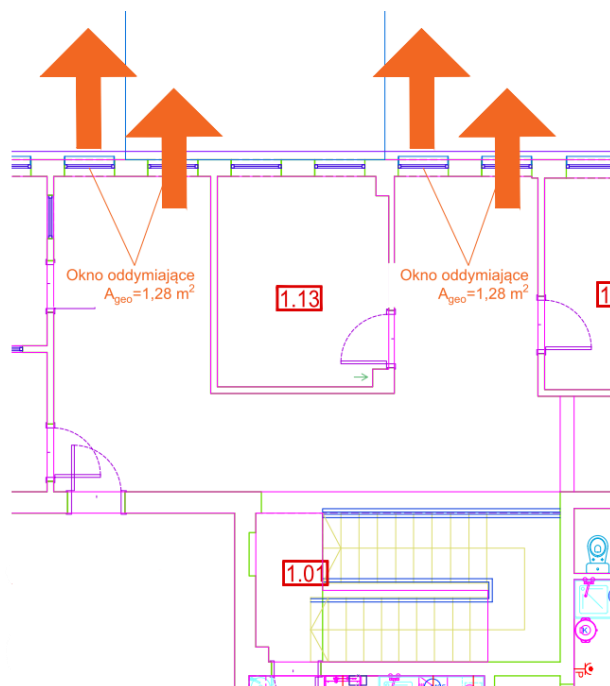
$A_{geo}=3,34m^2$ oraz $A_{geo}=2,27m^2$. W analizowanej klatce schodowej funkcjonować będzie automatyczny system detekcji dymu powodujący uruchomienie systemu wentylacji oddymiającej klatki.

2.3. KONCEPCJA SYSTEMU ODDYMIANIA

PARTER



PIĘTRO



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 4 siatki obliczeniowe. 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 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 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 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 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:

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

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_∞ :

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

3.3.5. CZAS SYMULACJI

Jako czas symulacji przyjęto 2000 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 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/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 rozpatrywanych klatkach schodowych:

- a) pożar zlokalizowano na klatce schodowej – otwarcie drzwi napowietrzających i otwarcie okien oddymiających w 360 s 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) temperatury występującej w obrębie klatki schodowej.

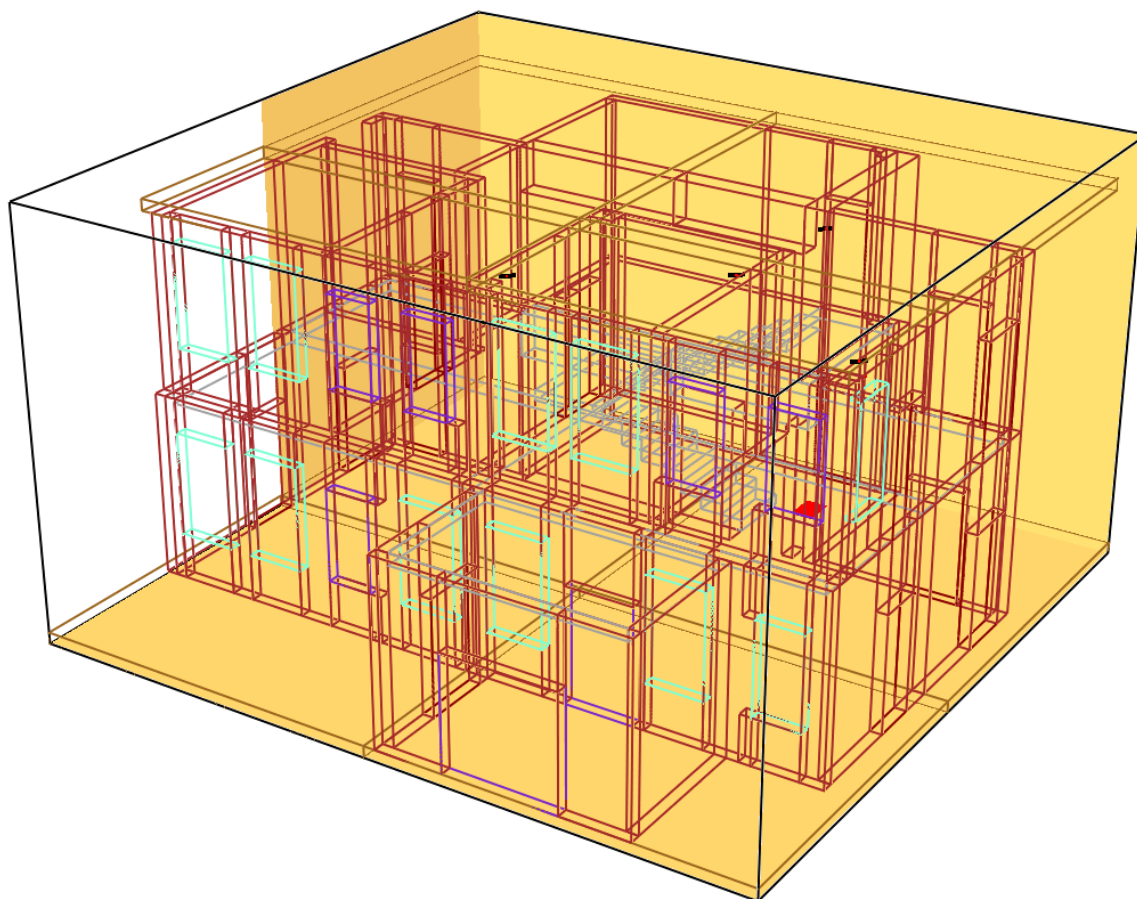
Dane wyjściowe zostały odczytane poprzez wizualizację w programie SmokeView, a także wcześniej zdefiniowane punkty i płaszczyzny pomiarowe.

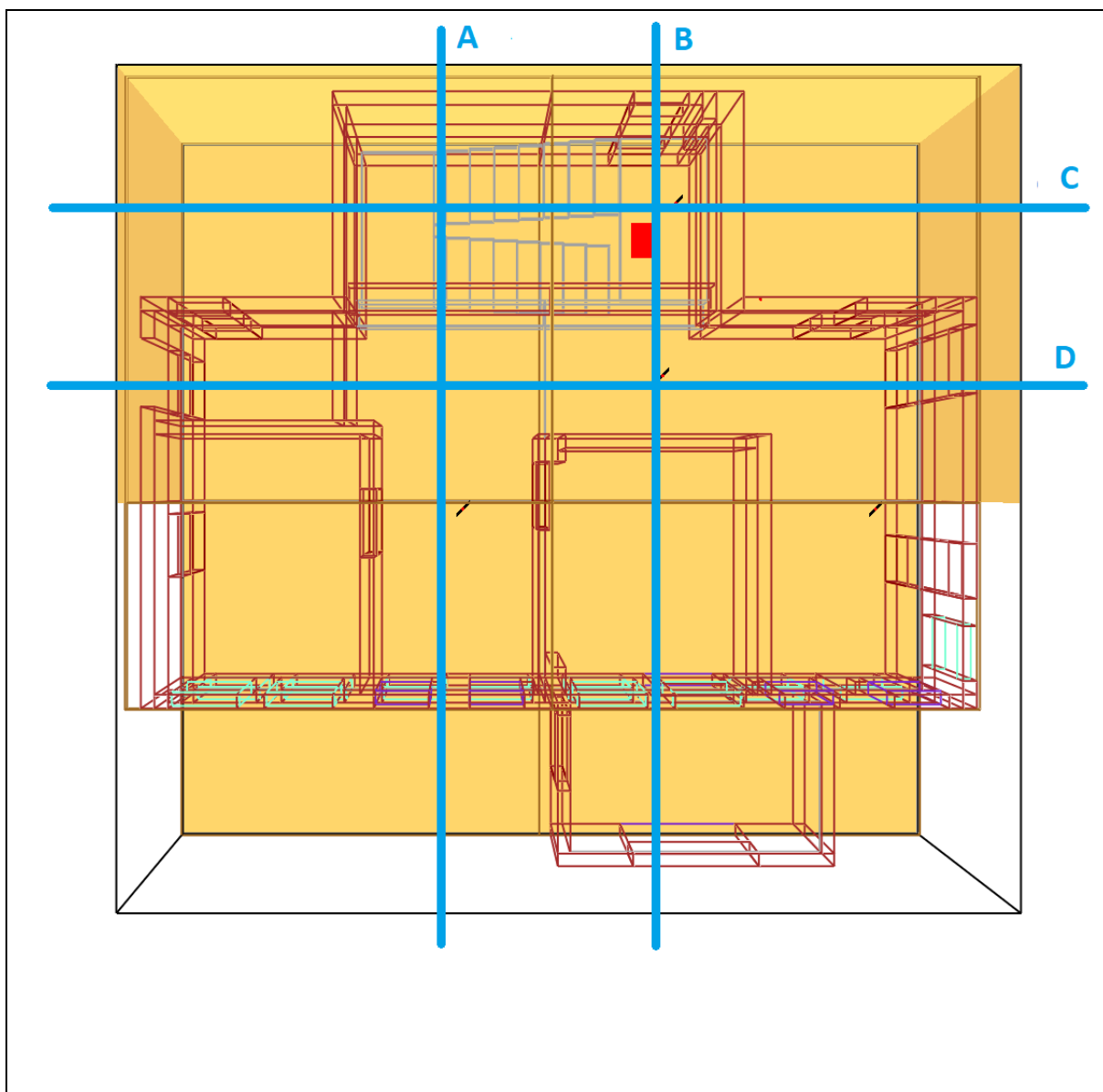
Domyślnie program Smokeview na wizualizacji wyników odcina wartości poniżej 1 centyla i powyżej 99 centyla, tak aby graficzne odwzorowanie wyników w całej rozpatrywanej przestrzeni było bardziej czytelne. Dlatego w raporcie nie pokazano najwyższej temperatury nad pożarem, ale obszar powyżej rozpatrywanej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

3.5. ANALIZOWANE SCENARIUSZE POŻAROWE

W analizowanej klatce schodowej wykonano po jedną symulację, w której pożar został zlokalizowany zgodnie z wytycznymi CNBOP-PIB [17]. Na rzucie z góry zostały wskazane pionowe płaszczyzny pomiarowe, z których zostały wygenerowane wyniki.

Model klatki schodowej - scenariusz nr 1

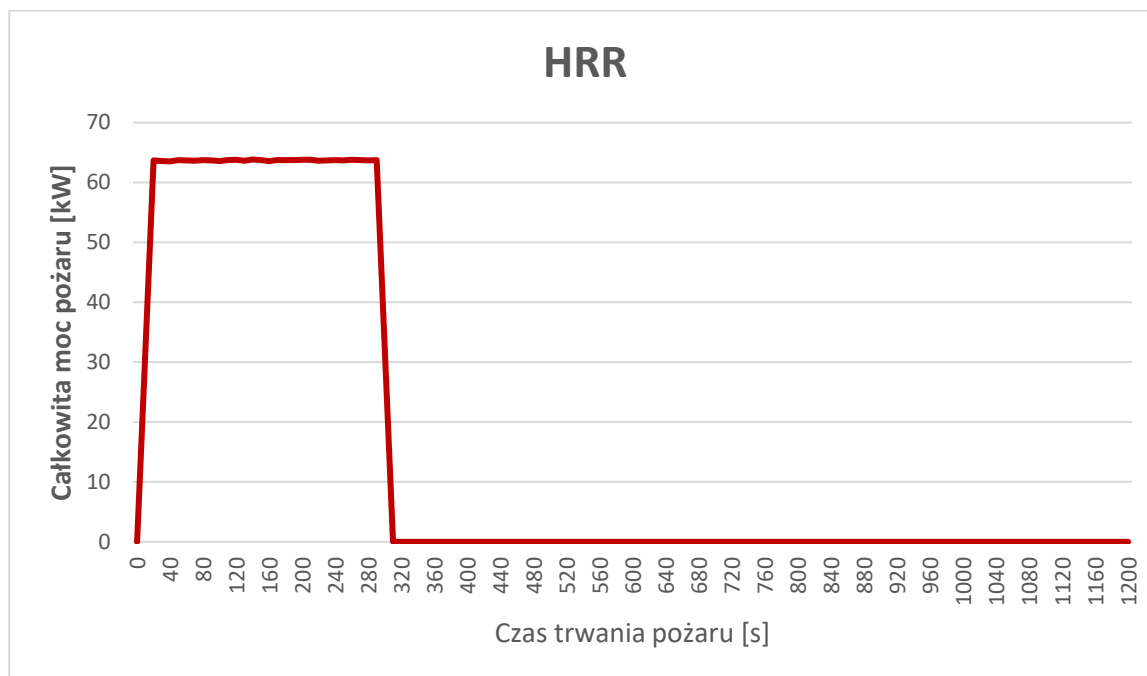




4. WYNIKI SYMULACJI CFD

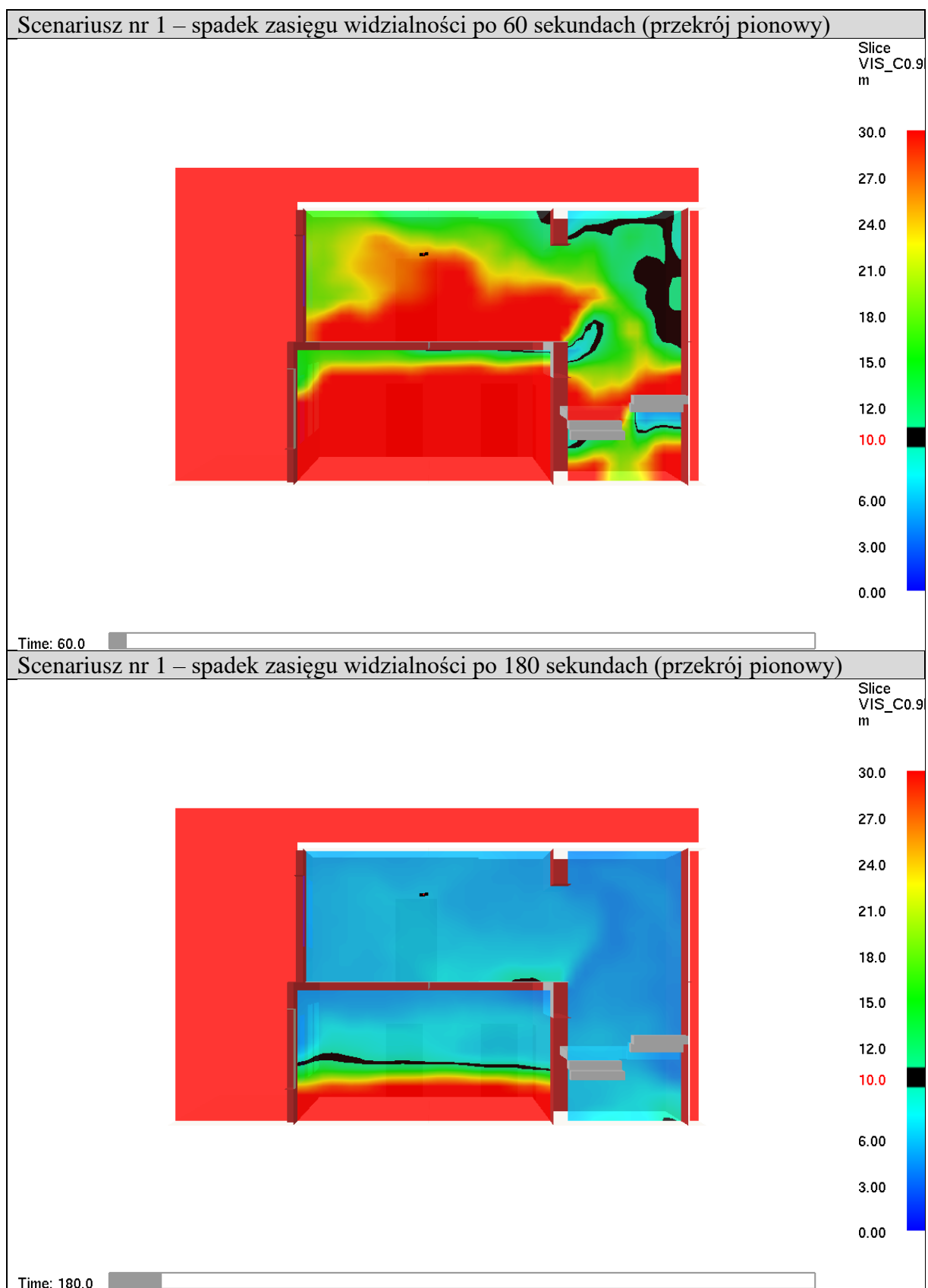
4.1.1. KRZYWA MOCY POŻARU

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

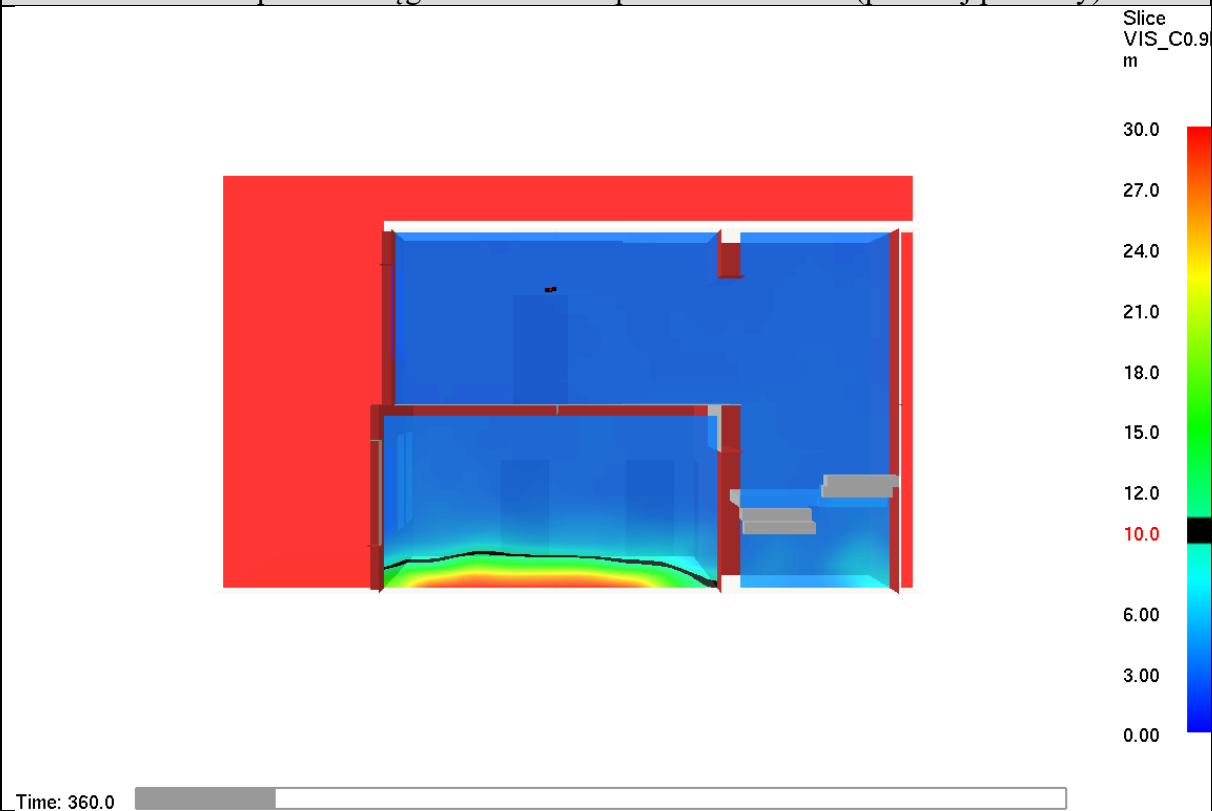


Maksymalna moc pożaru przez 300 s od początku symulacji.

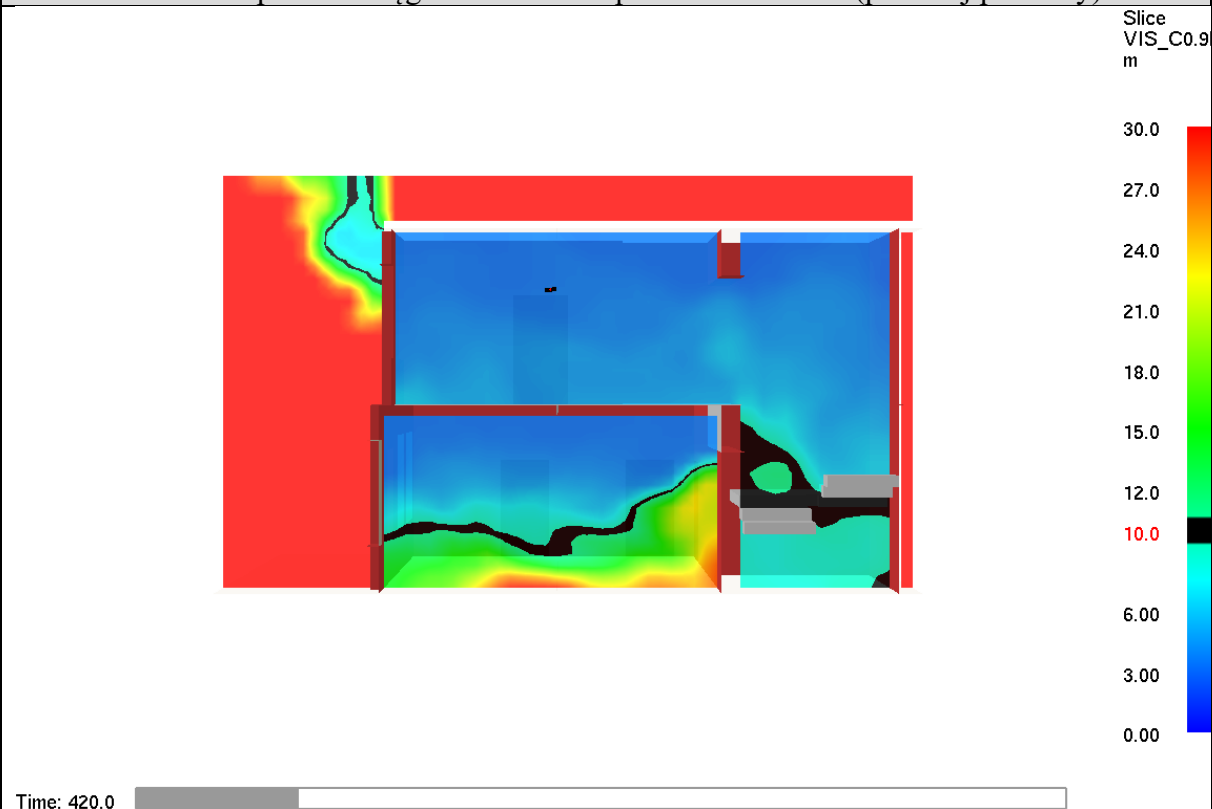
4.1.2. ZASIĘG WIDZIALNOŚCI W PRZEKROJU PIONOWYM POPROWADZONYM PRZEZ KLATKĘ SCHODOWĄ (PŁASZCZYZNA A)



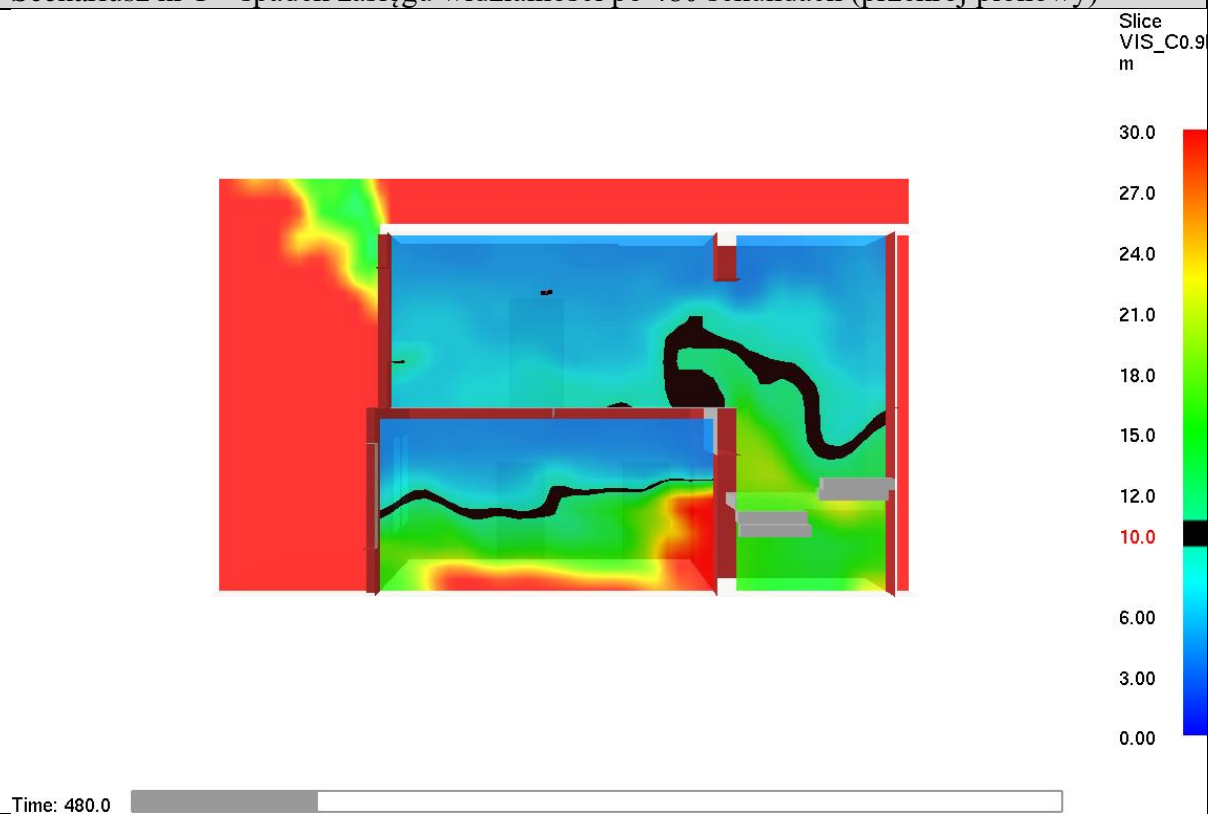
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 360 sekundach (przekrój pionowy)



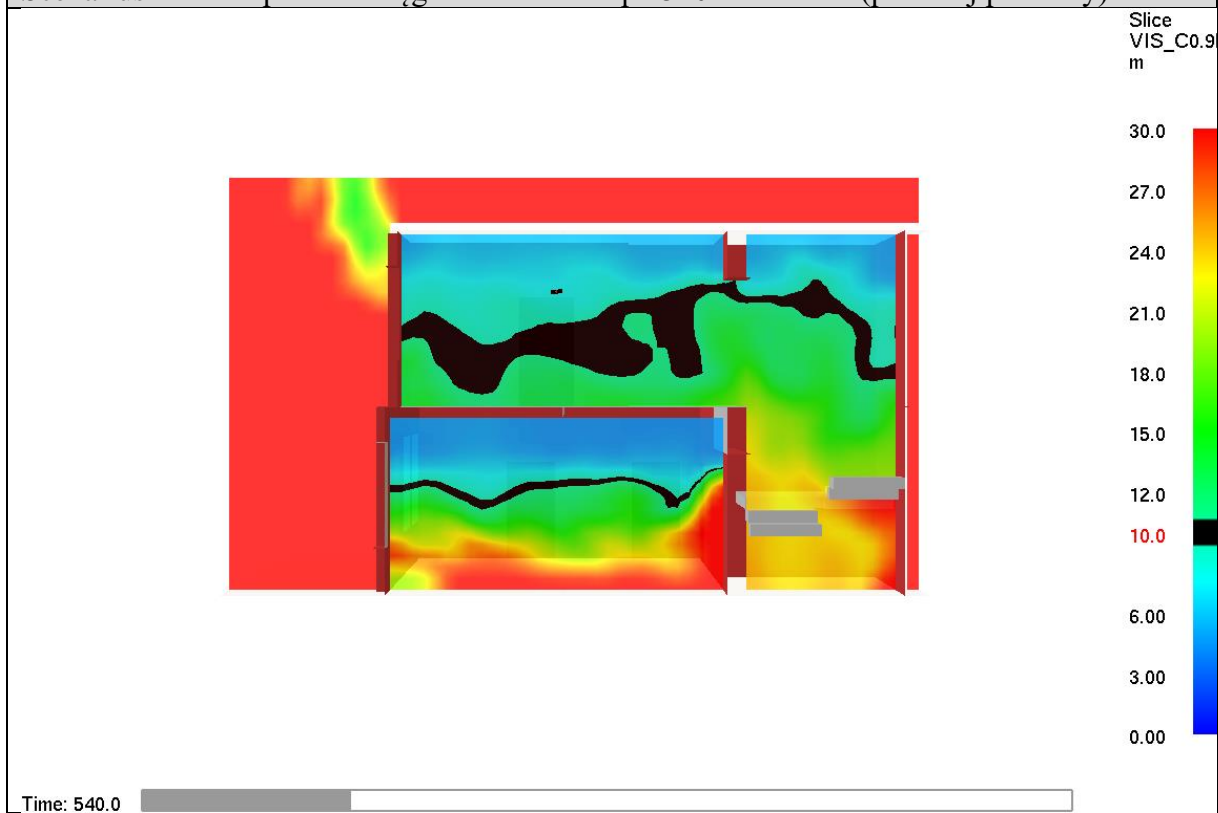
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 420 sekundach (przekrój pionowy)



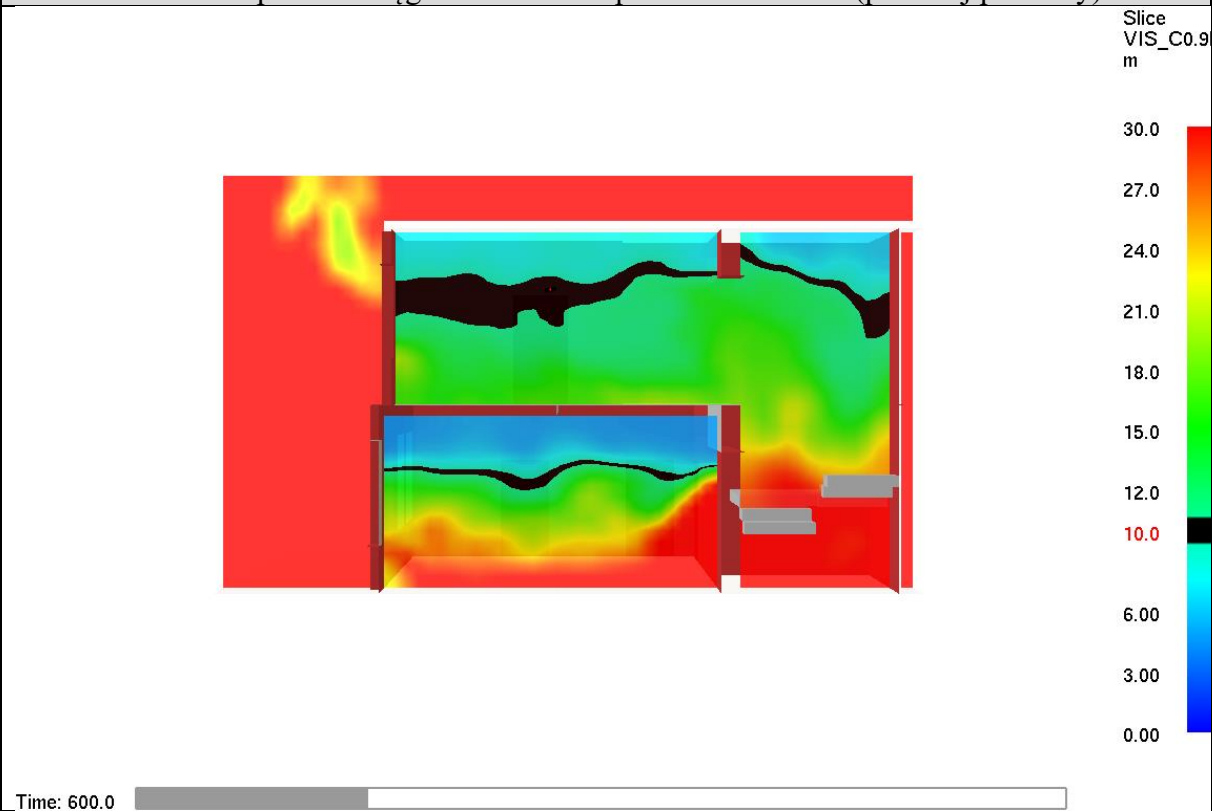
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 480 sekundach (przekrój pionowy)



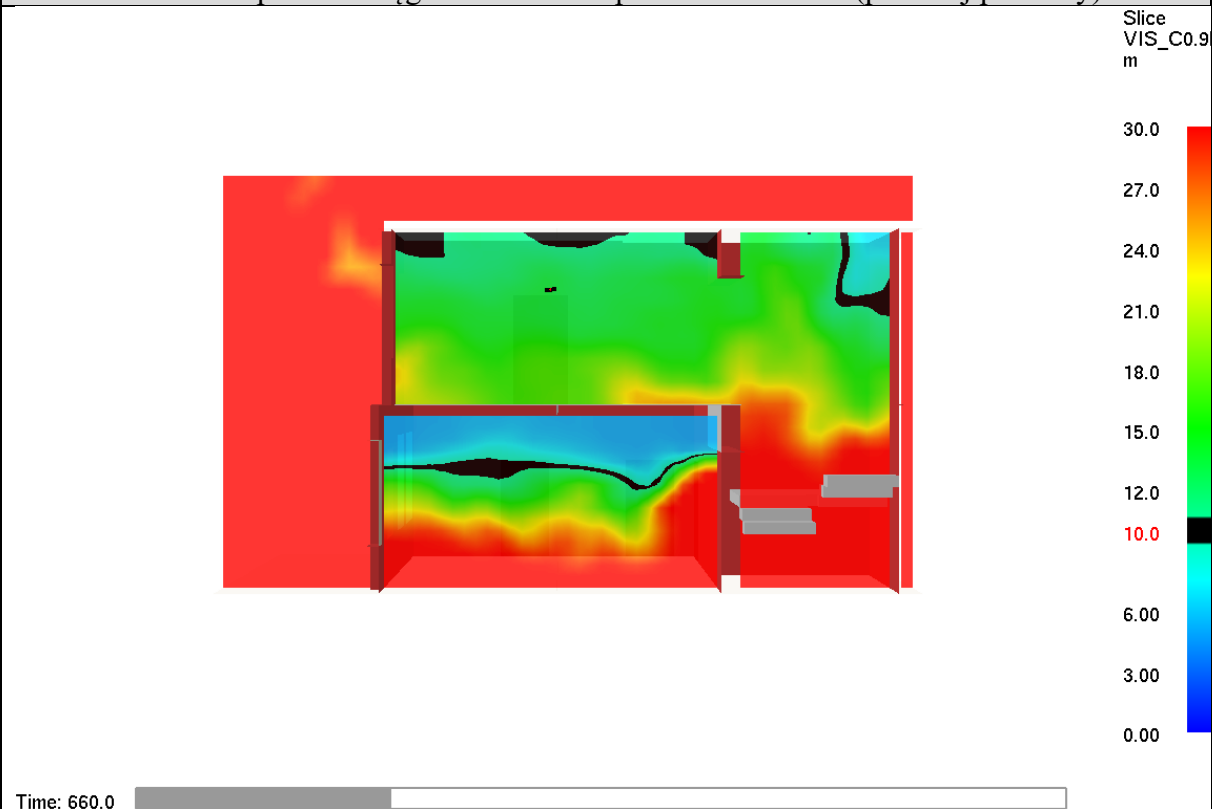
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 540 sekundach (przekrój pionowy)



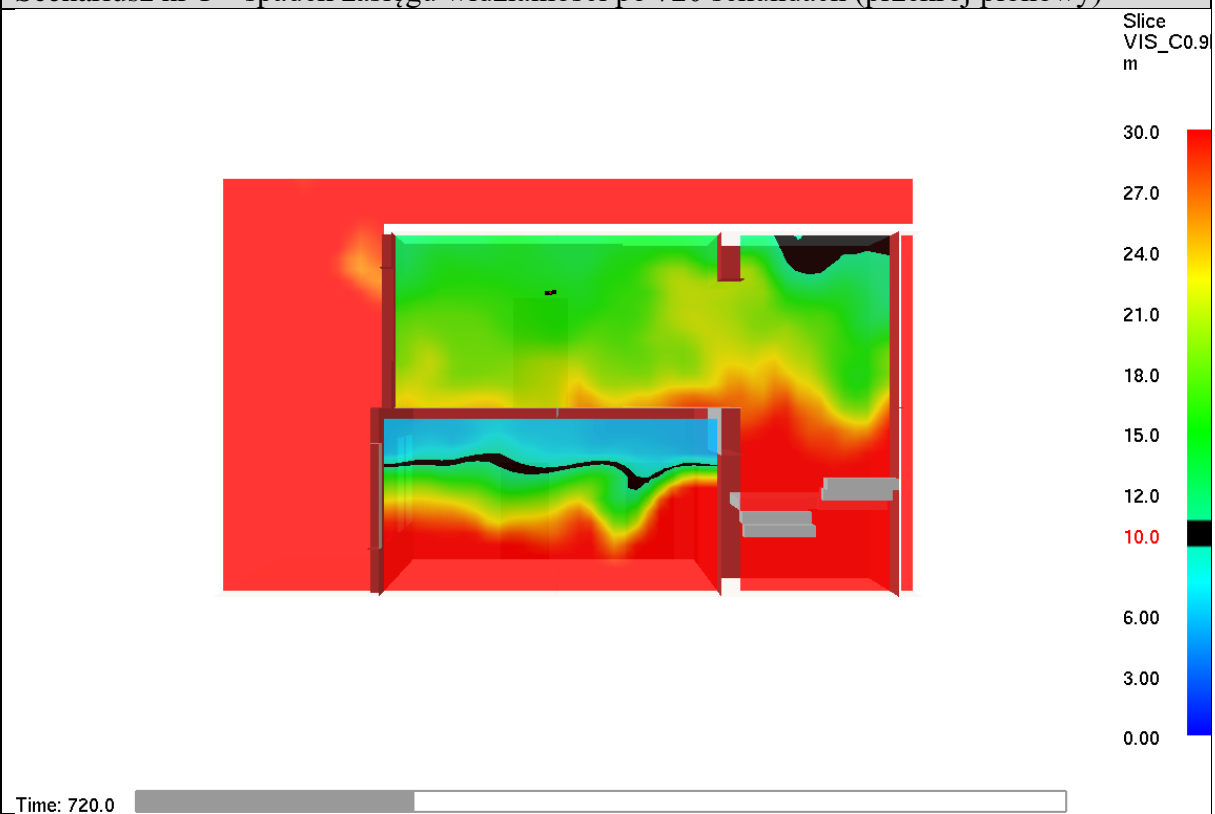
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 600 sekundach (przekrój pionowy)



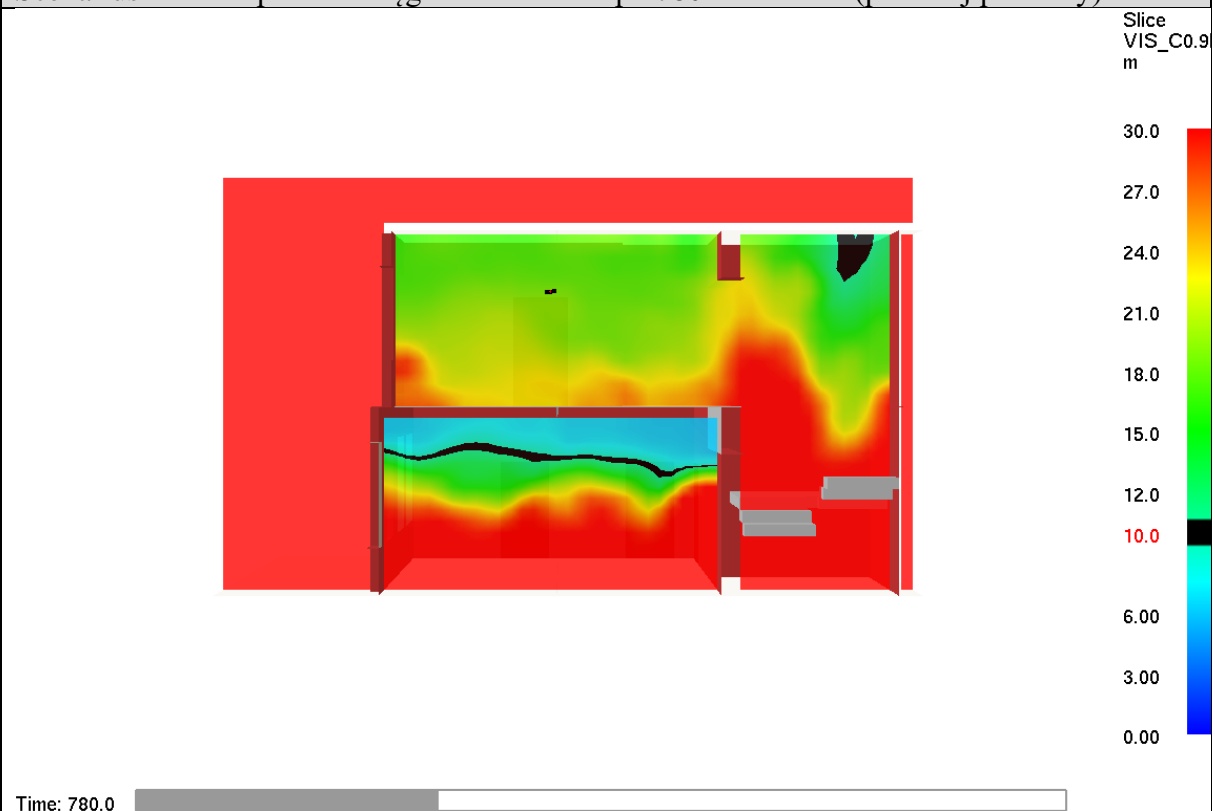
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 660 sekundach (przekrój pionowy)



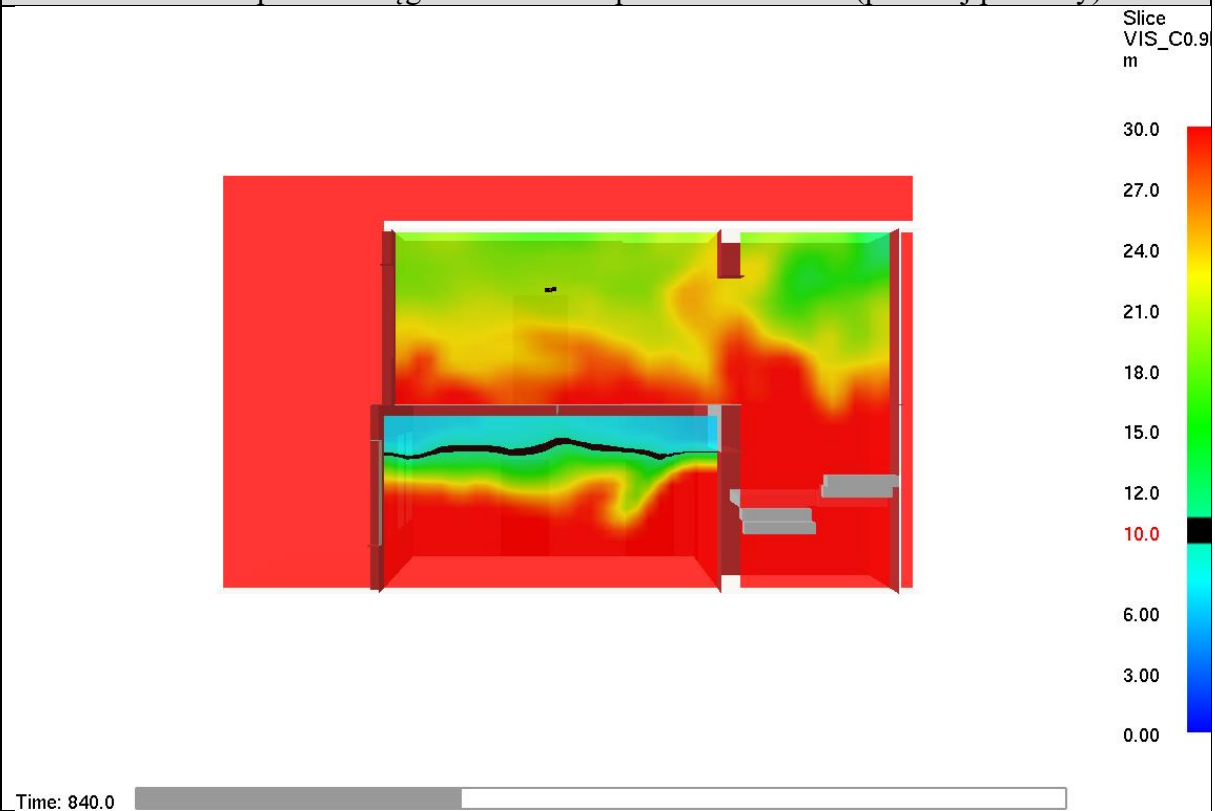
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 720 sekundach (przekrój pionowy)



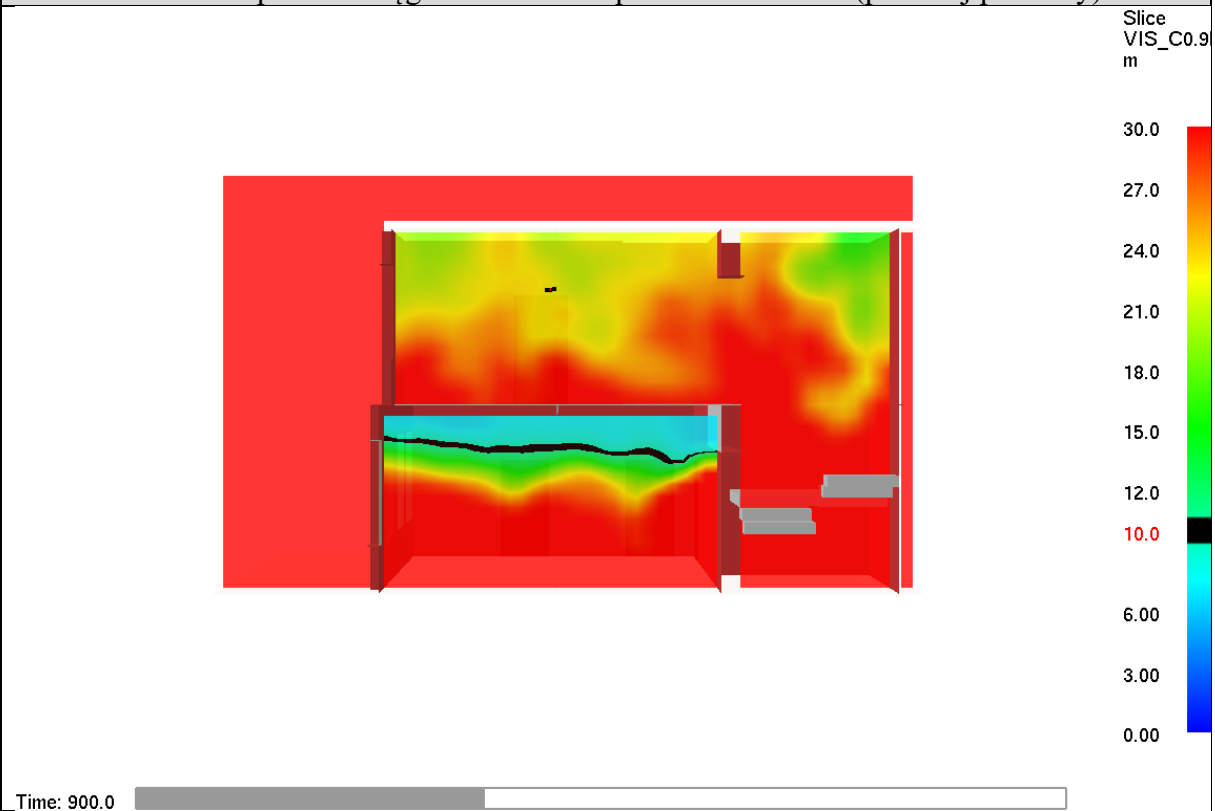
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 780 sekundach (przekrój pionowy)



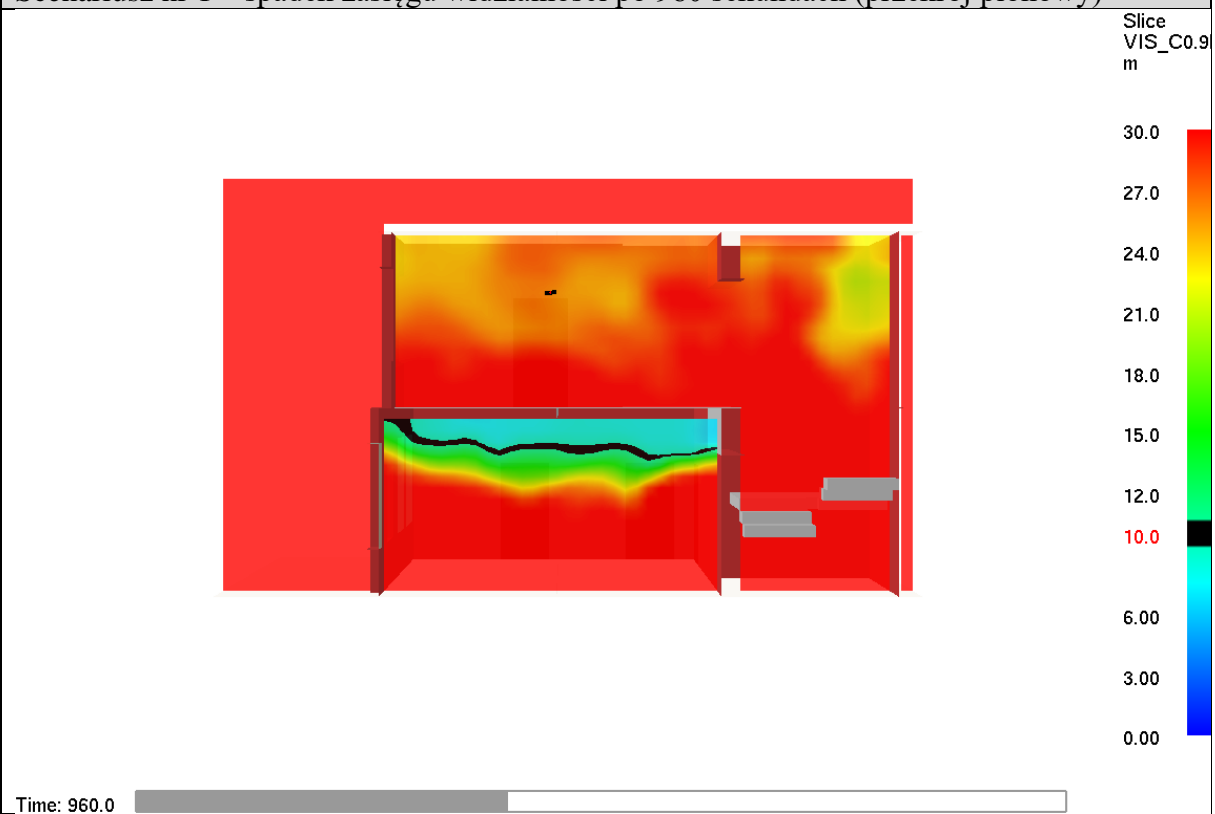
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 840 sekundach (przekrój pionowy)



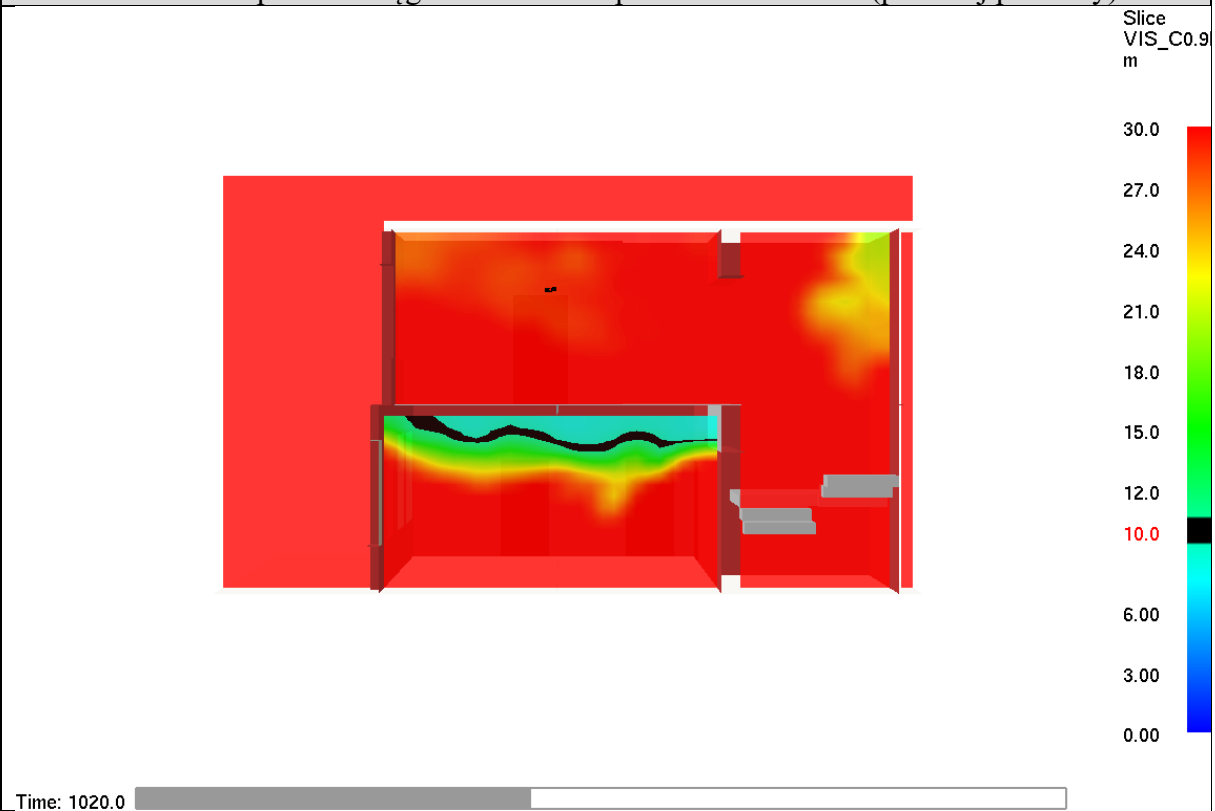
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 900 sekundach (przekrój pionowy)



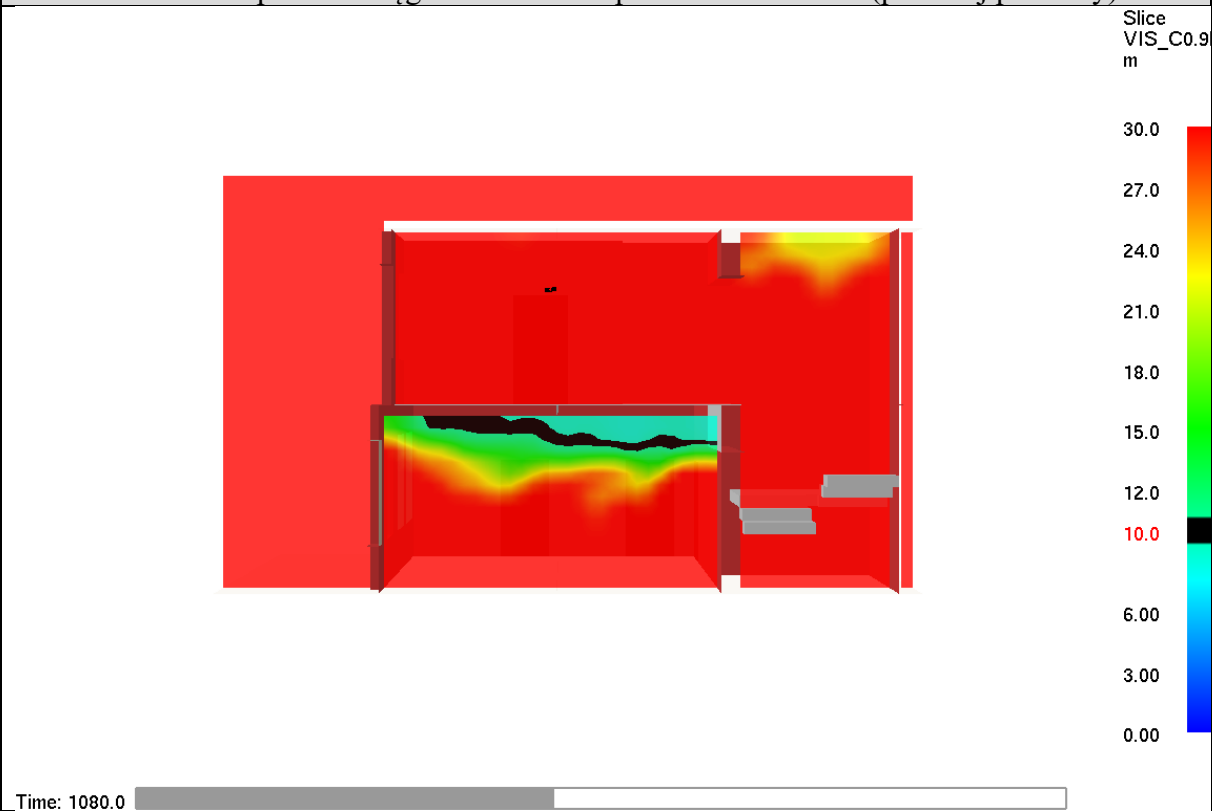
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 960 sekundach (przekrój pionowy)



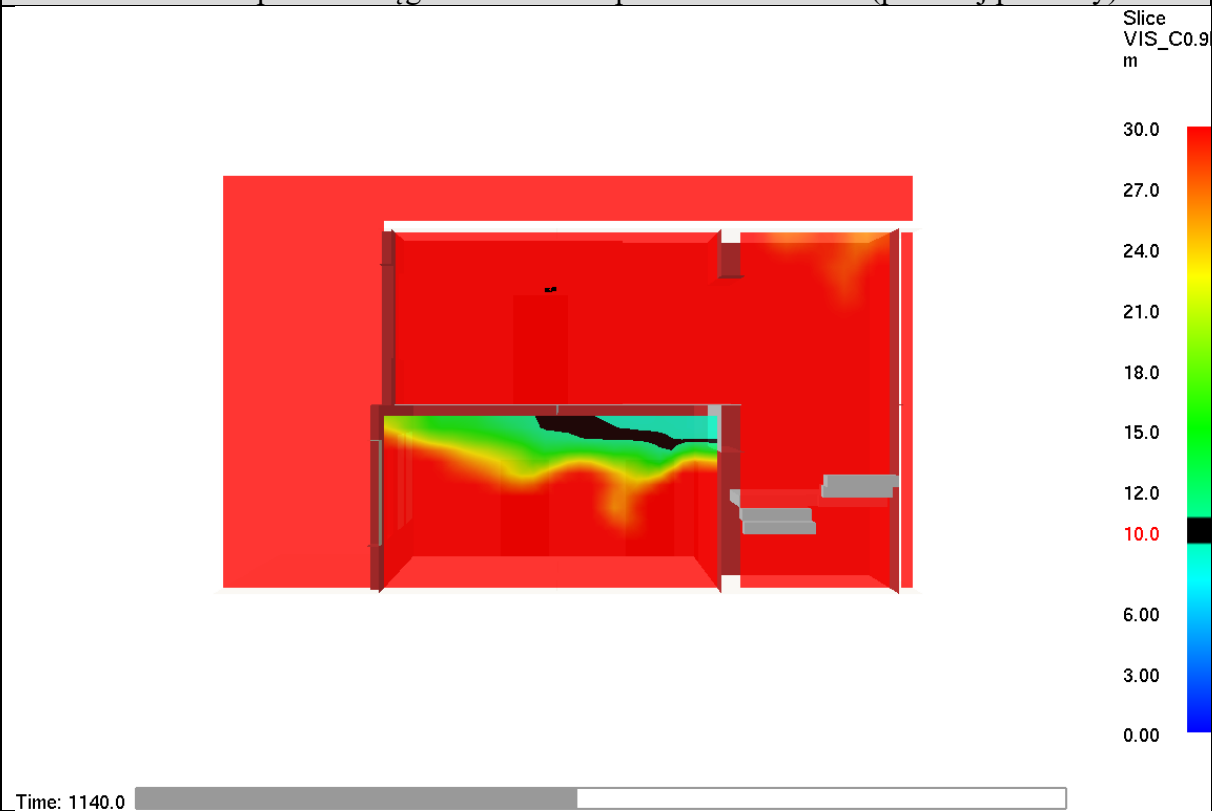
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1020 sekundach (przekrój pionowy)



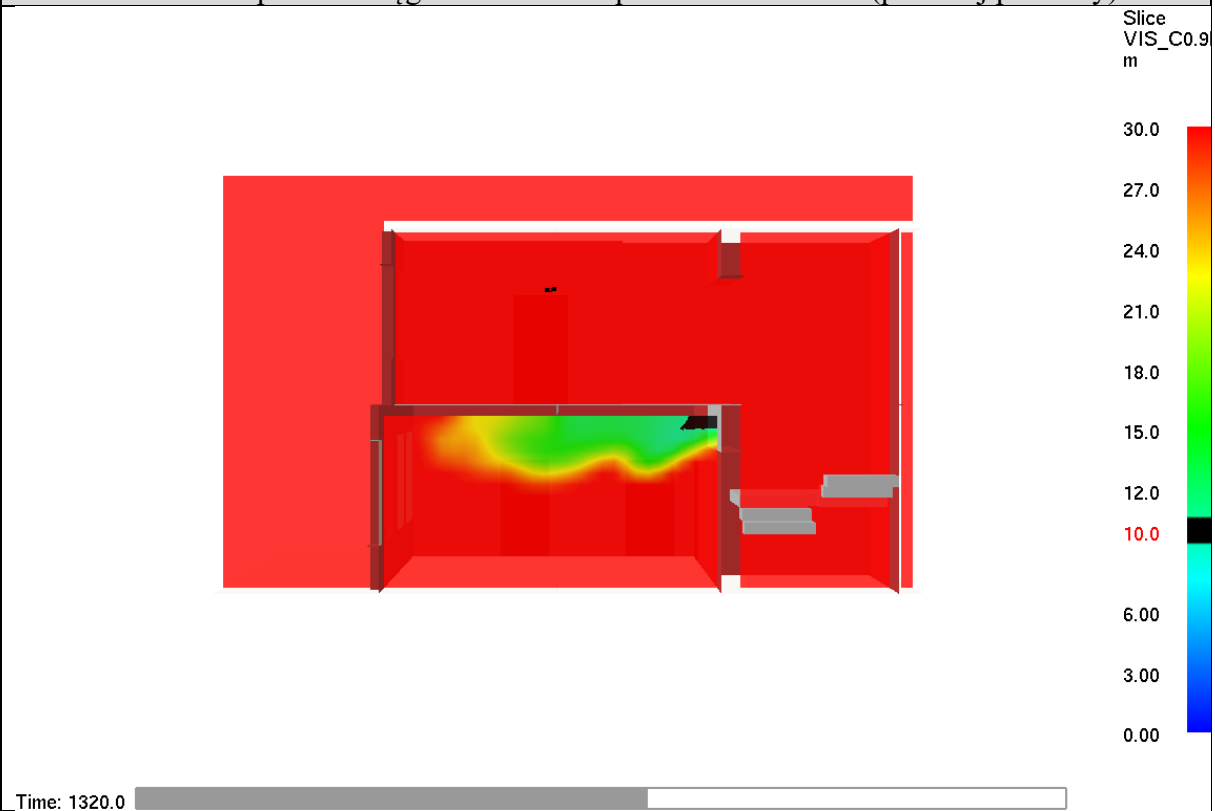
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1080 sekundach (przekrój pionowy)



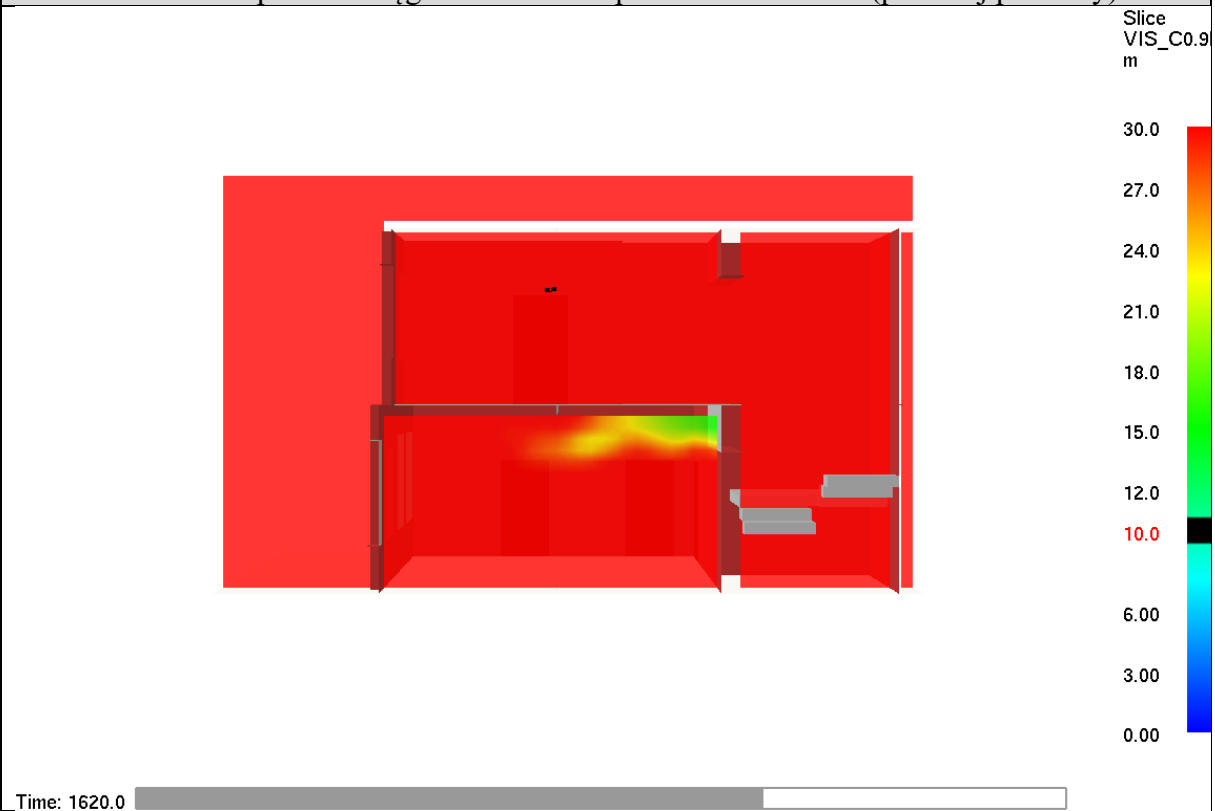
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1140 sekundach (przekrój pionowy)



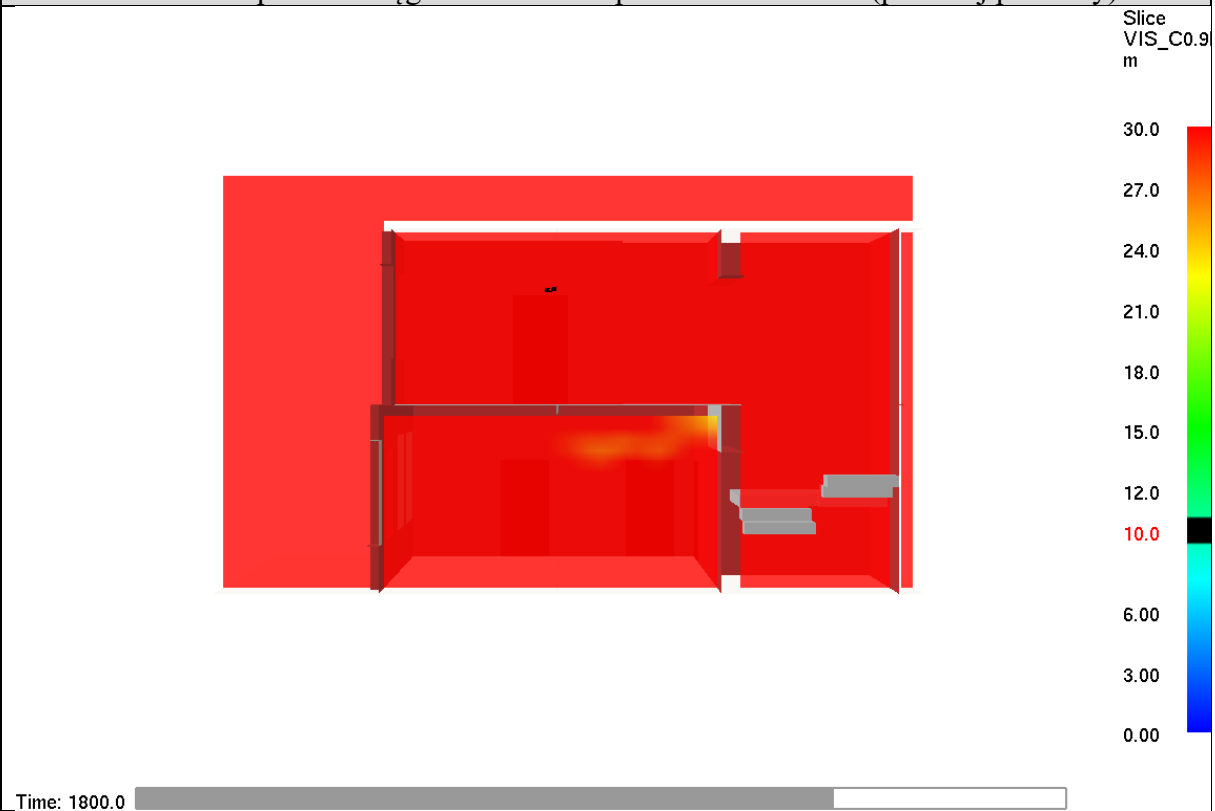
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1320 sekundach (przekrój pionowy)



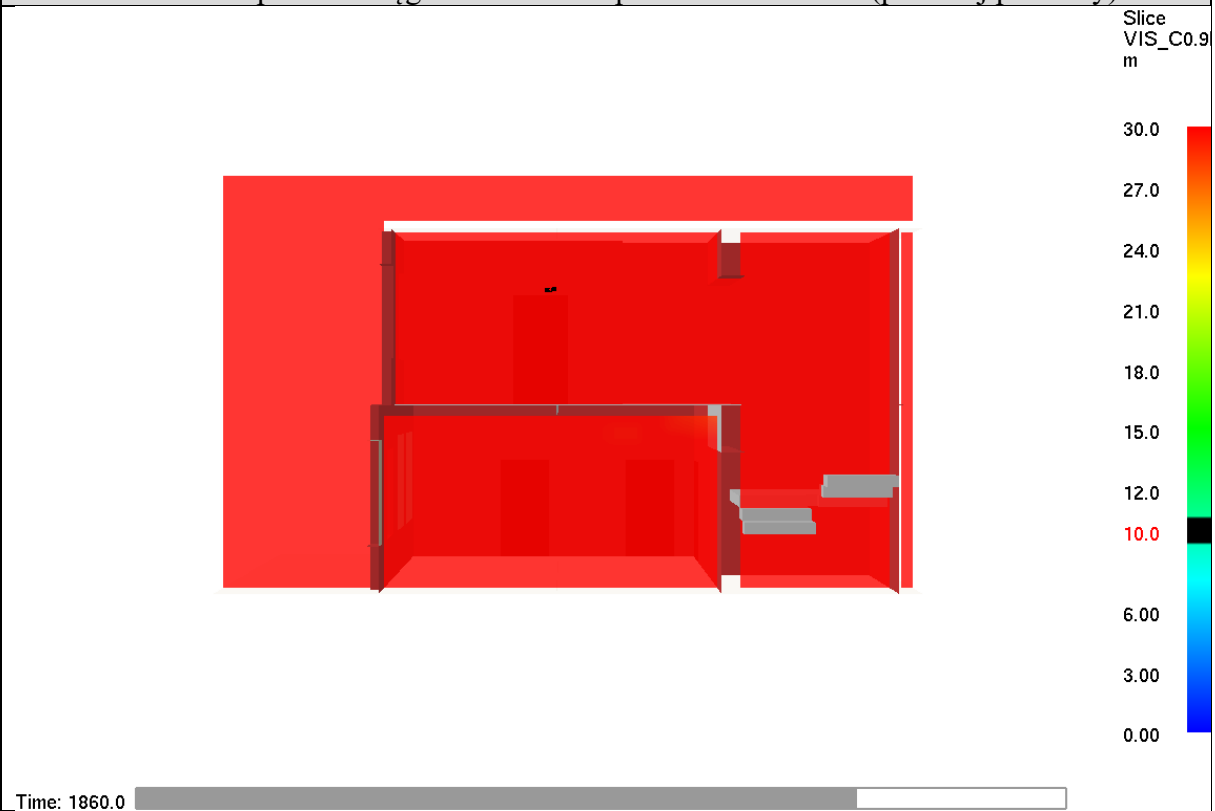
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1620 sekundach (przekrój pionowy)



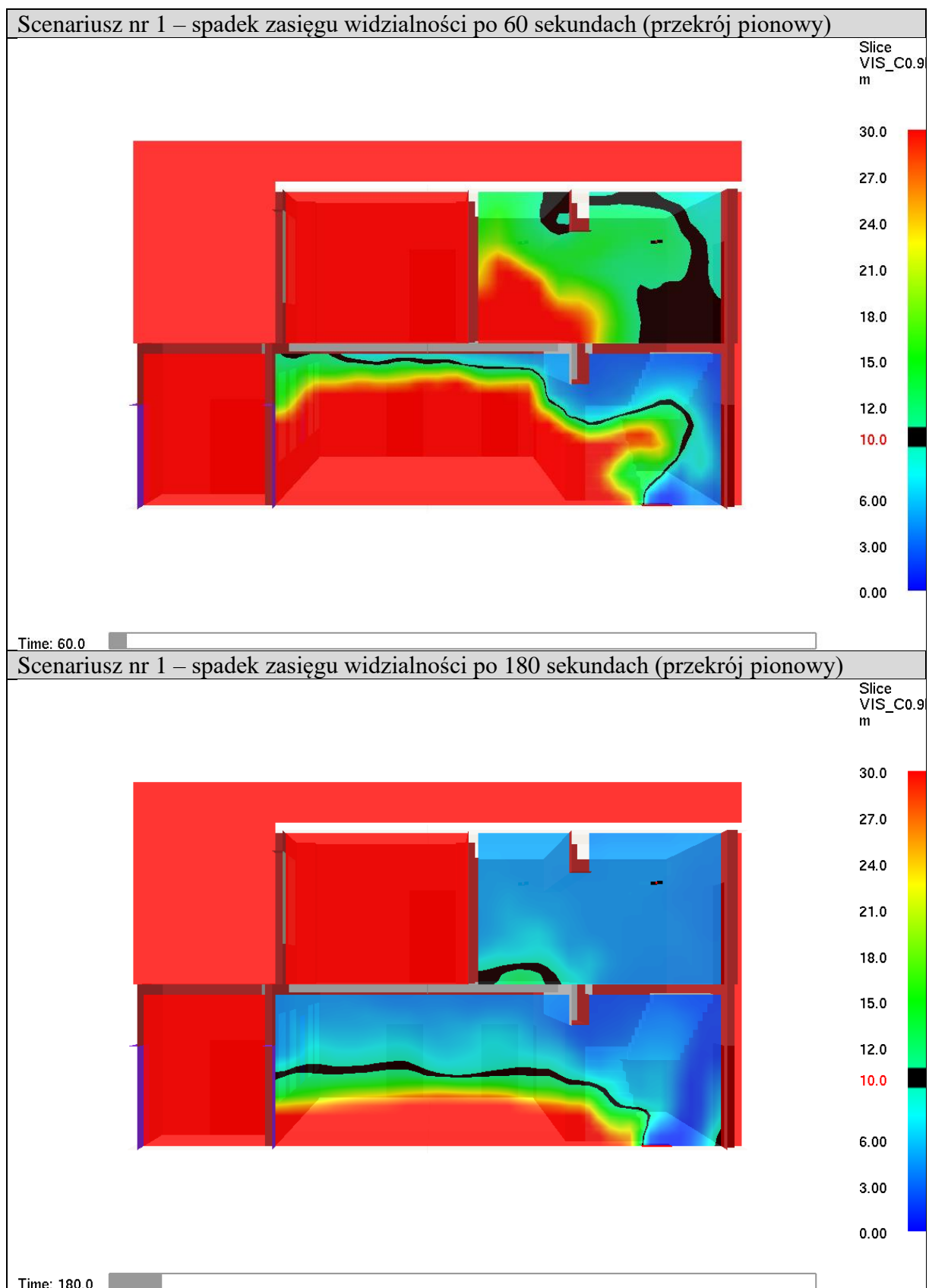
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1800 sekundach (przekrój pionowy)



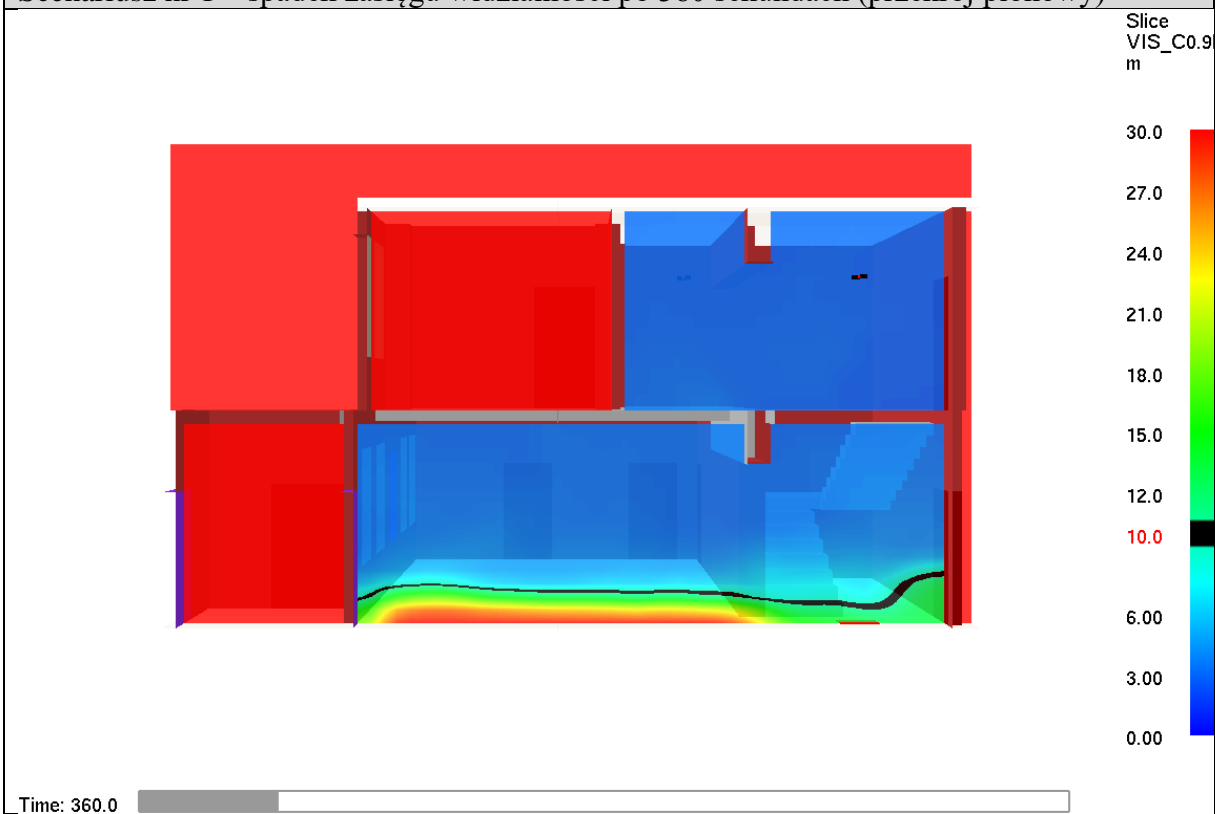
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1860 sekundach (przekrój pionowy)



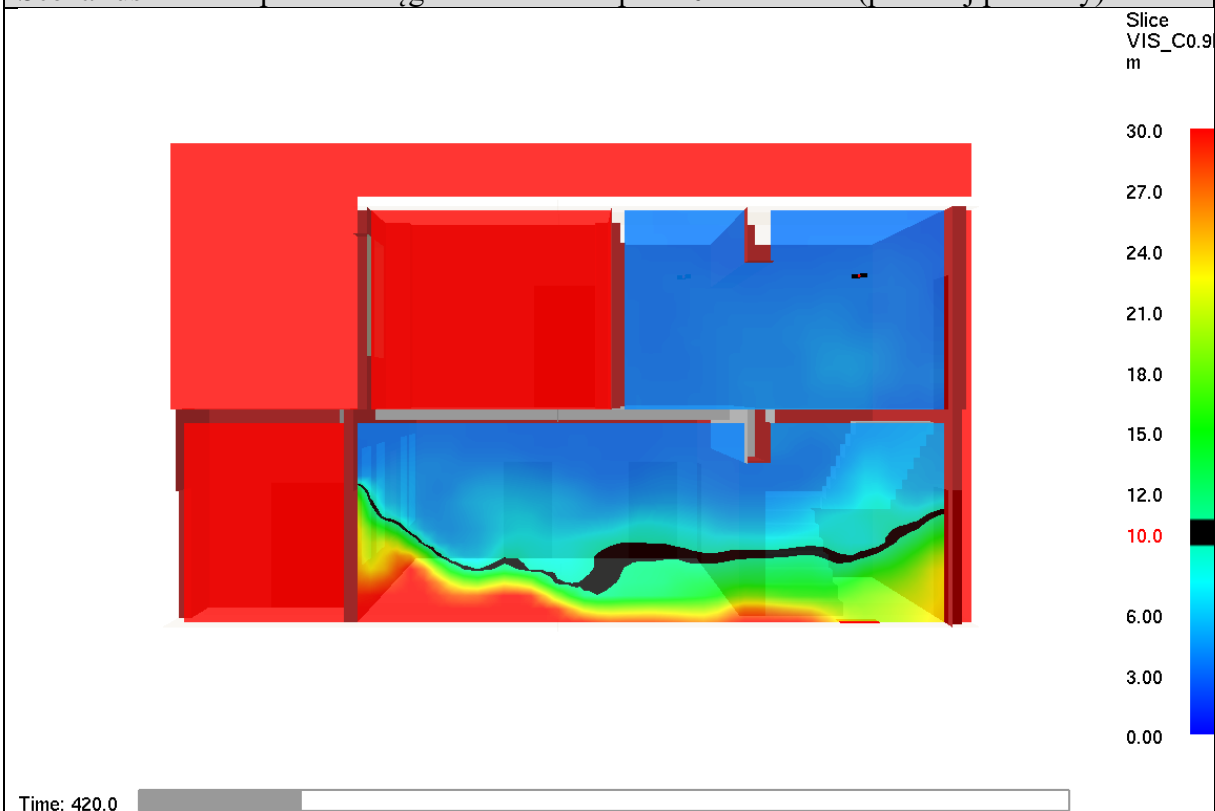
4.1.3. ZASIĘG WIDZIALNOŚCI W PRZEKROJU PIONOWYM POPROWADZONYM PRZEZ KLATKĘ SCHODOWĄ (PŁASZCZYŻNA B)



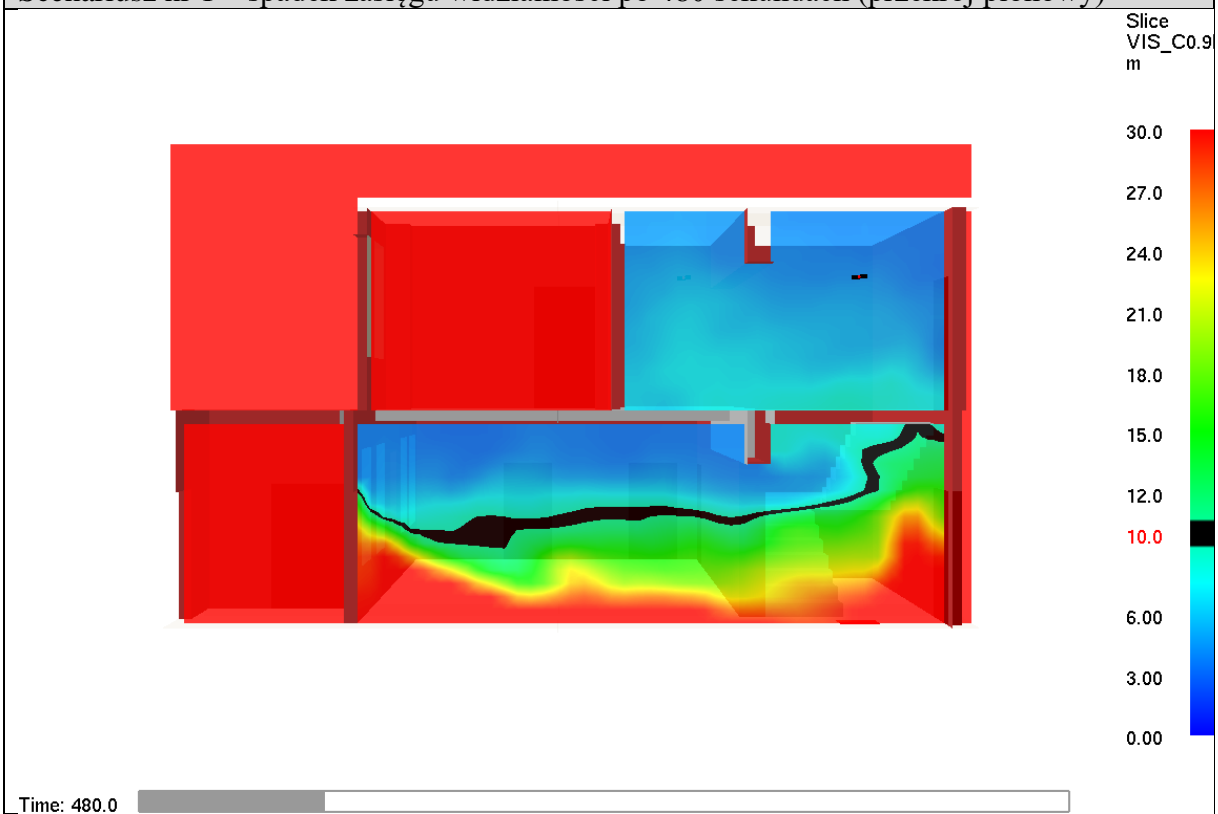
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 360 sekundach (przekrój pionowy)



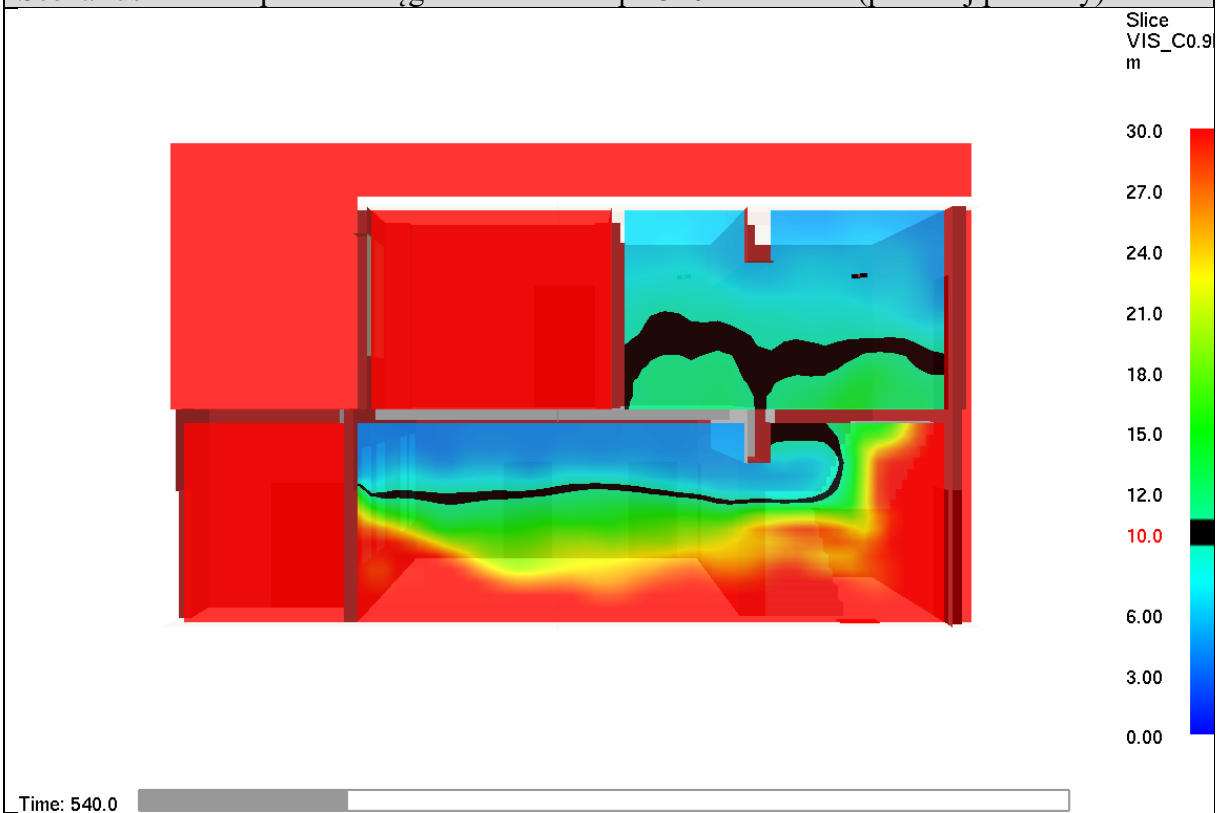
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 420 sekundach (przekrój pionowy)



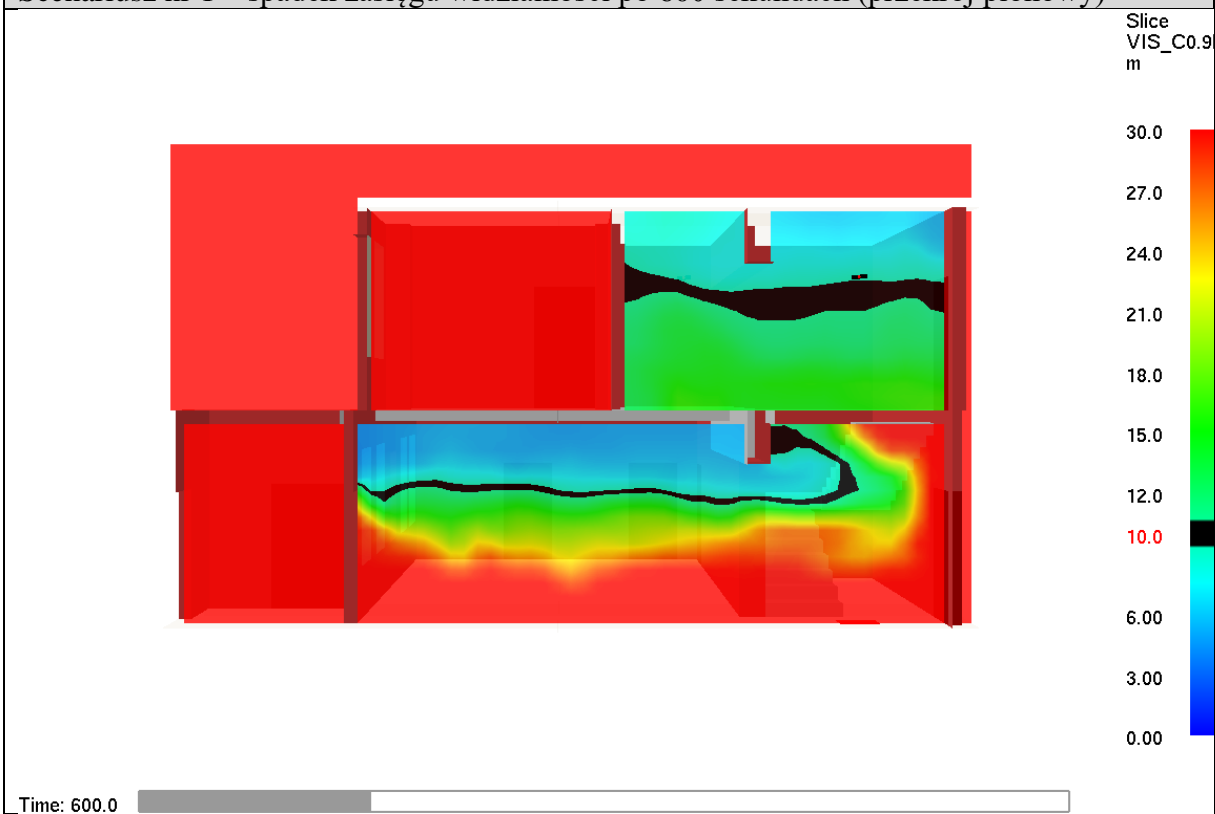
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 480 sekundach (przekrój pionowy)



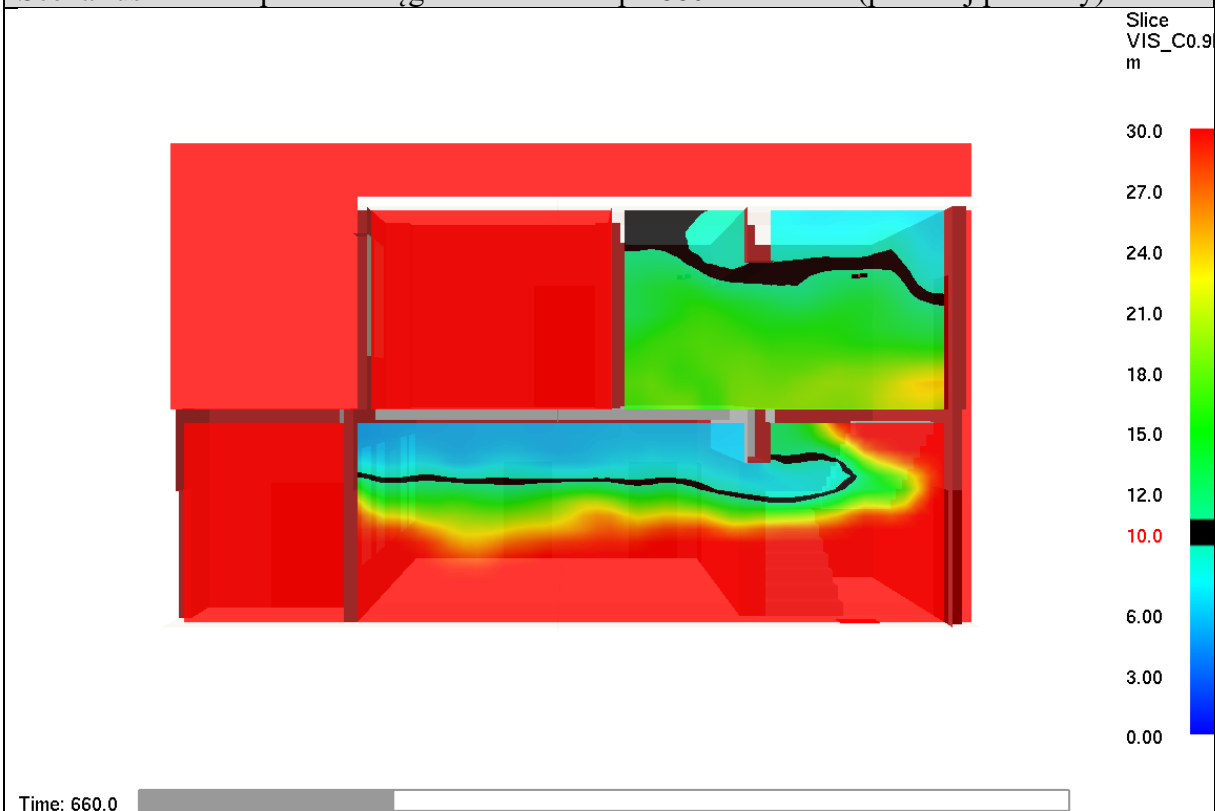
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 540 sekundach (przekrój pionowy)



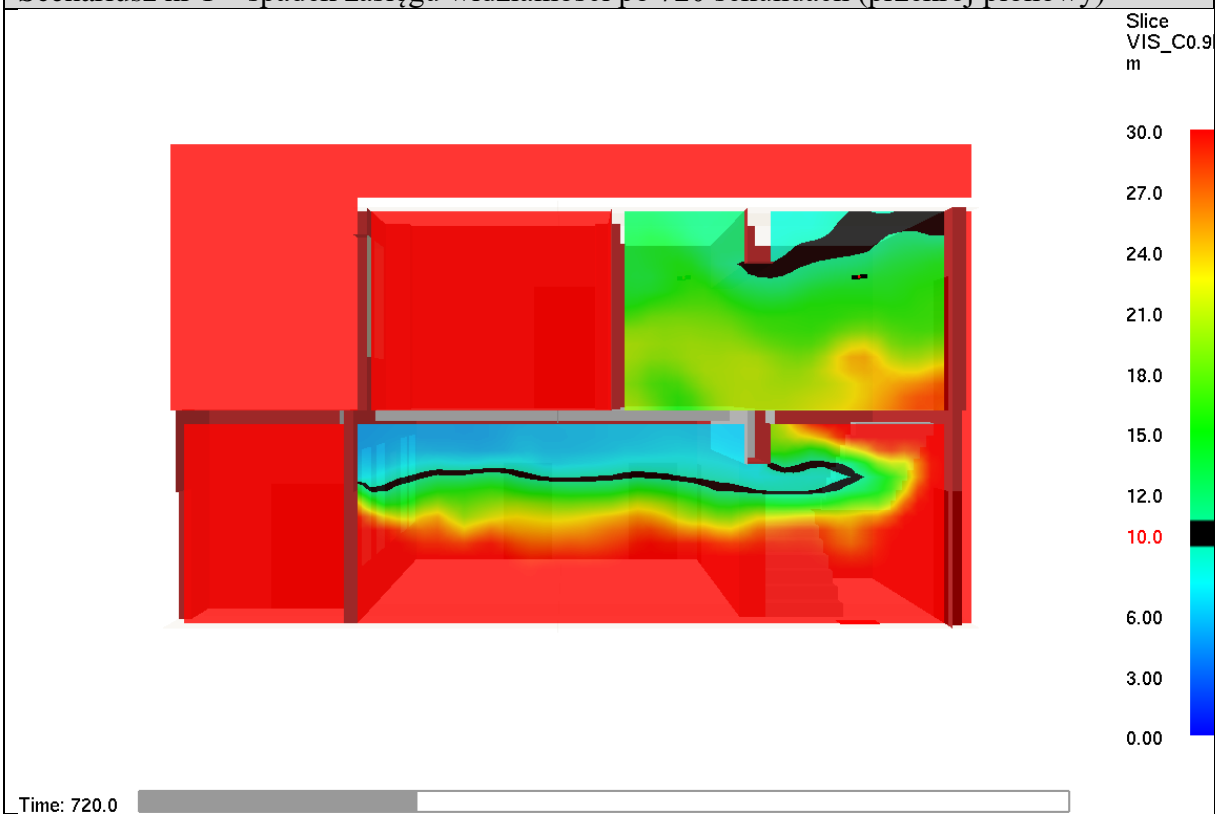
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 600 sekundach (przekrój pionowy)



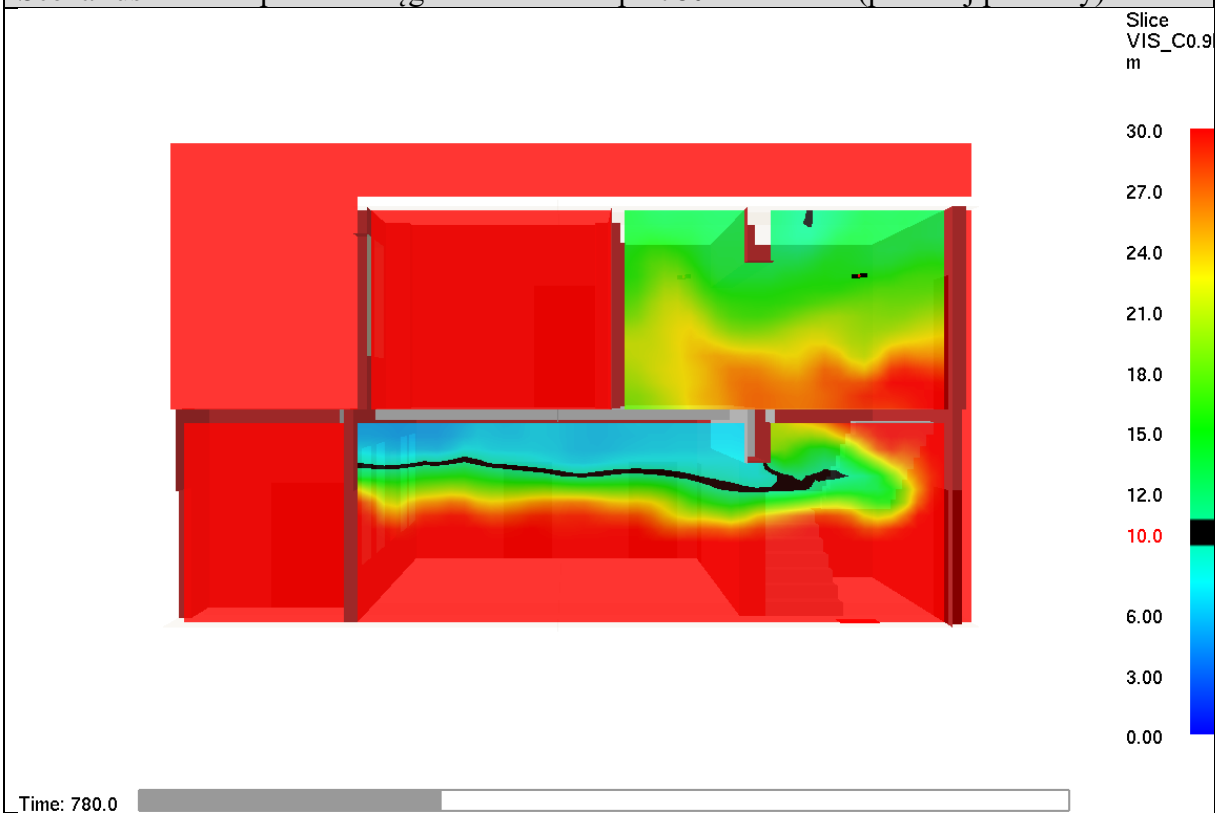
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 660 sekundach (przekrój pionowy)



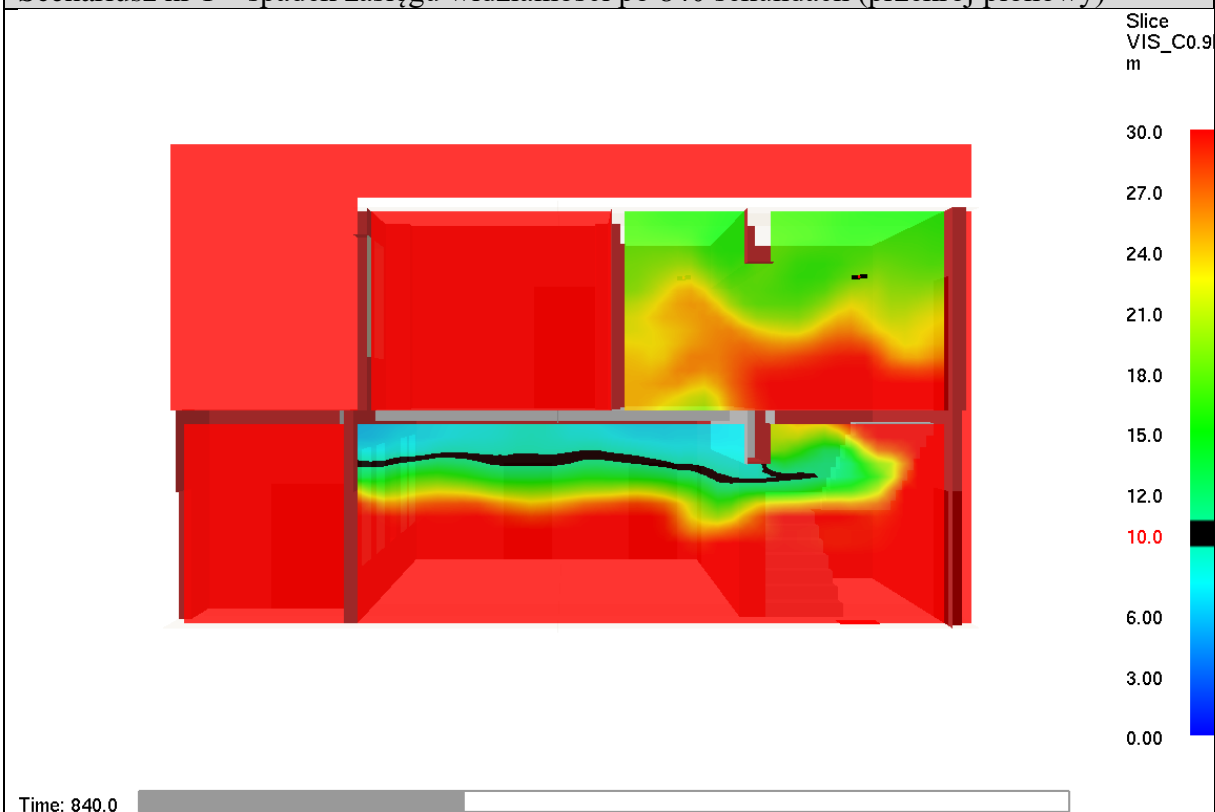
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 720 sekundach (przekrój pionowy)



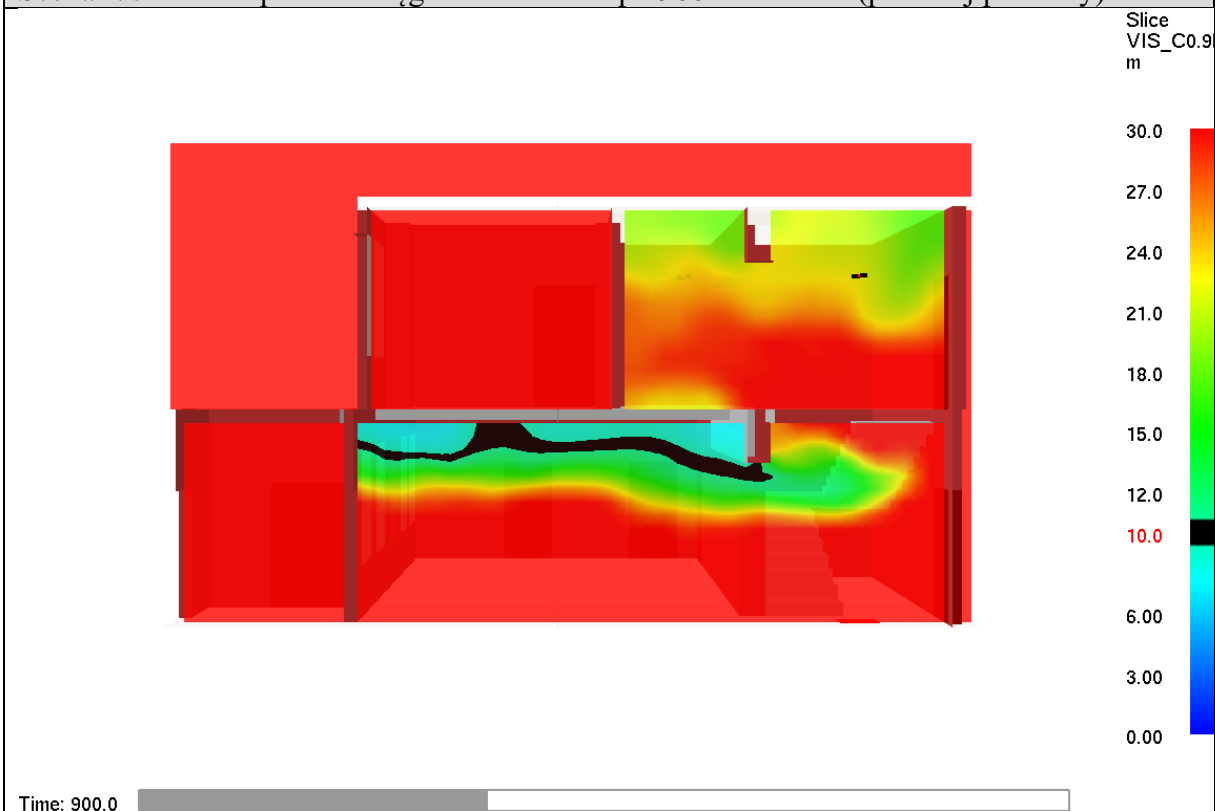
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 780 sekundach (przekrój pionowy)



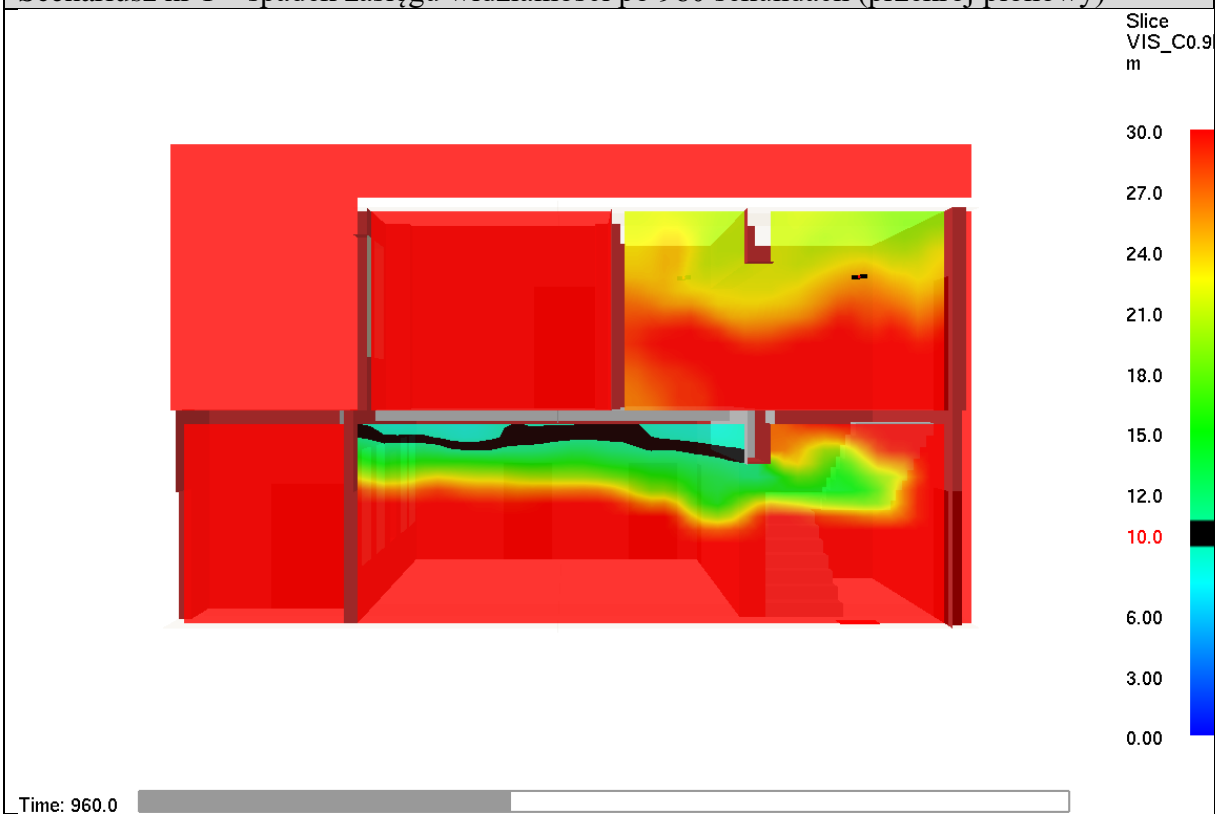
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 840 sekundach (przekrój pionowy)



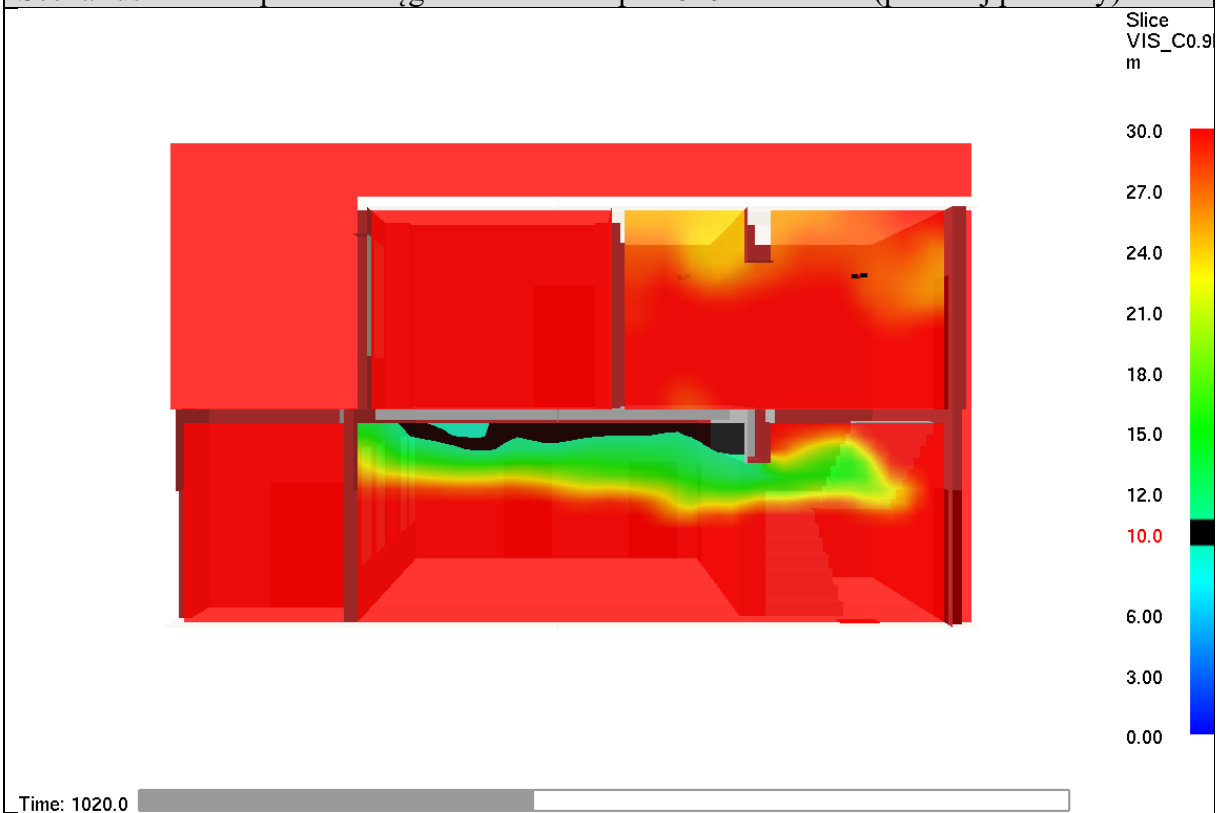
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 900 sekundach (przekrój pionowy)



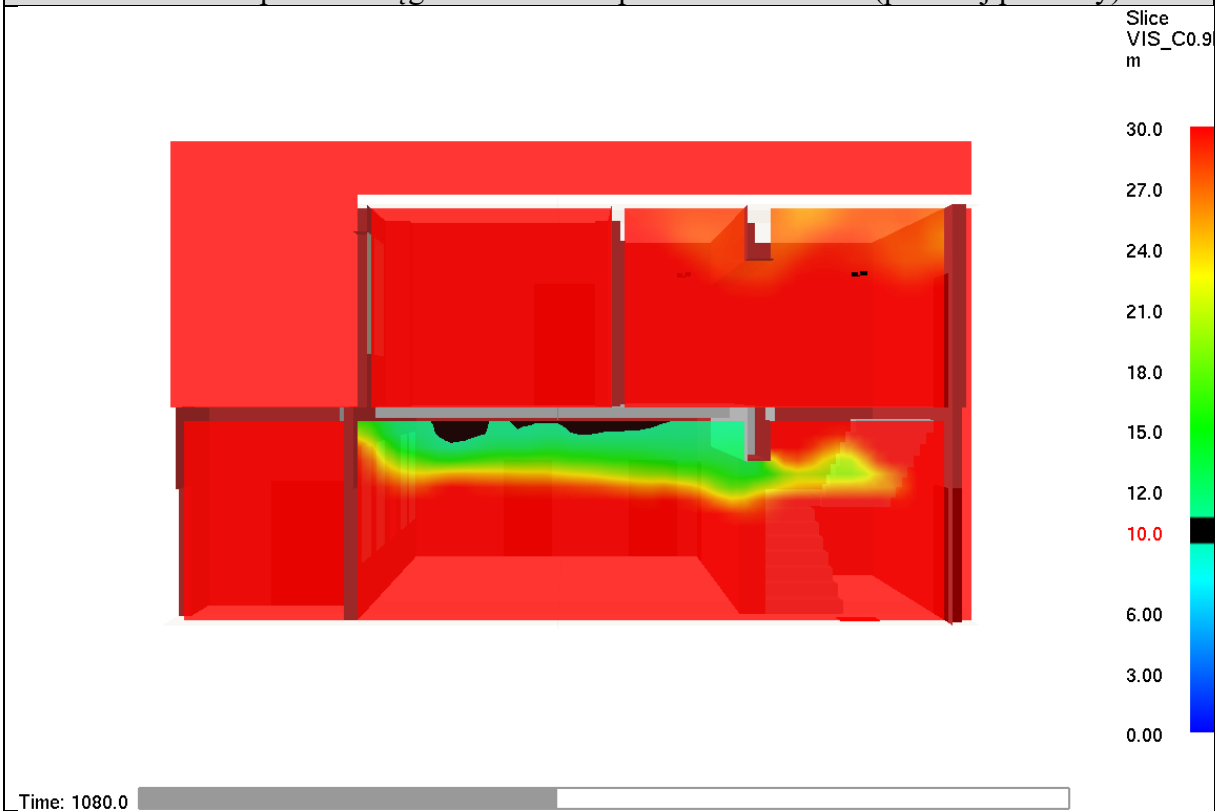
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 960 sekundach (przekrój pionowy)



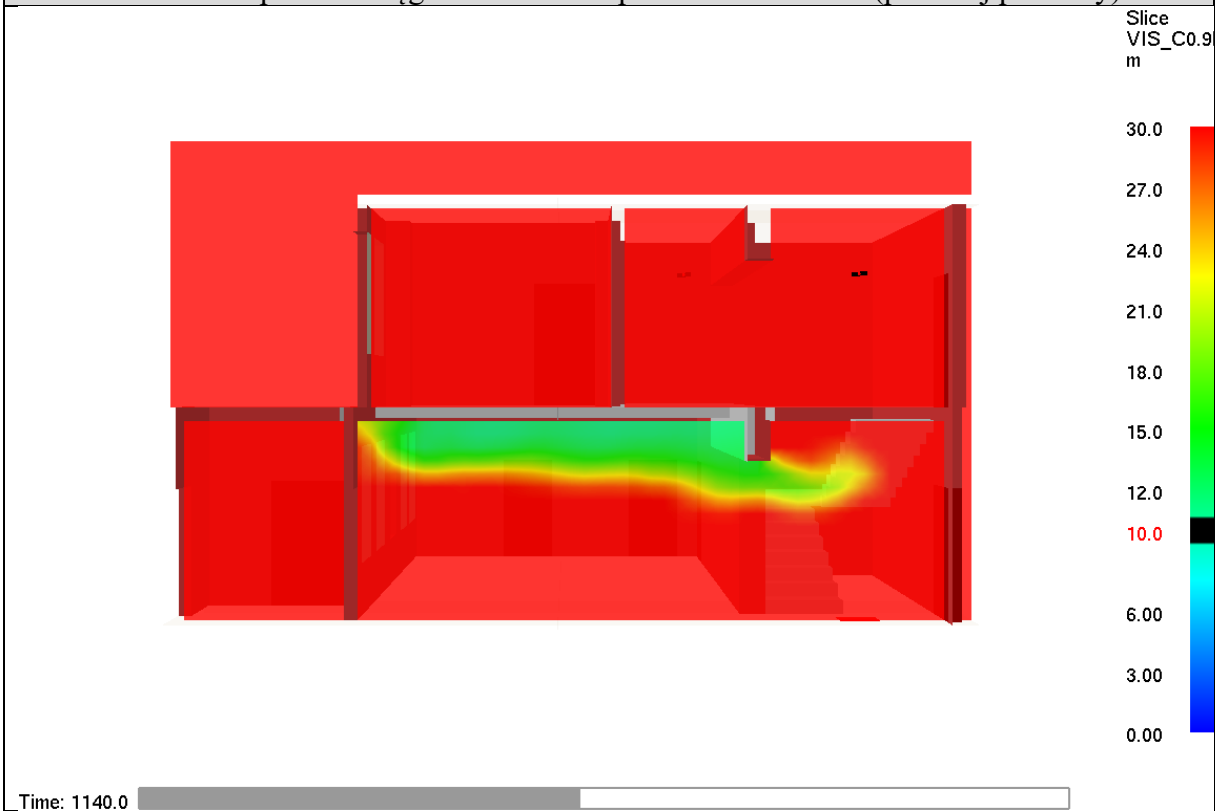
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1020 sekundach (przekrój pionowy)



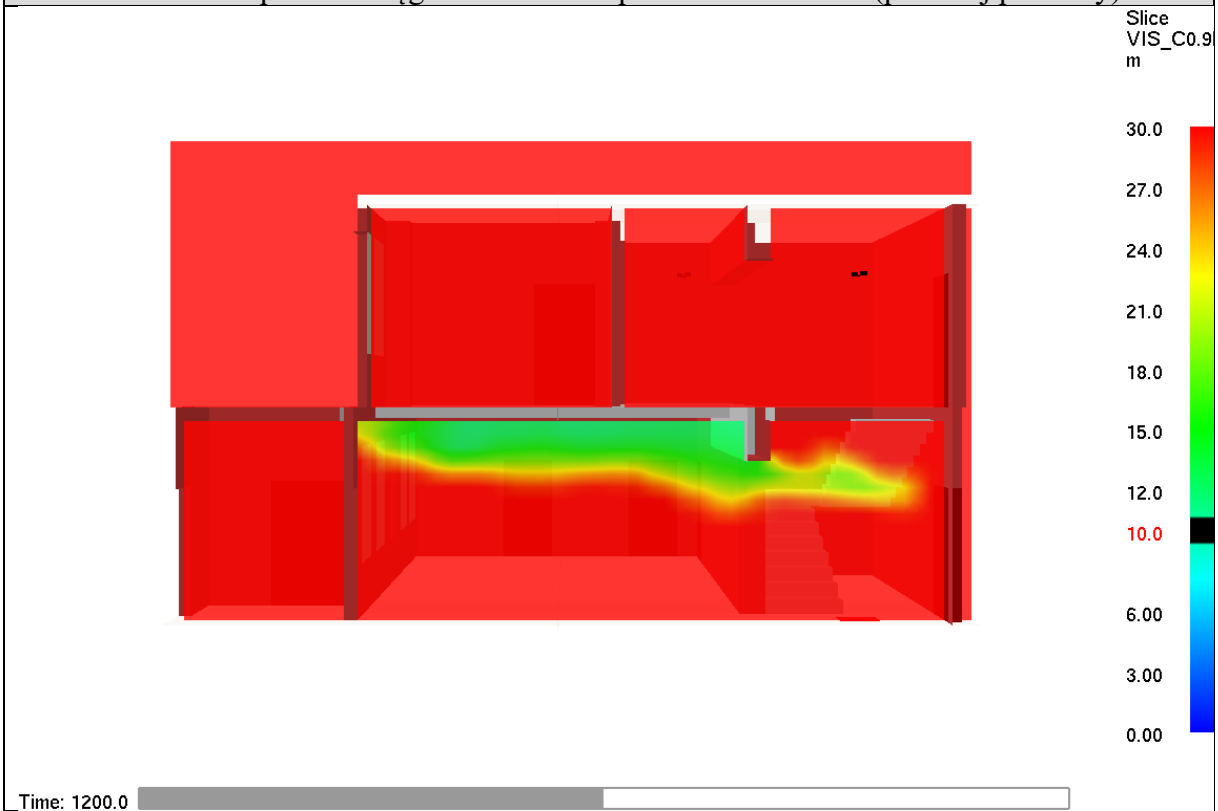
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1080 sekundach (przekrój pionowy)



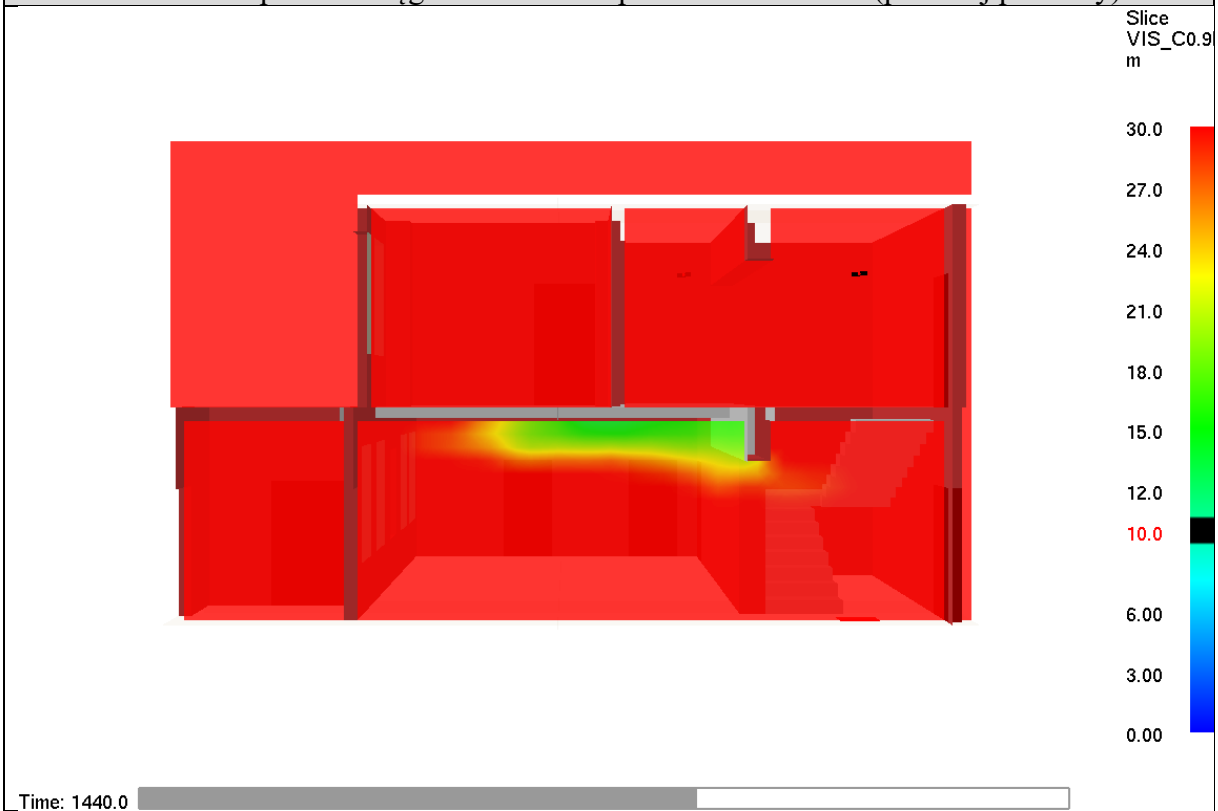
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1140 sekundach (przekrój pionowy)



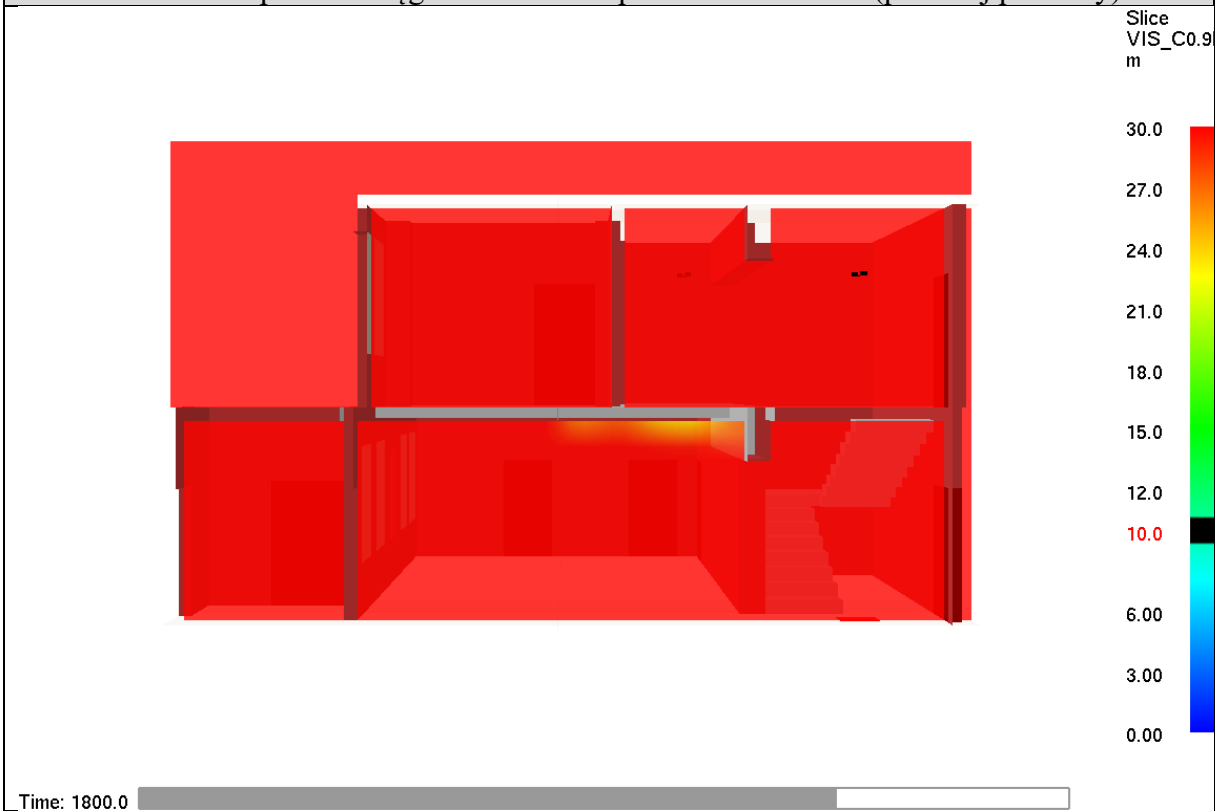
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1200 sekundach (przekrój pionowy)



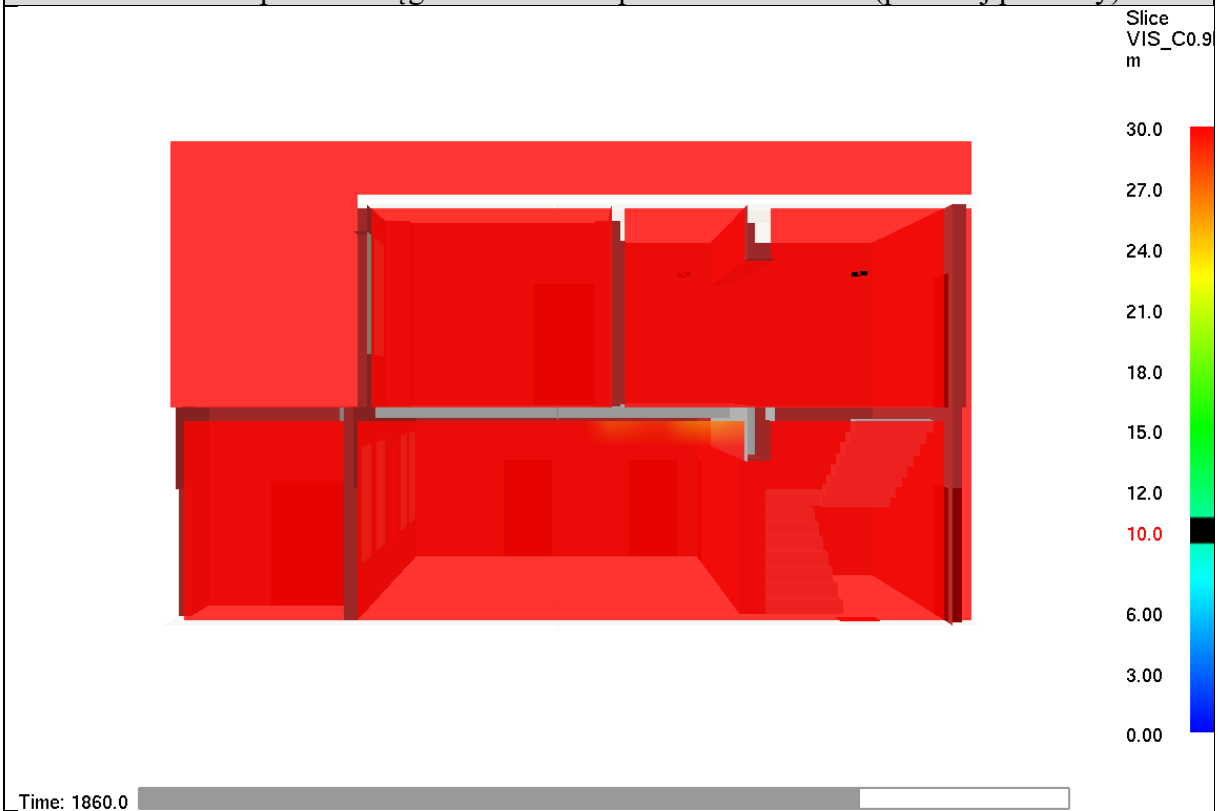
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1440 sekundach (przekrój pionowy)



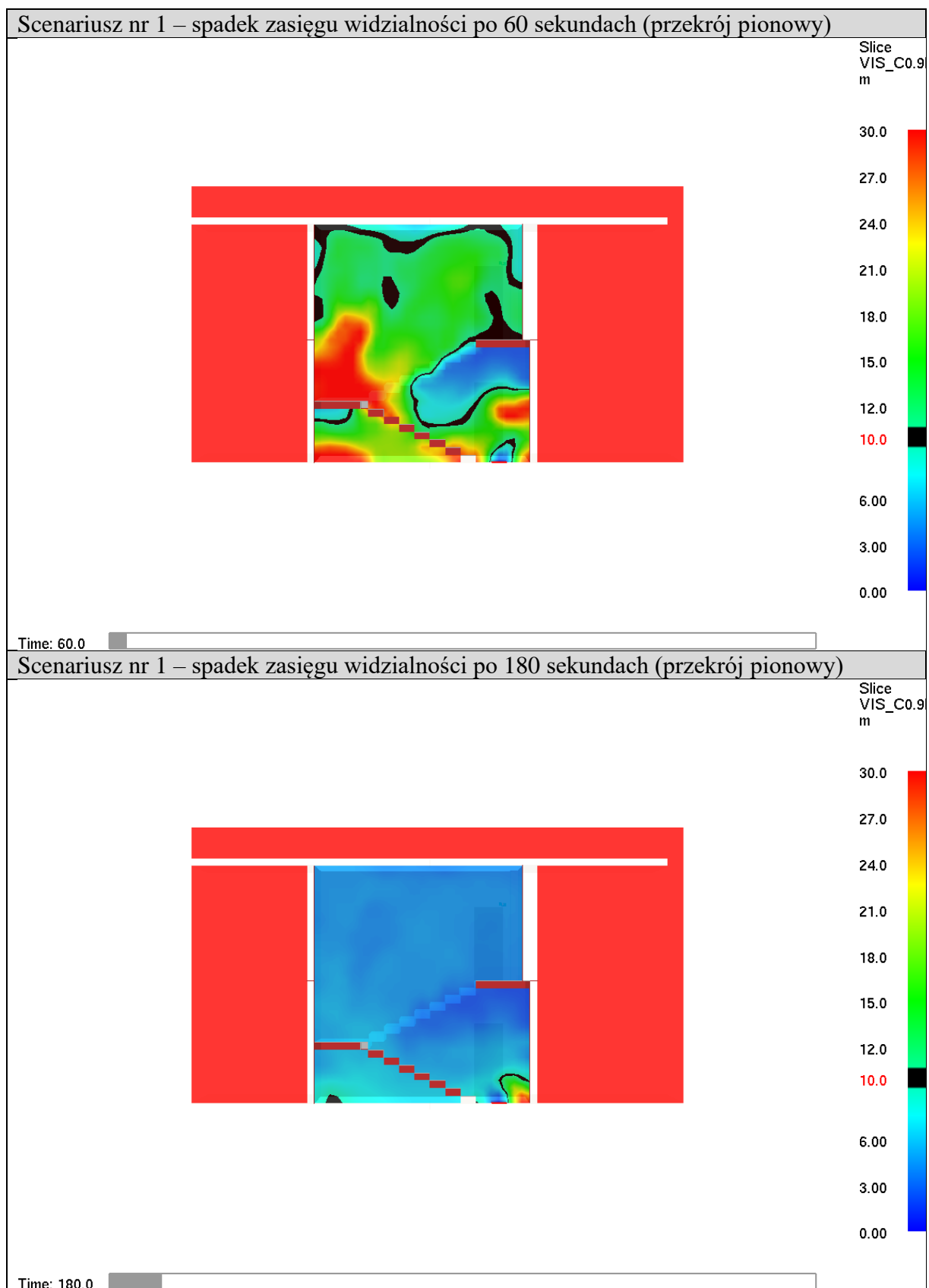
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1800 sekundach (przekrój pionowy)



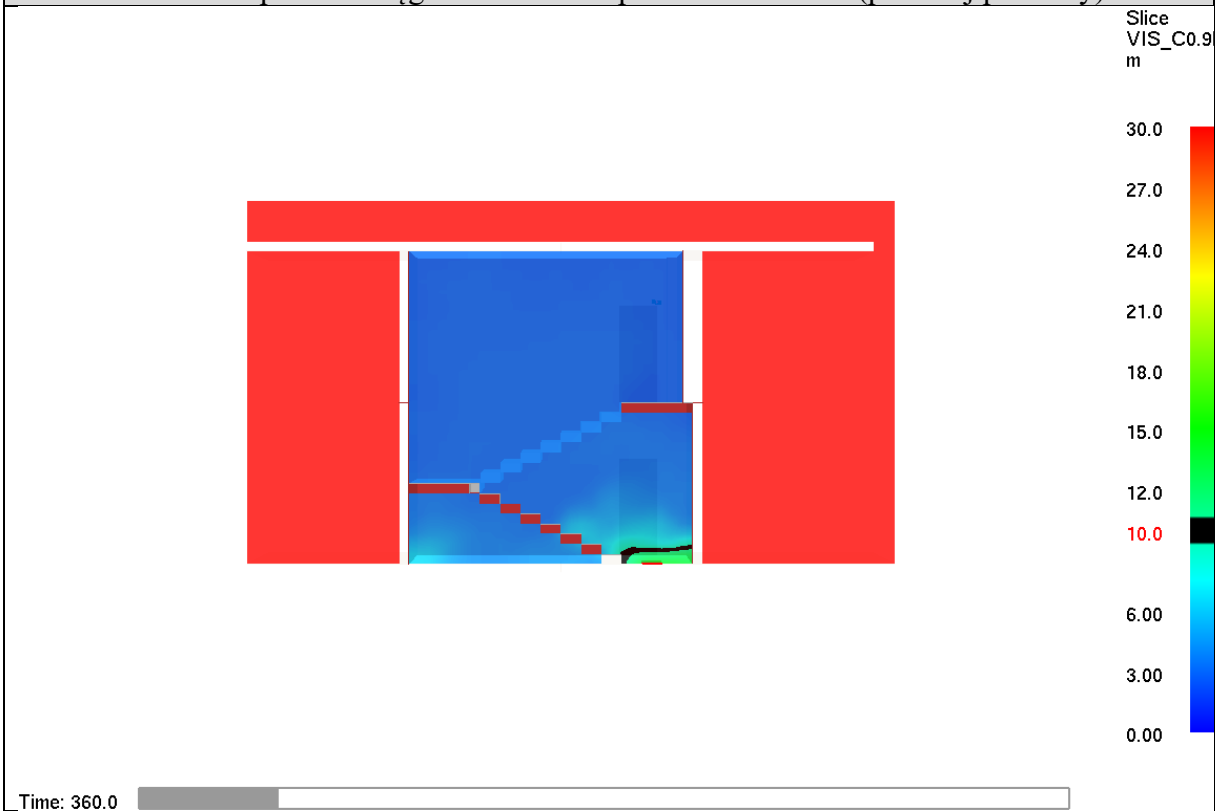
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1860 sekundach (przekrój pionowy)



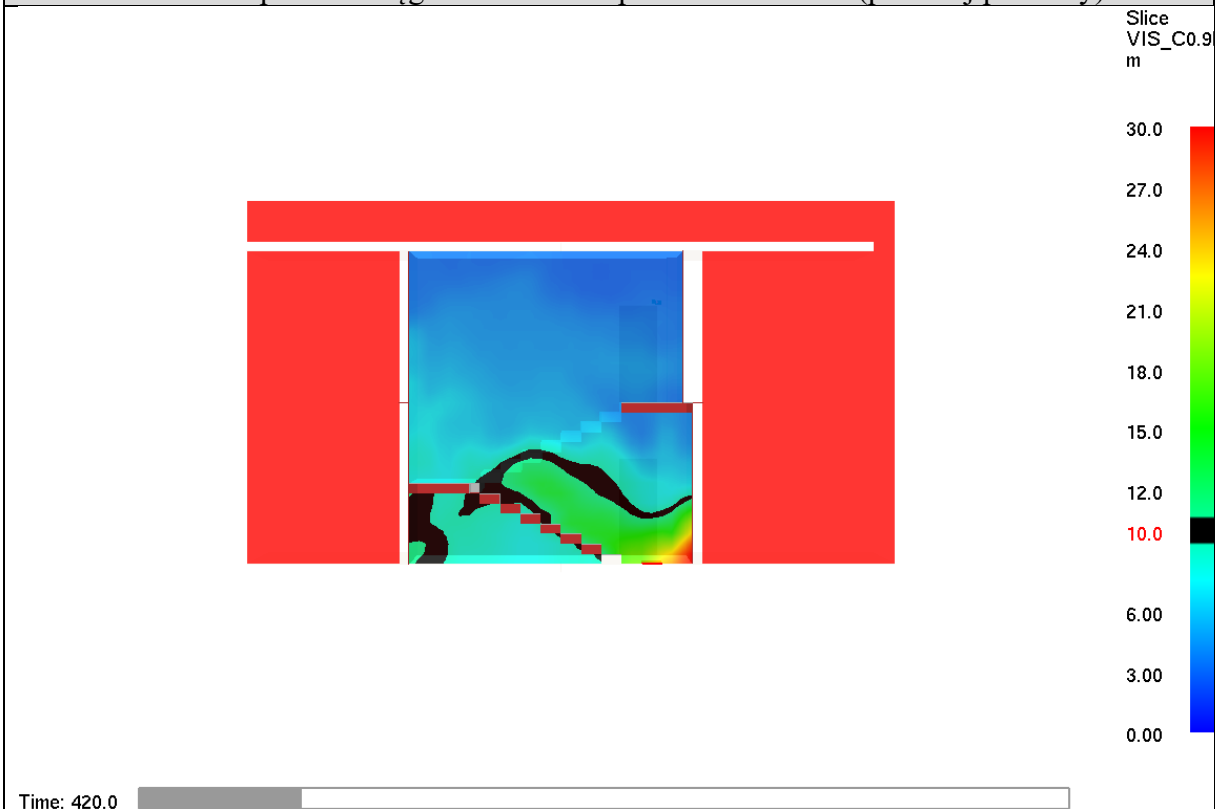
4.1.4. ZASIĘG WIDZIALNOŚCI W PRZEKROJU PIONOWYM POPROWADZONYM PRZEZ KLATKĘ SCHODOWĄ (PŁASZCZYZNA C)



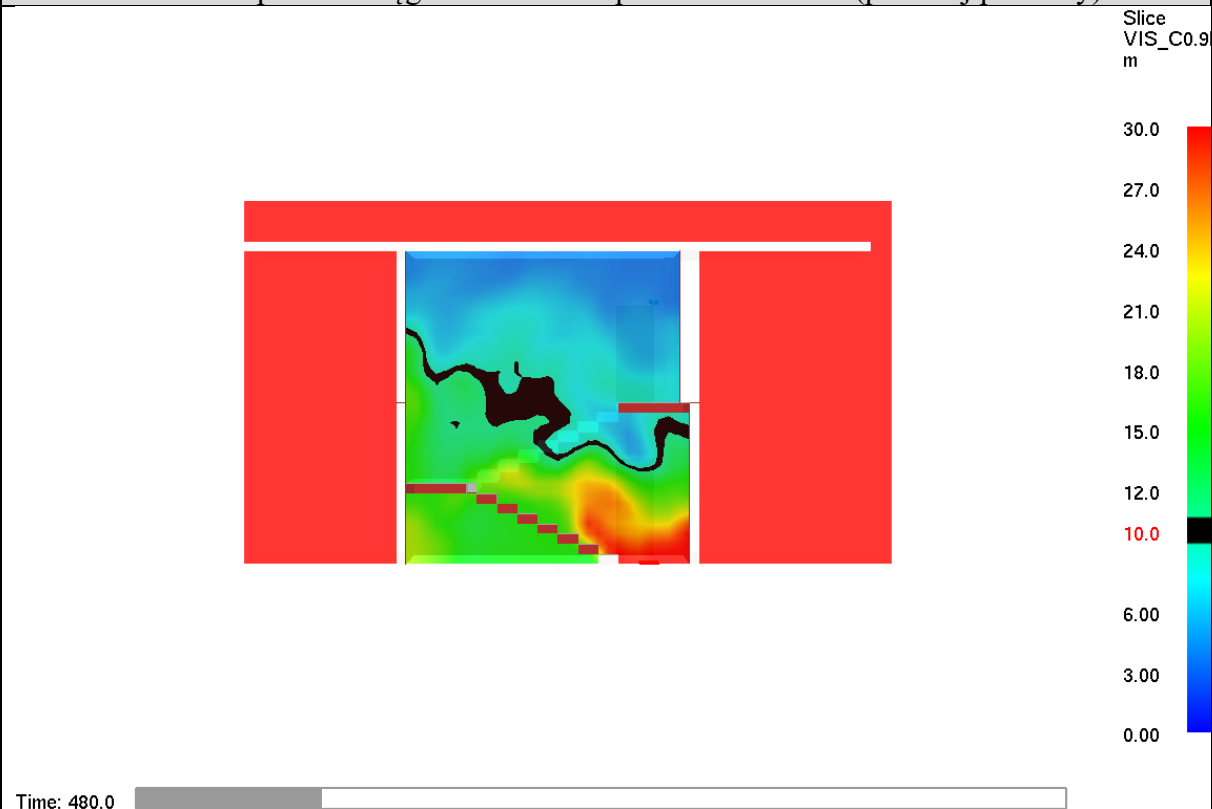
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 360 sekundach (przekrój pionowy)



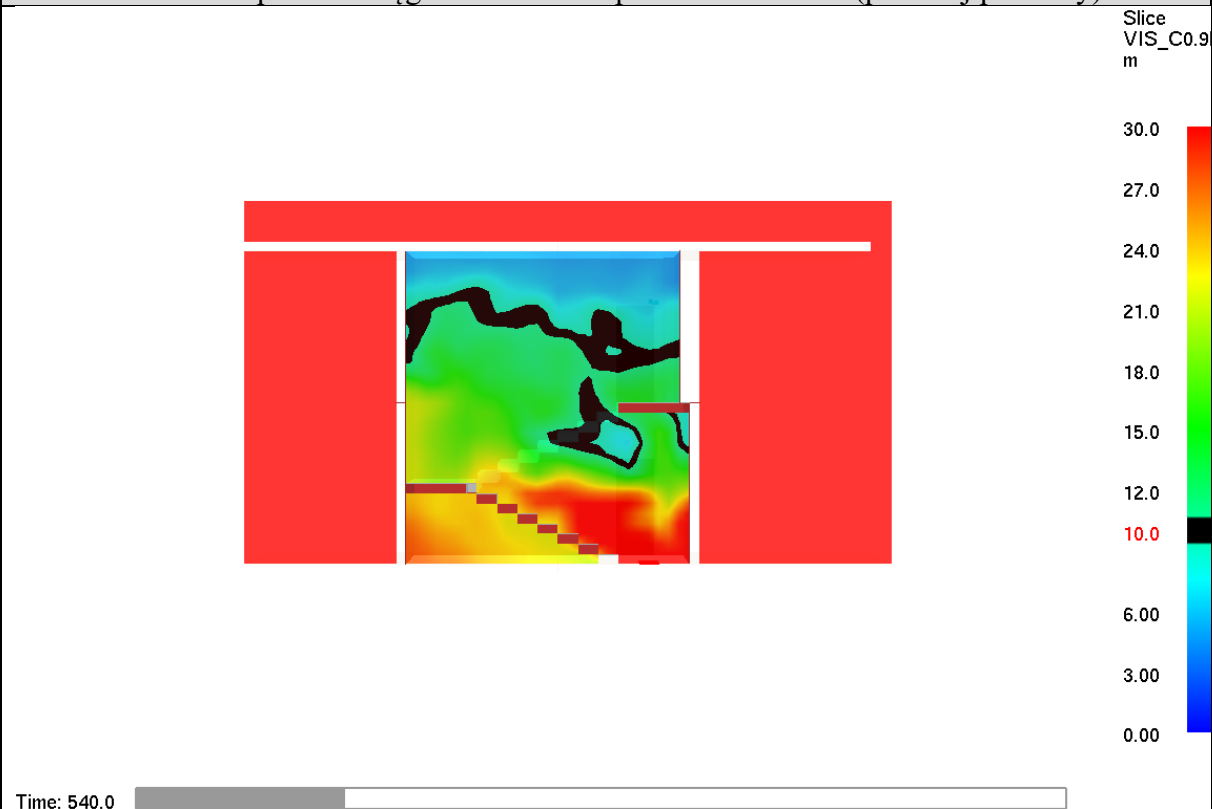
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 420 sekundach (przekrój pionowy)



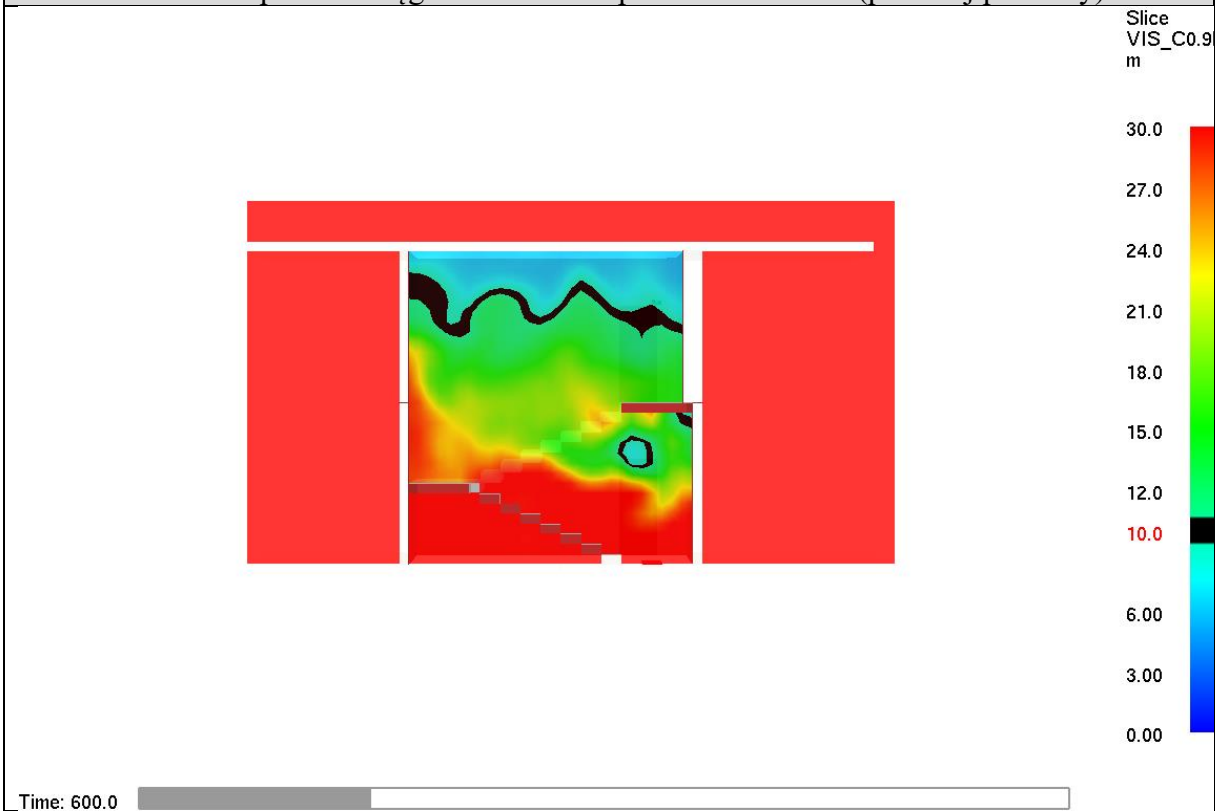
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 480 sekundach (przekrój pionowy)



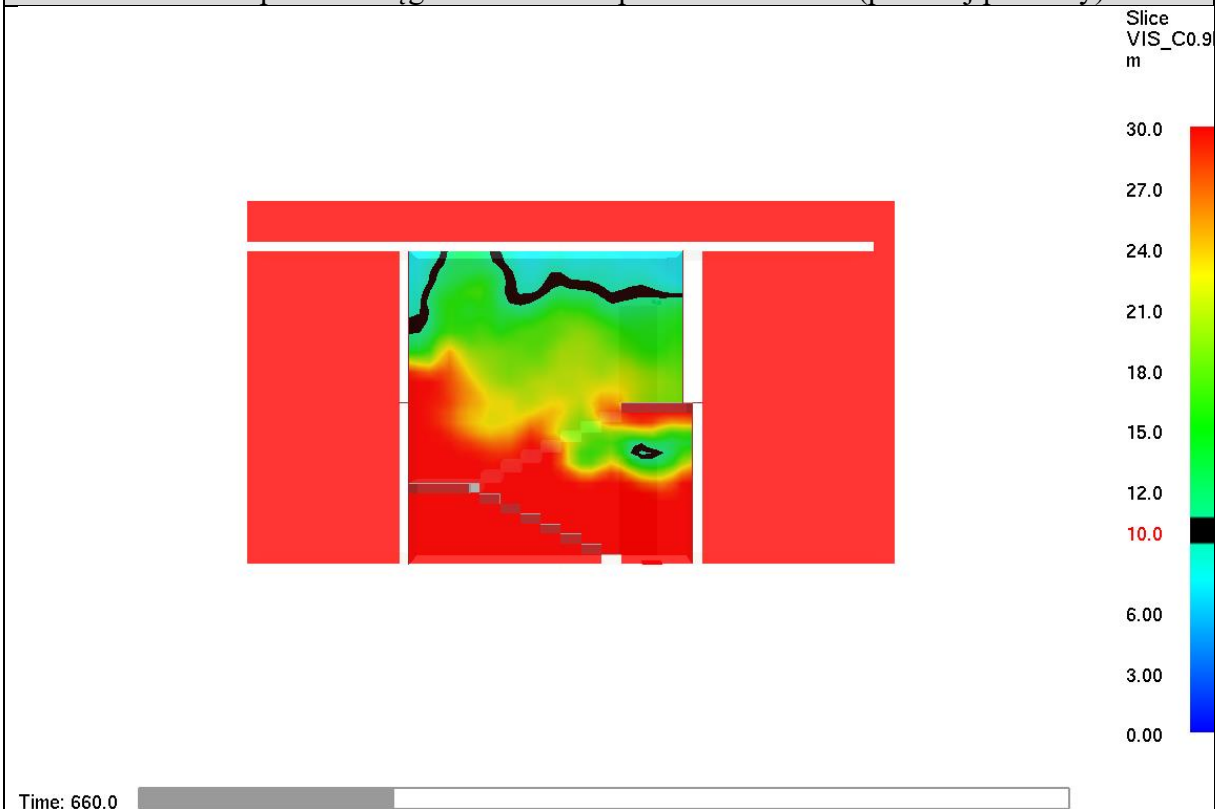
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 540 sekundach (przekrój pionowy)



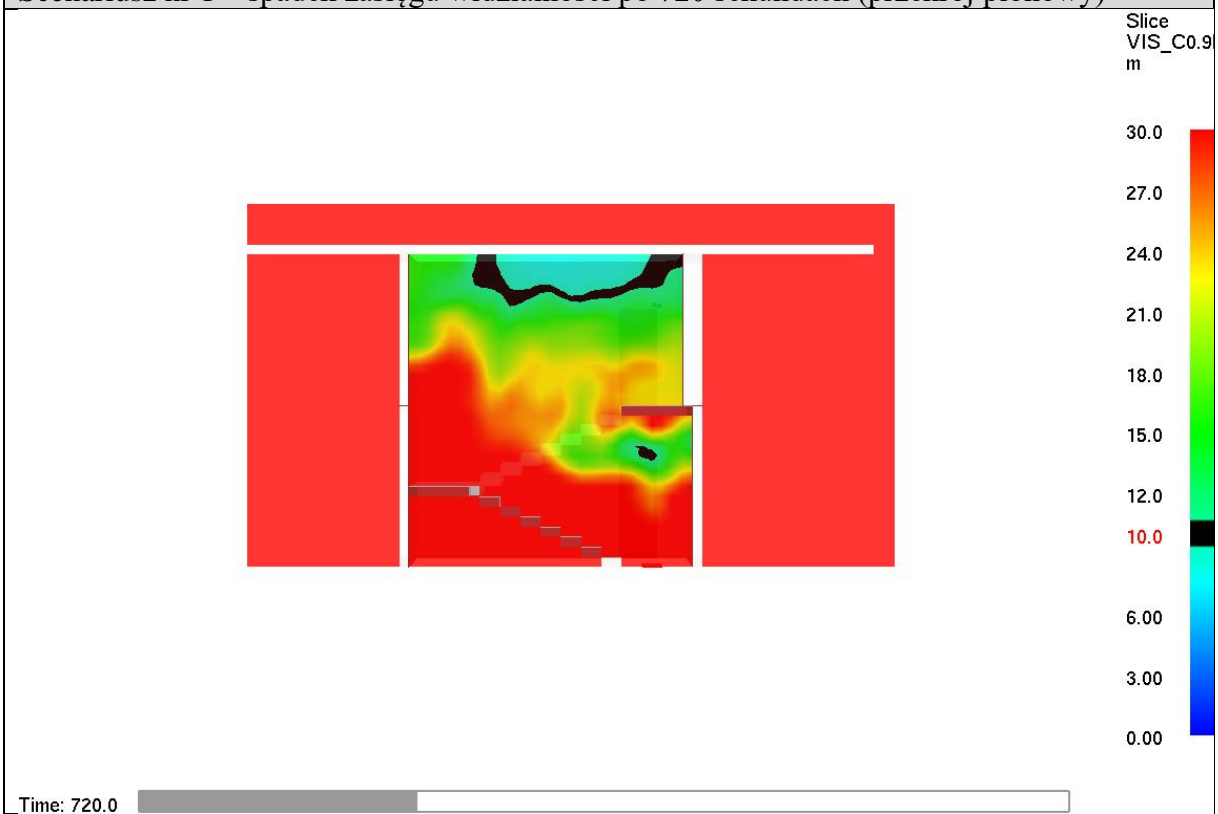
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 600 sekundach (przekrój pionowy)



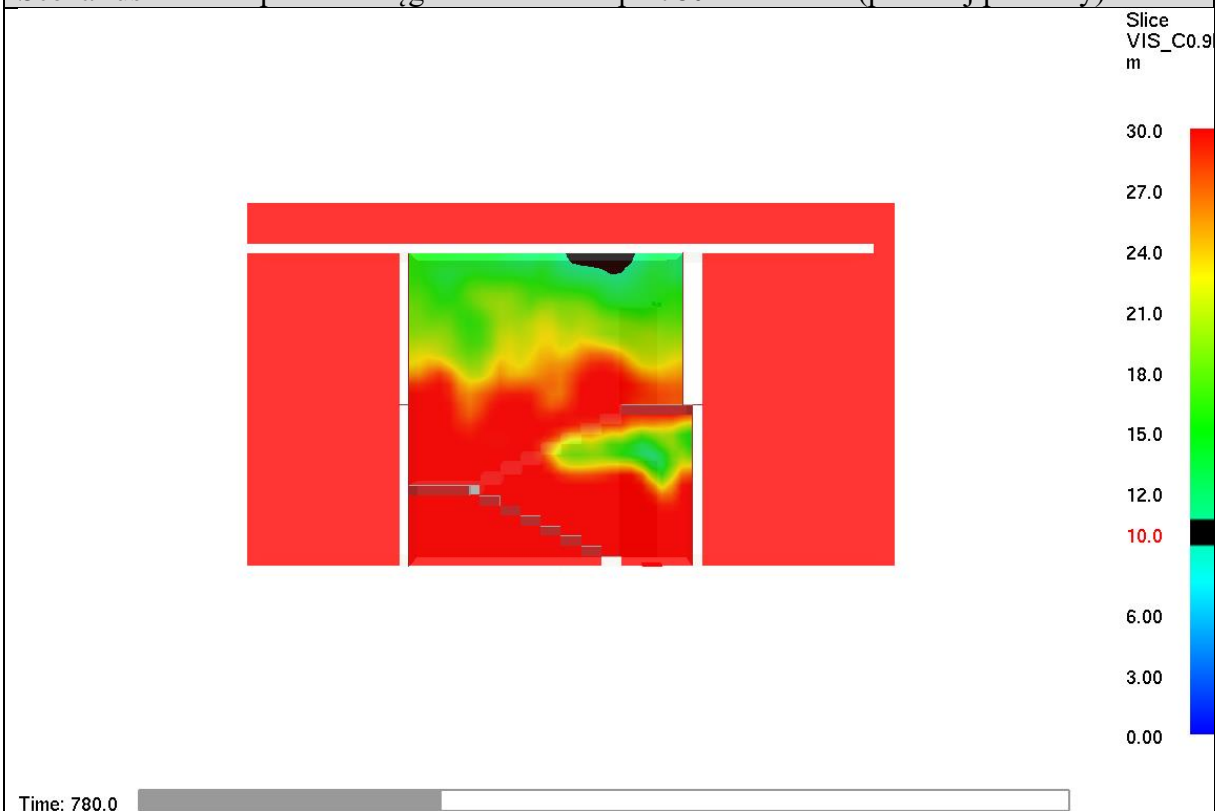
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 660 sekundach (przekrój pionowy)



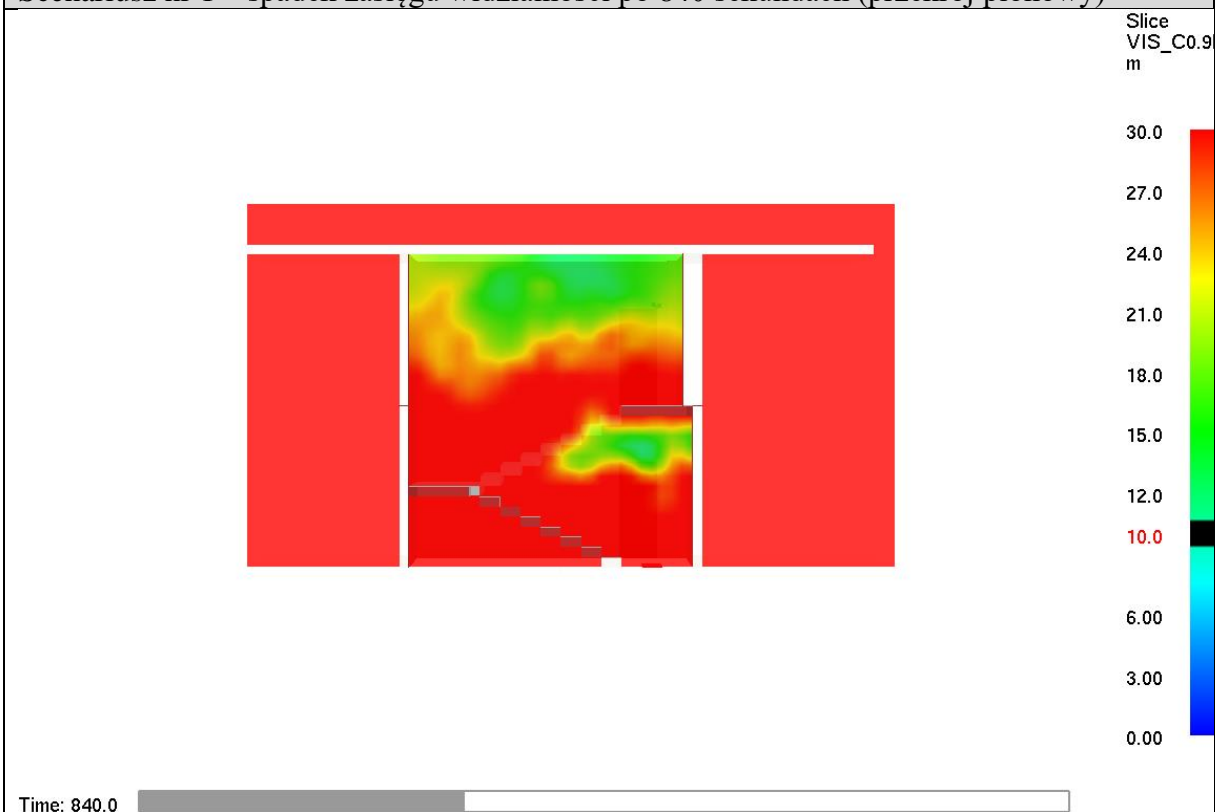
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 720 sekundach (przekrój pionowy)



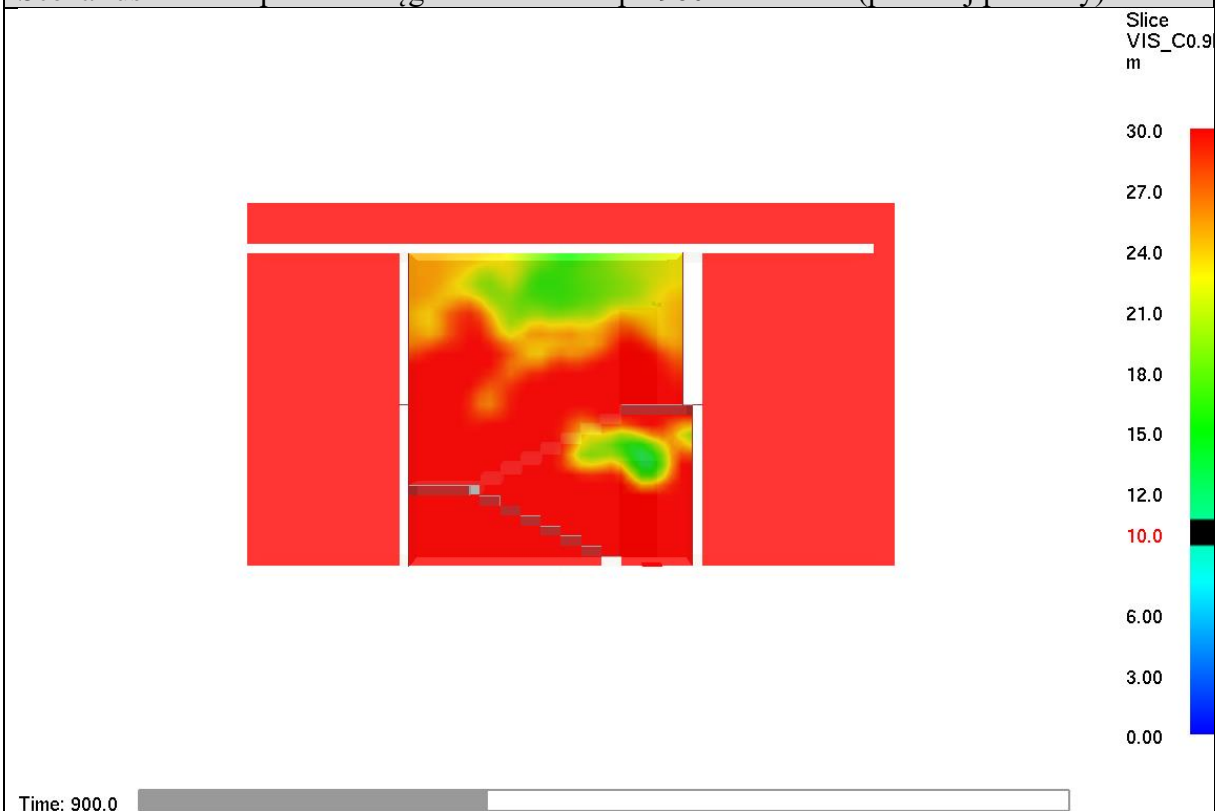
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 780 sekundach (przekrój pionowy)



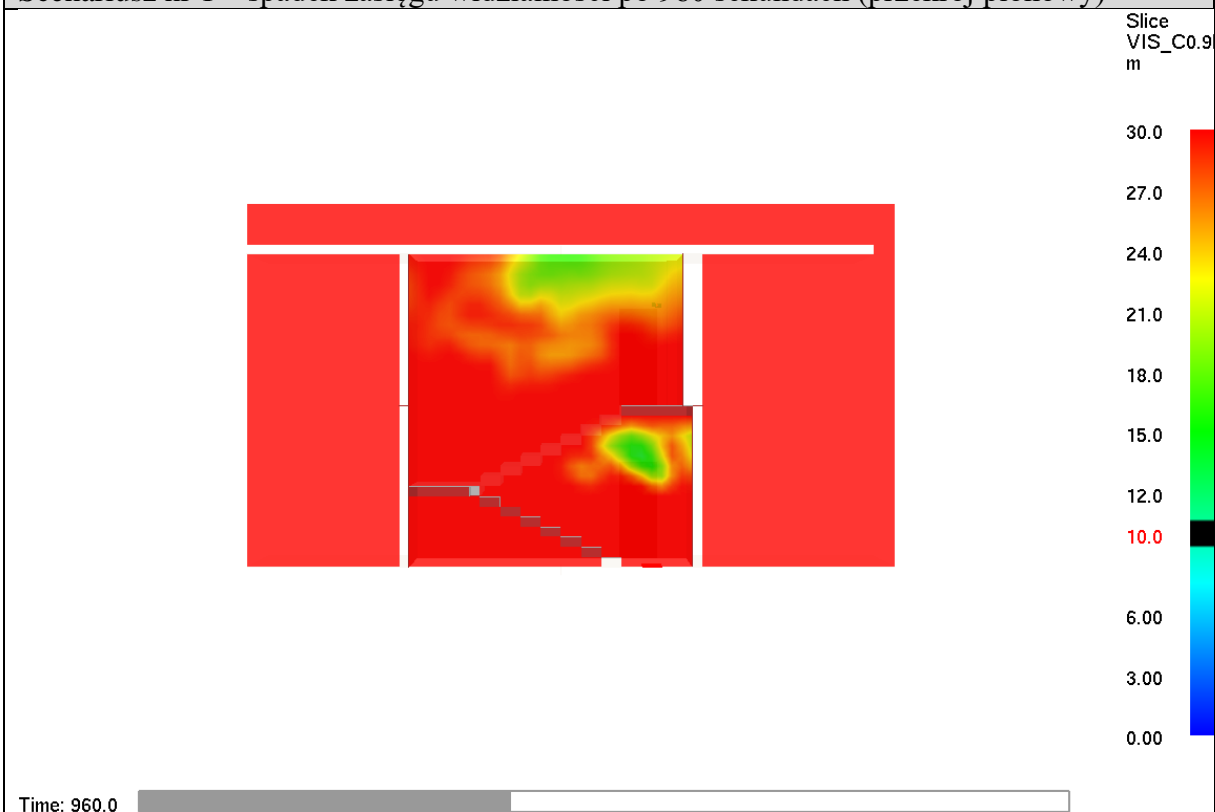
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 840 sekundach (przekrój pionowy)



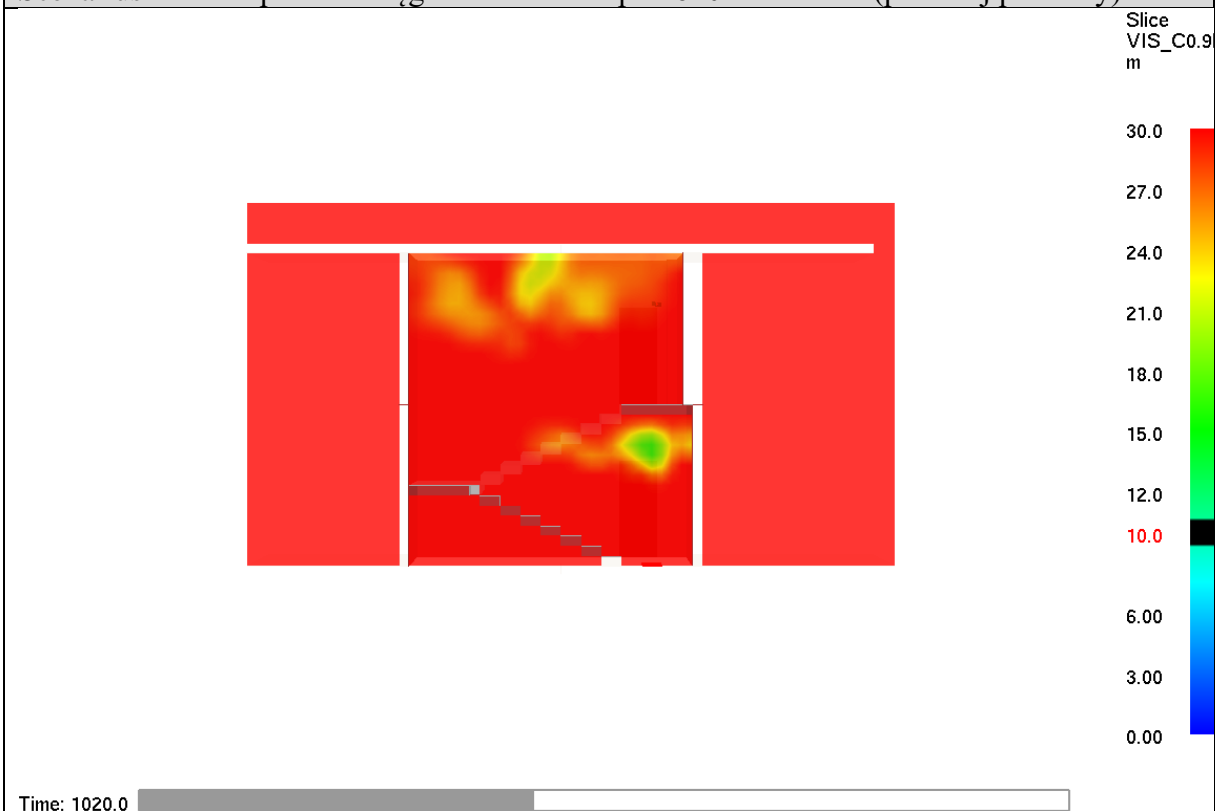
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 900 sekundach (przekrój pionowy)



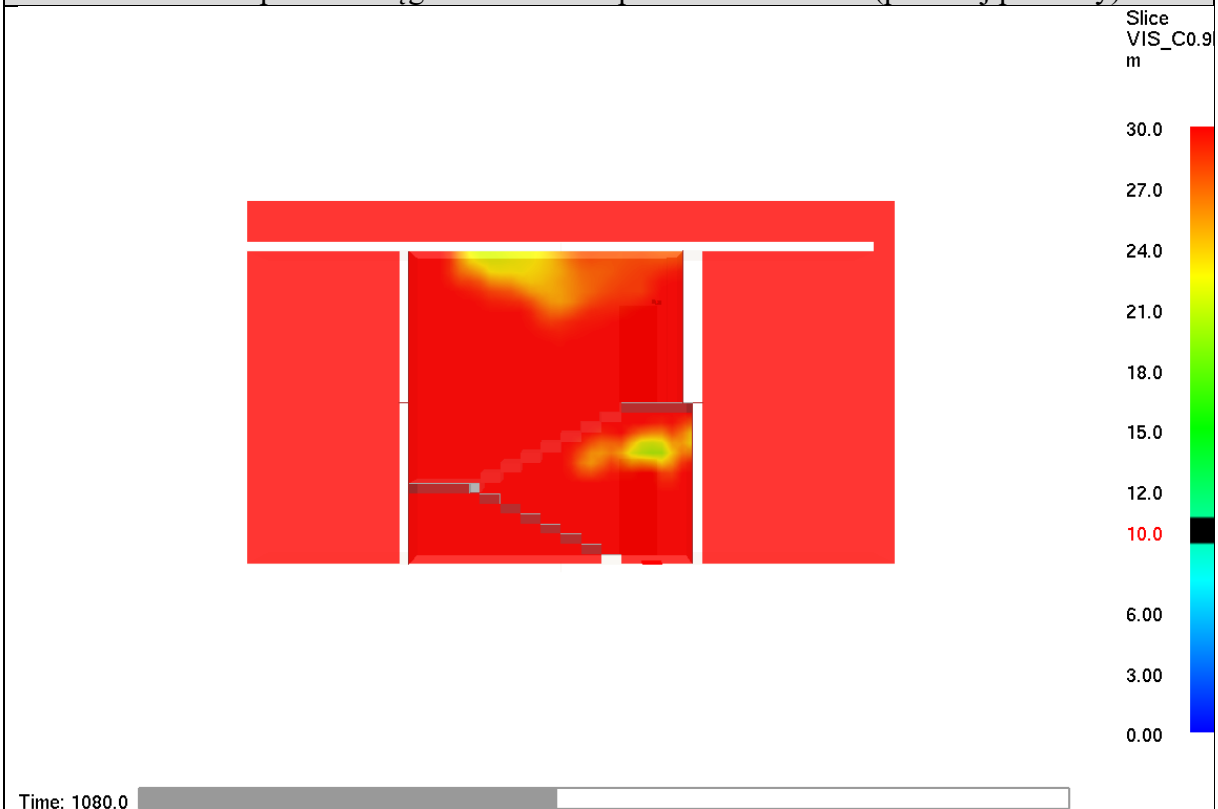
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 960 sekundach (przekrój pionowy)



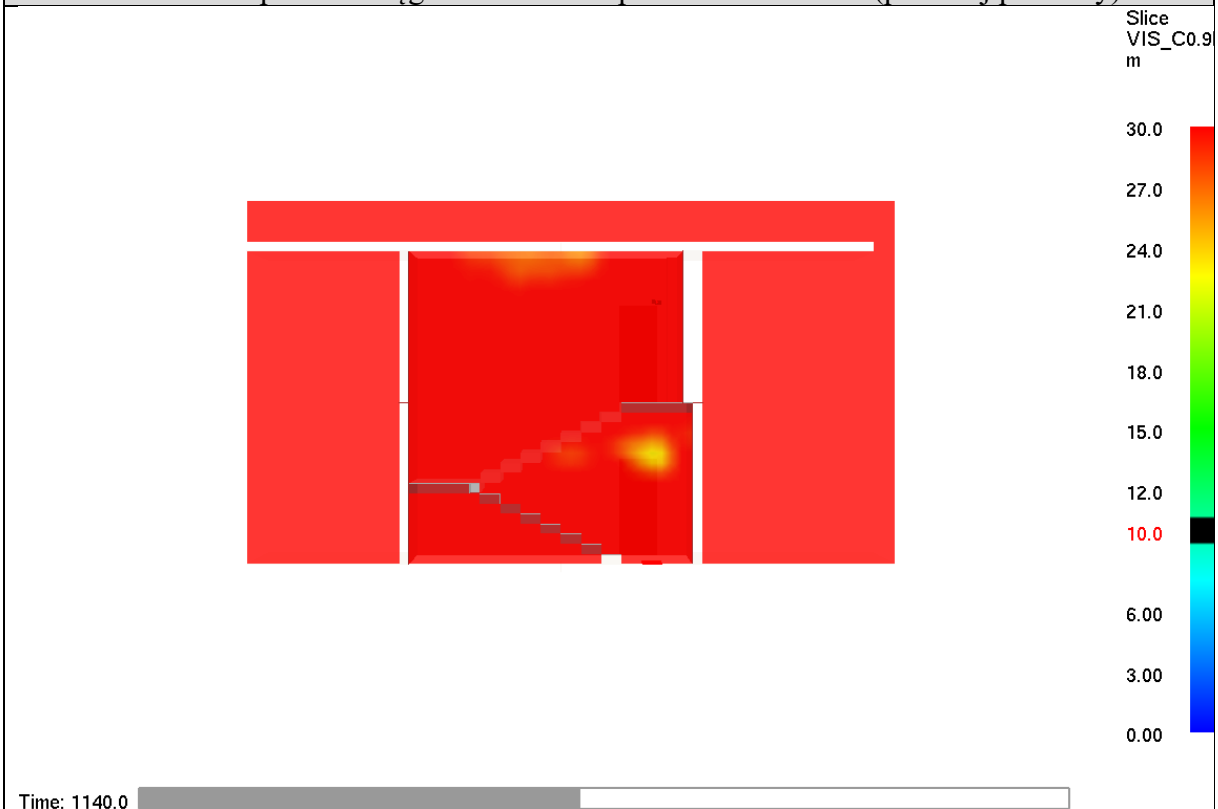
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1020 sekundach (przekrój pionowy)



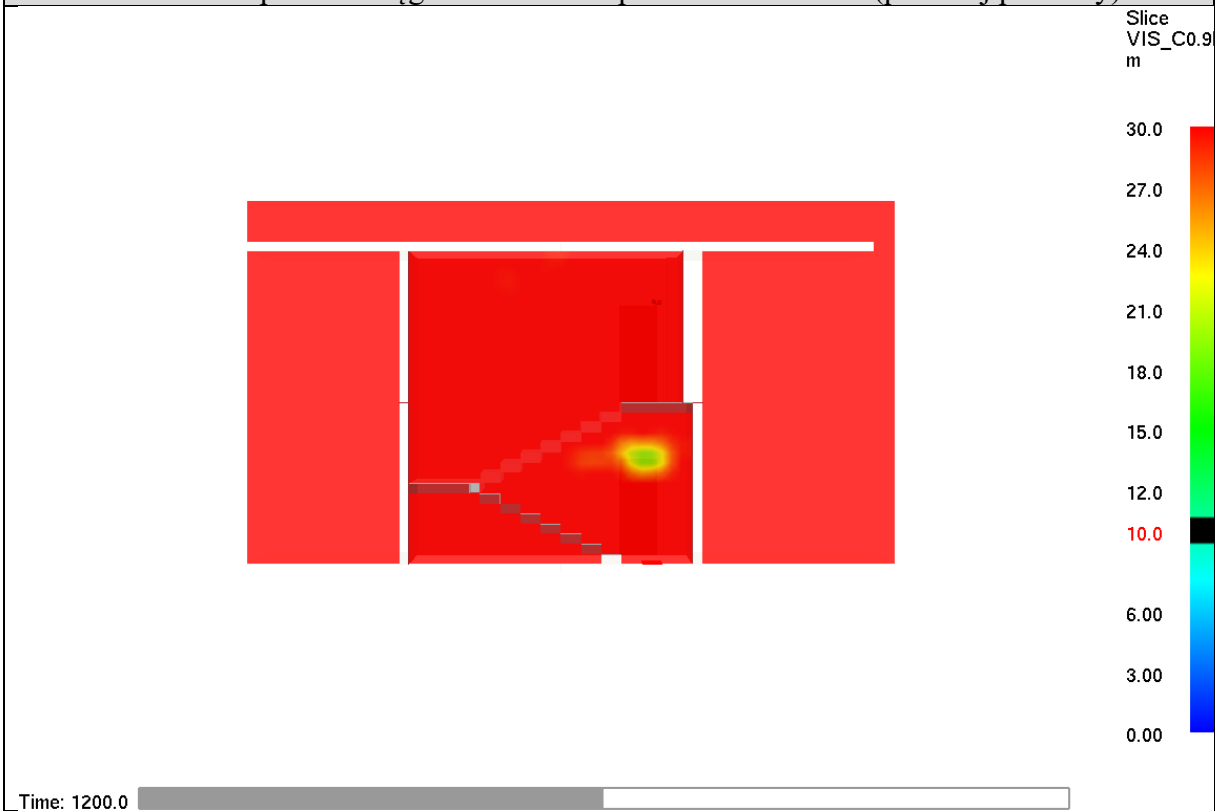
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1080 sekundach (przekrój pionowy)



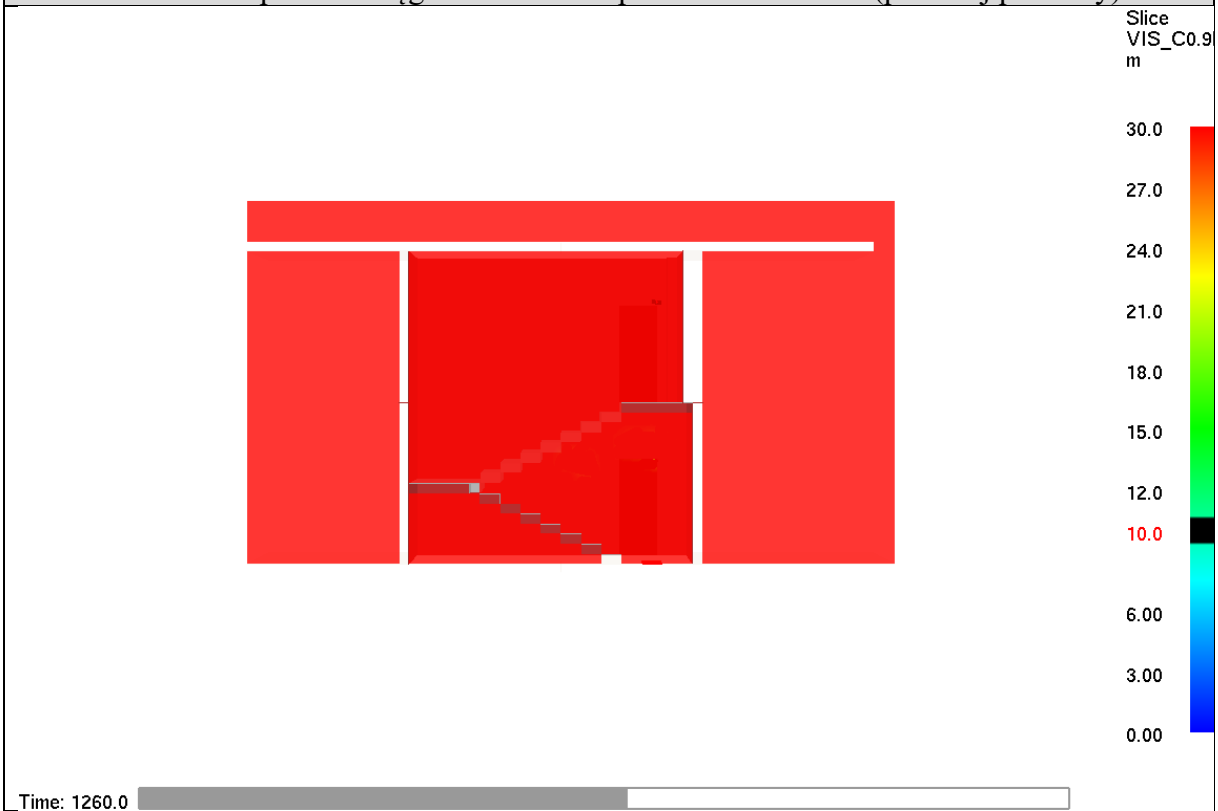
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1140 sekundach (przekrój pionowy)



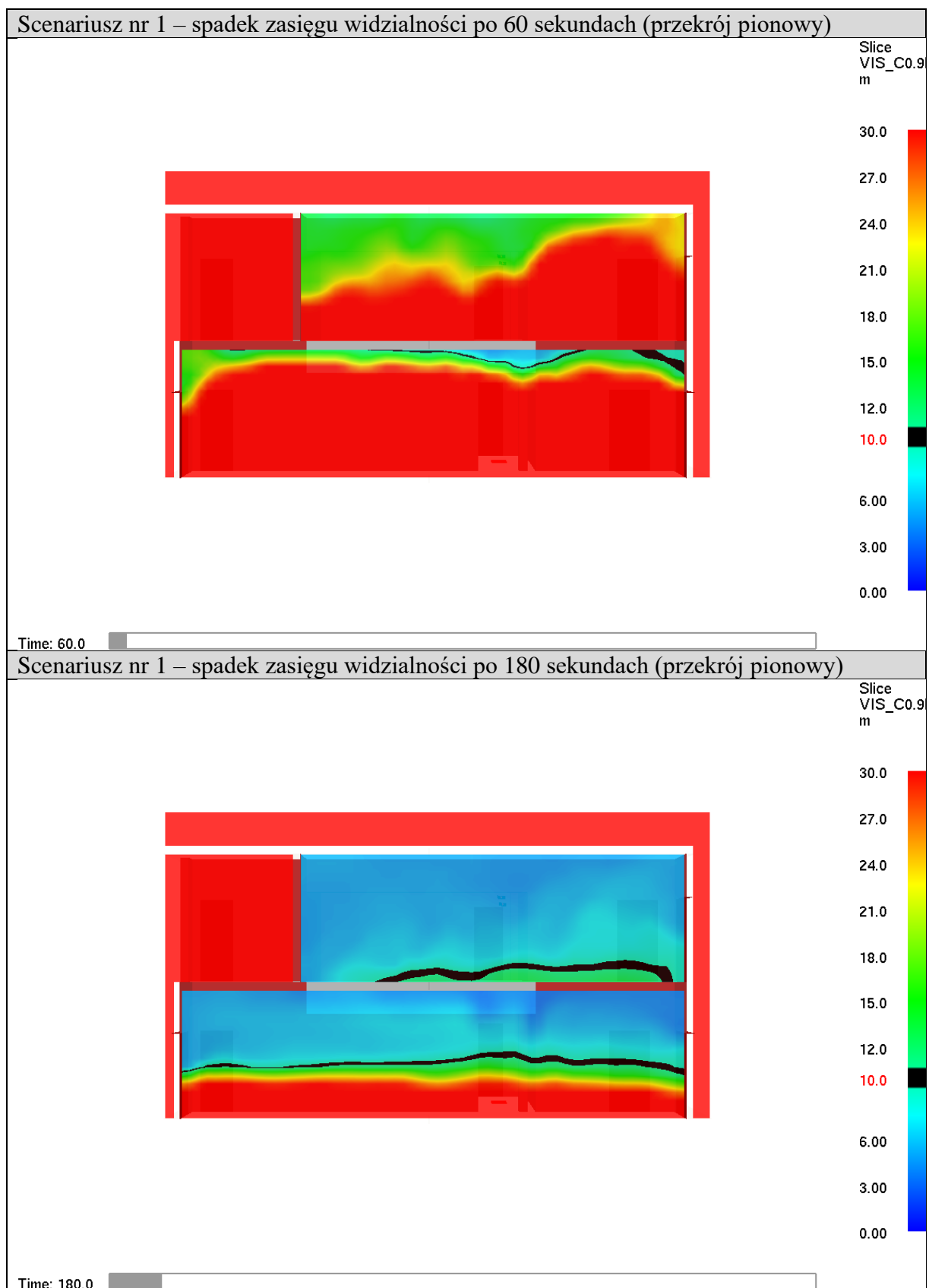
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1200 sekundach (przekrój pionowy)



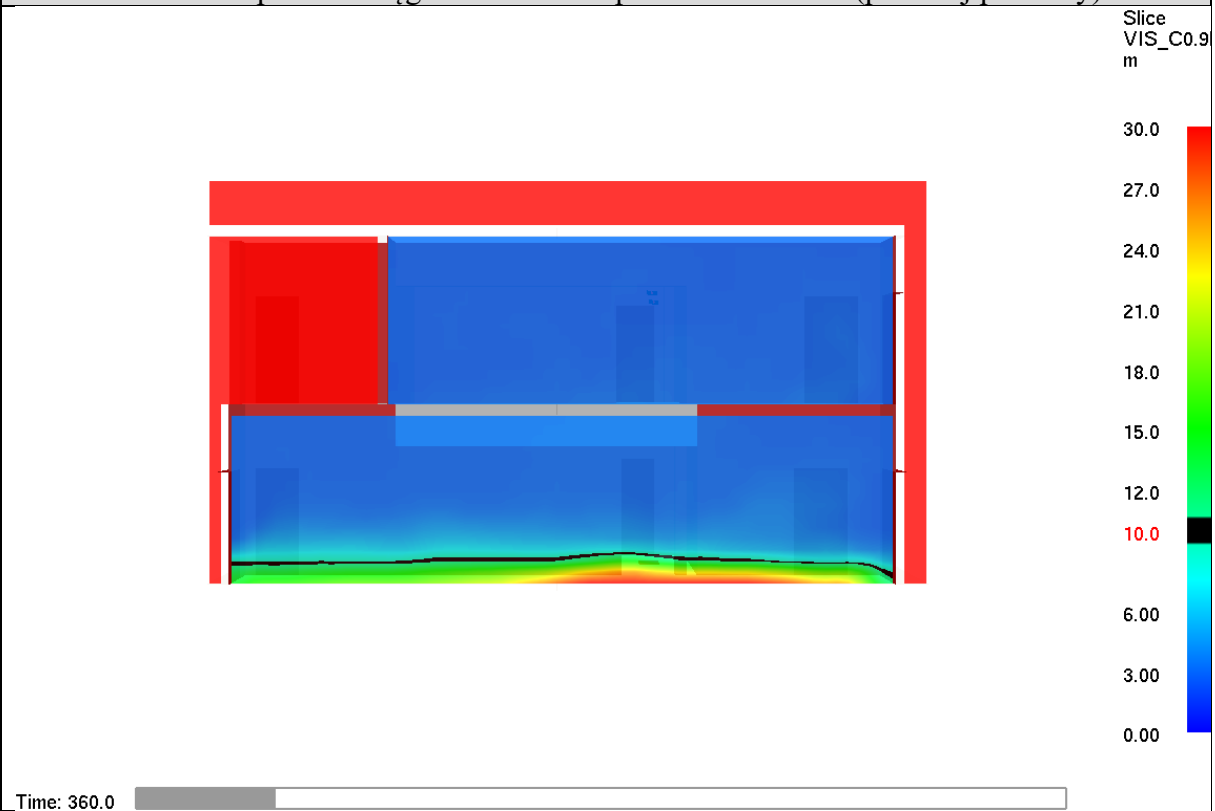
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1260 sekundach (przekrój pionowy)



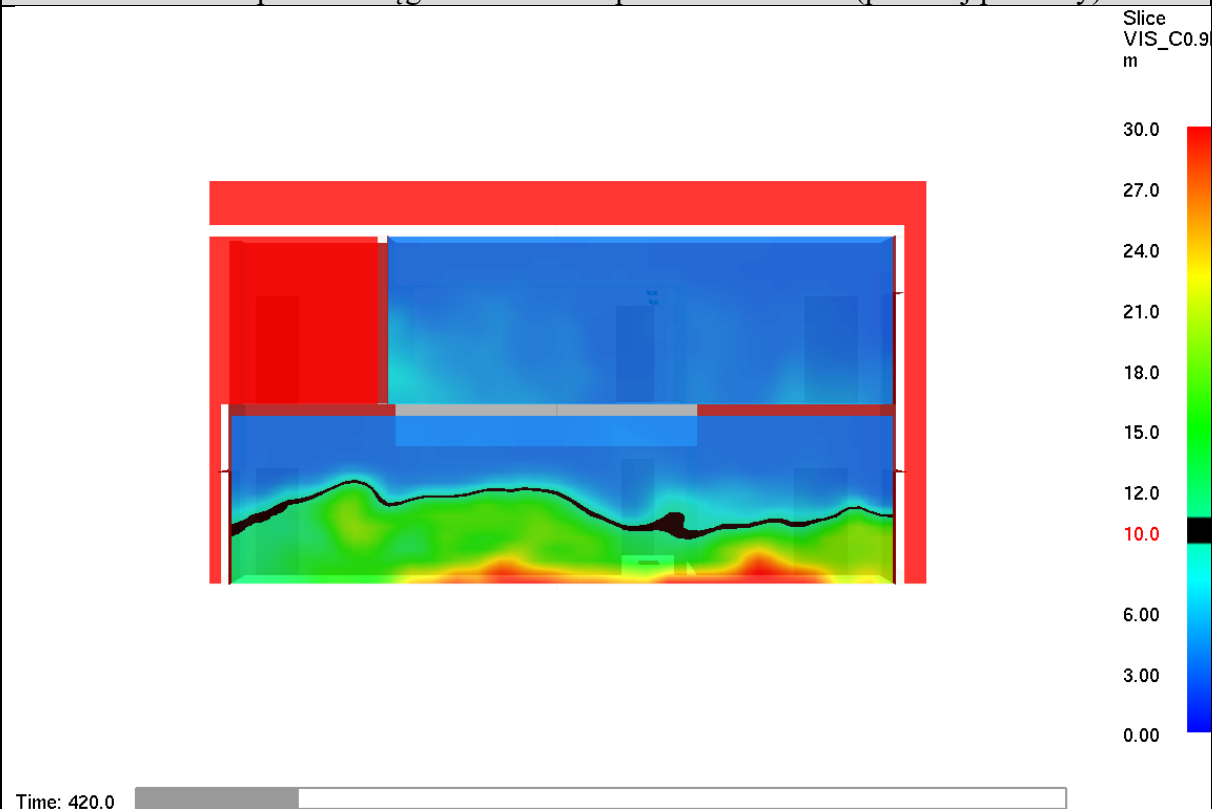
4.1.1. ZASIĘG WIDZIALNOŚCI W PRZEKROJU PIONOWYM POPROWADZONYM PRZEZ KLATKĘ SCHODOWĄ (PŁASZCZYZNA D)



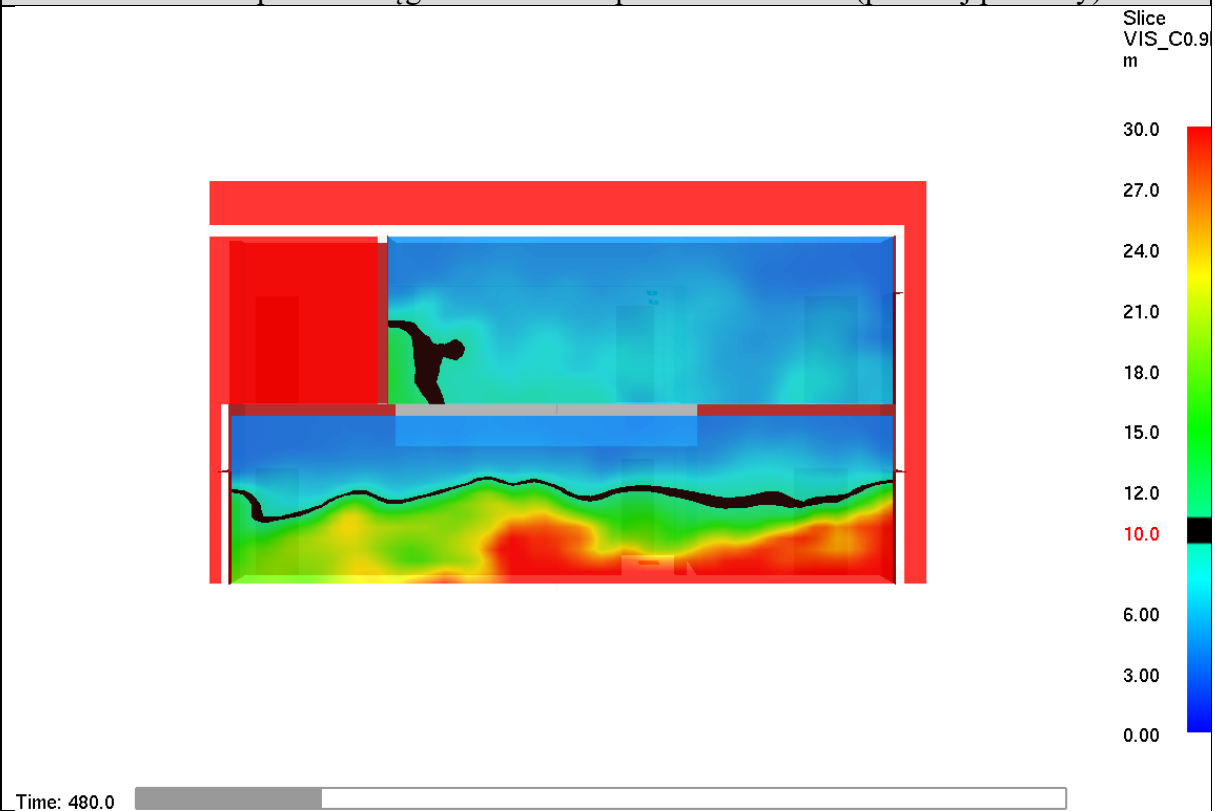
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 360 sekundach (przekrój pionowy)



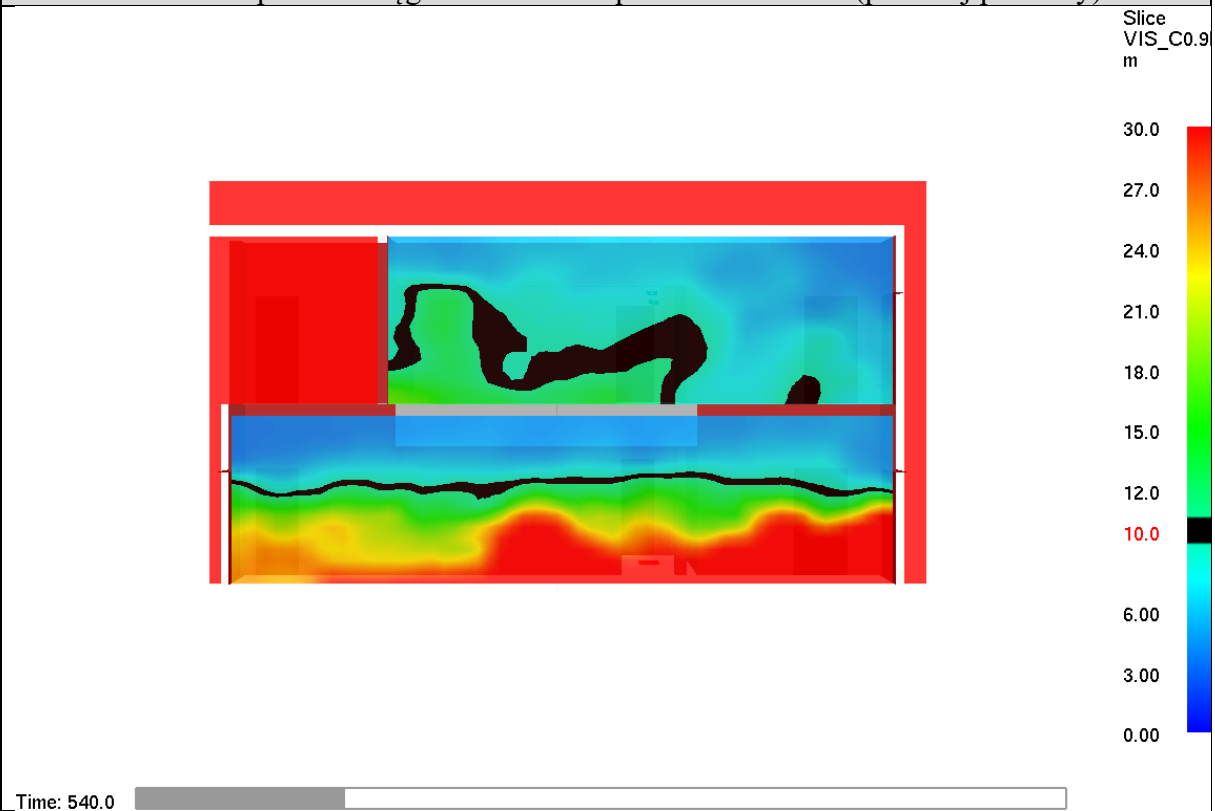
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 420 sekundach (przekrój pionowy)



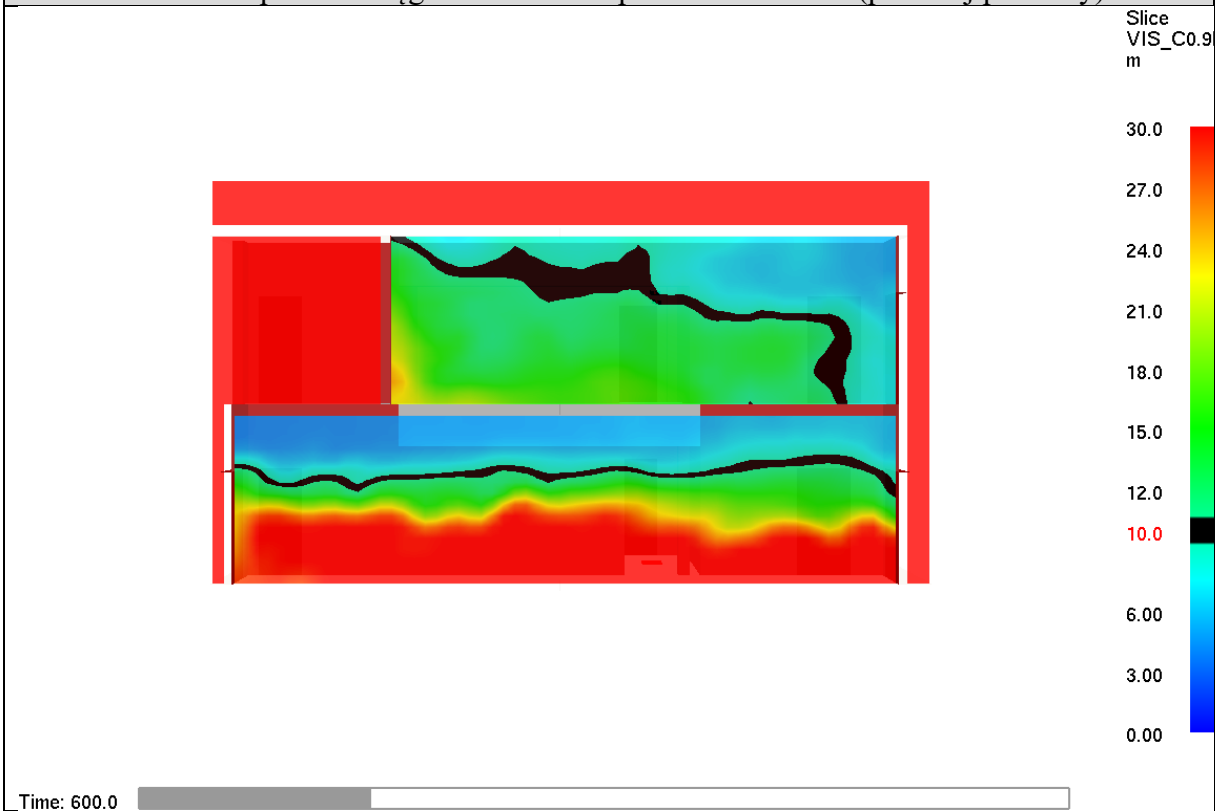
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 480 sekundach (przekrój pionowy)



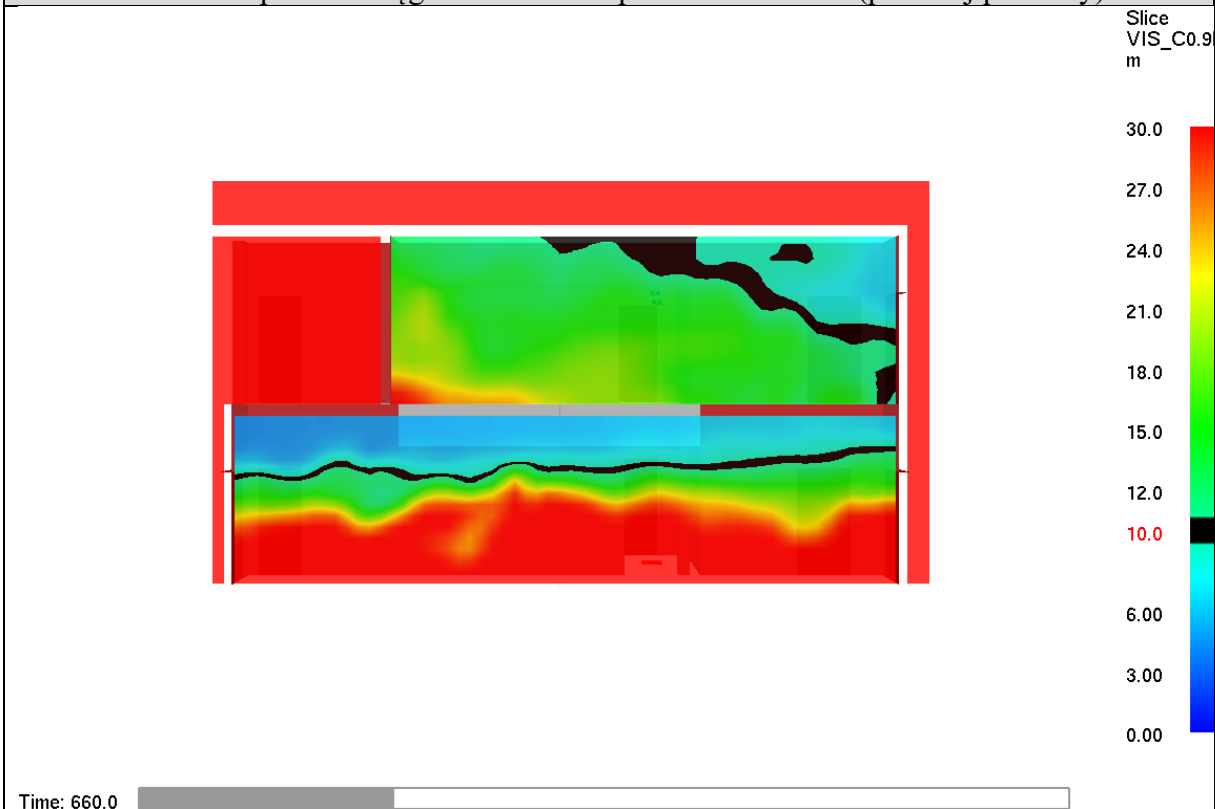
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 540 sekundach (przekrój pionowy)



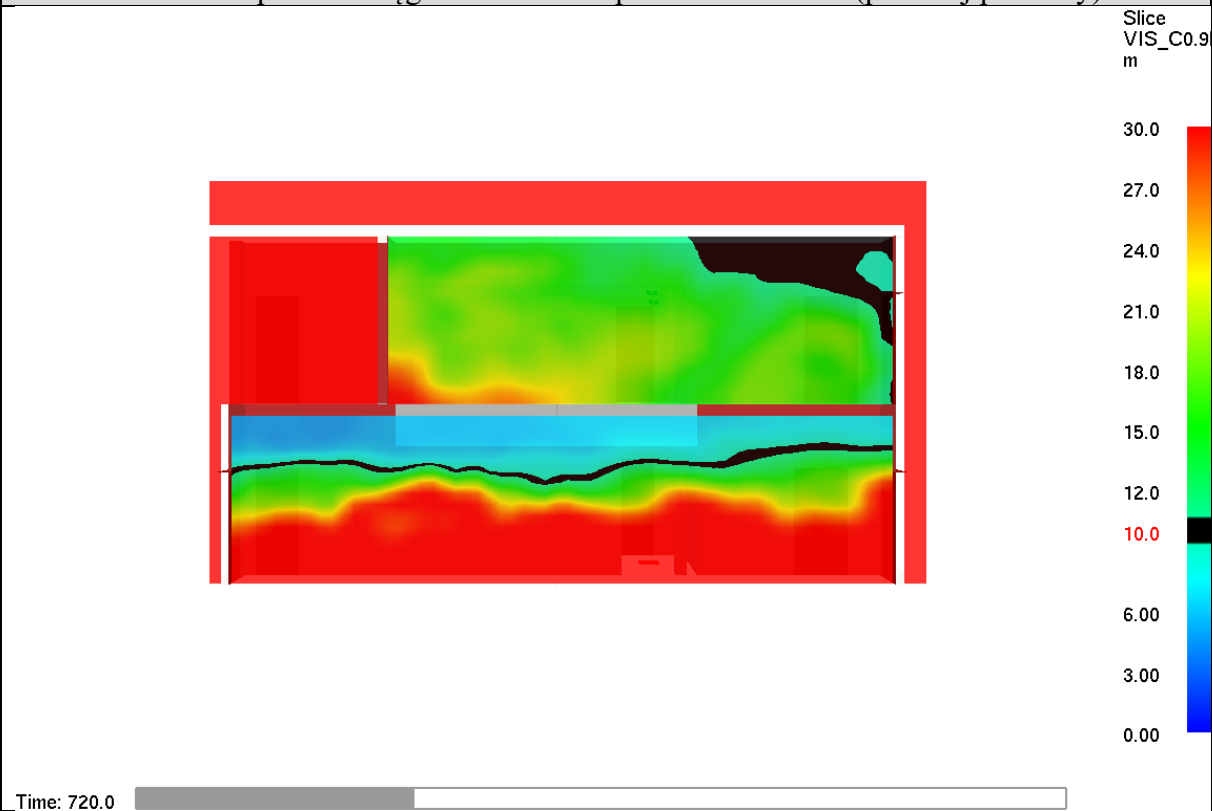
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 600 sekundach (przekrój pionowy)



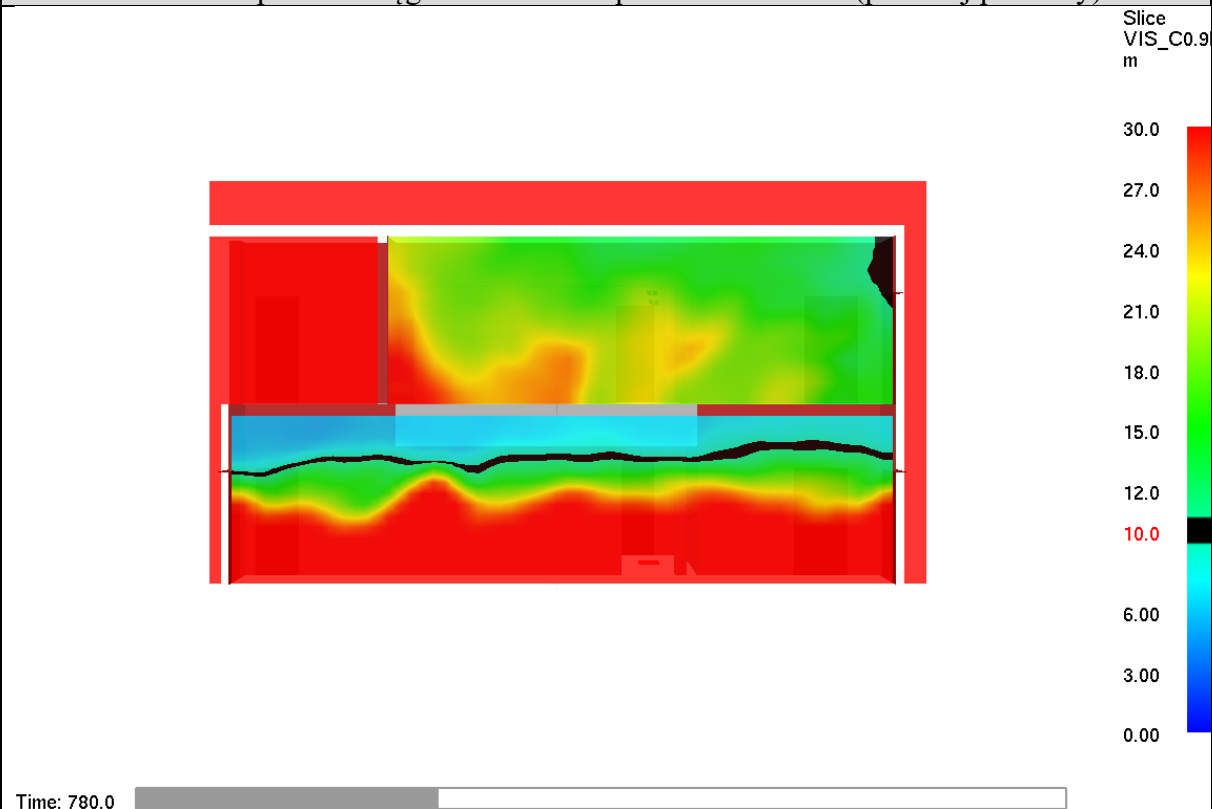
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 660 sekundach (przekrój pionowy)



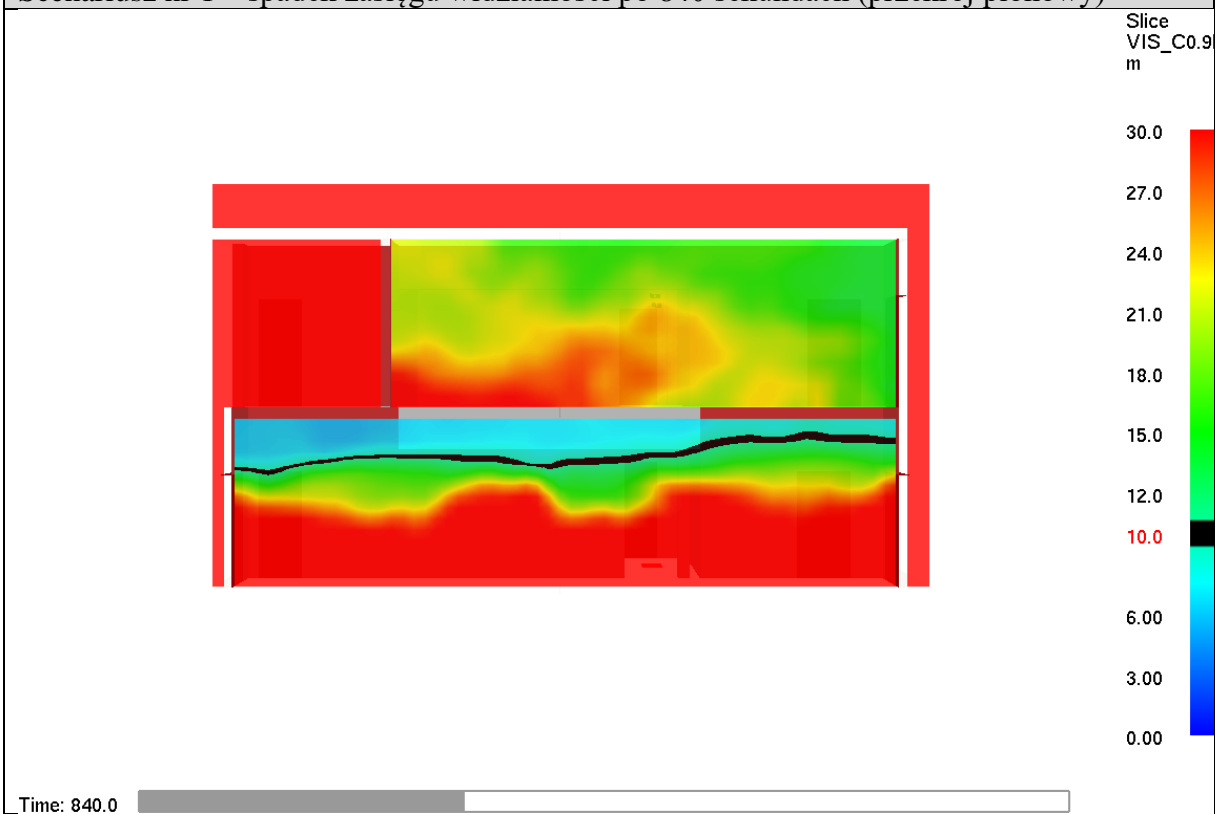
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 720 sekundach (przekrój pionowy)



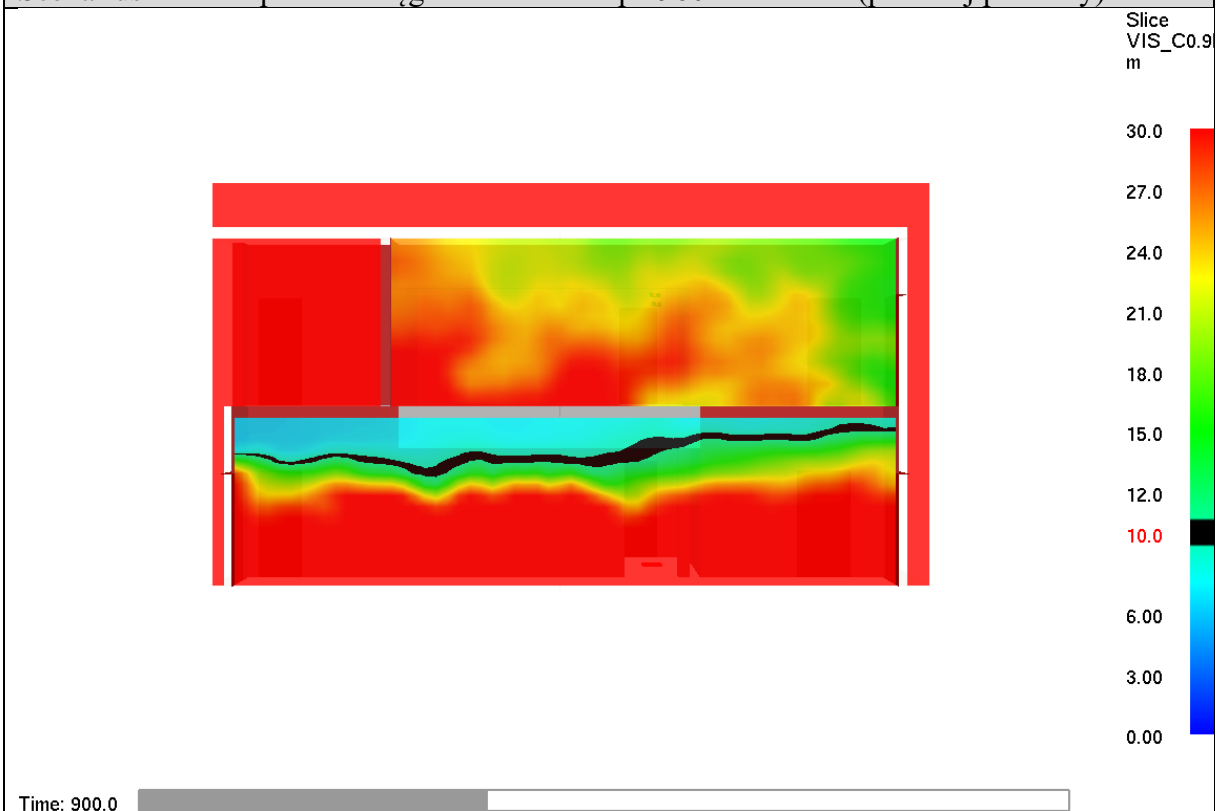
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 780 sekundach (przekrój pionowy)



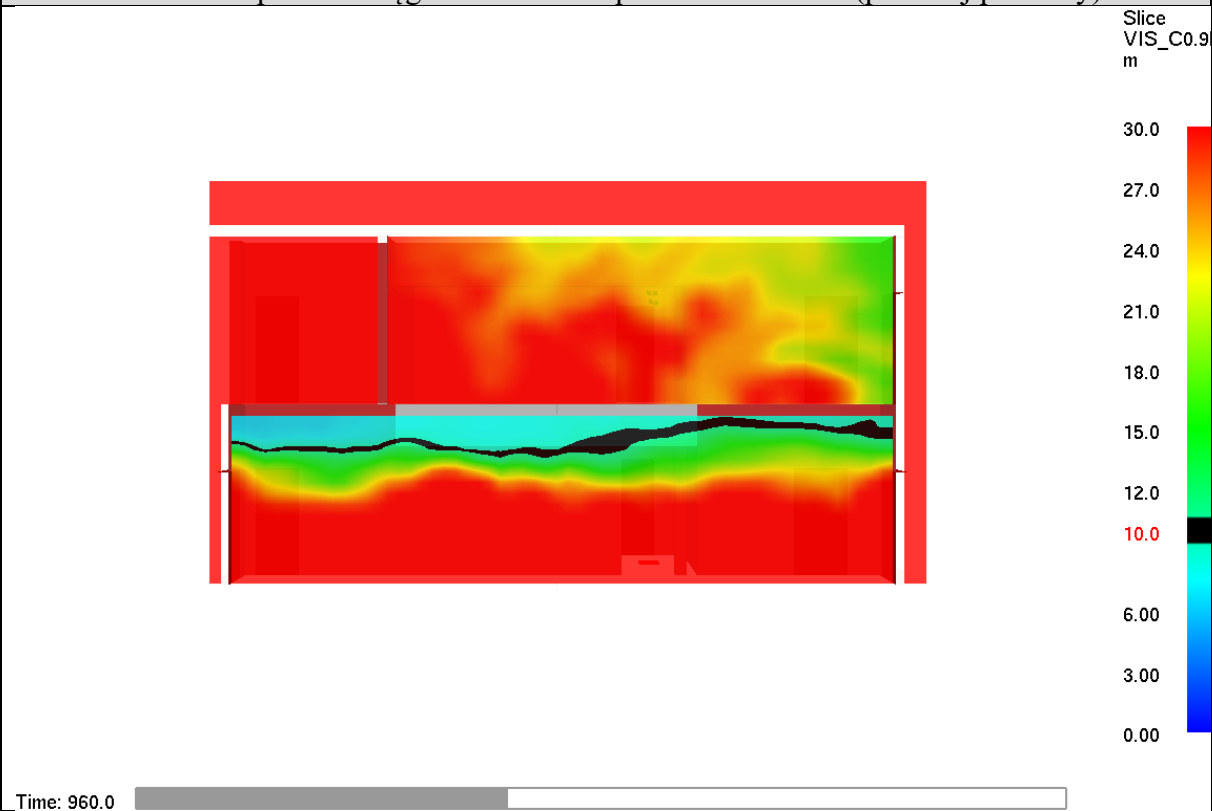
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 840 sekundach (przekrój pionowy)



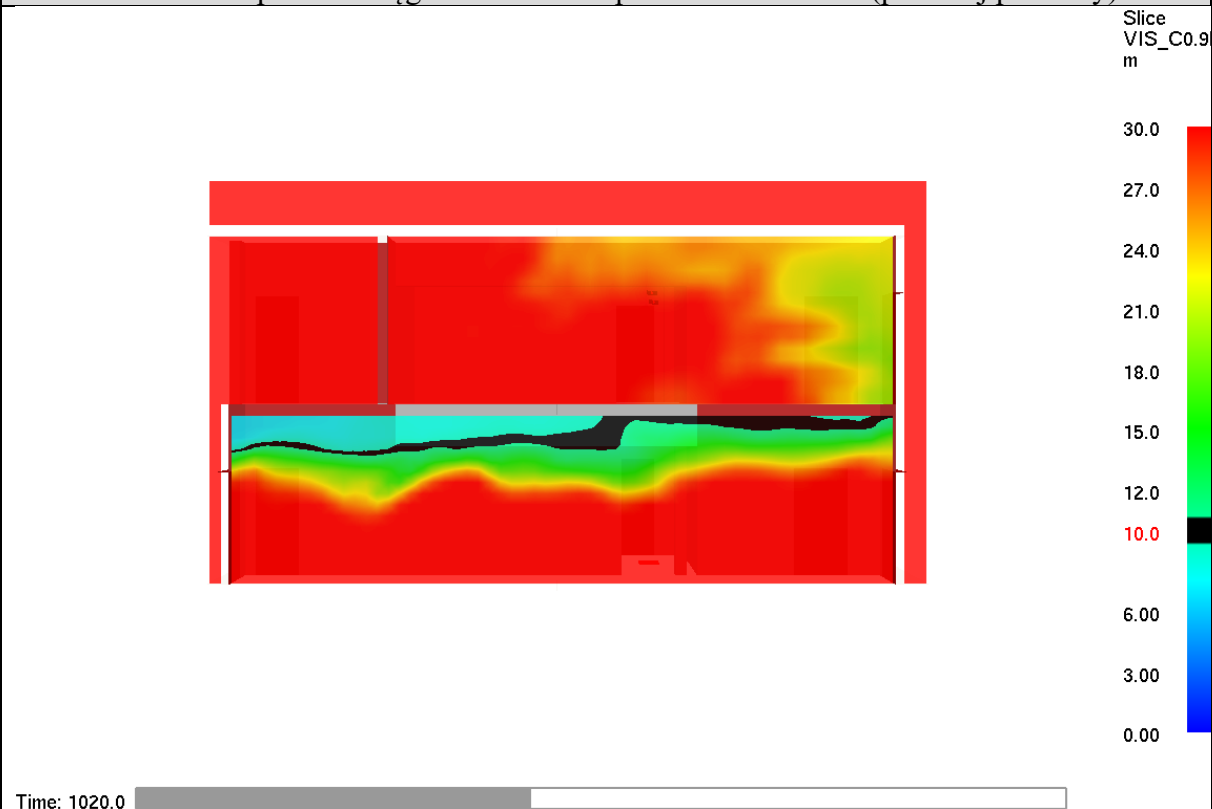
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 900 sekundach (przekrój pionowy)



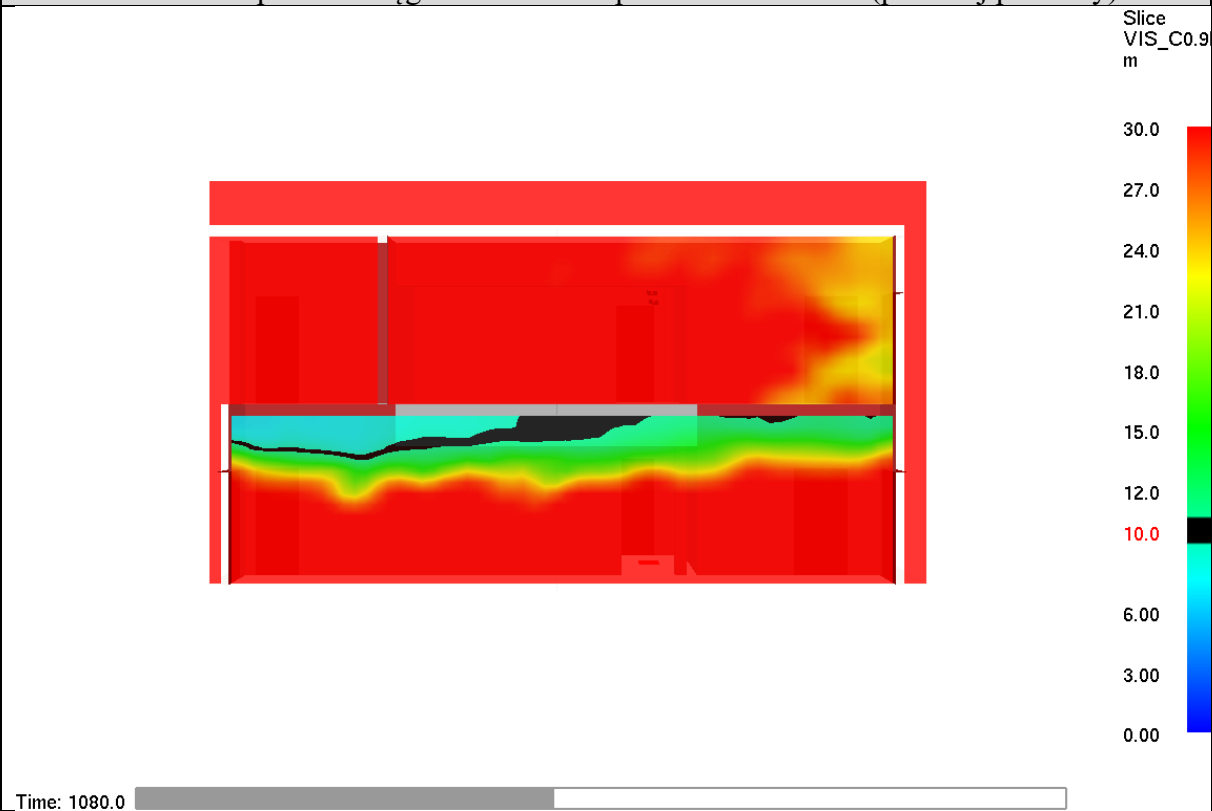
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 960 sekundach (przekrój pionowy)



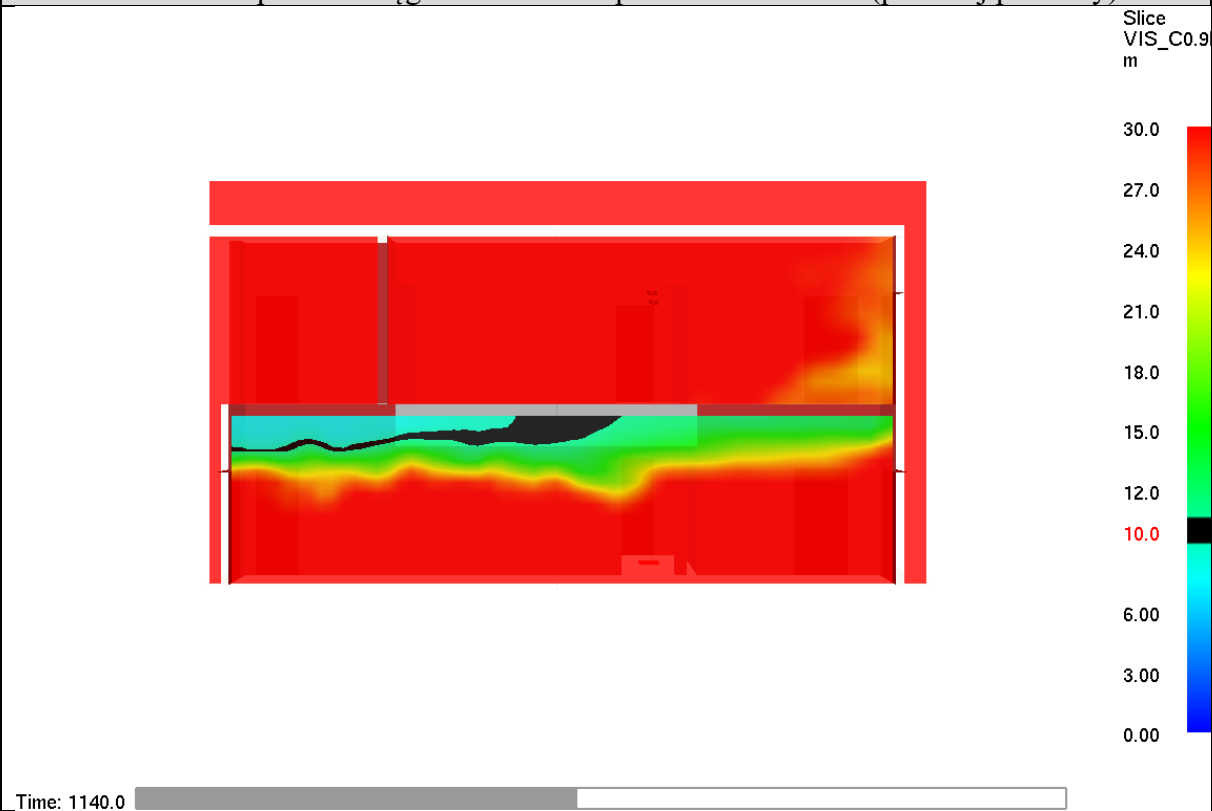
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1020 sekundach (przekrój pionowy)



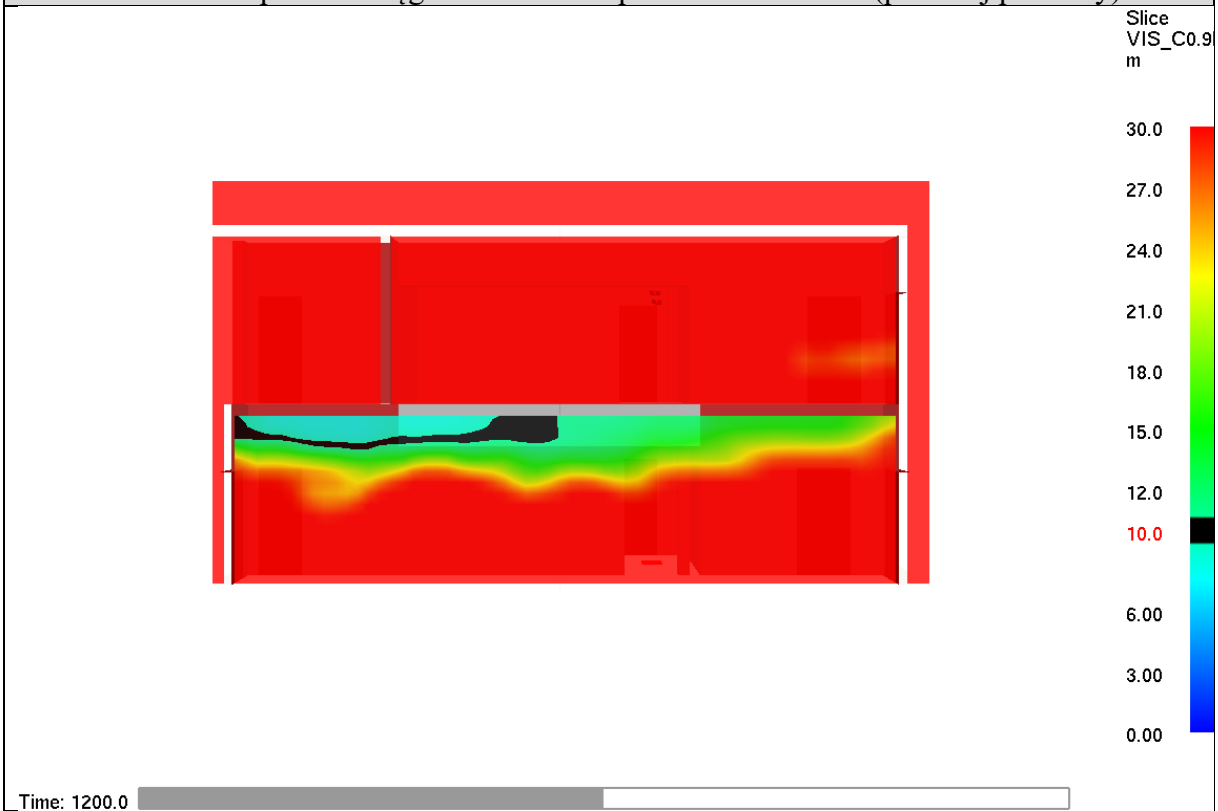
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1080 sekundach (przekrój pionowy)



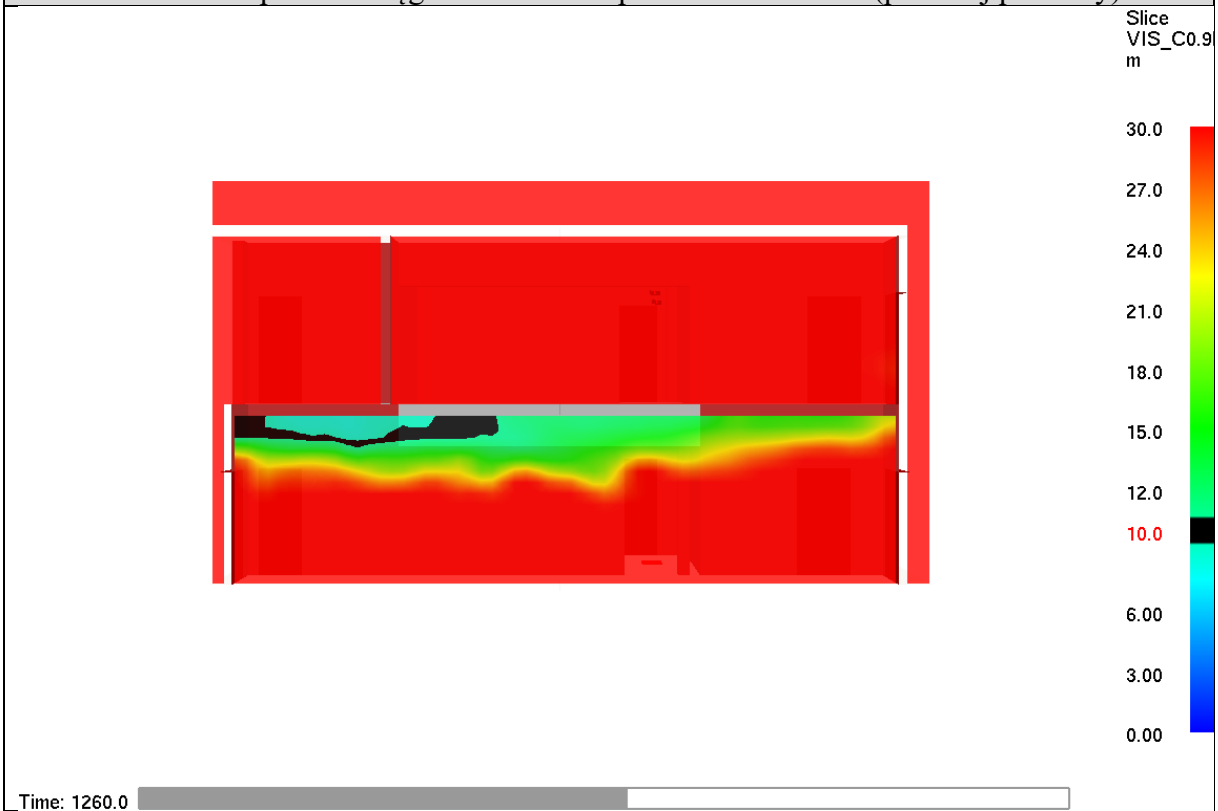
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1140 sekundach (przekrój pionowy)



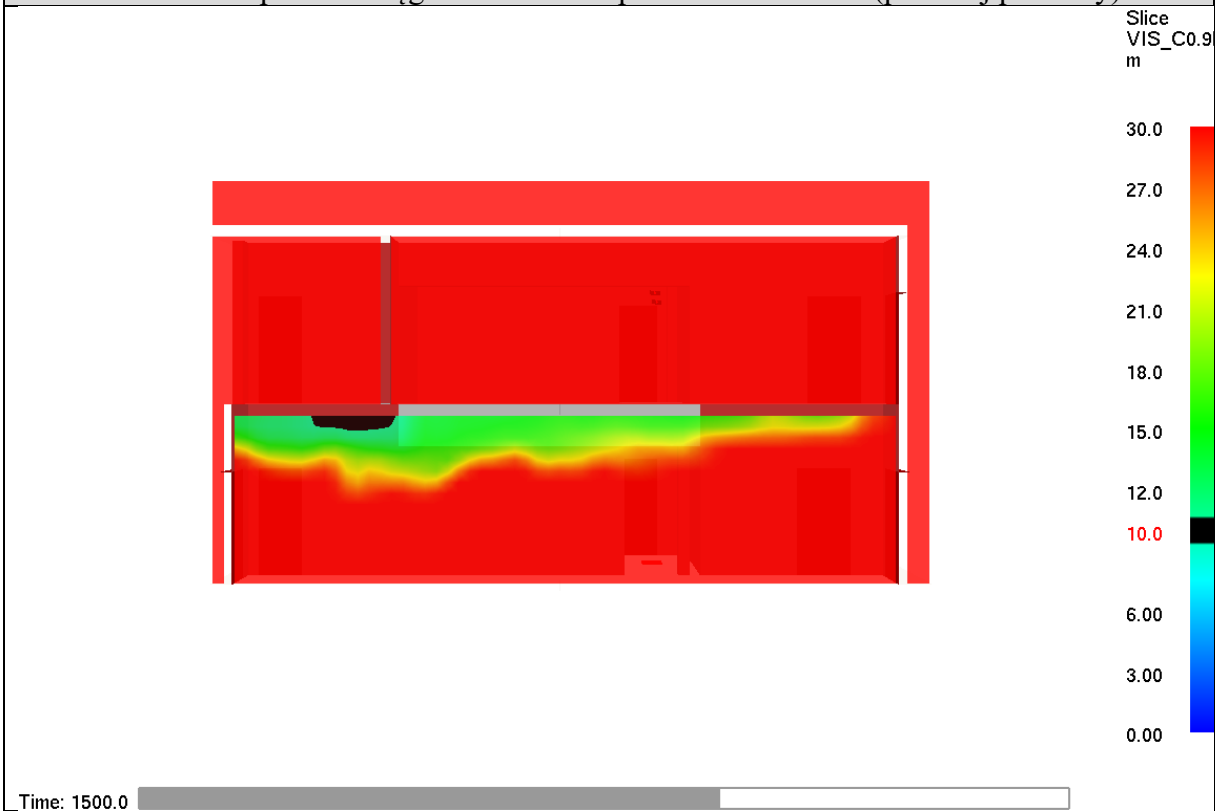
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1200 sekundach (przekrój pionowy)



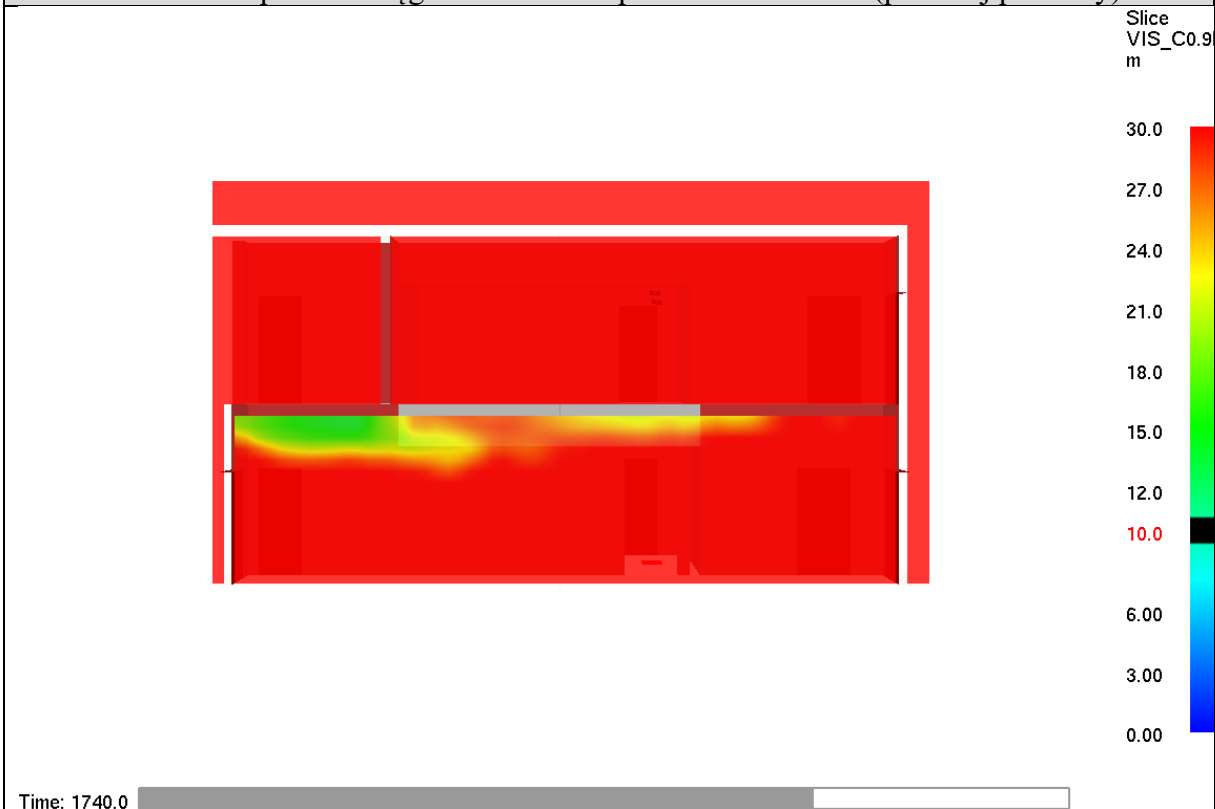
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1260 sekundach (przekrój pionowy)



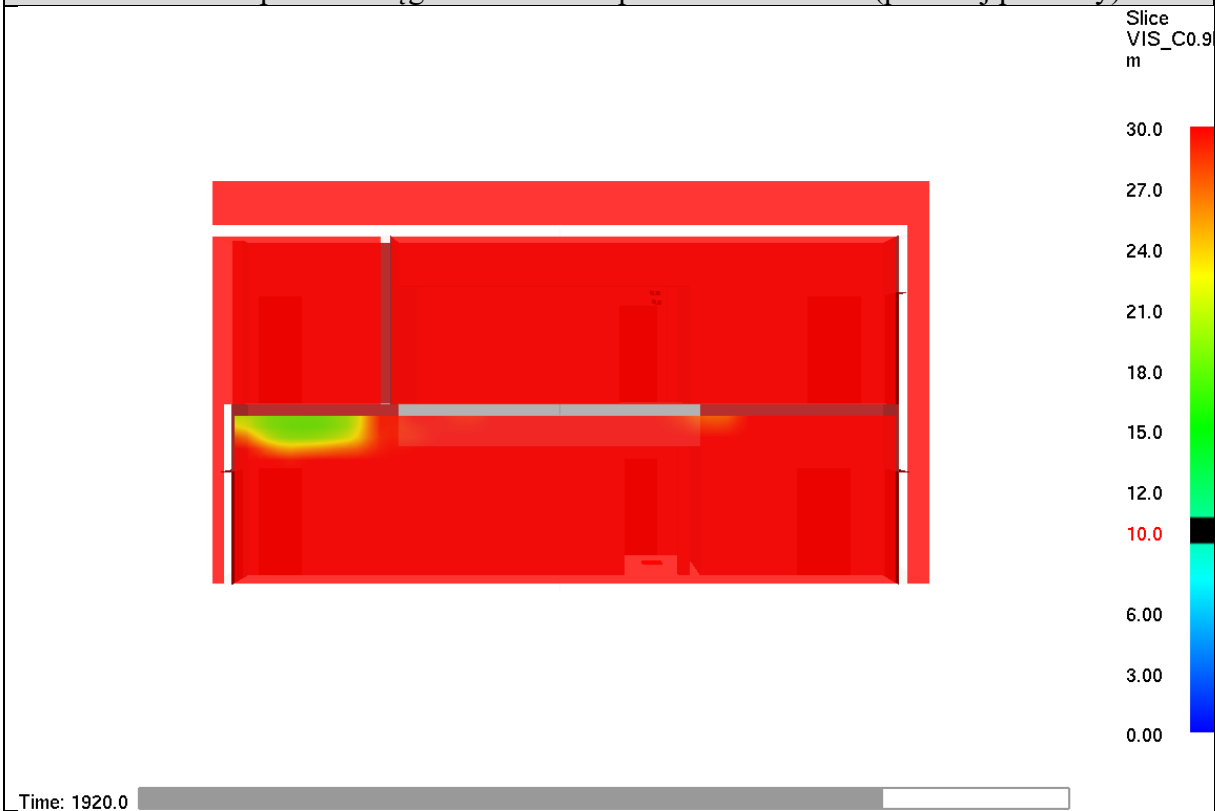
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1500 sekundach (przekrój pionowy)



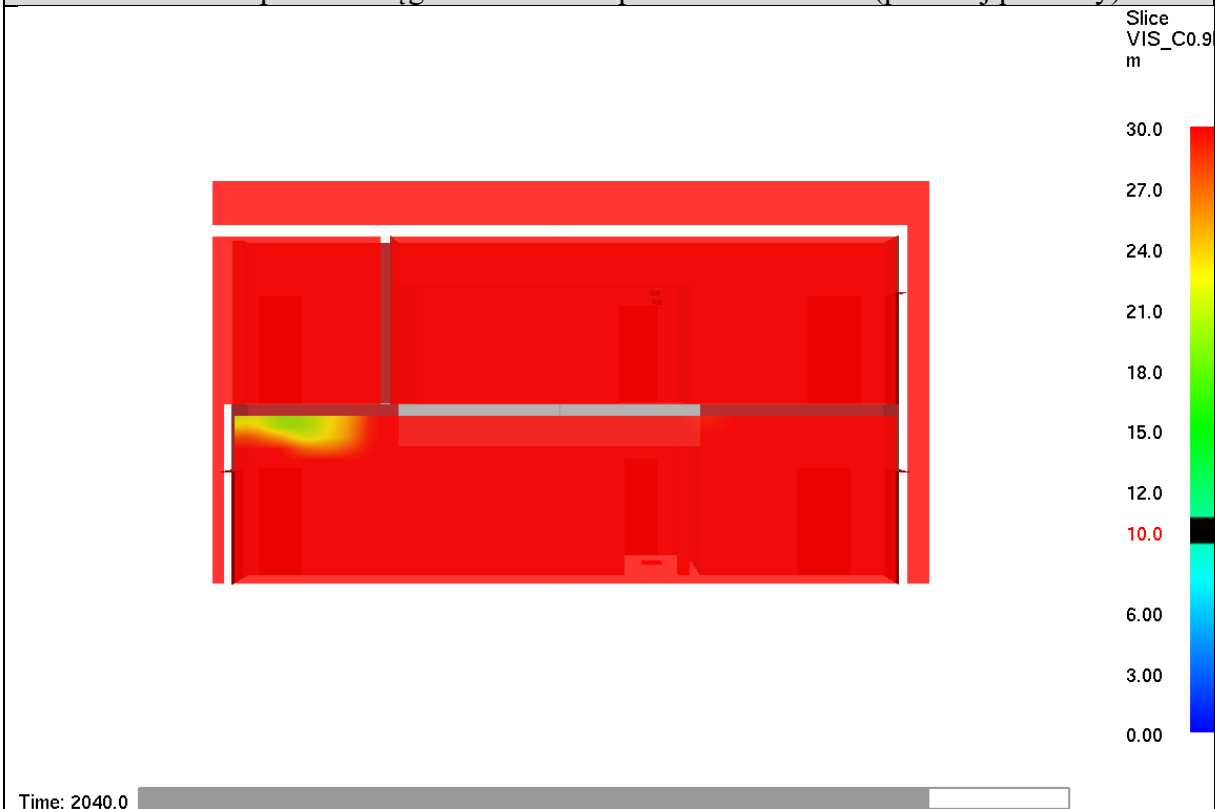
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1740 sekundach (przekrój pionowy)



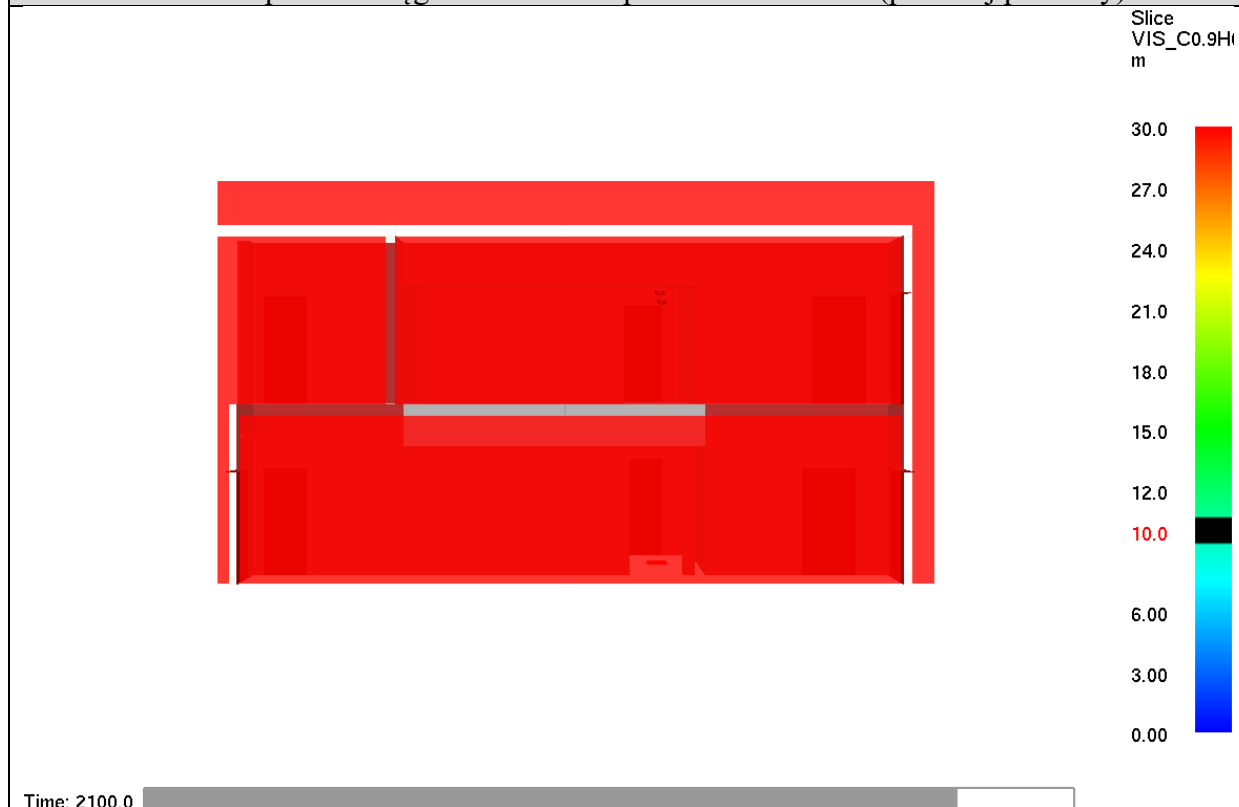
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1920 sekundach (przekrój pionowy)



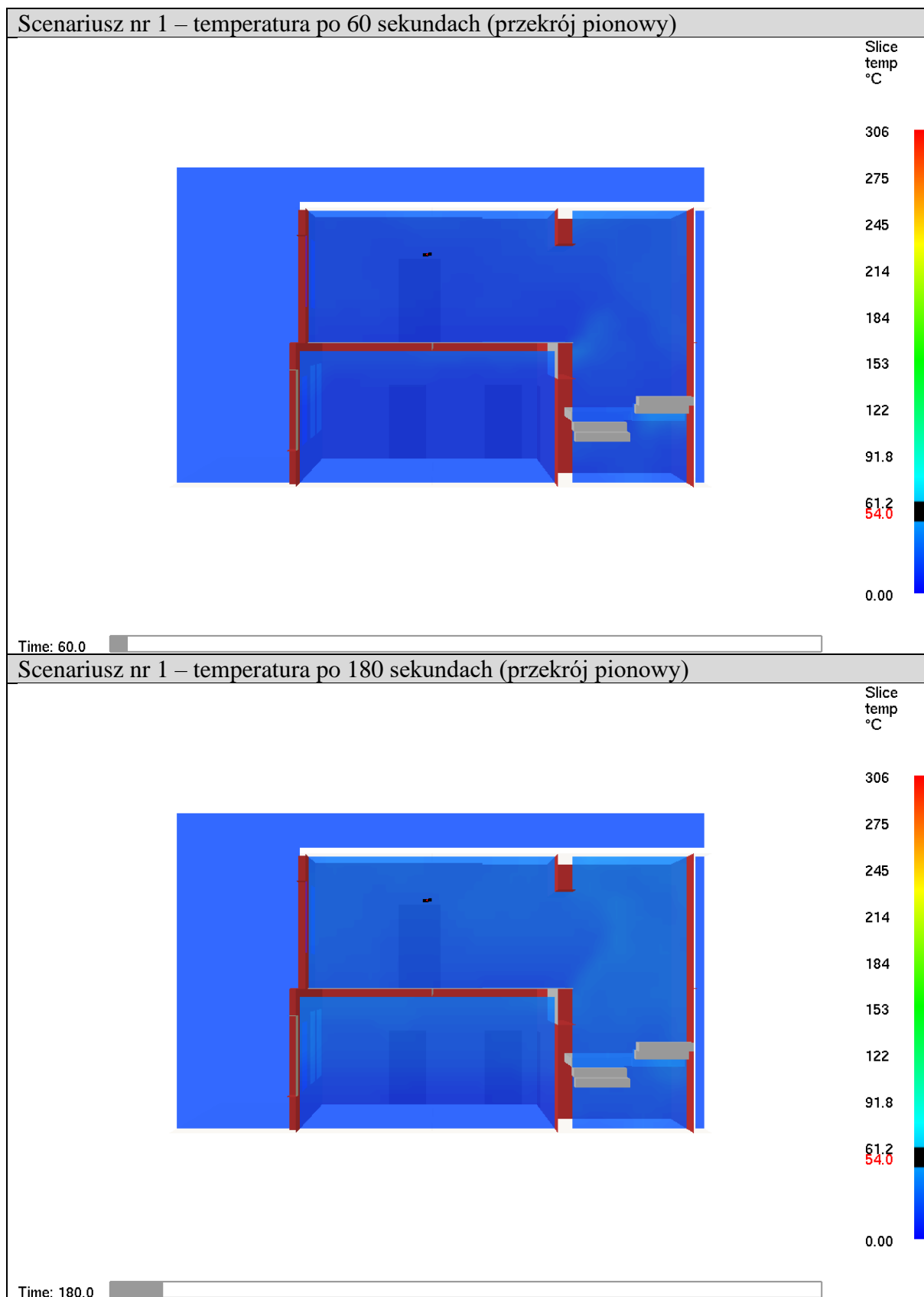
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 2040 sekundach (przekrój pionowy)



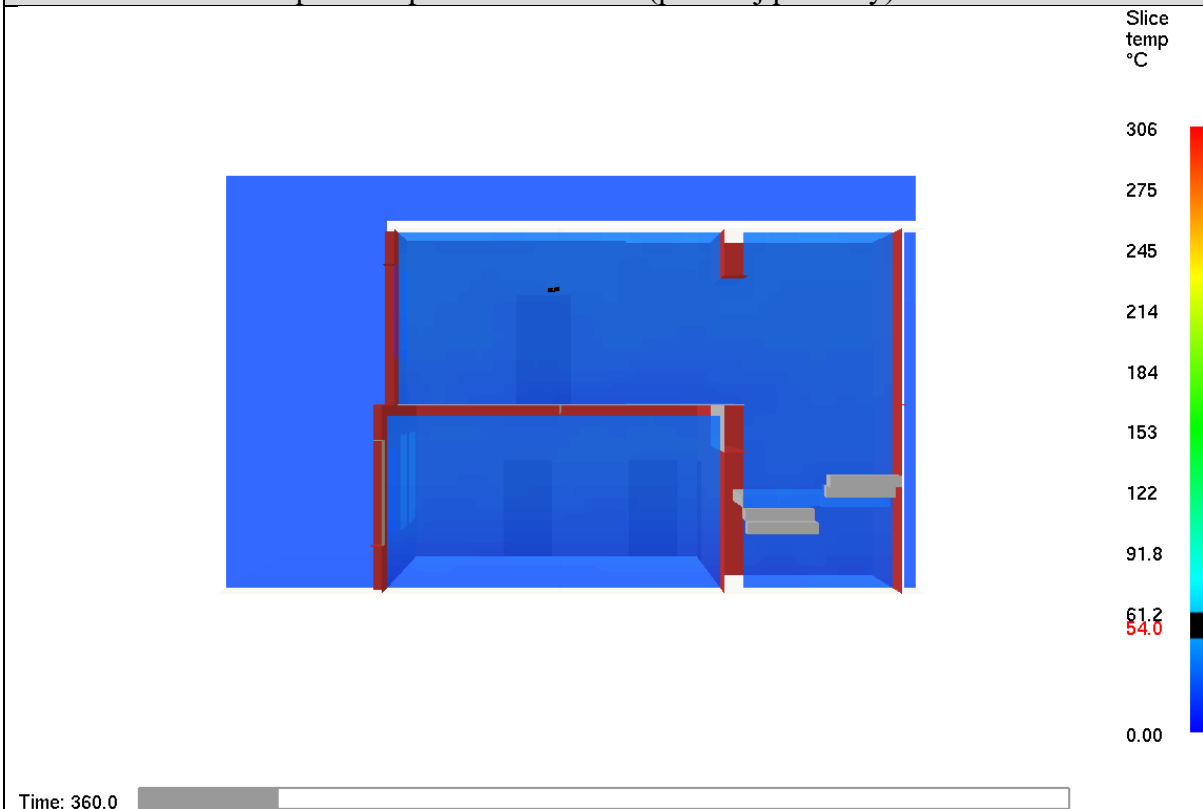
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 2100 sekundach (przekrój pionowy)



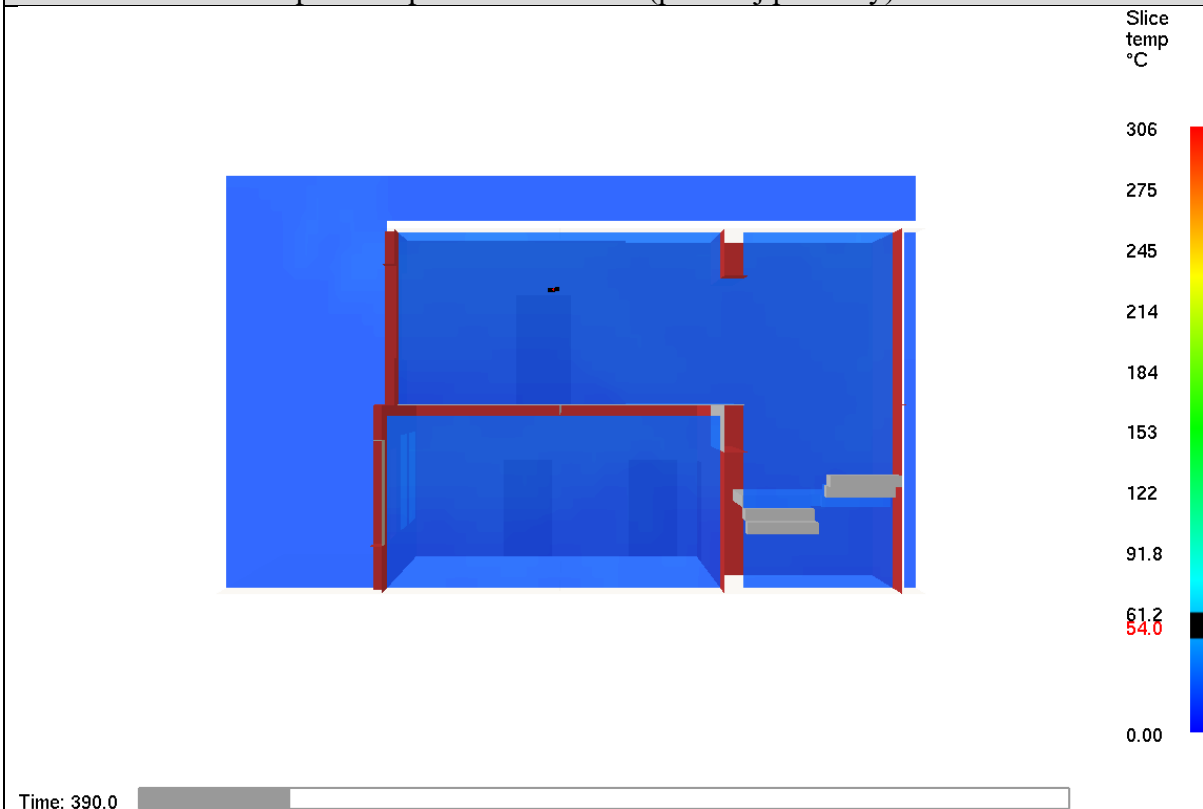
4.1.2. TEMPERATURA W PRZEKROJU PIONOWYM POPROWADZONYM PRZEZ KLATKĘ SCHODOWĄ (PŁASZCZYŻNA A)



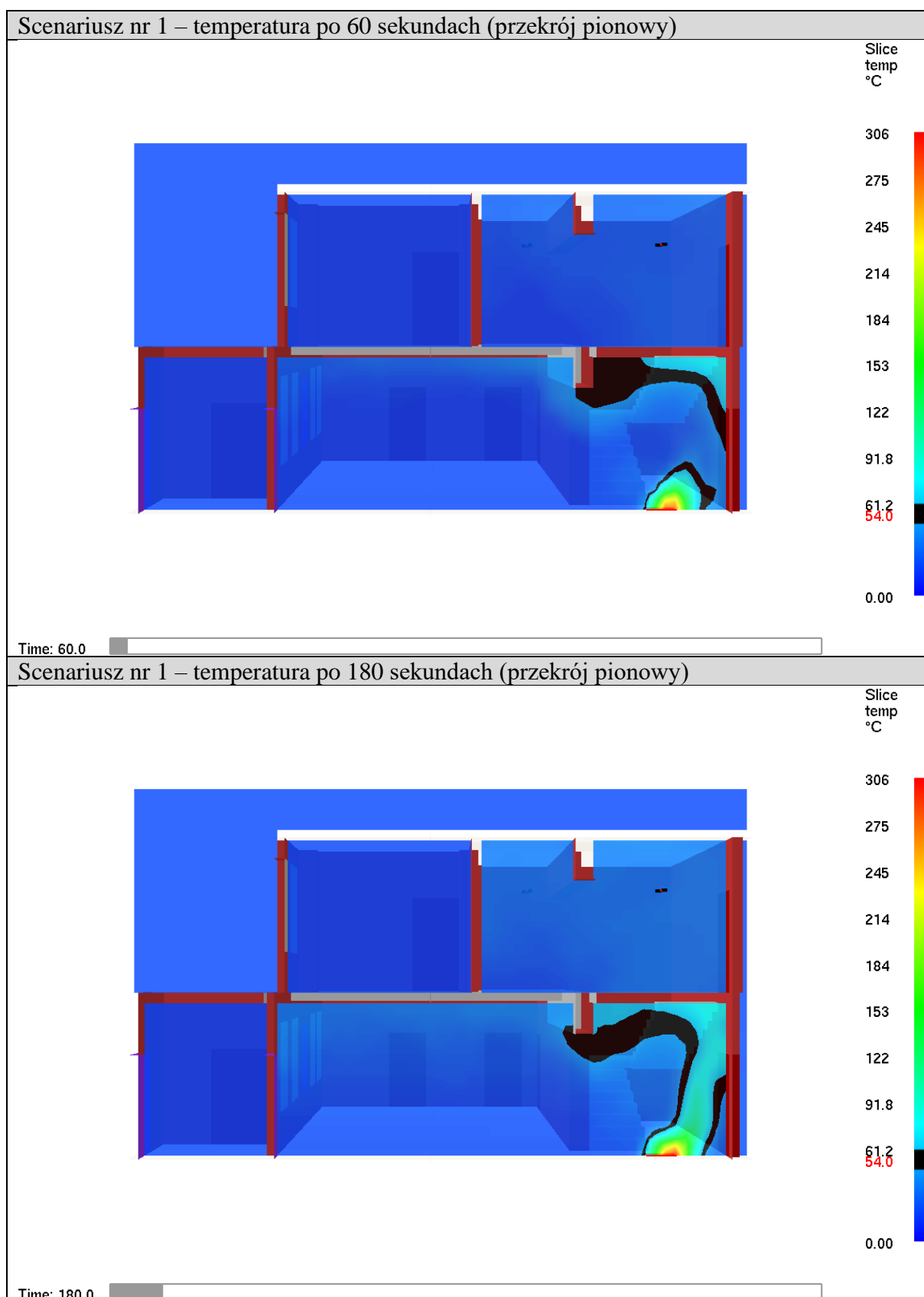
Scenariusz nr 1 – temperatura po 360 sekundach (przekrój pionowy)



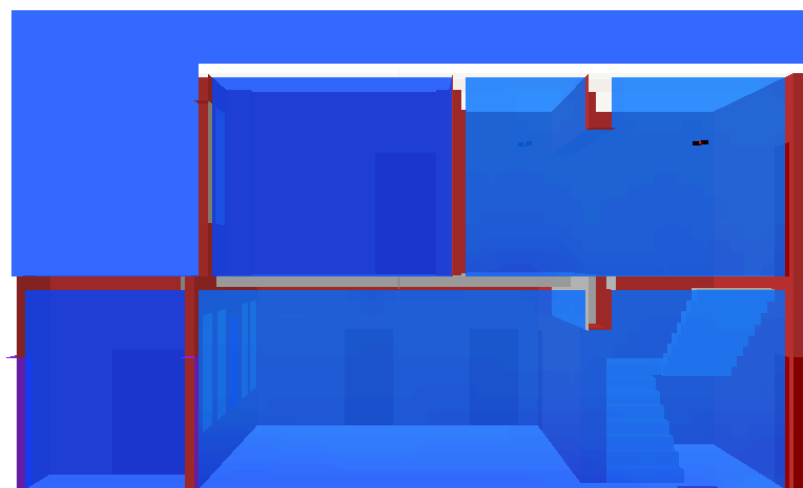
Scenariusz nr 1 – temperatura po 390 sekundach (przekrój pionowy)



4.1.3. TEMPERATURA W PRZEKROJU PIONOWYM POPROWADZONYM PRZEZ KLATKĘ SCHODOWĄ (W OSI B)



Scenariusz nr 1 – temperatura po 360 sekundach (przekrój pionowy)

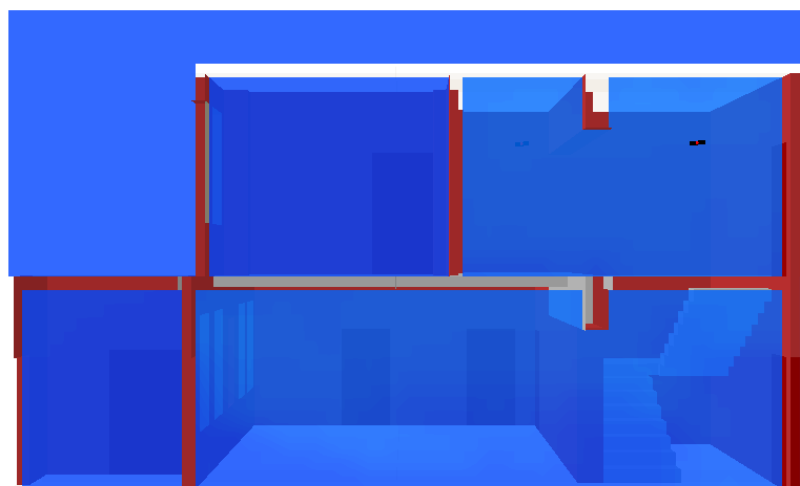


Slice
temp
°C

306
275
245
214
184
153
122
91.8
61.2
54.0
0.00

Time: 360.0

Scenariusz nr 1 – temperatura po 390 sekundach (przekrój pionowy)

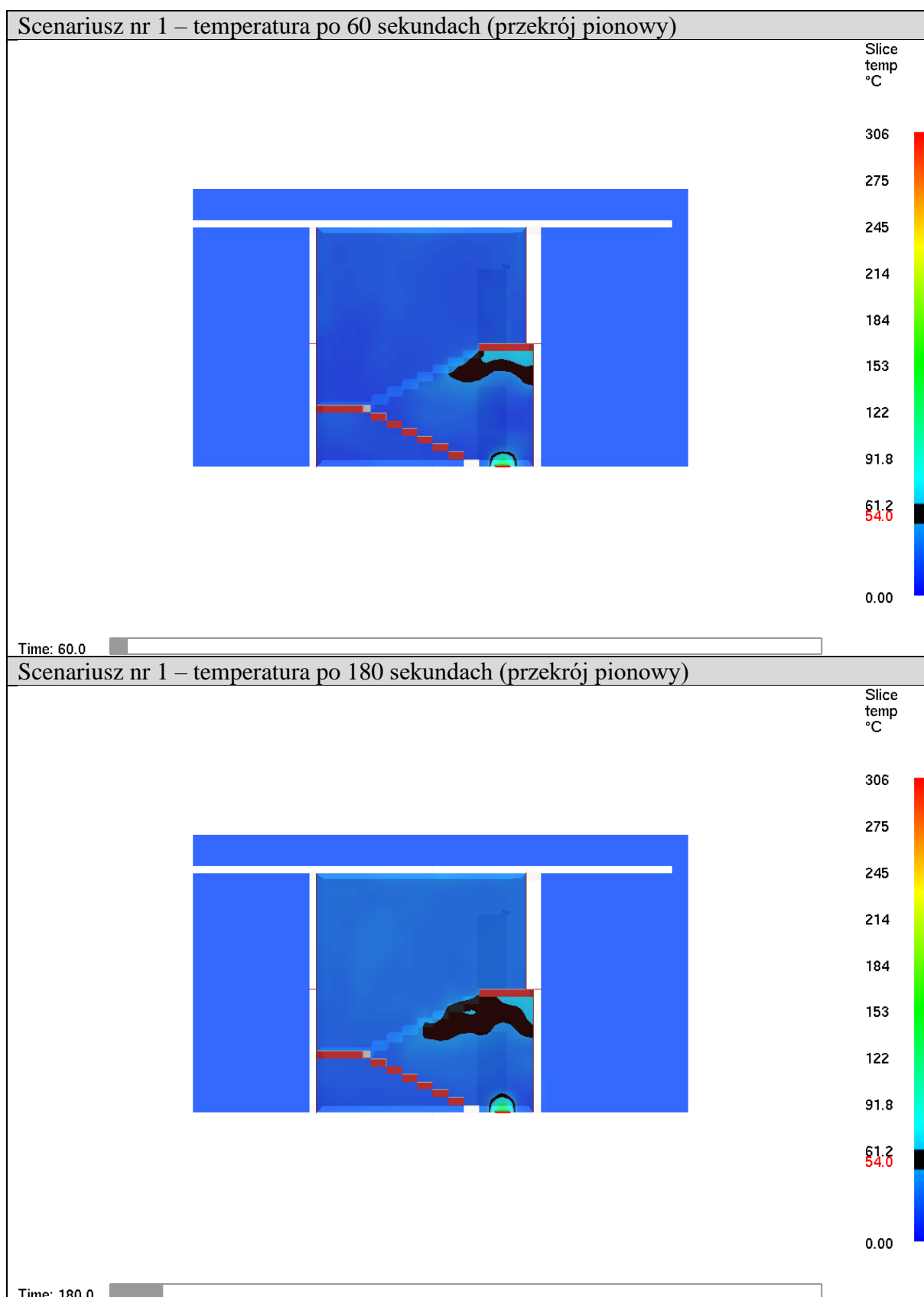


Slice
temp
°C

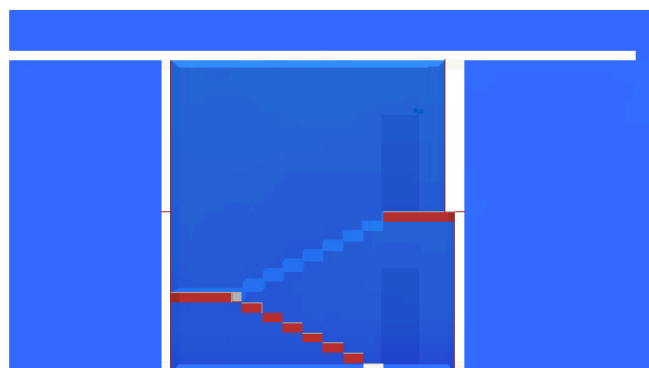
306
275
245
214
184
153
122
91.8
61.2
54.0
0.00

Time: 390.0

4.1.4. TEMPERATURA W PRZEKROJU PIONOWYM POPROWADZONYM PRZEZ KLATKĘ SCHODOWĄ (PŁASZCZYŻNA C)



Scenariusz nr 1 – temperatura po 360 sekundach (przekrój pionowy)

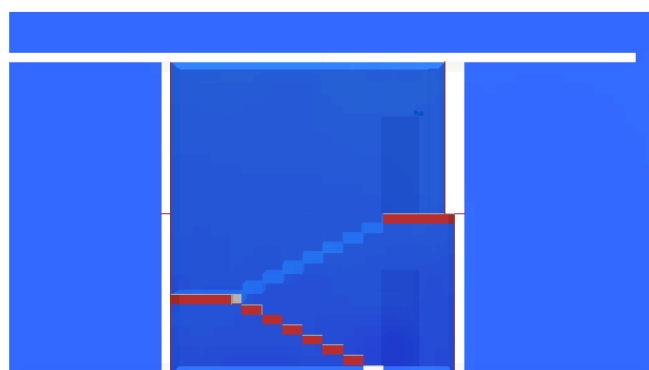


Slice
temp
°C

306
275
245
214
184
153
122
91.8
61.2
54.0
0.00

Time: 360.0

Scenariusz nr 1 – temperatura po 390 sekundach (przekrój pionowy)

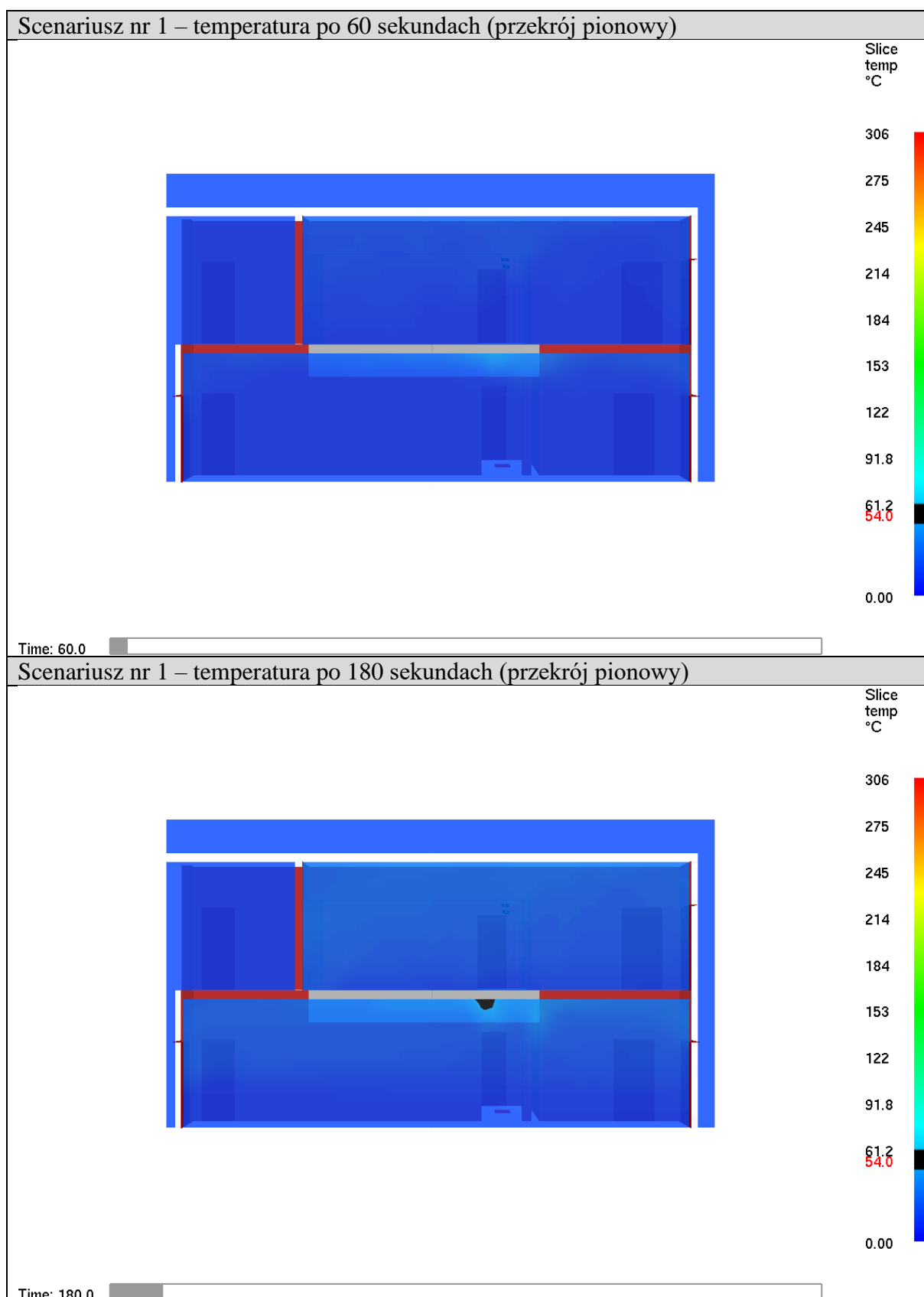


Slice
temp
°C

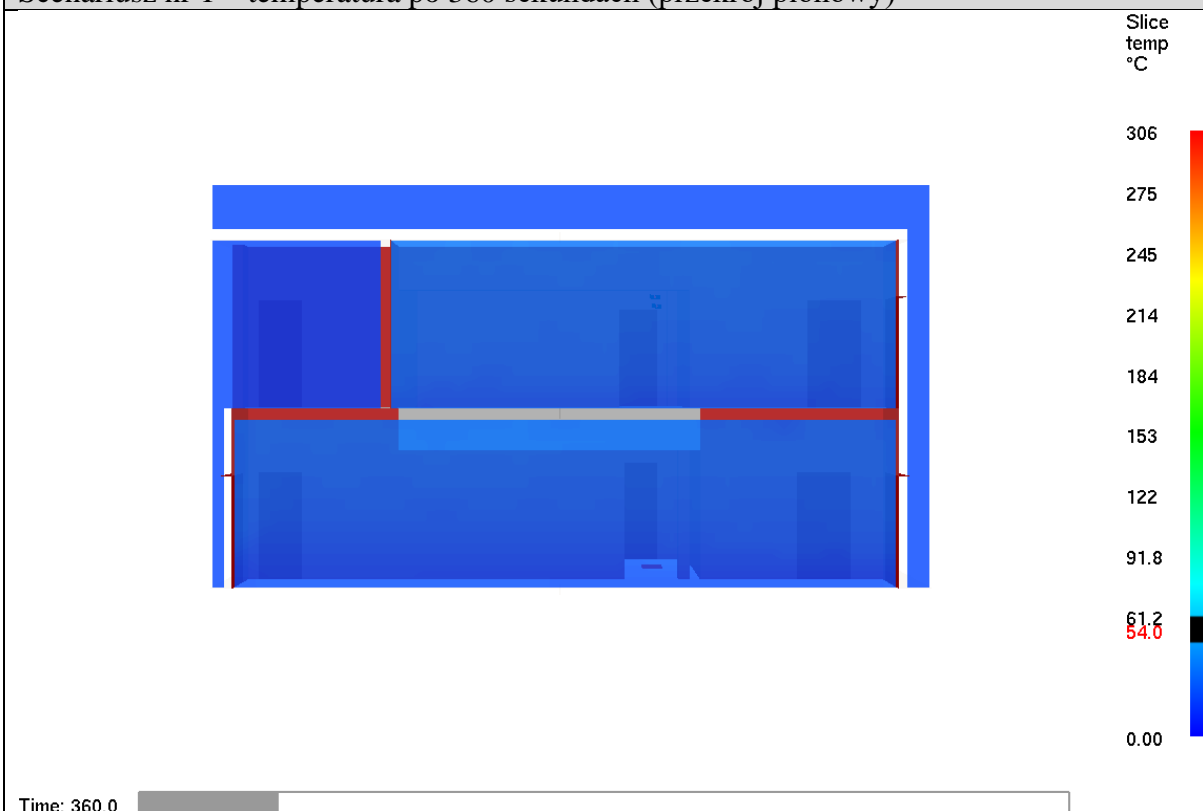
306
275
245
214
184
153
122
91.8
61.2
54.0
0.00

Time: 390.0

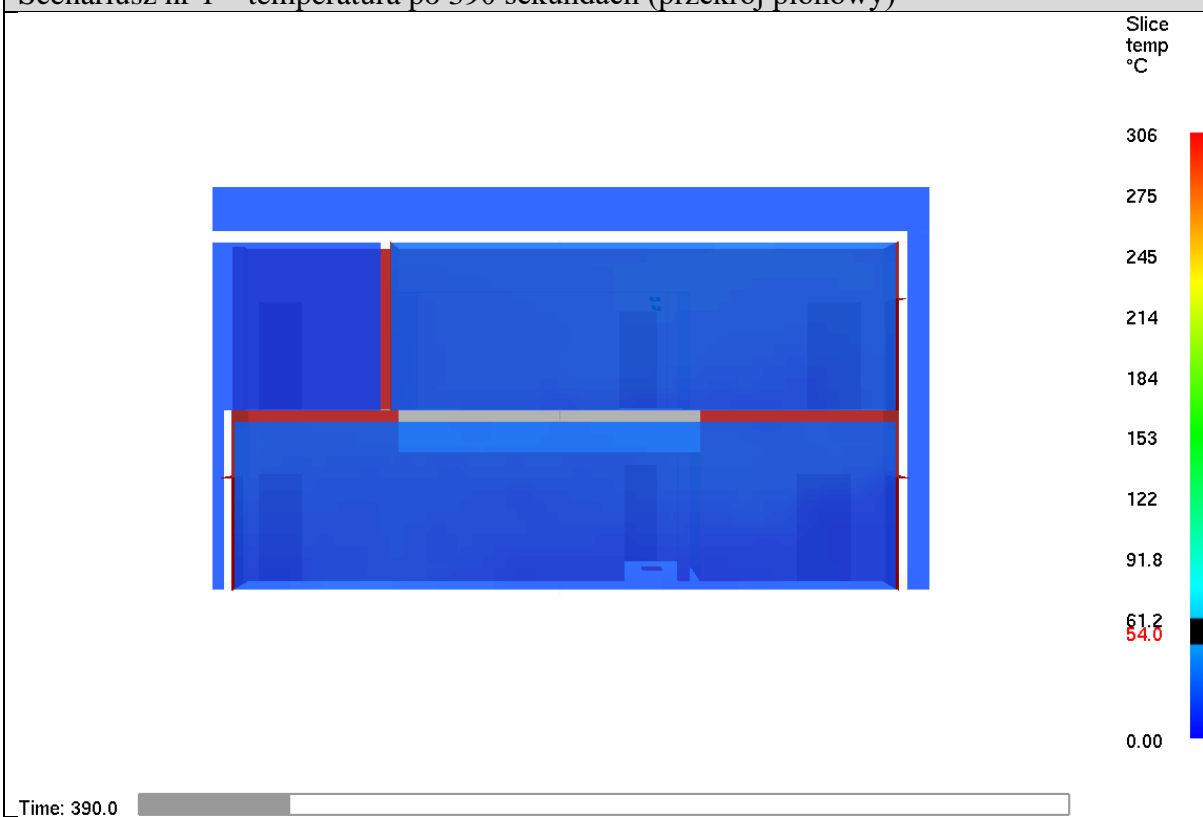
4.1.5. TEMPERATURA W PRZEKROJU PIONOWYM POPROWADZONYM PRZEZ KLATKĘ SCHODOWĄ (PŁASZCZYŻNA D)



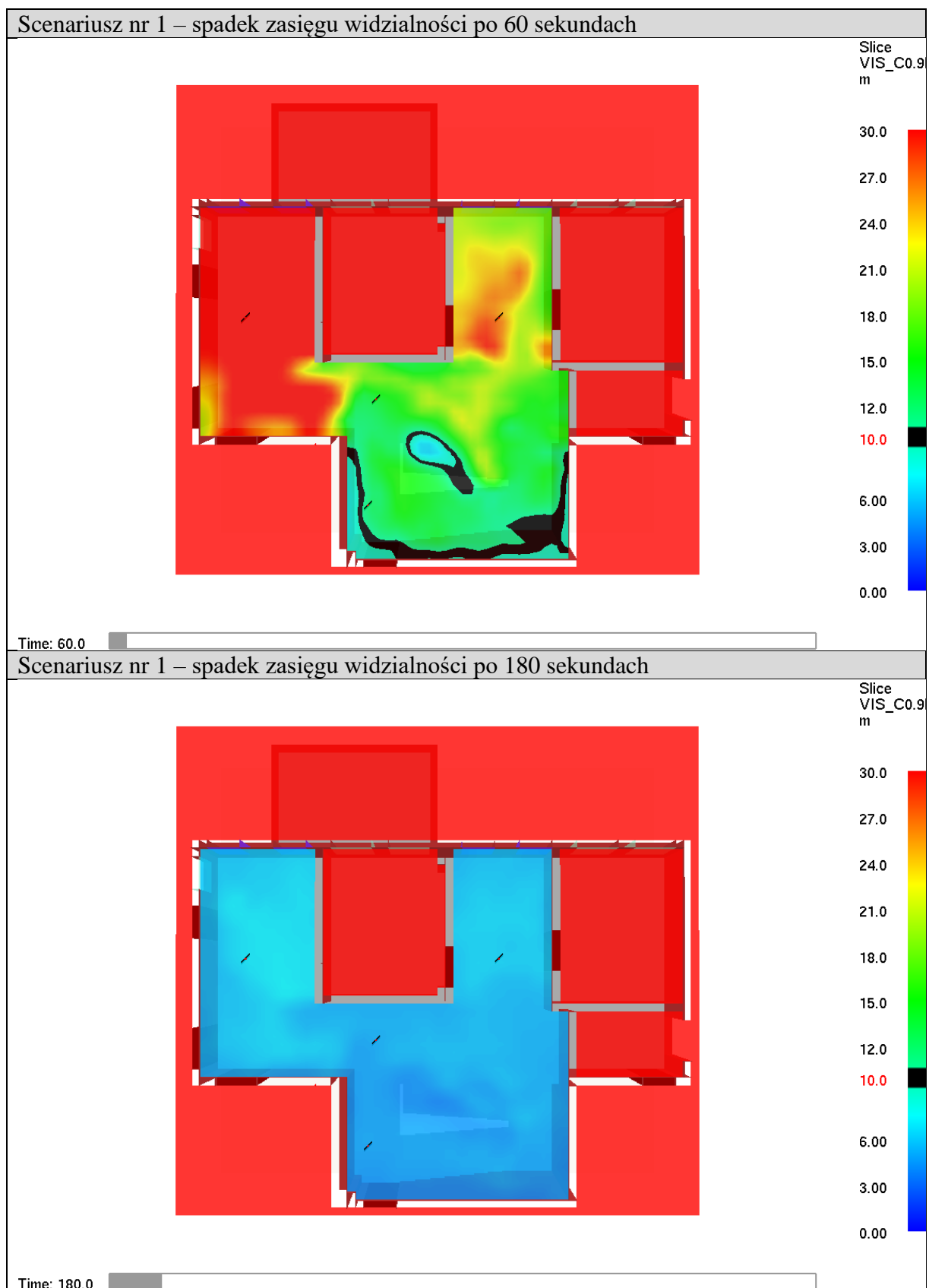
Scenariusz nr 1 – temperatura po 360 sekundach (przekrój pionowy)



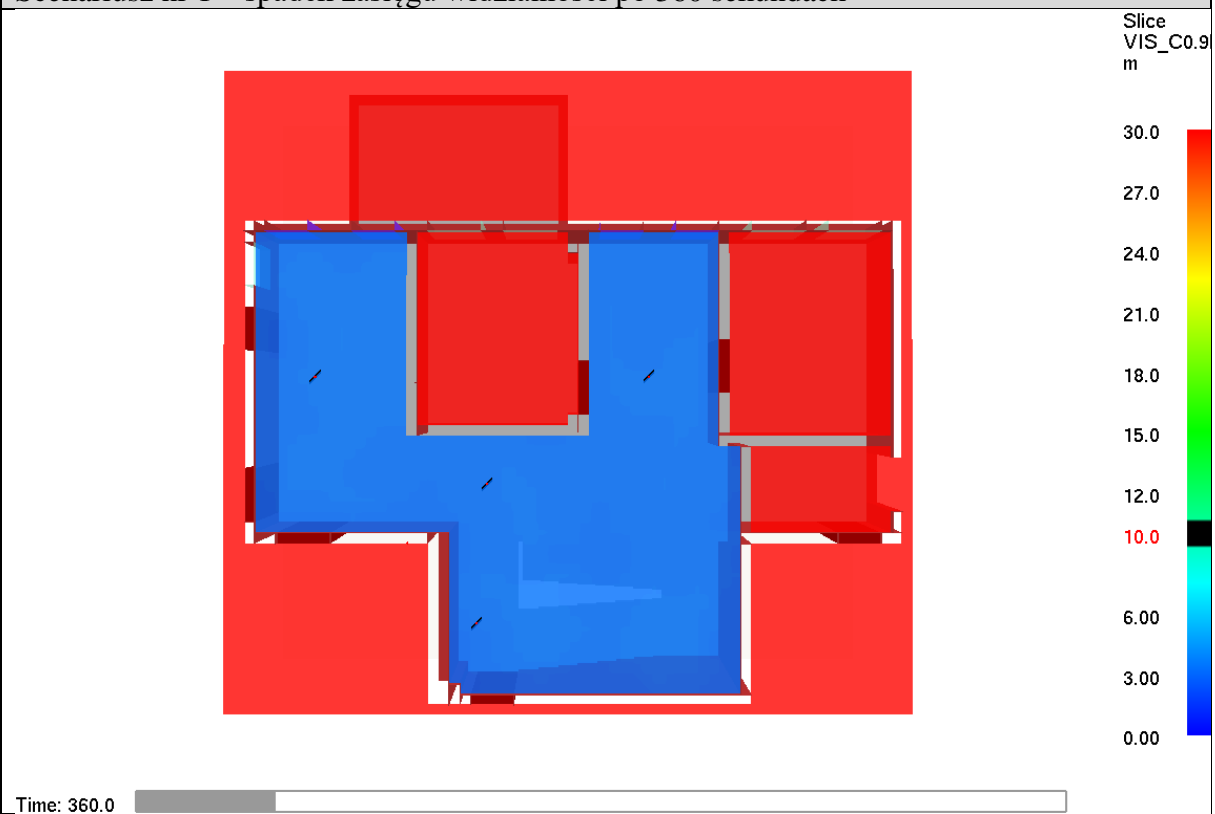
Scenariusz nr 1 – temperatura po 390 sekundach (przekrój pionowy)



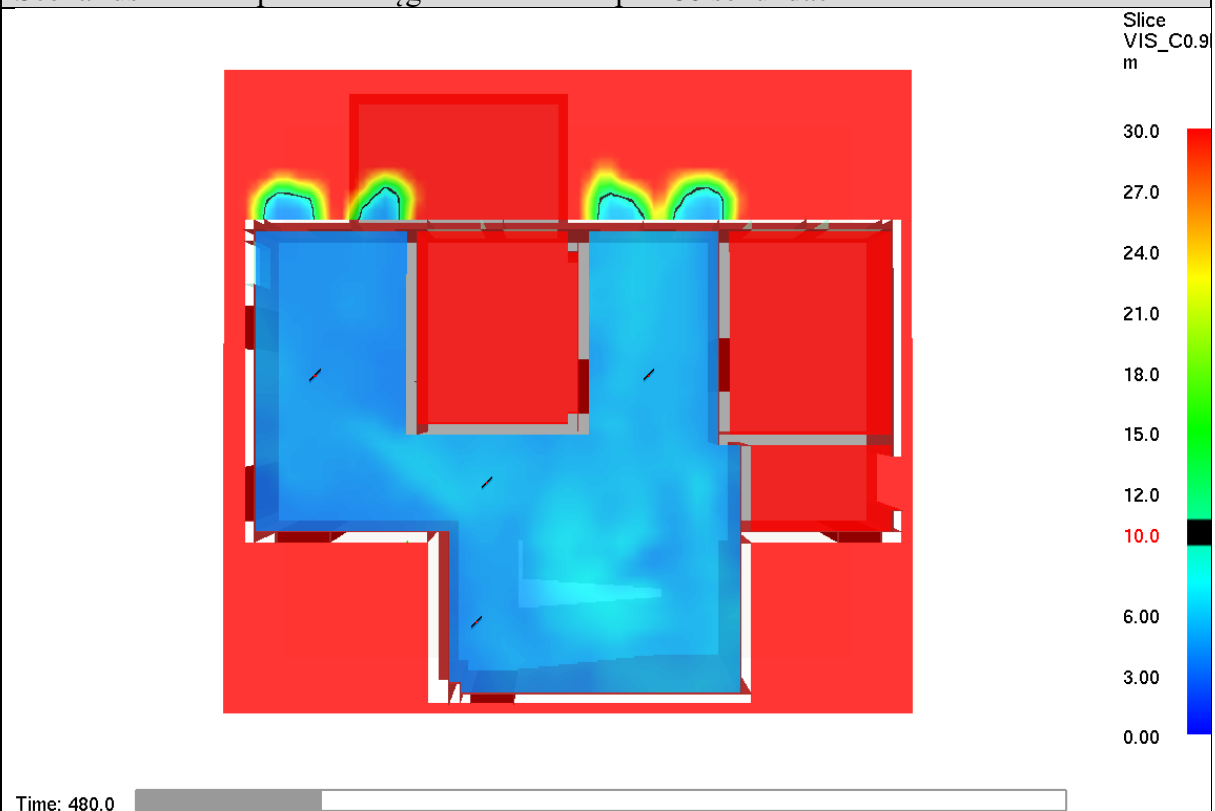
4.1.6. ZASIĘG WIDZIALNOŚCI 2 M NAD SPOCZNIKIEM OSTATNIEJ KONDYGNACJI KLATKI



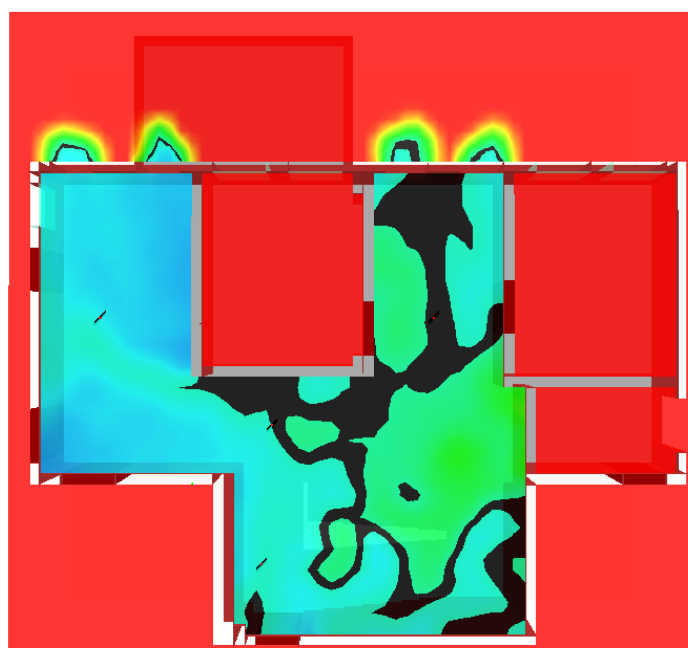
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 360 sekundach



Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 480 sekundach



Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 600 sekundach

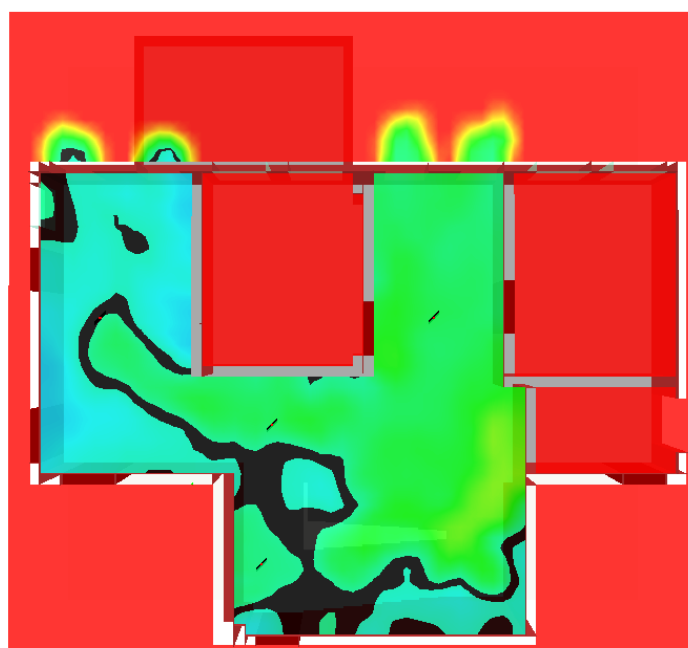


Slice
VIS_C0.9
m

30.0
27.0
24.0
21.0
18.0
15.0
12.0
10.0
6.00
3.00
0.00

Time: 600.0

Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 660 sekundach

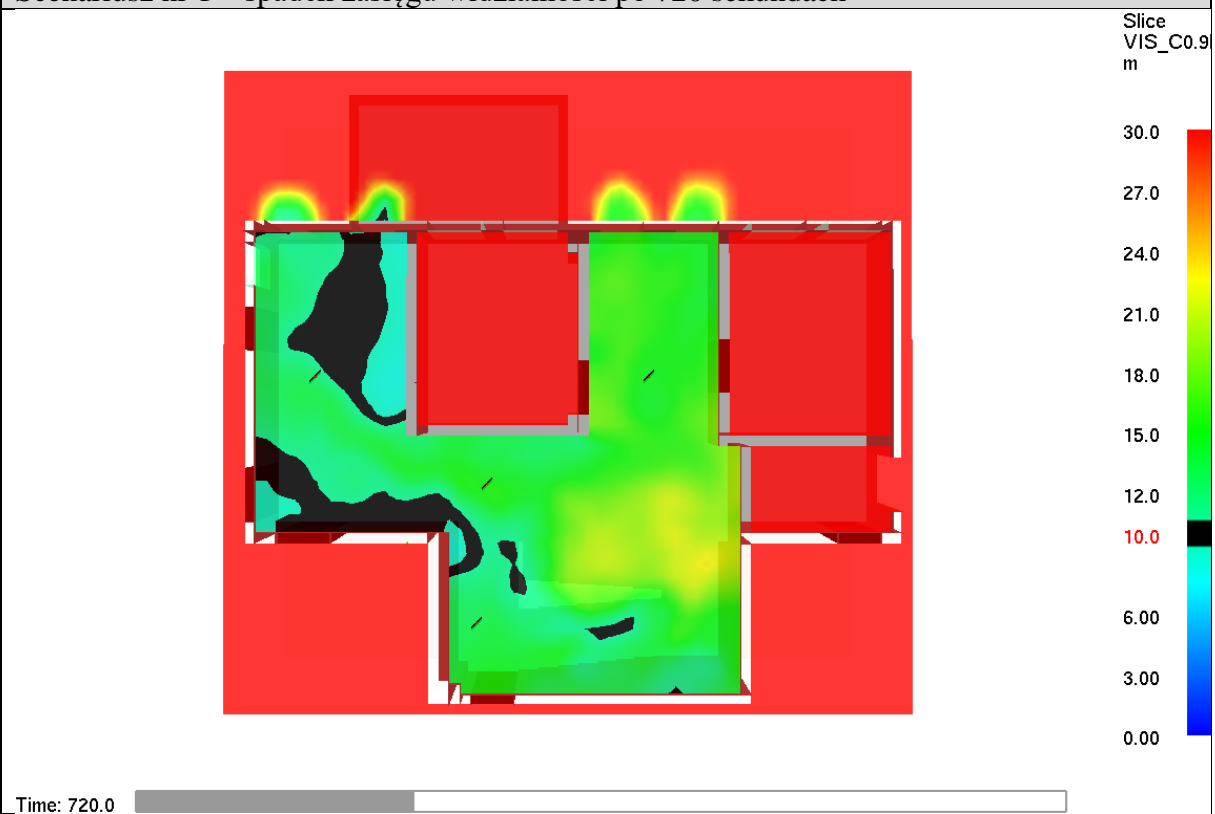


Slice
VIS_C0.9
m

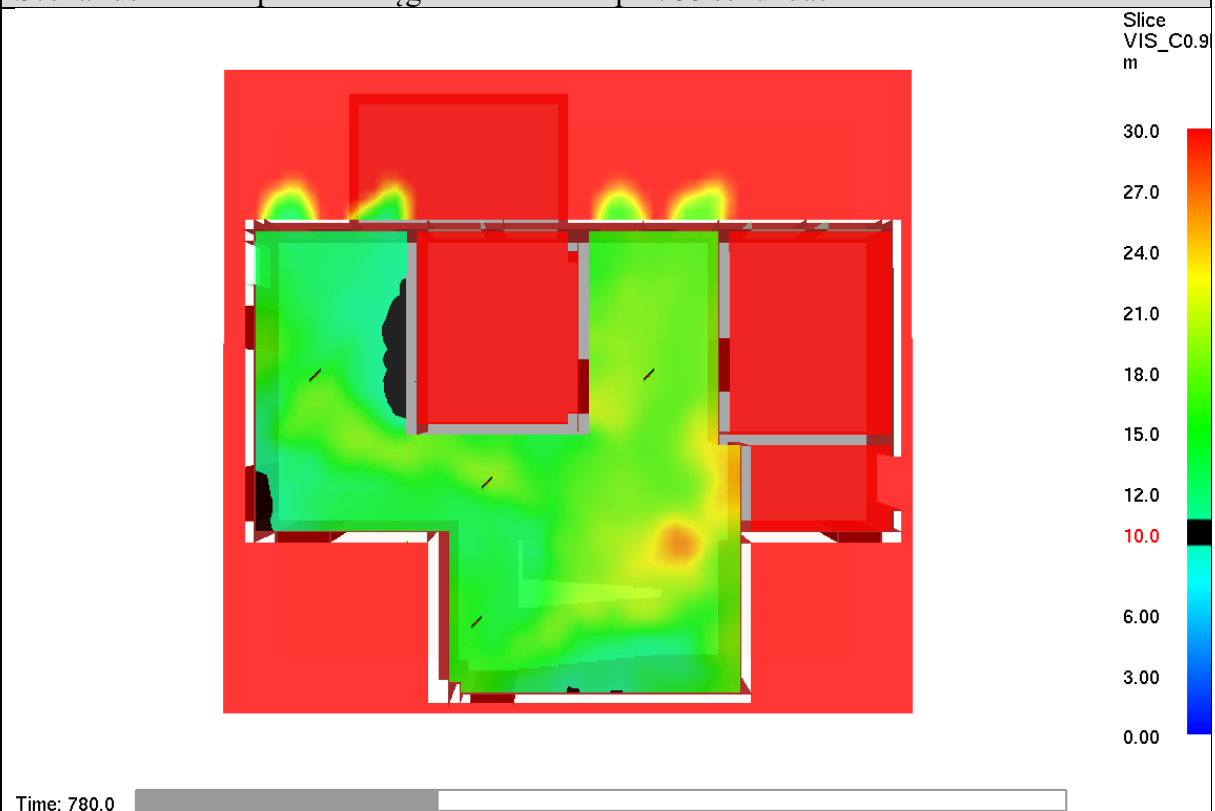
30.0
27.0
24.0
21.0
18.0
15.0
12.0
10.0
6.00
3.00
0.00

Time: 660.0

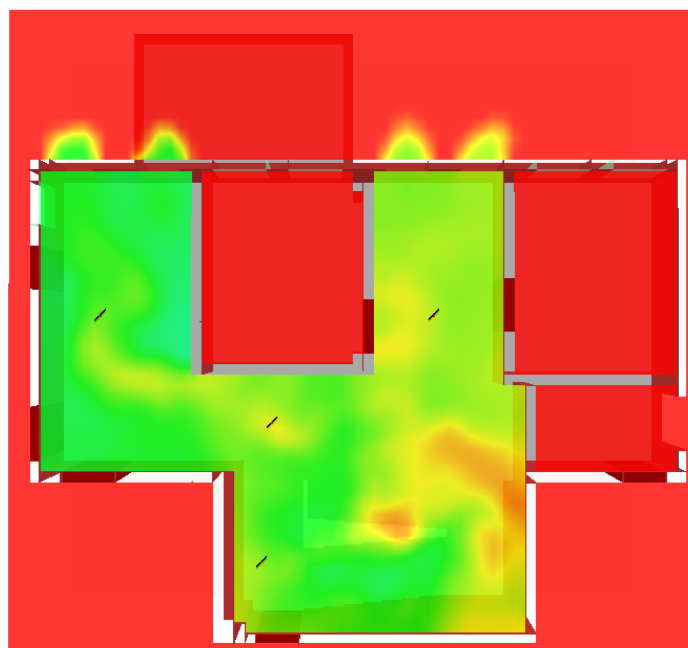
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 720 sekundach



Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 780 sekundach



Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 840 sekundach

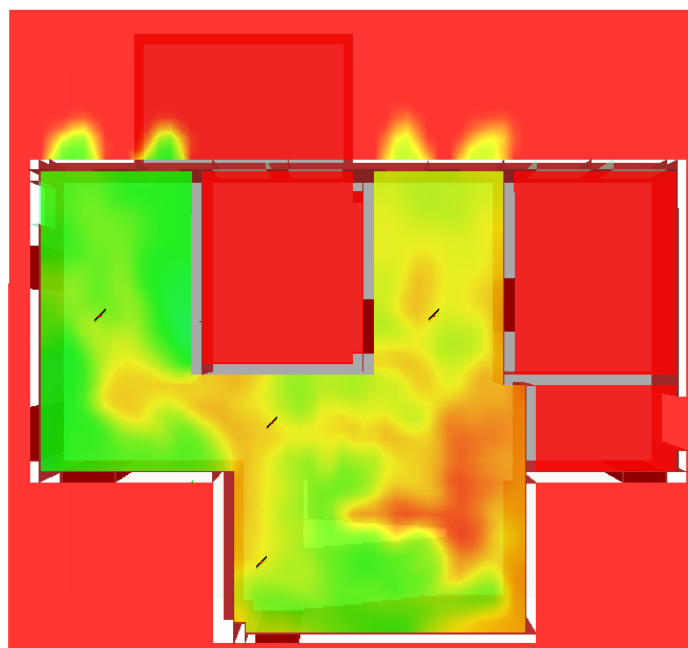


Slice
VIS_C0.9H
m

30.0
27.0
24.0
21.0
18.0
15.0
12.0
10.0
6.00
3.00
0.00

Time: 840.0

Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 900 sekundach

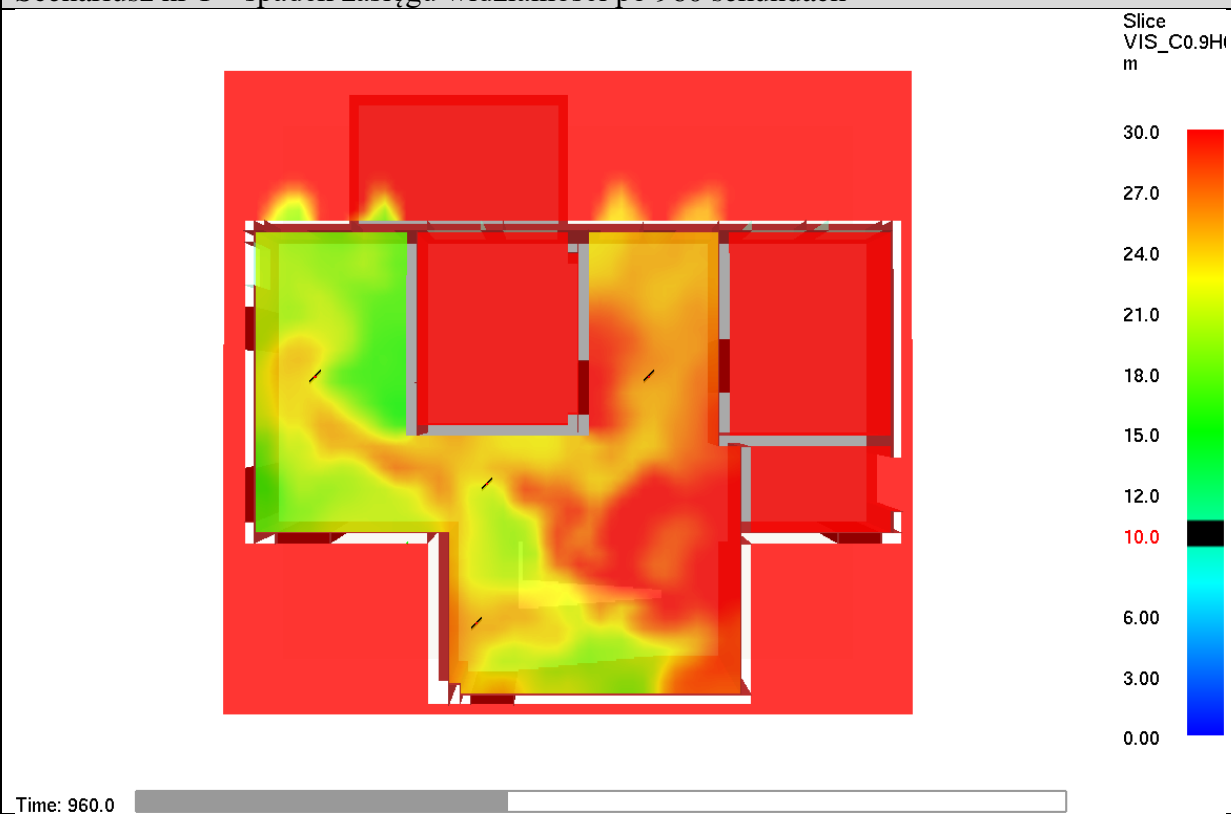


Slice
VIS_C0.9H
m

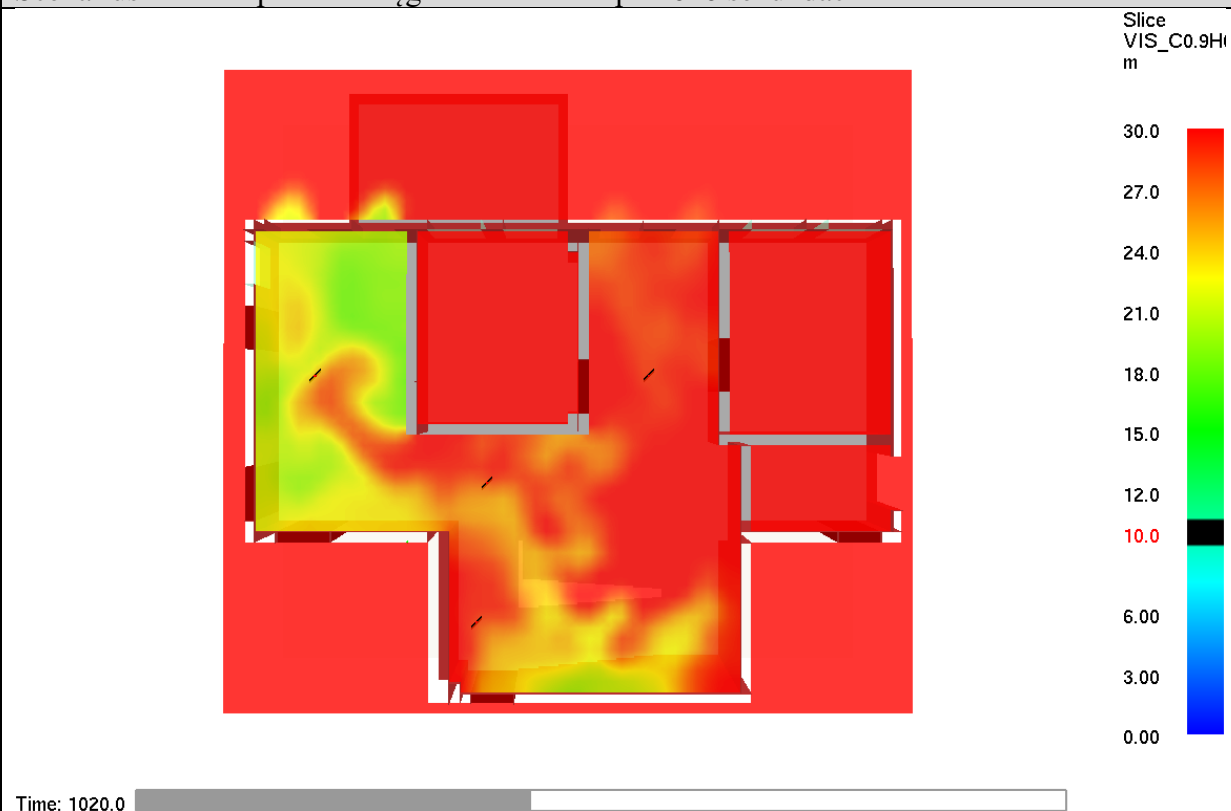
30.0
27.0
24.0
21.0
18.0
15.0
12.0
10.0
6.00
3.00
0.00

Time: 900.0

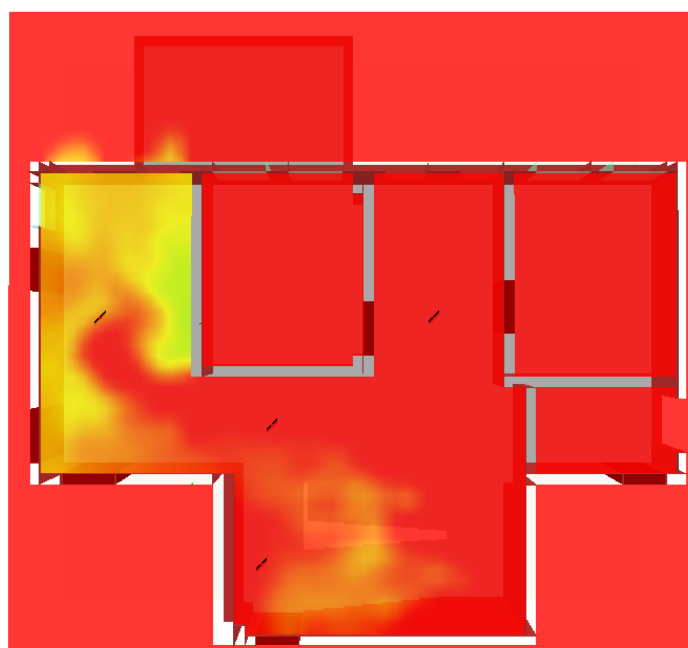
Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 960 sekundach



Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1020 sekundach



Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1080 sekundach



Slice
VIS_C0.9H
m

30.0
27.0
24.0
21.0
18.0
15.0
12.0
10.0
6.00
3.00
0.00

Time: 1080.0

Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1140 sekundach



Slice
VIS_C0.9H
m

30.0
27.0
24.0
21.0
18.0
15.0
12.0
10.0
6.00
3.00
0.00

Time: 1140.0

Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1200 sekundach



Slice
VIS_C0.9H
m

30.0
27.0
24.0
21.0
18.0
15.0
12.0
10.0
6.00
3.00
0.00

Time: 1200.0

Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1260 sekundach



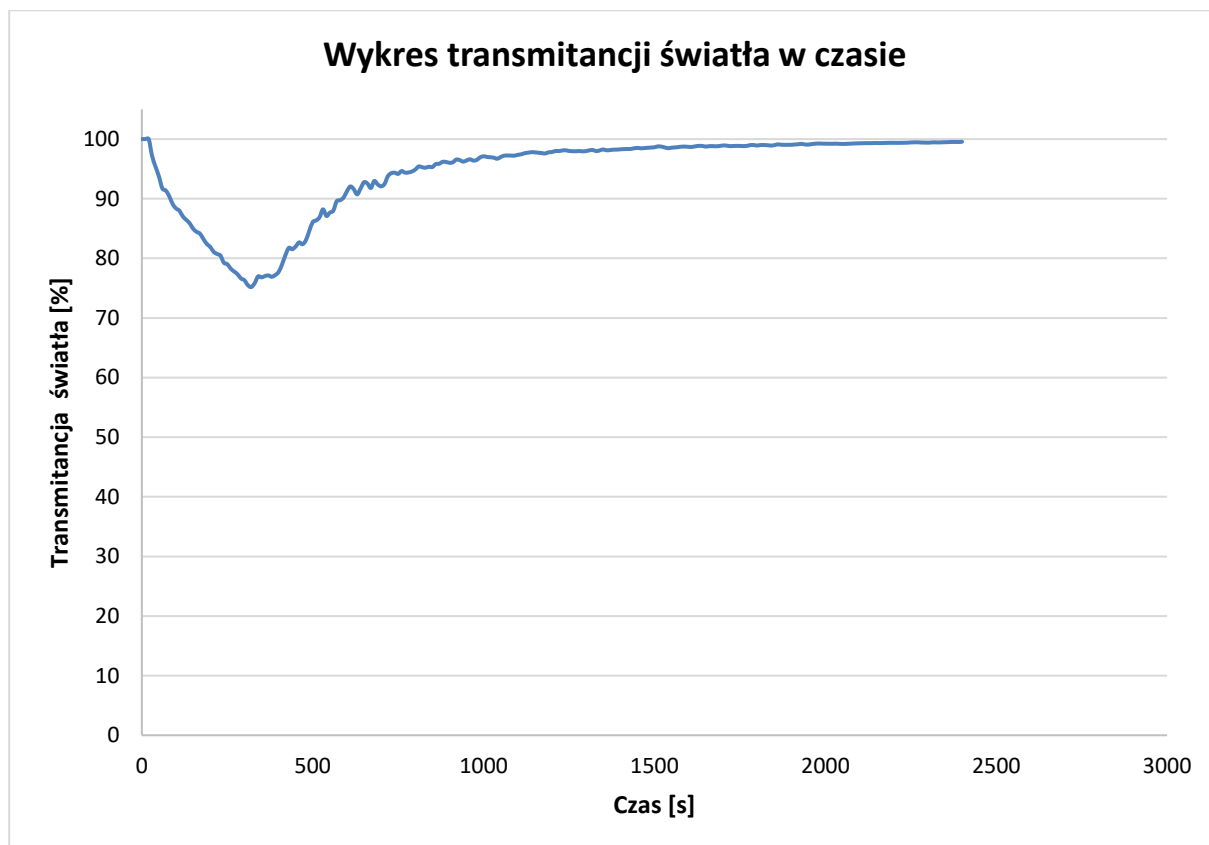
Slice
VIS_C0.9H
m

30.0
27.0
24.0
21.0
18.0
15.0
12.0
10.0
6.00
3.00
0.00

Time: 1260.0

4.1.7. 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 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 analizowanej klatki schodowej stwierdza się, że po zakończeniu pożaru testowego, zadymieniu ulega cała przestrzeń klatki schodowej. Zaobserwować można, iż widzialność jest poniżej 10 m. Następnie w wyniku automatycznego otwarcia okien oddymiających i drzwi napowietrzających na płaszczyznach wynikowych widoczne jest usuwanie dymu, aż do momentu oczyszczenia klatki schodowej.

W analizowanym scenariuszu dla klatki schodowej, licząc czas od otwarcia okien oddymiających i drzwi napowietrzających w 360 sekundzie, całkowite oczyszczenie przestrzeni klatki z dymu nastąpiło po 1740 sekundach tj. po 2100 sekundach od początku symulacji. Na płaszczyźnie wynikowej zlokalizowanej 2 m nad spocznikiem schodów dym nie występuje od 1260 sekundy symulacji. Wykres transmitancji światła w punkcie pomiarowym wskazuje, że 95% transmitancja została osiągnięta w 810 sekundzie symulacji.

Jednakże widzialność $>10\text{m}$ została osiągnięta po ok. 440 s od momentu otwarcia okien oddymiających i drzwi napowietrzających.

Natomiast od ok. 1000 sekundy symulacji, czyli od ok. 660 sekundy od chwili otwarcia okien oddymiających i drzwi napowietrzających dym utrzymuje się tylko w przestrzeni podsufitowej klatki schodowej, tj. $>2\text{m}$ nad spocznikiem ostatniej kondygnacji. Można to stwierdzić na podstawie oznak zadymienia na przekrojach pionowych unoszeniem się pozostałości dymu tylko w przestrzeni podsufitowej na parterze, co nie ma wpływu na ewakuację.

Dla tego typu systemu wentylacji pożarowej nie ma aktualnych wytycznych co do tempa oddymiania. Dla grawitacyjnego systemu oddymiania klatek schodowych, nie ma obecnie dostępnych wytycznych pozwalających ocenić skuteczność działania tego rodzaju systemu oddymiania.

W rozpatrywanym scenariuszu zadymienie jest usuwane z szybkością umożliwiającą bezpieczną ewakuację.

Na podstawie przeprowadzonych symulacji nasuwają się następujące wnioski:

- zaproponowane parametry systemu oddymiania klatki schodowej z dymu spełniają kryteria oceny skuteczności,
- w żadnym momencie podczas ewakuacji w obszarze klatki schodowej, nie doszło do przekroczenia temperatury 60 °C (analizowane 54 °C z uwagi współczynnik dla bezpieczeństwa osób ewakuowanych).

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, 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 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.