

<b>PRZEDSIĘBIORSTWO USŁUGOWO-HANDLOWE MIKS KRZYSZTOF SZCZEPANOWSKI</b> <b>76-100 SŁAWNO UL. GDAŃSKA 8/3, tel: 601646872, NIP: 839-115-83-00</b>		
<b>NAZWA OPRACOWANIA:</b>	Analiza numeryczna CFD działania grawitacyjnego systemu oddymiania pionowej drogi ewakuacyjnej dla budynku hotelowego – budynek C przy ul. Kasprowicza w Kołobrzegu	
<b>OBIEKT:</b>	Budowa budynku hotelowego budynek nr C w ramach budowy zespołu budynków hotelowych A,B,C.	
<b>ADRES OBIEKTU:</b>	78-100 Kołobrzeg ul. Kasprowicza, działki ewidencyjne nr : 136,137 i 138.	
<b>INWESTOR:</b>	P.U.H. AKCES Andrzej Kornas ul. Jagiellońska 22C/14U, 78-100 Kołobrzeg	
<b>OPRACOWAŁ:</b>	Mgr inż. Wojciech Nocula  Mgr inż. Maciej Wojciechowski	 Mgr inż. Wojciech Nocula   mgr inż. Maciej Wojciechowski
<b>WERYFIKOWAŁ:</b>	Krzysztof Szczepanowski – rzeczoznawca ds. zabezpieczeń ppoż.	 inż. Krzysztof Szczepanowski Nr upr. 428/2000
<b>DATA:</b>	02.06.2021 r.	

Wykonujemy:

- Uzgadnianie projektów pod względem ochrony przeciwpożarowej
- Symulacje CFD rozwoju pożaru
- Symulacje przebiegu ewakuacji z obiektów
- Aneksy Ochrony Przeciwpożarowej do projektów.
- Ocena warunków technicznych w modernizowanych obiektach, ustalanie rozwiązań zastępczych
- Projektowanie instalacji przeciwpożarowych
- Kwalifikacja pomieszczeń, wyznaczenie stref zagrożenia wybuchem
- Instrukcje bezpieczeństwa pożarowego
- Ocena stanu bezpieczeństwa pożarowego oraz ryzyka pożaru
- Ekspertyzy popożarowe,
- Badania hydrauliczne sieci hydrantowych
- Wyposażanie obiektów w urządzenia przeciwpożarowe i podręczny sprzęt gaśniczy,
- Projektowanie Systemów Sygnalizacji Pożaru
- Oznakowanie obiektów znakami ewakuacyjnymi i ochrony przeciwpożarowej
- Opracowywanie etatyżacji podręcznego sprzętu gaśniczego
- Zabezpieczanie ogniochronne elementów i konstrukcji budowlanych
- Projektowanie i montaż systemów oddymiania grawitacyjnego
- Projektowanie i montaż systemów oświetlenia ewakuacyjnego

## Spis treści:

1. PODSTAWOWE DANE DOTYCZĄCE OPRACOWANIA: .....	3
1.1 Cel i Przedmiot opracowania:.....	3
1.2 Podstawa opracowania: .....	3
1.3 Standardy techniczne i przepisy:.....	3
1.4 Zakres opracowania:.....	4
1.5 Kryteria oceny skuteczności grawitacyjnych systemów oddymiania: .....	4
1.6 Metodologia prowadzenia analizy: .....	5
2. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU:.....	5
2.1 Ogólna charakterystyka obiektu.....	5
2.2. Podstawowe parametry rozpatrywanej klatki schodowej .....	6
2.3 Rozwiązanie systemu oddymiania:.....	7
3. NARZĘDZIA OBLICZENIOWE: .....	8
3.1 Metoda prowadzenia analizy:.....	8
3.2 Model spalania: .....	8
3.3 Model hydrodynamiczny:.....	9
3.4 Model promieniowania: .....	9
3.5 Weryfikacja programu FDS i niepewności obliczeniowe:.....	9
4. ZAŁOŻENIA DO MODELU CFD:.....	10
4.1 Podstawowe założenia do symulacji CFD:.....	10
4.2 Założenia do modelu spalania: .....	10
4.3 Założenia do modelu rozwoju pożaru:.....	11
4.4 Warunki początkowe otoczenia:.....	11
4.5 Właściwości materiałów budowlanych:.....	11
4.6 Warianty symulacji: .....	12
4.7 Proces tworzenia modelu:.....	12
5. WYNIKI ANALIZY NUMERYCZNEJ CFD:.....	14
5.1 Wyniki dla Scenariusza I .....	14
5.2 Wyniki dla Scenariusza II .....	22
5.3 Wyniki dla Scenariusza III .....	30
6. WNIOSKI Z PRZEPROWADZONEJ ANALIZY:.....	38

## **1. PODSTAWOWE DANE DOTYCZĄCE OPRACOWANIA:**

### **1.1 Cel i Przedmiot opracowania:**

Przedmiotem opracowania jest analiza skuteczności funkcjonowania systemu oddymiania pionowej drogi ewakuacyjnej nowobudowanego obiektu hotelowego – budynek C, znajdującego się w mieście Kołobrzeg przy ul. Kasprowicza, działki ewidencyjne nr 136, 137, 138, 78-100 Kołobrzeg.

### **1.2 Podstawa opracowania:**

- a) Zlecenie inwestora
- b) Projekt budowlany architektoniczno-konstrukcyjny
- c) Obowiązujące przepisy przeciwpożarowe i techniczno-budowlane
- d) Obowiązujące wytyczne i wiedza inżynierska

### **1.3 Standardy techniczne i przepisy:**

- 1] McGrattan K., Overholt K., Weinschenk C., McDermott, R. Floyd J, Hostikka S.; Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 2: Verification, NIST Special Publication 1018. Washington: NIST Special Publication, 2014
- 2] McGrattan K., McDermott R., Hostikka S., Floyd J., Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide. Volume 1: Mathematical Model. NIST Special Publication 1018-5, 2010
- 3] Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide. 2010; 3. McGrattan K., McDermott R., Hostikka S., Floyd J., NIST Special Publication 1018-5, Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide. Volume 3: Validation. 2010;
- 4] Charles A. Harper, "Handbook of building materials for fire protection", 2003.
- 5] BS 7346-4:2003. Komponenty systemów oddymiania i usuwania ciepła. Część 4: Zalecenia funkcjonalne i metody obliczeniowe dla systemów oddymiania i usuwania ciepła opartych na stabilnych pożarach projektowych.
- 6] PN-EN ISO 6946:2008. Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania;
- 7] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Third Edition. 2002;

8] Piotr Smardz, Janusz Paliszka-Saładyga – zalecenia dotyczące prawidłowego stosowania modelu CFD w symulacjach pożarowych dla programu Fire Dynamics Simulator.

9] Wytyczne CNBOP-PIB W-0003:2016, systemu oddymiania klatek schodowych

#### **1.4 Zakres opracowania:**

- Opis badanego obiektu
- Założenia do modelu CFD
- Wyniki obliczeń CFD funkcjonowania systemu oddymiania dla pionowej drogi ewakuacyjnej tj. klatki schodowej oznaczonej jako KL1
- Wnioski z przeprowadzonej analizy

#### **1.5 Kryteria oceny skuteczności grawitacyjnych systemów oddymiania:**

Skutecznie funkcjonujący system oddymiania klatki schodowej w warunkach pożaru powinien zapewniać:

- przemieszczanie się ku górze mieszaniny dymu i powietrza, jaka może napłynąć do klatki schodowej;
- nieopadanie mieszaniny dymu i powietrza poniżej kondygnacji, na której wybuchł pożar;
- wspomaganie działań ratowniczo – gaśniczych;
- usunięcie mieszaniny dymu i ciepła z klatki schodowej po ograniczeniu jej napływu lub ugaszeniu pożaru.
- Czas potrzebny do usunięcia dymu – osiągnięcia progu zaciemnienia poniżej 20% (uzyskania przejrzystości powietrza na poziomie 80%) po ustaniu jego źródła powinien być niższy niż iloczyn liczby kondygnacji nadziemnych powyżej źródła pożaru testowego oraz czasu oddymiania jednej kondygnacji równego 60 sekund.

Wartość czasu potrzebna do usunięcia dymu – osiągnięcia progu zaciemnienia poniżej 20% (uzyskania przejrzystości powietrza na poziomie 80%) po ustaniu jego źródła powinna spełniać zależność:

$$T_{\text{oddmax}} > T_{\text{odd}}$$

$$T_{\text{oddmax}} = K \cdot L = 6 \cdot 60 \text{s} = 360 \text{s}$$

Gdzie:

K-liczba kondygnacji ponad testowym źródłem pożaru

L – maksymalny czas oddymiania jednej kondygnacji

## 1.6 Metodologia prowadzenia analizy:

Powyższa analiza została przeprowadzona w oparciu o wytyczne CNBOP dla analiz CFD badających skuteczność oddymiania klatek schodowych. Zakłada ona umiejscowienie źródła pożaru testowego w przestrzeni klatki schodowej (imitującego próby dymowe z etanolem) na 2 kondygnacji nadziemnej. Klatka zostaje zadymiona przez 5 minut a następnie uruchomiony zostaje system oddymiania: otwarta zostaje kłapa dymowa oraz uruchomiony zostaje wentylator napowietrzający. Wyniki zostają odczytane za pomocą płaszczyzn pomiarowych widoczności oraz punktów pomiarowych badających transmitancję dymu, znajdujących się 2m poniżej klapy dymowej.

## 2. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU:

### 2.1 Ogólna charakterystyka obiektu.

Budynek hotelowy z apartamentami zaprojektowano jako obiekt średniowysoki, zawiera

- 1 kondygnacje podziemną z garażem na 74 stanowisk parkingowych wraz z zapleczem technicznymi zakwalifikowany do PM Q < 500 [Mj/m<sup>2</sup>]
- 1 kondygnacje ( parter) ZL I z wydzielonym zapleczem kuchennym jako ZL III
- 6 kondygnacji zamieszkania zbiorowego wraz z łącznikiem do budynku B zakwalifikowanych jako ZLV

Bryła budynku zwarta, zawierająca kilka stref pożarowych. Obiekt zaliczony do PM, ZL I i ZL V kategorii zagrożenia ludzi. Klatki schodowe w budynku wydzielone są przeciwpożarowo, oddymiane grawitacyjnie. Maksymalna wysokość budynku wynosi 22,00 m a powierzchnia całkowita budynku to 1856 m<sup>2</sup>.

- Budynek zostanie wyposażony w następujące urządzenia przeciwpożarowe:
- przeciwpożarowy wyłącznik prądu – wyłączający wszystkie urządzenia elektryczne z wyjątkiem urządzeń przeciwpożarowych
- system sygnalizacji pożaru z ochroną pełną i podłączeniem do KP PSP w Kołobrzegu
- Dźwiękowy system ostrzegawczym
- Hydranty wewnętrzne 25 oraz hydranty 52 i 33 w strefach PM i garażu
- System oddymiania grawitacyjnego – zespół wind i klatki schodowe zostaną wyposażone w samoczynną instalację oddymiającą uruchamianą przez system wykrywania dymu;
- awaryjne oświetlenie ewakuacyjne

## 2.2. Podstawowe parametry rozpatrywanej klatki schodowej

### Klatka schodowa KL1:

Powierzchnia całkowita klatki schodowej:

$$A_{KS} = 38,0 \text{ m}^2$$

Powierzchnia obliczeniowa klatki schodowej:

$$A_{KSO} = 40,0 \text{ m}^2$$

Klasa ZL budynku:

$$ZL = I$$

Wysokość budynku:

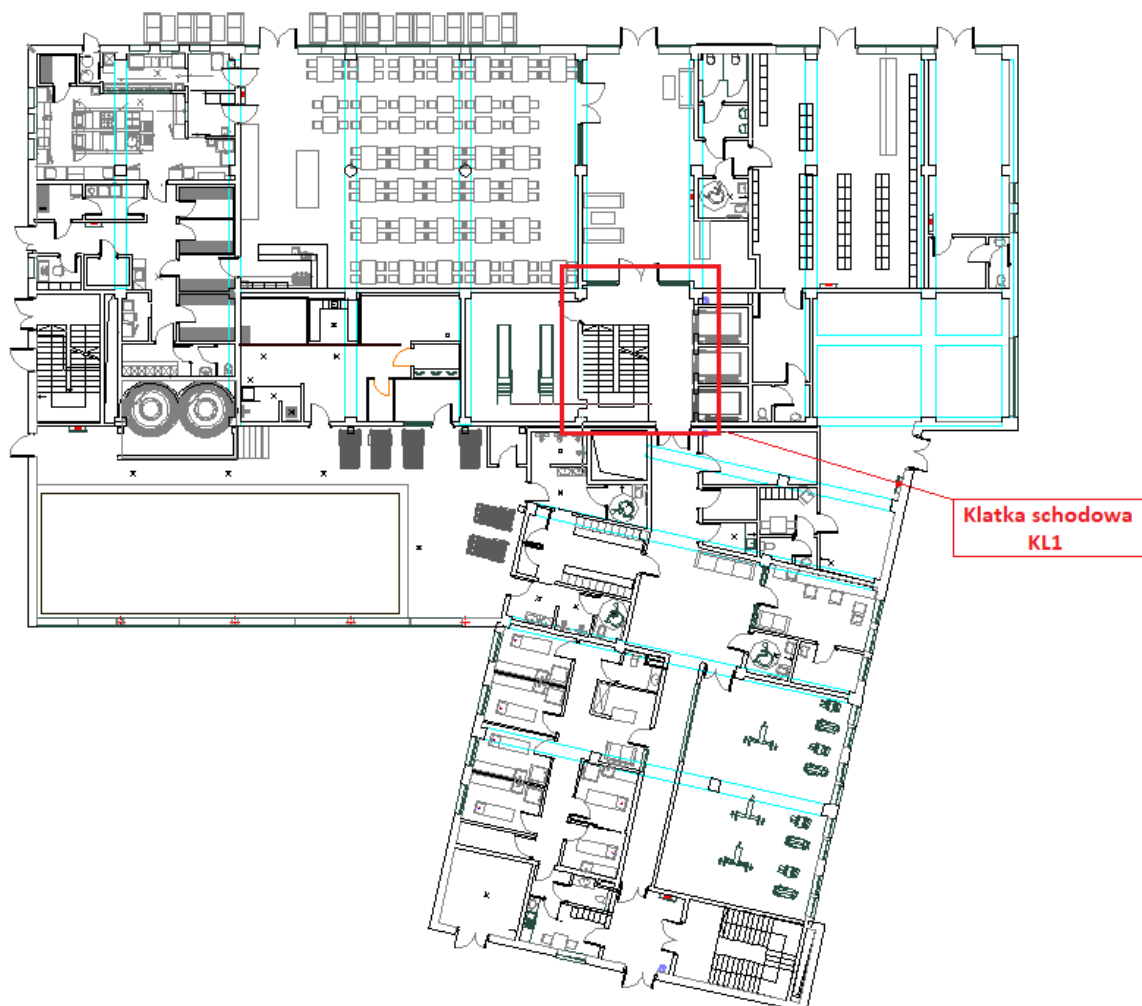
$$H_b = 21,30 \text{ m}$$

Ilość kondygnacji nadziemnych:

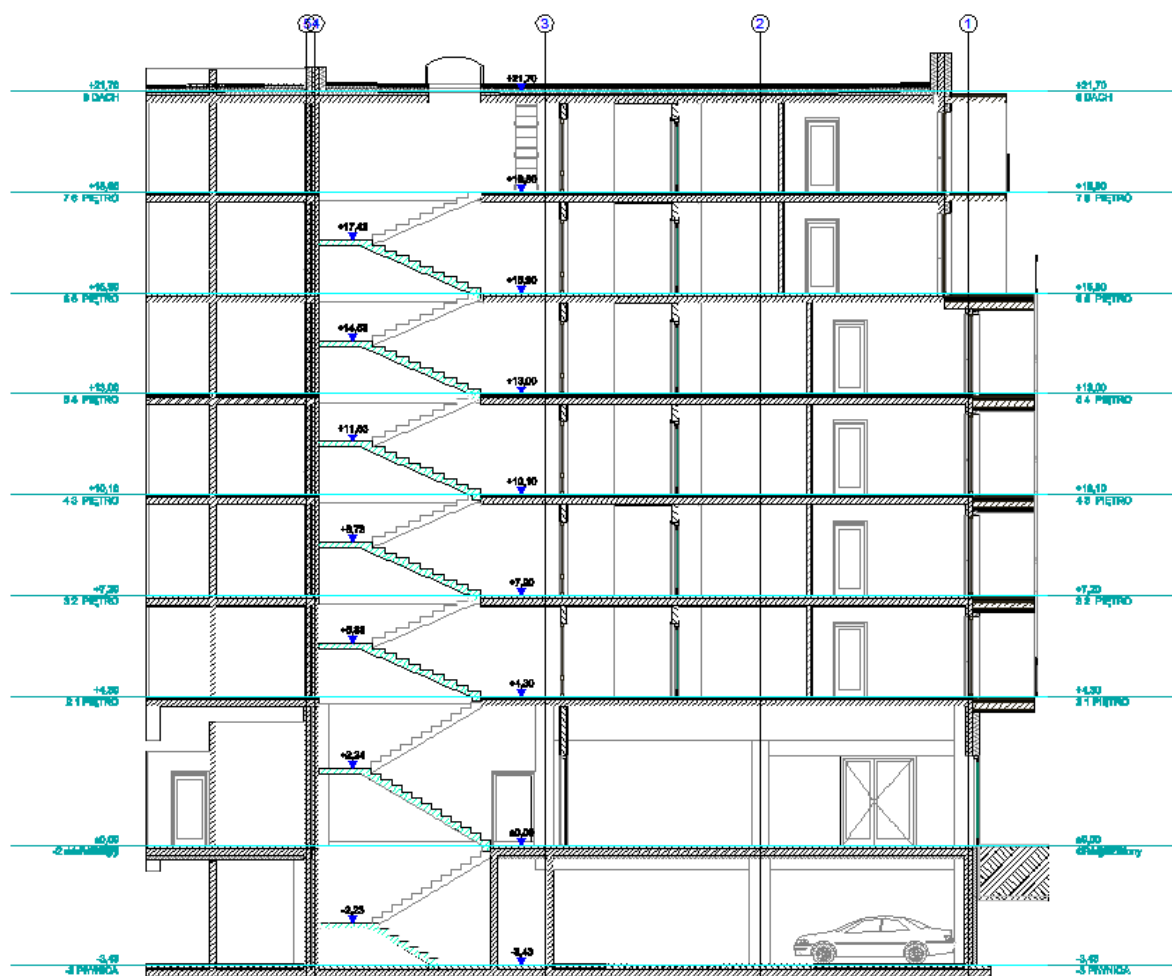
$$n = 7$$

Ilość kondygnacji podziemnych:

$$n = 1$$



Rys.1 – umiejscowienie klatki schodowej KL1



Rys.2 - przekrój rozpatrywanej klatki schodowej KL1

### 2.3 Rozwiązanie systemu oddymiania:

System Oddymiania w klatkach schodowych realizowany jest za pomocą kłapy dymowej w stropie klatki schodowej. Powierzchnia kłapy dymowej stanowi nie mniej niż 5% powierzchni rzutu danej klatki schodowej.

Dla klatki KL1 do oddymiania posłuży kłapa dymowa o wymiarach geometrycznych 1,4 x 1,4 m co przekłada się na 1,28m<sup>2</sup> powierzchni czynnej oddymiania. Kłapa dymowa nie jest wyposażona w owiewki i kierownicę.

Dopływ powietrza kompensacyjnego odbywa się poprzez automatyczne uruchomienie wentylatora napowietrzającego umieszczonego na kondygnacji podziemnej -1 o wydajności 8000m<sup>3</sup>/h.

Oddymianie uruchamiane jest poprzez ręczne przyciski oddymiania zlokalizowane na każdej kondygnacji.

### 3. NARZĘDZIA OBLICZENIOWE:

#### 3.1 Metoda prowadzenia analizy:

Analizę przeprowadzono z wykorzystaniem metody obliczeniowej mechaniki płynów (CFD z ang. Computational Fluid Dynamics). Umożliwiających modelowanie zjawisk fizycznych zachodzących podczas pożaru oraz pracy systemu wentylacji oddymiającej. Szczegółowa analiza przy wykorzystaniu metod obliczeniowej mechaniki płynów stanowi rozbudowane narzędzie w inżynierii bezpieczeństwa pożarowego pozwalające na przewidywanie rozchodzenia się dymu i ciepła w rozważanym obiekcie.

Do przeprowadzenia szczegółowej analizy oraz otrzymania wyników zawartych w raporcie wykorzystany został program *Fire Dynamics Simulator* wersja 5.4, który jest narzędziem opracowanym przez amerykański instytut naukowo-badawczy NIST (National Institute of Standards and Technology) przy współpracy fińskiego instytutu VTT Technical Research Centre of Finland oraz The Society of Fire Protection Engineers (SFPE). Program posiada liczne eksperymenty walidacyjne i weryfikacyjne. Do programu dołączony jest kompatybilny z nim pakiet wizualizacyjny Smokeview.

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. Program FDS wykorzystuje technikę LES (Large Eddy Simulation). 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.

#### 3.2 Model spalania:

Model reakcji chemicznej spalania to model spalania wg. „prostej reakcji chemicznej” zakładającej, że w pojedynczej skończonej objętości obliczeniowej znajduje się analizowany składnik, który jest opisany udziałem masowym odniesionym do całej pojedynczej objętości skończonej. Równanie spalania w programie FDS zachodzi według poniższej reakcji:



Składniki biorące udział w reakcji chemicznej po lewej stronie to paliwo oraz tlen. Produkty reakcji po prawej stronie równania to dwutlenek węgla, para wodna, tlenek węgla, sadza, cząsteczki azotu oraz pozostałe składniki.



### **3.3 Model hydrodynamiczny:**

FDS rozwiązuje numerycznie układ równań Naviera-Stokesa właściwych dla przepływów o niskich prędkościach, typowych dla zjawisk transportu dymu i ciepła wymuszonych pożarem. Solver programu rozwiązuje podstawowe równania zachowania masy, momentu i energii. Ponieważ powyższy układ równań nie może być rozwiązany metodami analitycznymi, konieczne jest zastosowanie metod numerycznych, w których domena obliczeniowa podzielona jest na trójwymiarową siatkę niewielkich komórek obliczeniowych. Solver programu oblicza warunki fizyczne odrębnie wewnątrz każdej komórki jako funkcję czasu. Model turbulencji zastosowany w przedmiotowych symulacjach oparty jest na wersji Smagorinskiego metody symulacji wielkowirowych (LES). Równania transportu rozwiązywane w symulacjach LES są otrzymywane po przefiltrowaniu zależnych od czasu równań Naviera-Stokesa. Podczas procesu filtrowania wiry, których wielkość jest mniejsza od rozmiaru siatki obliczeniowej nie są bezpośrednio obliczane a ujmowane są jedynie uśrednione skutki ich działania.

### **3.4 Model promieniowania:**

Równanie transportu promieniowania dla gazu szarego, jest rozwiązywane metodą objętości skończonych (FVM – Finite Volume Method). Metoda ta dzieli całe widmo promieniowania na kilka przedziałów częstości (typowo 6) i korzysta w nich z całkowitej postaci równań transportu promieniowania. Część strumienia mocy pożaru emitowana w postaci promieniowania jest stała i jest jednym z parametrów symulacji. Przyjęto ułamek promieniowania 20 %.

### **3.5 Weryfikacja programu FDS i niepewności obliczeniowe:**

Poprawność działania programu FDS została szczegółowo zweryfikowana przez NIST oraz inne ośrodki naukowo badawcze. W ramach weryfikacji programu FDS dokonano min: Porównania wyników symulacji z wynikami eksperymentów w skali naturalnej przeprowadzonych specjalnie na potrzeby weryfikacji programu. W przypadku typowych symulacji dla celów inżynierskich, w których rozpatrywany jest jedynie transport dymu i ciepła, program FDS wyznacza prędkości przepływu i temperatury z dokładnością 5 do 20%, w zależności od przyjętej rozdzielczości siatki obliczeniowej.

<b>Mierzona wielkość</b>	<b>Niepewność (%)</b>
Temperatura warstwy podsufitowej dymu	14
Temperatura strumienia podsufitowego	16
Temperatura płomienia	14
Stężenie dymu i widzialność	20
Temperatura powierzchni	14

Tab. 1. Średnie błędy wyznaczania wielkości fizycznych w FDS

#### 4. ZAŁOŻENIA DO MODELU CFD:

##### 4.1 Podstawowe założenia do symulacji CFD:

- a) Do stworzenia 3-wymiarowego modelu wykorzystano projekt budowlany obiektu usługowego.
- b) Użyto siatki jednolitej sześcienniej o rozmiarach pojedynczej komórki 0,1m x0,1m x0,1m. Model został podzielony na 4 sieci obliczeniowe. Całkowita liczba komórek w modelu wynosi 1 130 456.
- c) Rozwój scenariusza pożarowego zakłada najbardziej niekorzystny, prawdopodobny przypadek lokalizacji pożaru. Pożar jako źródło testowe na posadzce na kondygnacji +1
- d) Rozpatrzono 3 warianty symulacji dla różnych warunków zewnętrznych – dla warunków letnich, zimowych i izometrycznych.
- e) Jako czas obliczeniowy przyjęto : T = 900 sekund
- f) W przeprowadzonej symulacji został wykorzystany model Smagorinsky LES, odpowiedni dla wolnych przepływów dymu i gazów pożarowych pod wpływem termicznych sił wyporu.
- g) Jako czas całkowity uruchomienia instalacji oddymiającej przyjmuje się 360 sekund od początku symulacji.

##### 4.2 Założenia do modelu spalania:

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

- a) skład stechiometryczny mieszaniny palnej - definiowany przez ułamek molowy gazów palnych i produktów spalania (równy 1 dla czystego paliwa) i powietrza (równy 0 dla czystego powietrza),
- b) spalanie następuje natychmiast po zmieszaniu, jest jednoetapowe i całkowite
- c) warunki brzegowe wymuszają stały dostęp tlenu.
- d) Materiałem palnym jest etanol o składzie stechiometrycznym:  $C_2H_5OH$
- e) Ułamek ciepła oddawanego na drodze promieniowania wynosi 0,3
- f) Wartość przyjętego współczynnika generacji sadzy wynosi  $Y_s = 0,05$  g/g
- g) W modelu pożaru przyjęto wartość spalania wynoszącą 26 500 MJ/kg

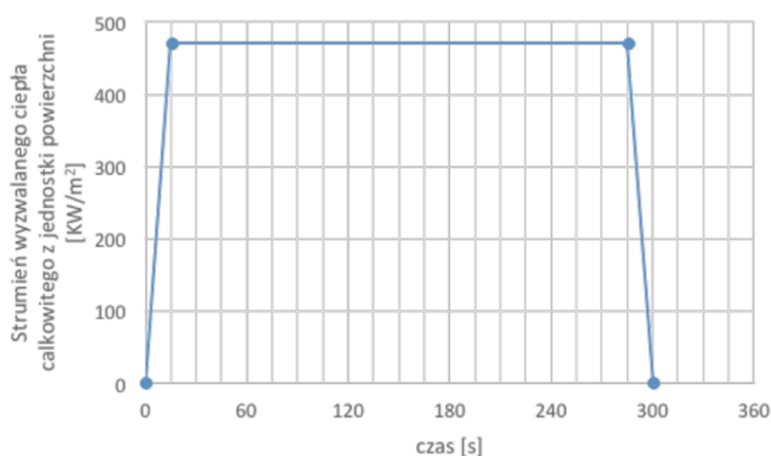
h) Współczynnik ekstynkcji wynosi  $8700 \text{ m}^2/\text{kg}$

#### 4.3 Założenia do modelu rozwoju pożaru:

Zgodnie z wytycznymi CNBOP przyjęto następujące testowe źródło pożaru:

- powierzchnia pożaru:  $0,3\text{m} \times 0,45\text{m}$
- całkowita moc pożaru wynosi  $63,5 \text{ kW}$
- strumień wyzwalanego ciepła z jednostki powierzchni wynosi  $476\text{kW}/\text{m}^2$

Przebieg zmian wartości wyzwalanego ciepła całkowitego z jednostki powierzchni w czasie przedstawiono na wykresie:



Rys.3 – Krzywa wzrostu mocy pożaru

#### 4.4 Warunki początkowe otoczenia:

- Początkowa temperatura wewnętrzna i na zewnątrz obiektu równa  $20^\circ\text{C}$
- Wilgotność względna równą  $40\%$
- Ciśnienie atmosferyczne równe  $1013,15 \text{ hPa}$
- Współczynnik widzialności - 3
- Udział masy tlenu w powietrzu -  $0,23238$

#### 4.5 Właściwości materiałów budowlanych:

Materiał	Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ]	Ciepło właściwe [kJ/kg·K]	Współczynnik przewodzenia ciepła [W/m·K]
Beton	2280	1,04	1,8
Gips	1440	0,84	0,48

Tab.6. Właściwości materiałów budowlanych.

#### 4.6 Warianty symulacji:

a) Warunki letnie – założono temperaturę zewnętrzną 30°C. Temperatura zewnętrzna jest również temperaturą nawiewu do klatki schodowej. Temperatura wewnętrzna oraz przegród budowlanych wynosi 24°C.

b) Warunki zimowe – założono temperaturę zewnętrzną -18°C. Temperatura zewnętrzna jest również temperaturą nawiewu do klatki schodowej. Temperatura wewnętrzna oraz przegród budowlanych wynosi 16°C.

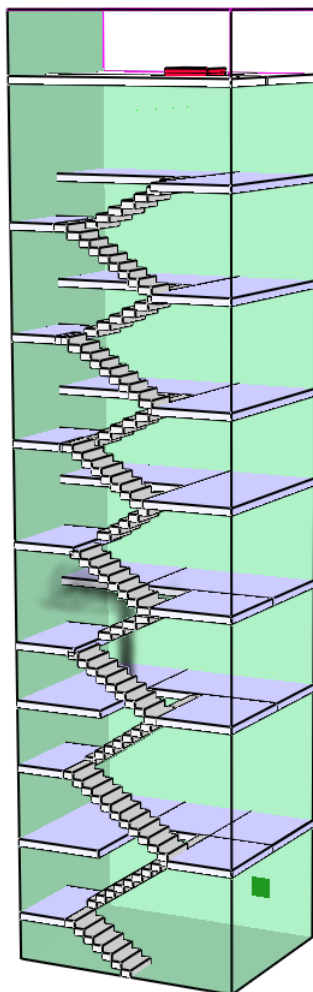
c) Warunki izotermiczne – założono temperaturę zewnętrzną 20°C. Temperatura zewnętrzna jest również temperaturą nawiewu do klatki schodowej. Temperatura wewnętrzna oraz przegród budowlanych również wynosi 20°C.

#### 4.7 Proces tworzenia modelu:

Przy modelowaniu 3-wymiarowej geometrii obiektu w programie FDS posłużono się aktualnymi rzutami architektonicznym. Przy budowie geometrii brano pod uwagę takie elementy jak ściany, drzwi czy schody. Jako źródło pożaru zastosowano powierzchnię typu: *burner* emitującą odpowiednie ilości dymu i ciepła w danym czasie. Jako napowietrzanie mechaniczne zastosowano *vent* z przypisaną powierzchnią *supply* która imituje wymuszony napływ powietrza o zadanej wydajności.

Domena obliczeniowa, w której przeprowadzana jest symulacja opisana została przy pomocy czterech połączonych siatek obliczeniowych. Program FDS bazuje na siatce strukturalnej prostopadłościowej. Całkowita liczba komórek w modelu wynosi 1 038 760. W przedmiotowej analizie wykorzystano siatki jednorodne. Poszczególne elementy budynku takie jak schody, ściany czy stropy są reprezentowane przez prostopadłościowe „bloki” o cechach materiałowych odpowiadających danemu elementowi. Klapy dymowe reprezentowane są jako otwory w stropie.

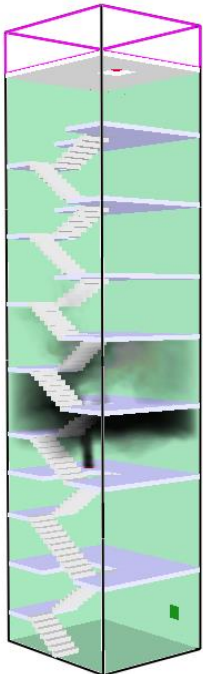
Na zewnątrz klatki zamodelowano „środowisko zewnętrzne” o zadanej temperaturze, wilgotności i ciśnieniu. Wyniki będą odczytywane przy wykorzystaniu płaszczyzn wynikowych umieszczonych na konkretnej wysokości umożliwiających sprawdzenie rozkładu danego parametru (widoczność) w dowolnych czasie przebiegu symulacji oraz za pomocą liniowego miernika zadymienia.

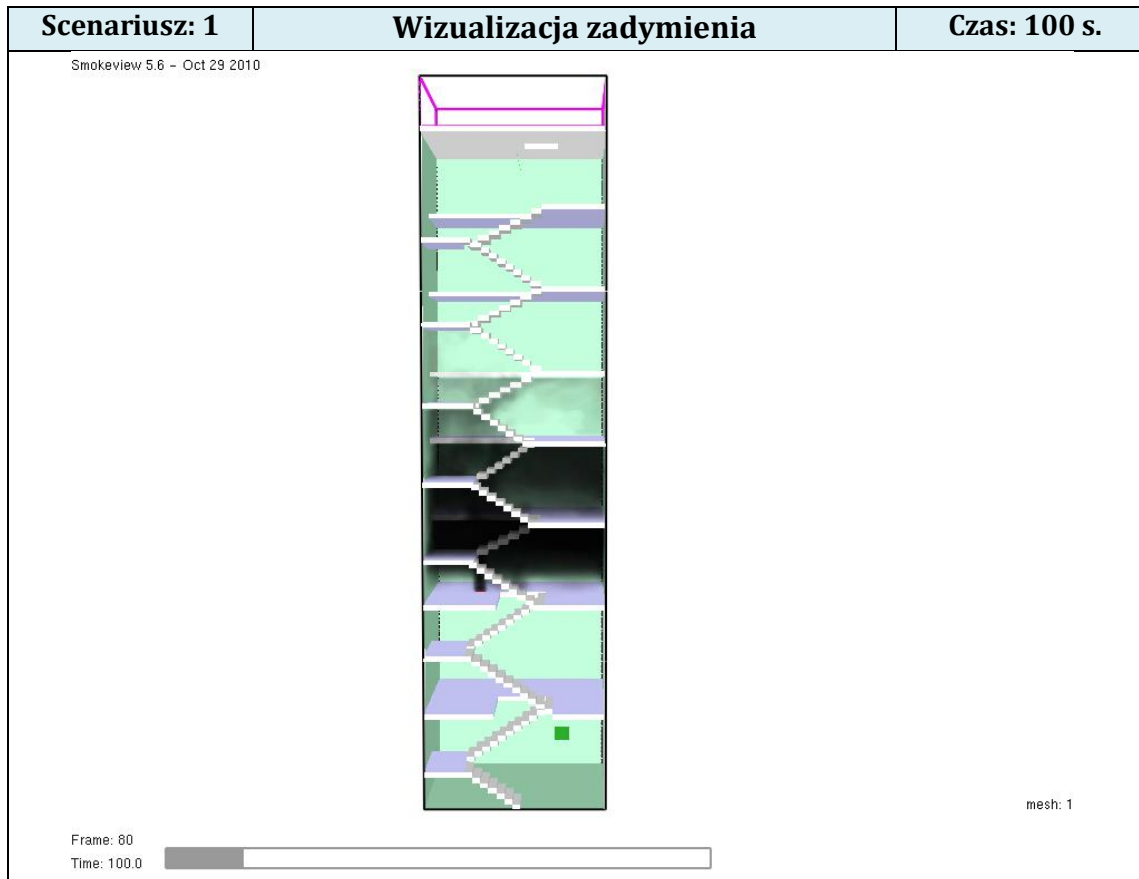


Rys.3 – model klatki KL1

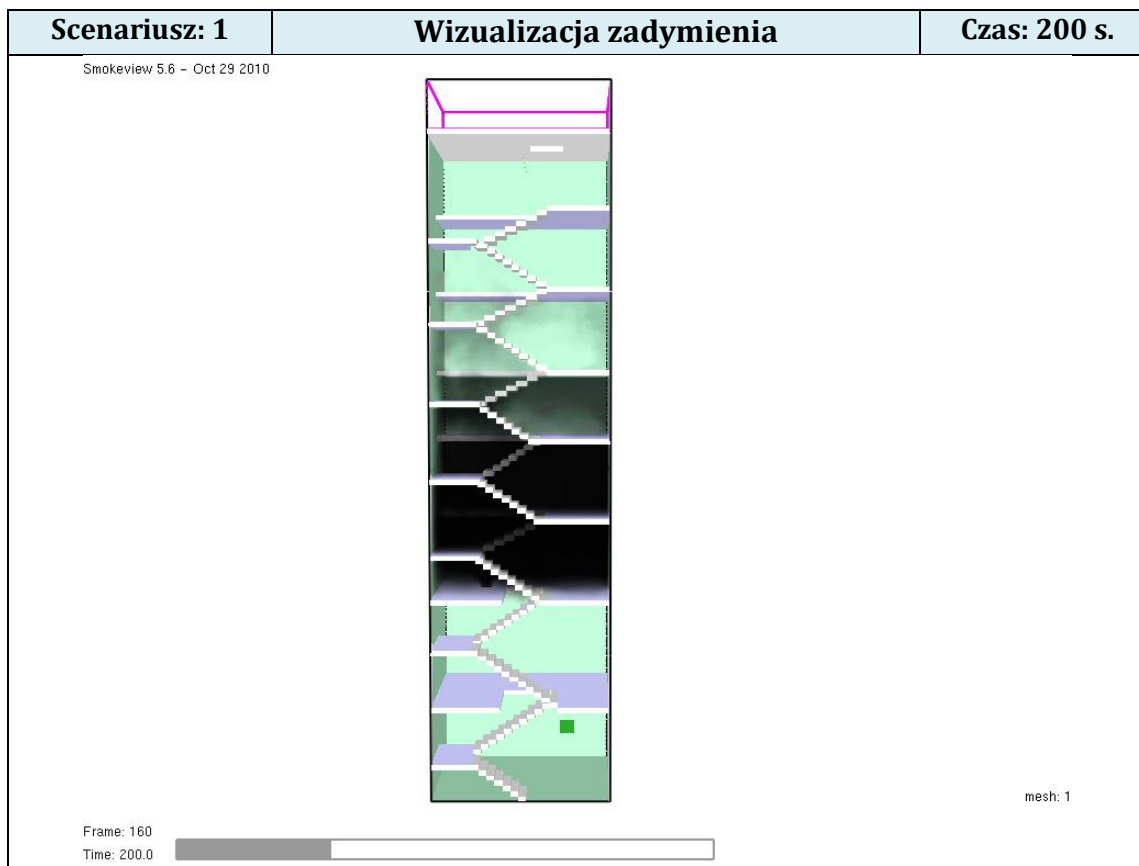
## 5. WYNIKI ANALIZY NUMERYCZNEJ CFD:

### 5.1 Wyniki dla Scenariusza I

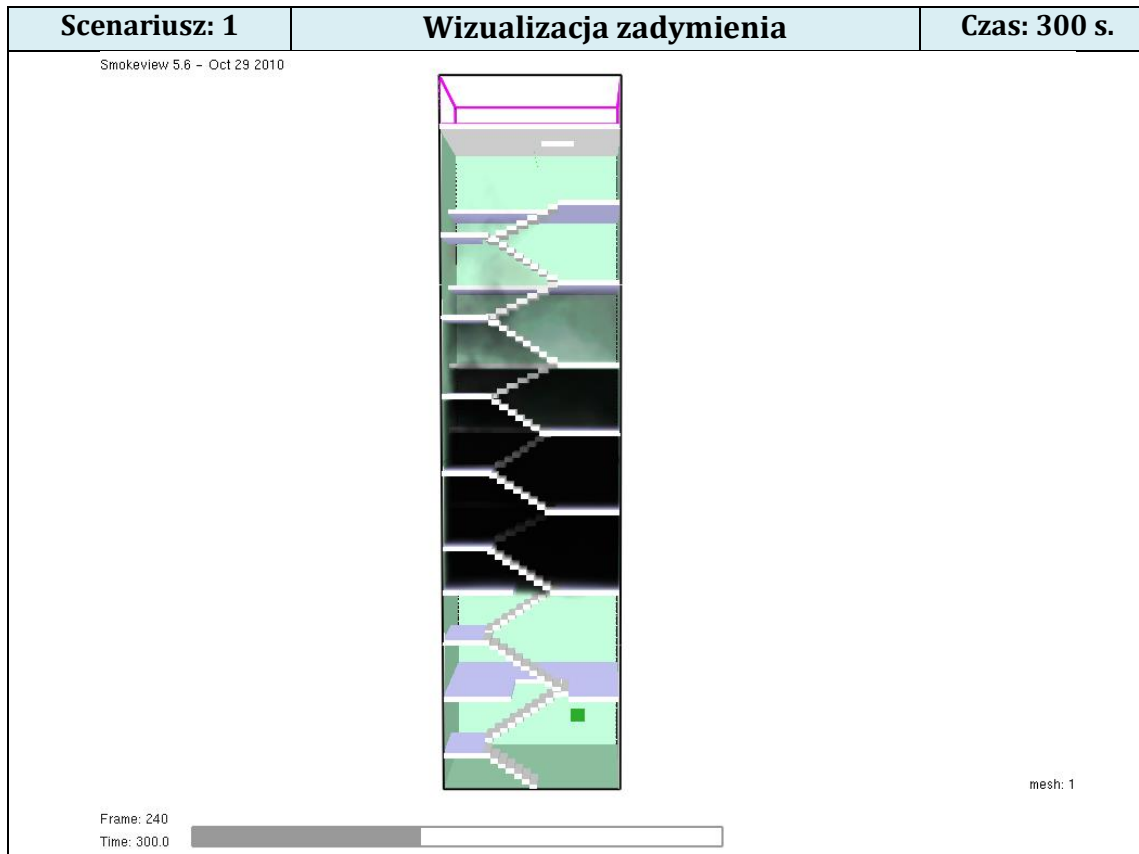
Scenariusz:	1
Oznaczenie badanego obiektu:	KL1
Warunki termiczne:	Warunki letnie – założono temperaturę zewnętrzną i temperaturę nawiewu równą 28°C. Temperatura wewnętrzna oraz przegród budowlanych wynosi 24°C.
Czas uruchomienia systemu oddymiania:	360 sekund
Całkowity czas symulacji:	900 sekund
Weryfikowane parametry:	Widoczność w przekroju klatki schodowej Transmitancja światła
Ilustracja graficzna:	 A 3D cutaway diagram of a staircase shaft. The shaft is a vertical rectangular structure with a central staircase. The shaft is divided into several horizontal sections by floor slabs. The interior surfaces of the shaft are colored green, while the floor slabs are colored purple. The diagram shows the airflow simulation results, with a color gradient indicating temperature or concentration levels. The top of the shaft is open, and the bottom is closed. The diagram is oriented vertically, showing the shaft's profile from the top to the bottom.



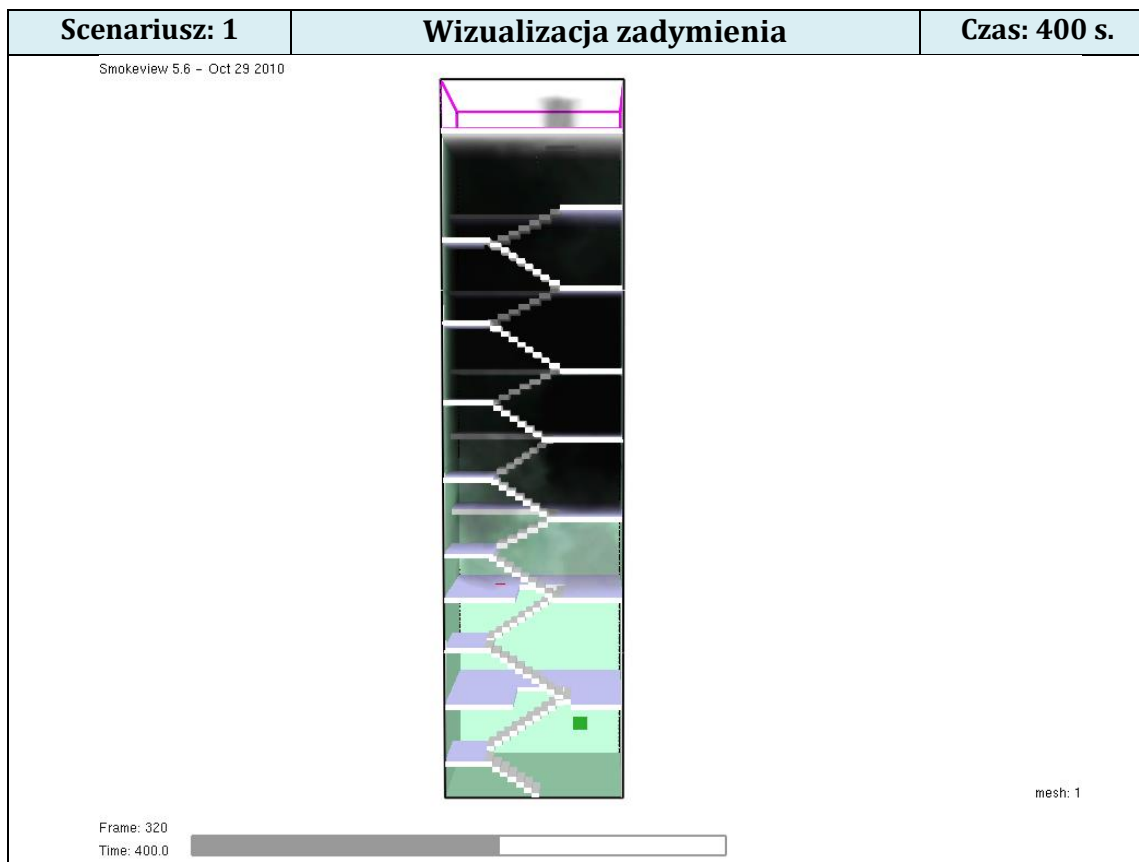
Rys.4 – Wizualizacja zadymienia w klatce KL1 - 100 sekunda



Rys.5 – Wizualizacja zadymienia w klatce KL1 - 200 sekunda

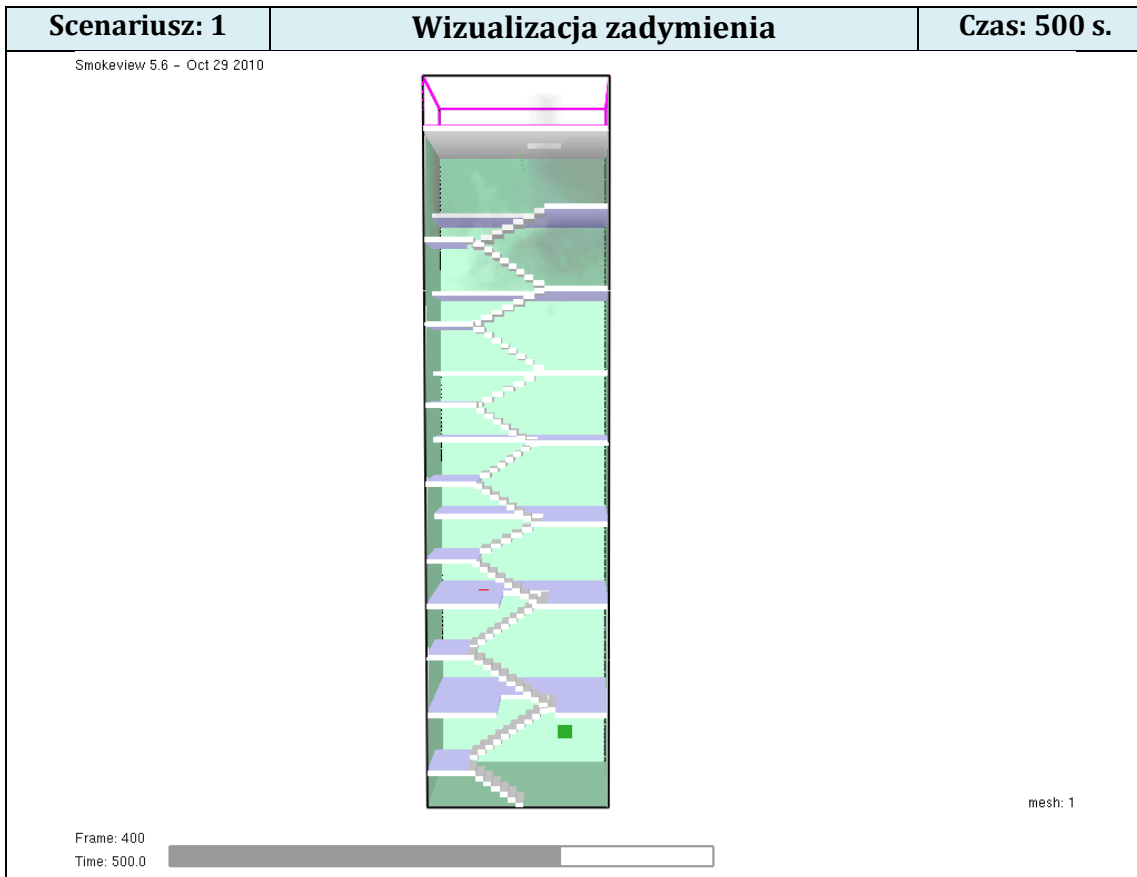


Rys.6 – Wizualizacja zadymienia w klatce KL1 - 300 sekunda

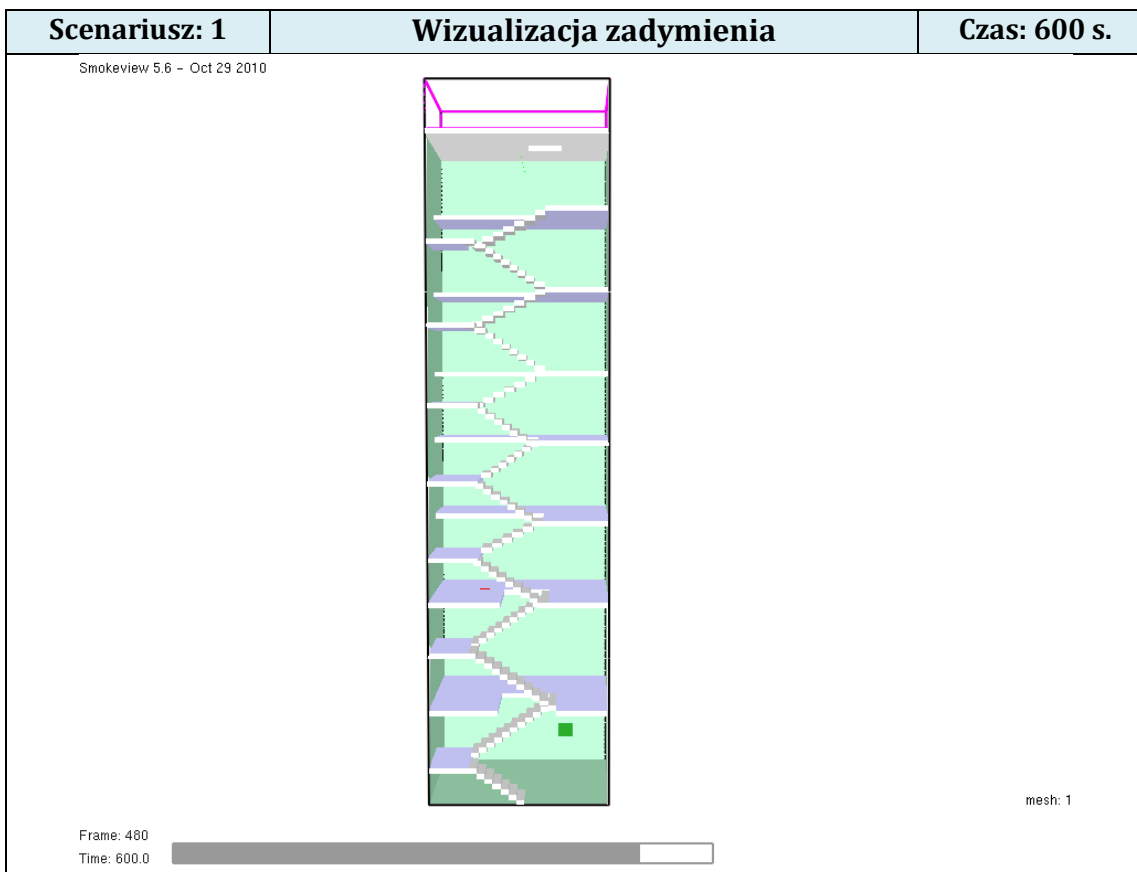


Rys.7 – Wizualizacja zadymienia w klatce KL1 - 400 sekunda

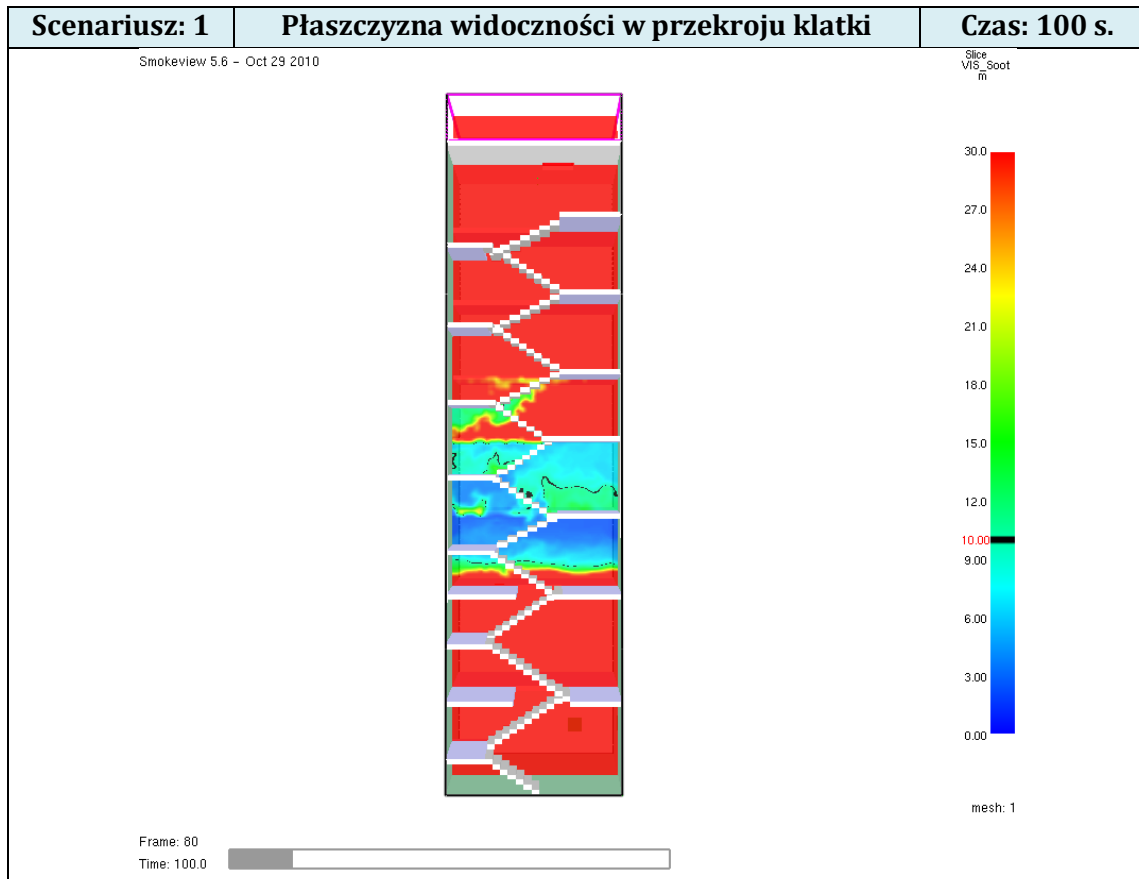




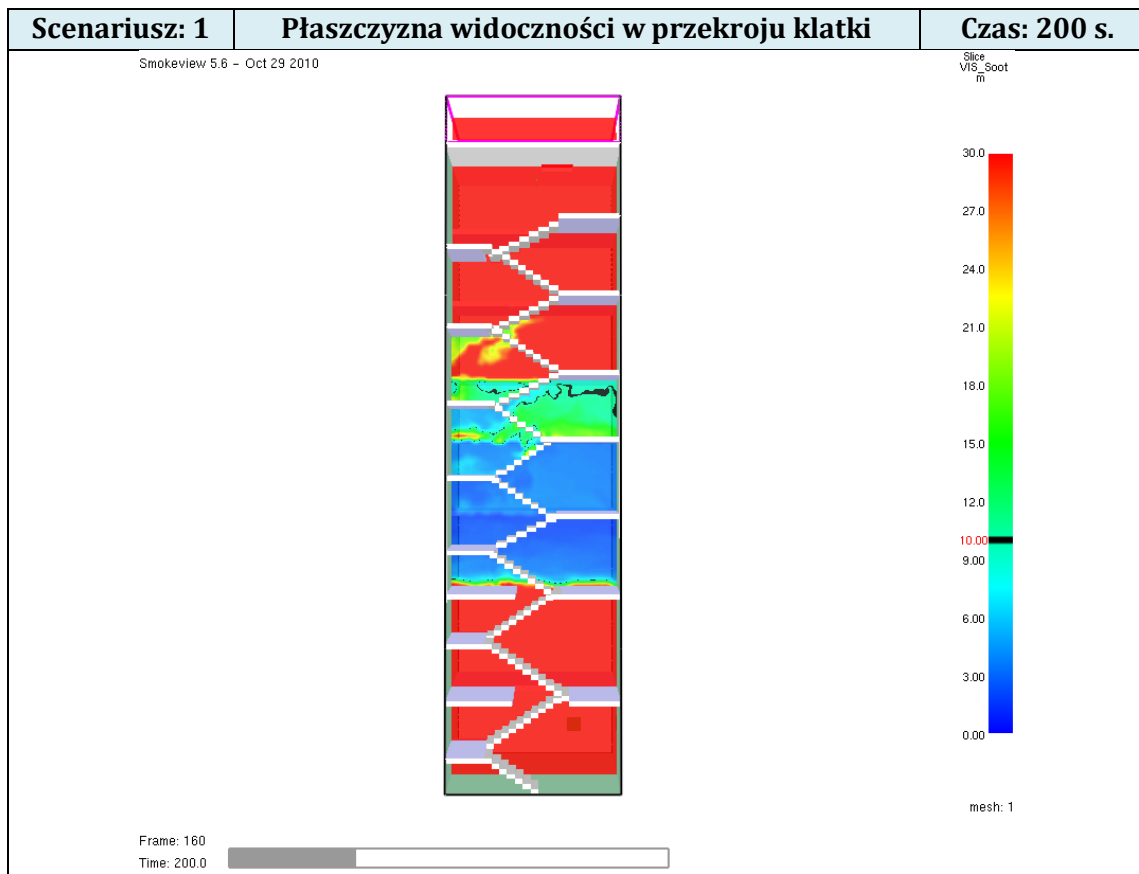
Rys.8 – Wizualizacja zadymienia w klatce KL1 - 500 sekunda



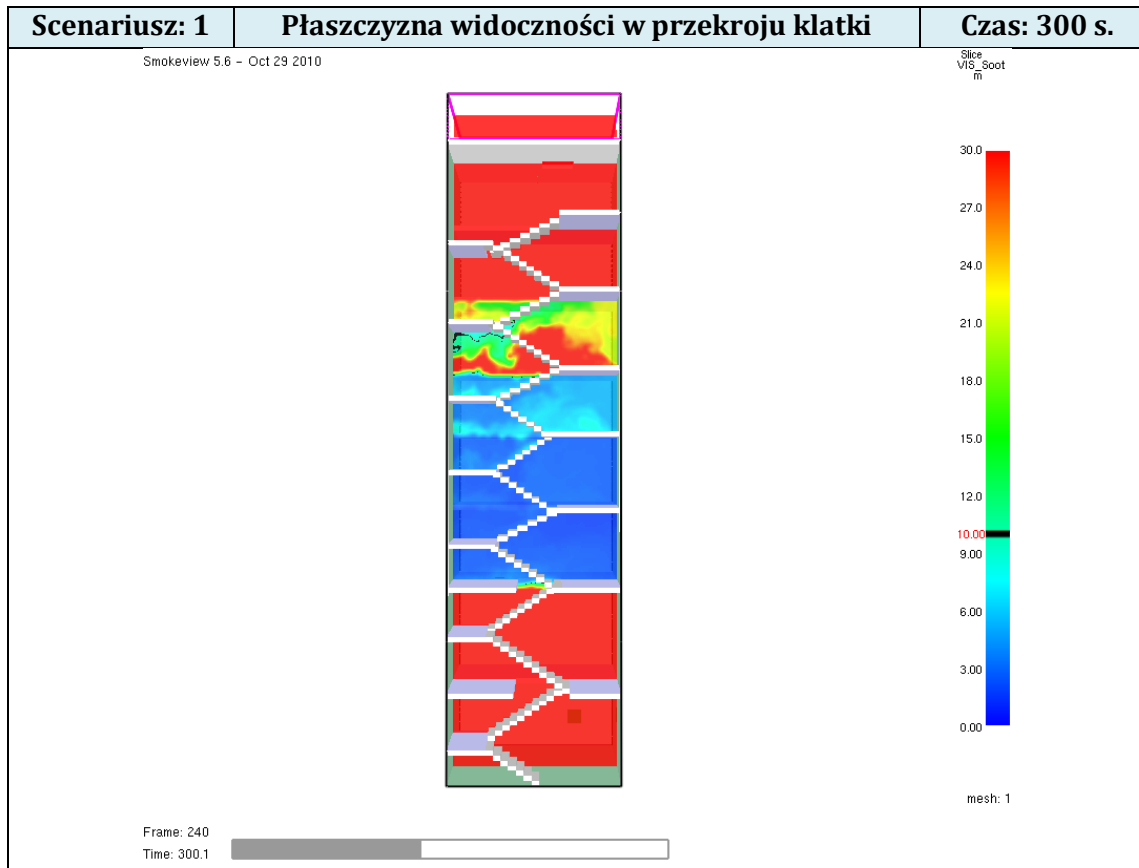
Rys.9 – Wizualizacja zadymienia w klatce KL1 - 600 sekunda



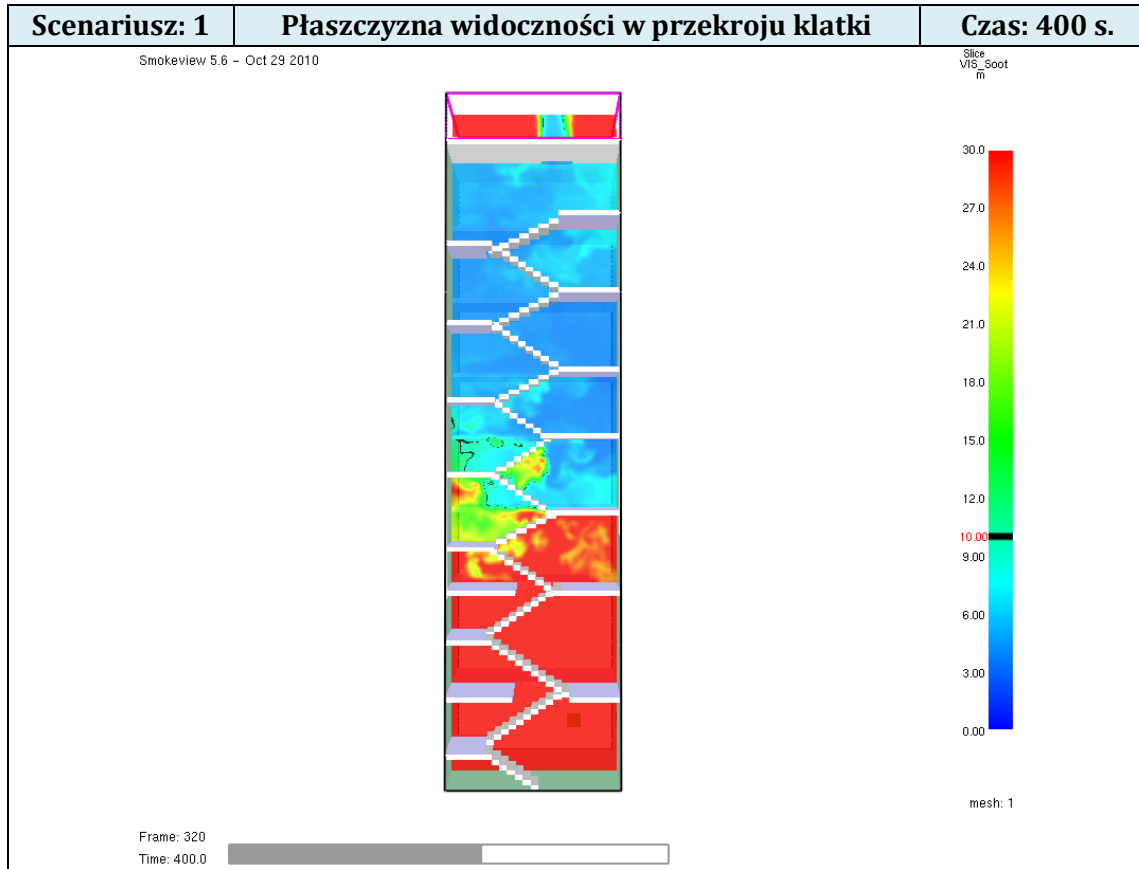
Rys.10 – Płaszczyzna widoczności w przekroju klatki KL1 - 100 sekunda



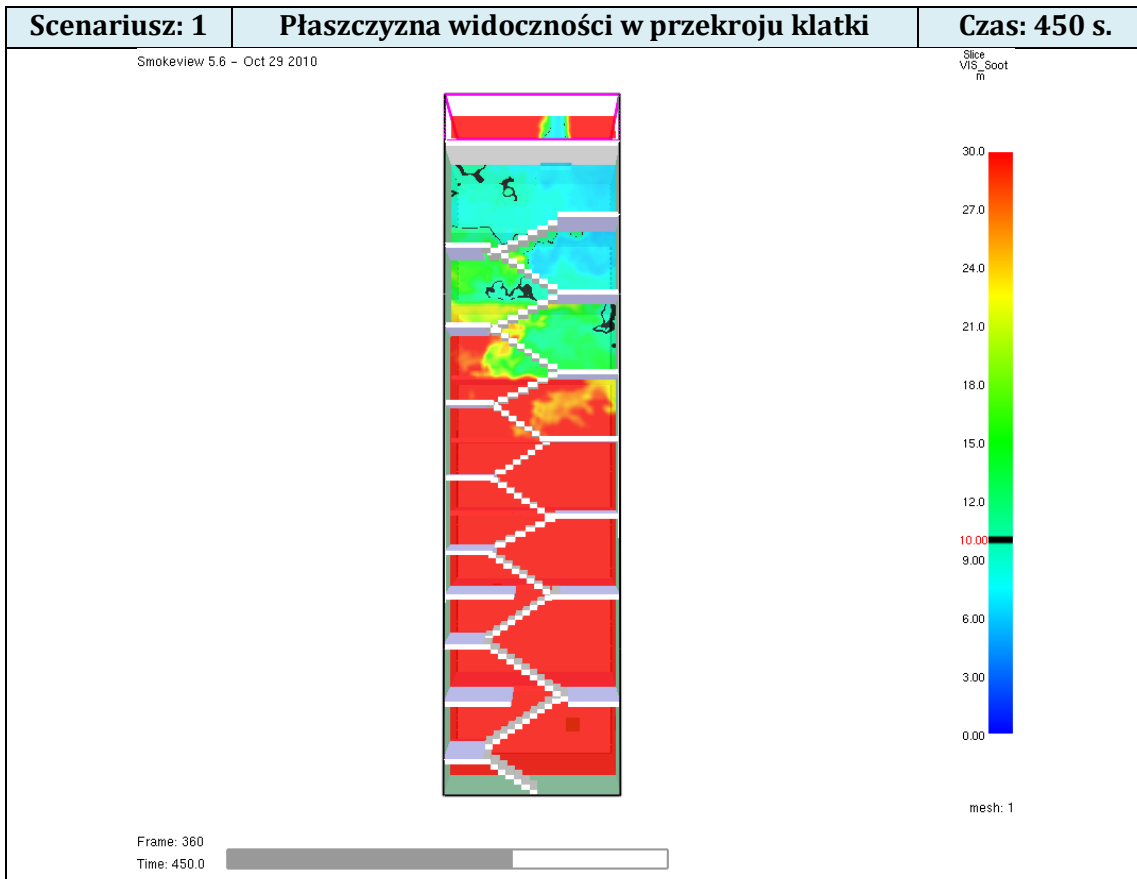
Rys.11 – Płaszczyzna widoczności w przekroju klatki KL1 - 200 sekunda



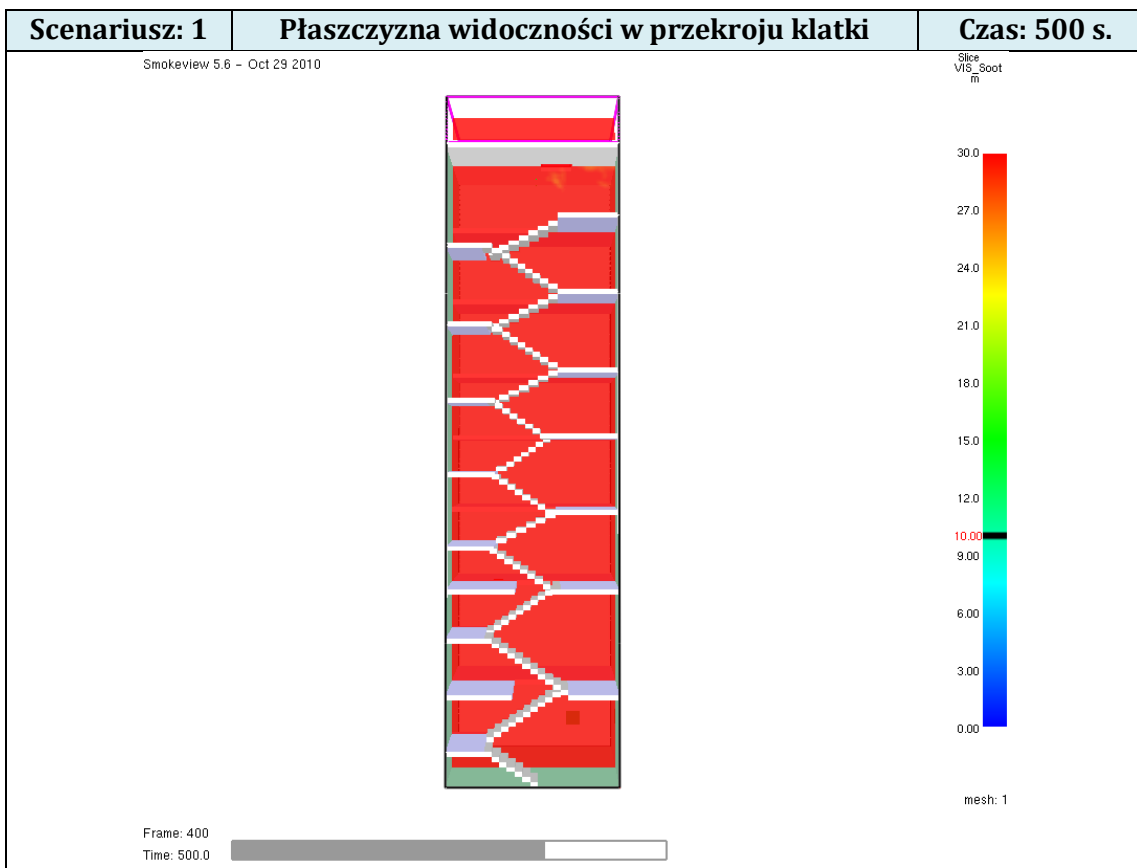
Rys.12 – Płaszczyzna widoczności w przekroju klatki KL1 - 300 sekunda



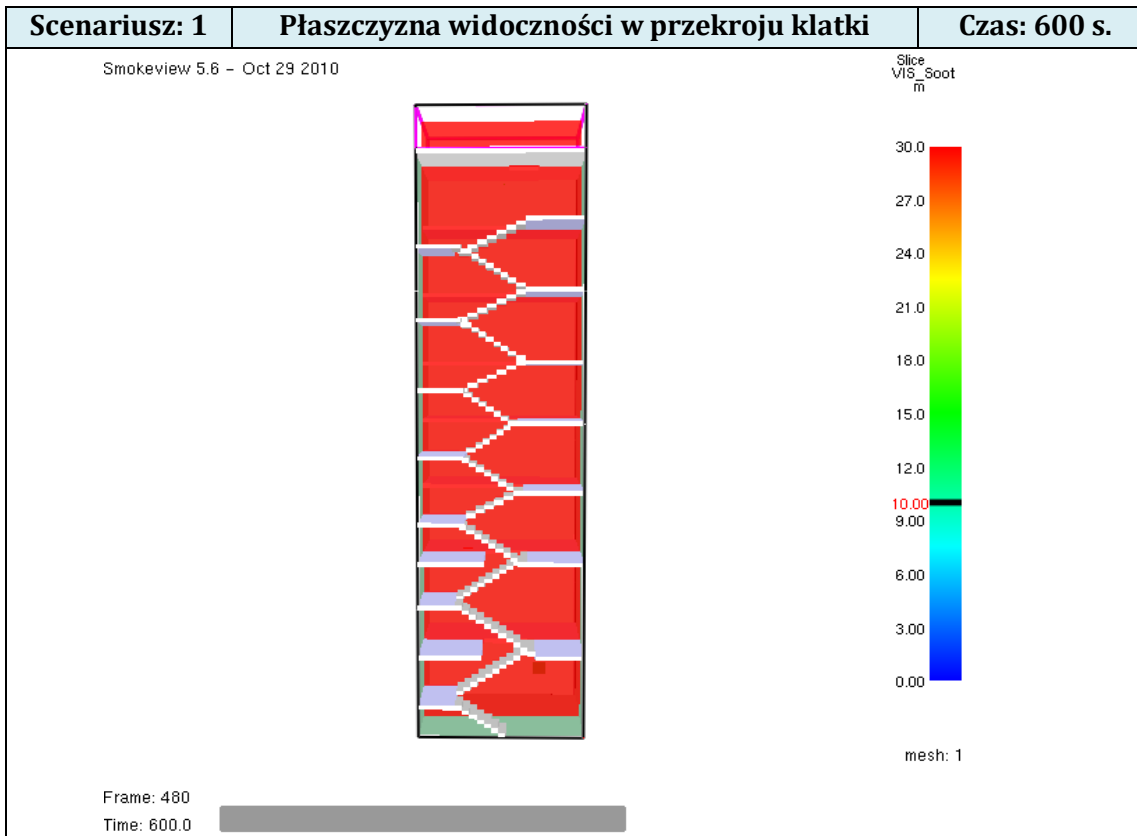
Rys.13 – Płaszczyzna widoczności w przekroju klatki KL1 - 400 sekunda



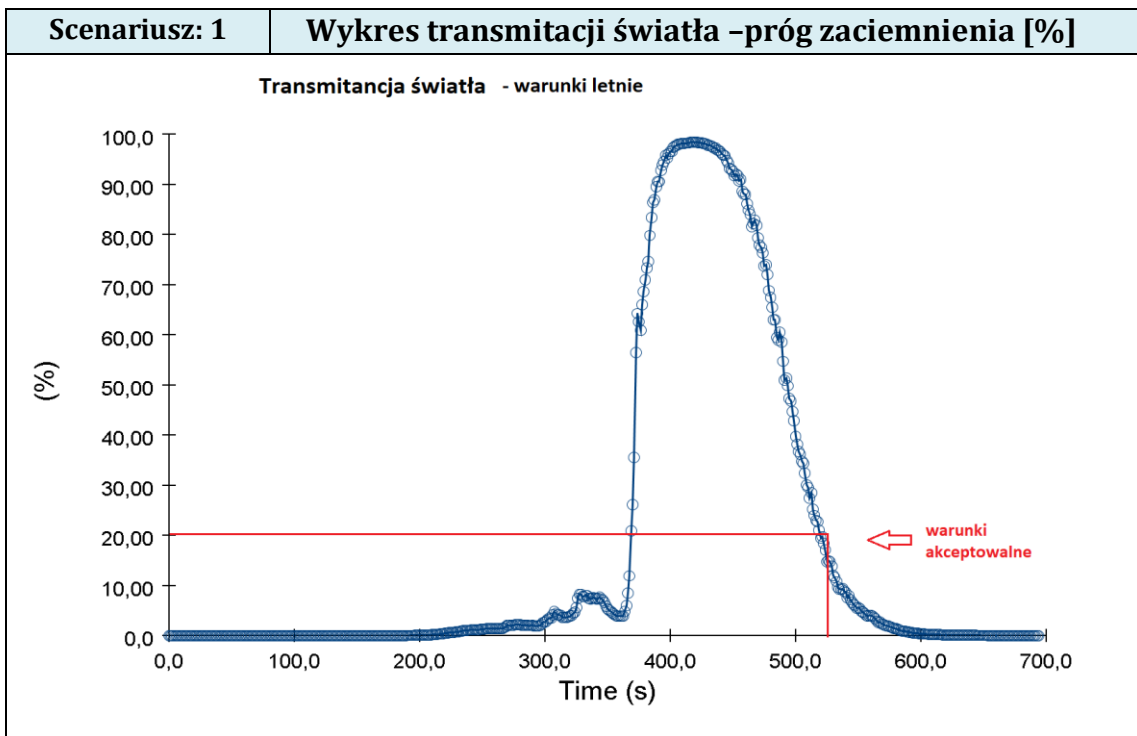
Rys.14 – Płaszczyzna widoczności w przekroju klatki KL1 - 450 sekunda



Rys.15 – Płaszczyzna widoczności w przekroju klatki KL1 - 500 sekunda

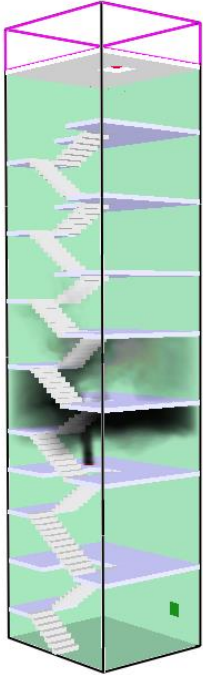


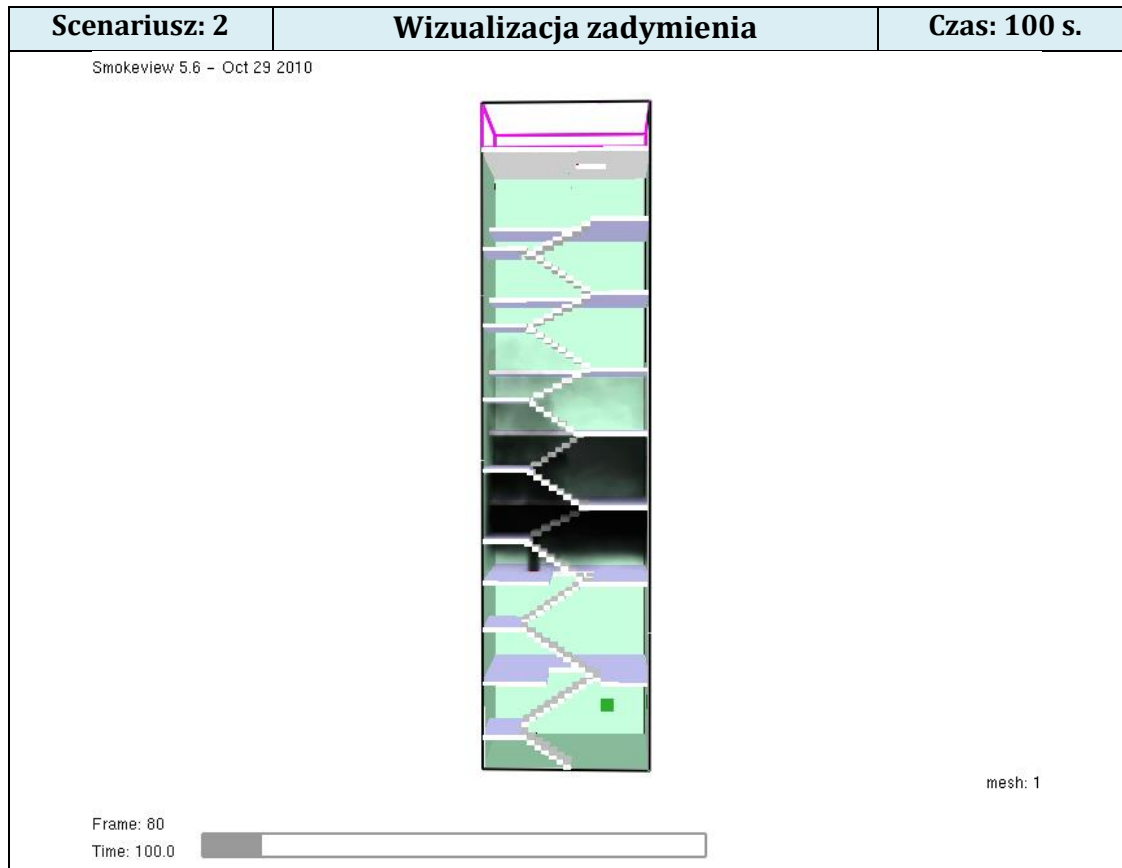
Rys.16 – Płaszczyzna widoczności w przekroju klatki KL1 - 600 sekunda



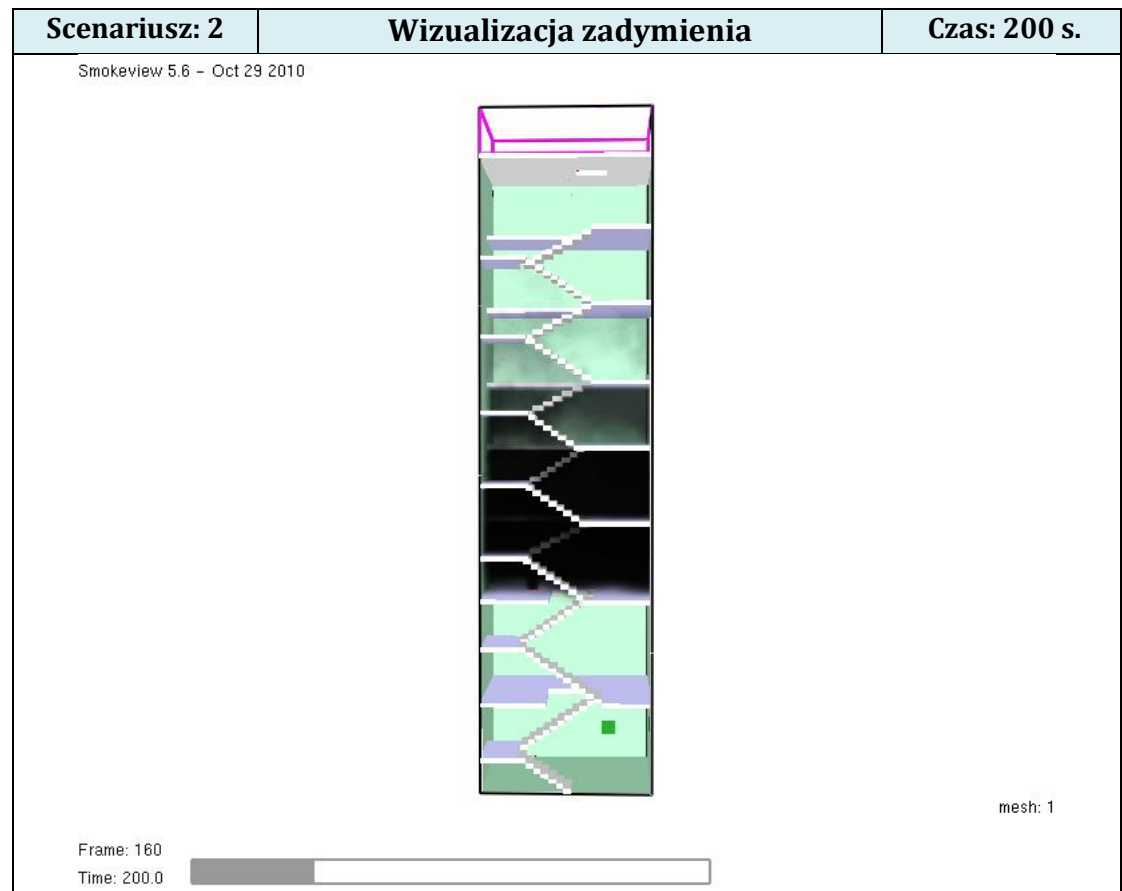
Rys.17 – Wykres transmitancji światła na wys. 2m od posadzki ostatniej kondygnacji

## 5.2 Wyniki dla Scenariusza II

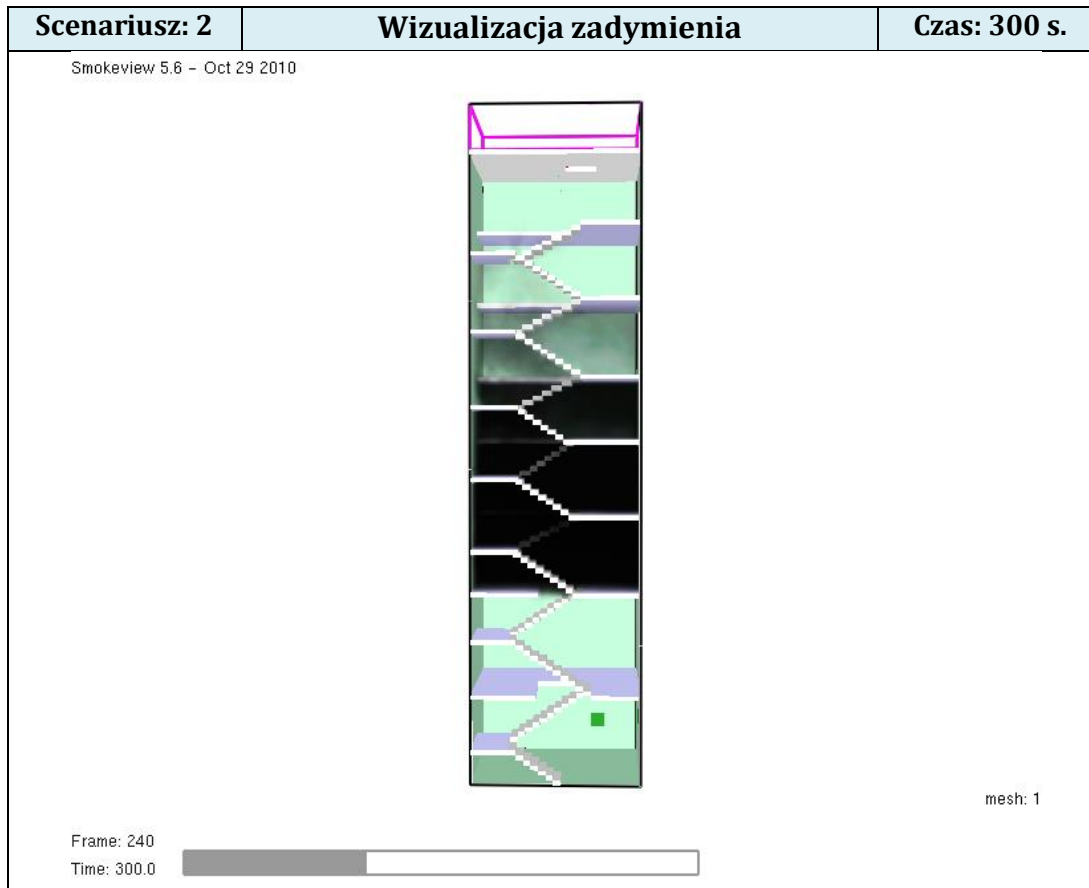
Scenariusz:	2
Oznaczenie badanego obiektu:	KL1
Warunki termiczne:	Warunki zimowe – założono temperaturę zewnętrzną i temperaturę nawiewu równą - 16°C. Temperatura wewnętrzna oraz przegród budowlanych wynosi 20°C.
Czas uruchomienia systemu oddymiania:	360 sekund
Całkowity czas symulacji:	900 sekund
Weryfikowane parametry:	Widoczność w przekroju klatki schodowej Transmitancja światła
Ilustracja graficzna:	 A 3D cutaway diagram of a staircase shaft. The shaft is a vertical rectangular structure with a central staircase. The diagram shows the internal structure, including the staircase and the surrounding walls and floor. The shaft is filled with a light green color, representing smoke or air flow. The top of the shaft is open, and the bottom is closed. The diagram is oriented vertically, showing the shaft from the top down to the bottom.



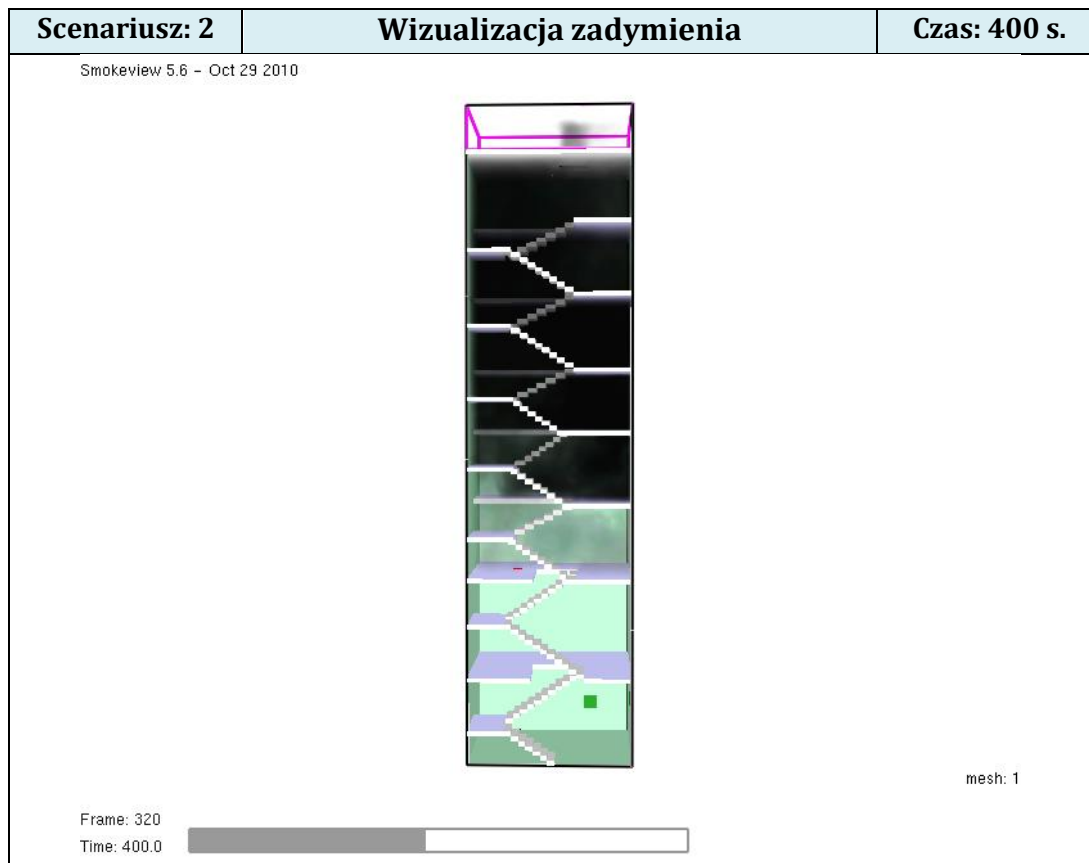
Rys.18 – Wizualizacja zadymienia w klatce K12 - 100 sekunda



Rys.19 – Wizualizacja zadymienia w klatce KL1 - 200 sekunda

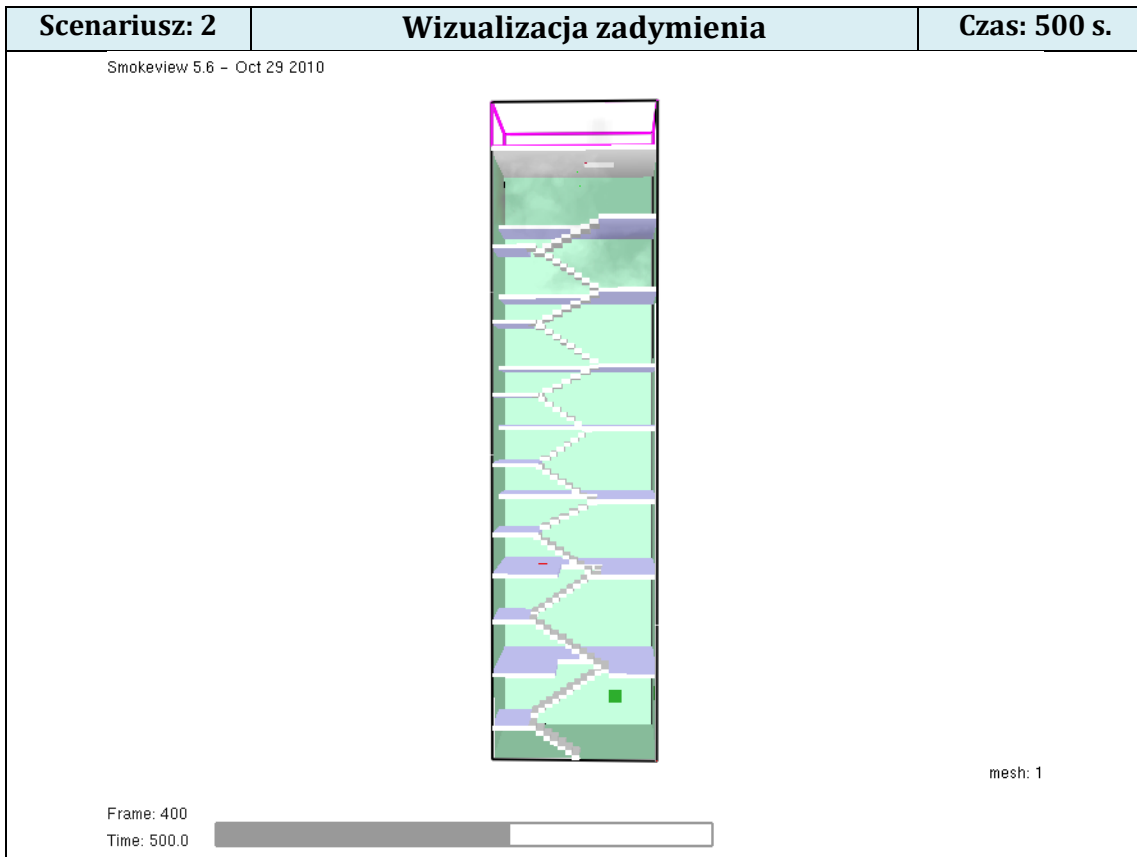


Rys.20 – Wizualizacja zadymienia w klatce KL1 - 300 sekunda

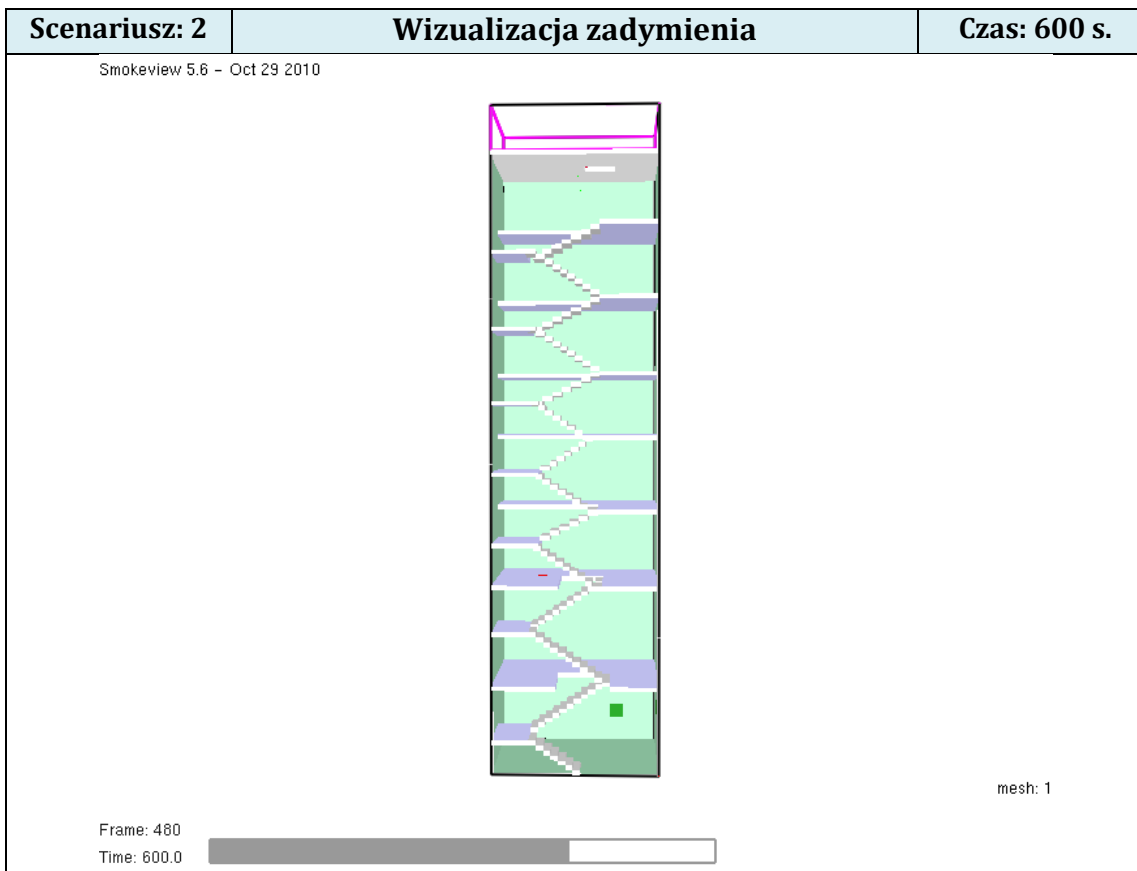


Rys.21 – Wizualizacja zadymienia w klatce KL1 - 400 sekunda

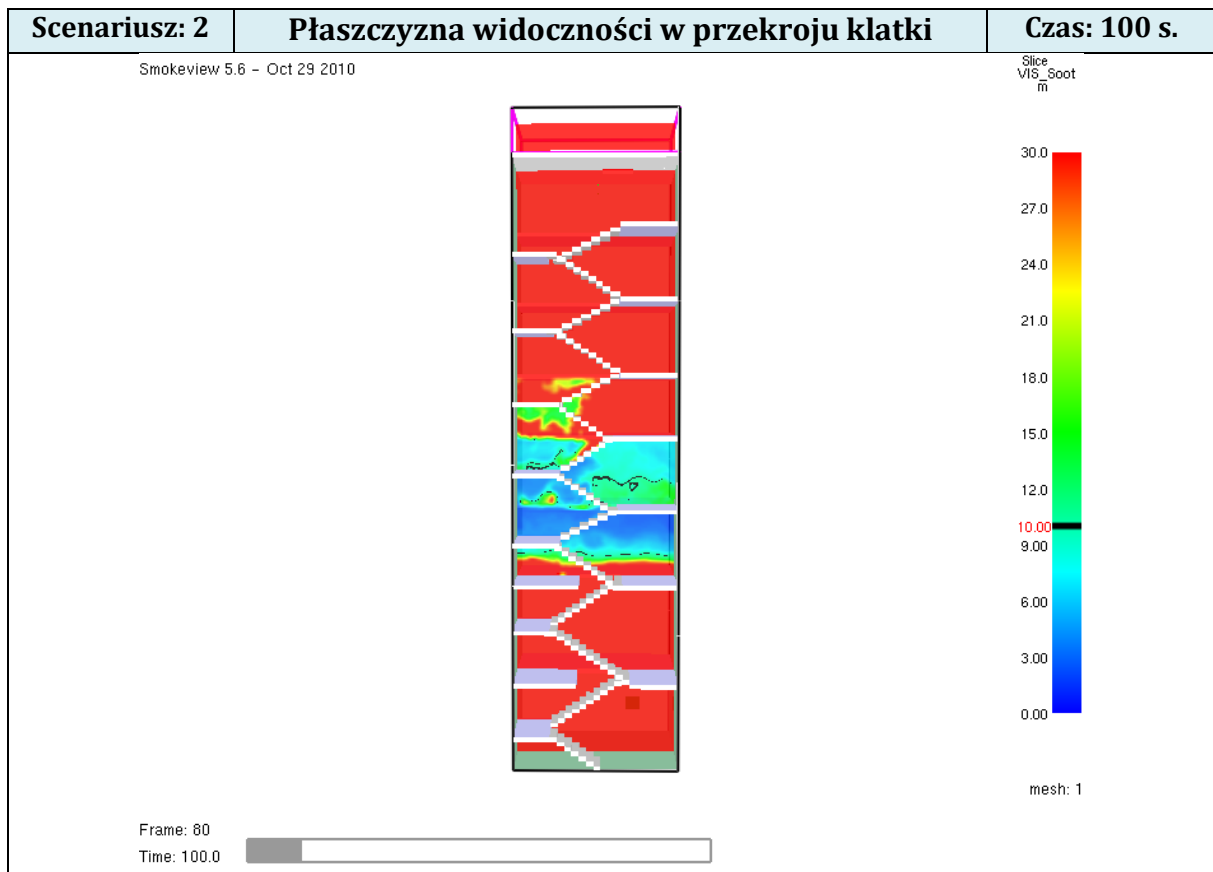




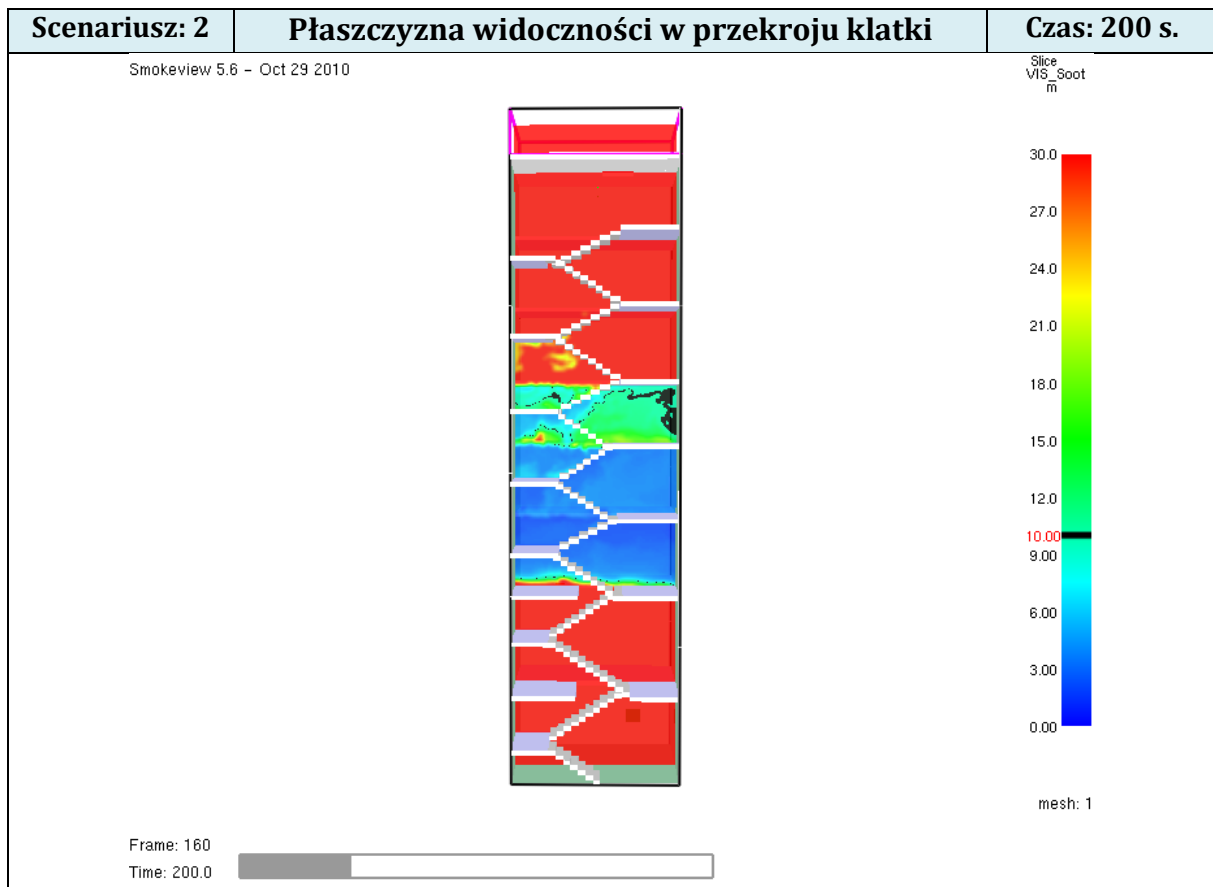
Rys.22 – Wizualizacja zadymienia w klatce KL1 - 500 sekunda



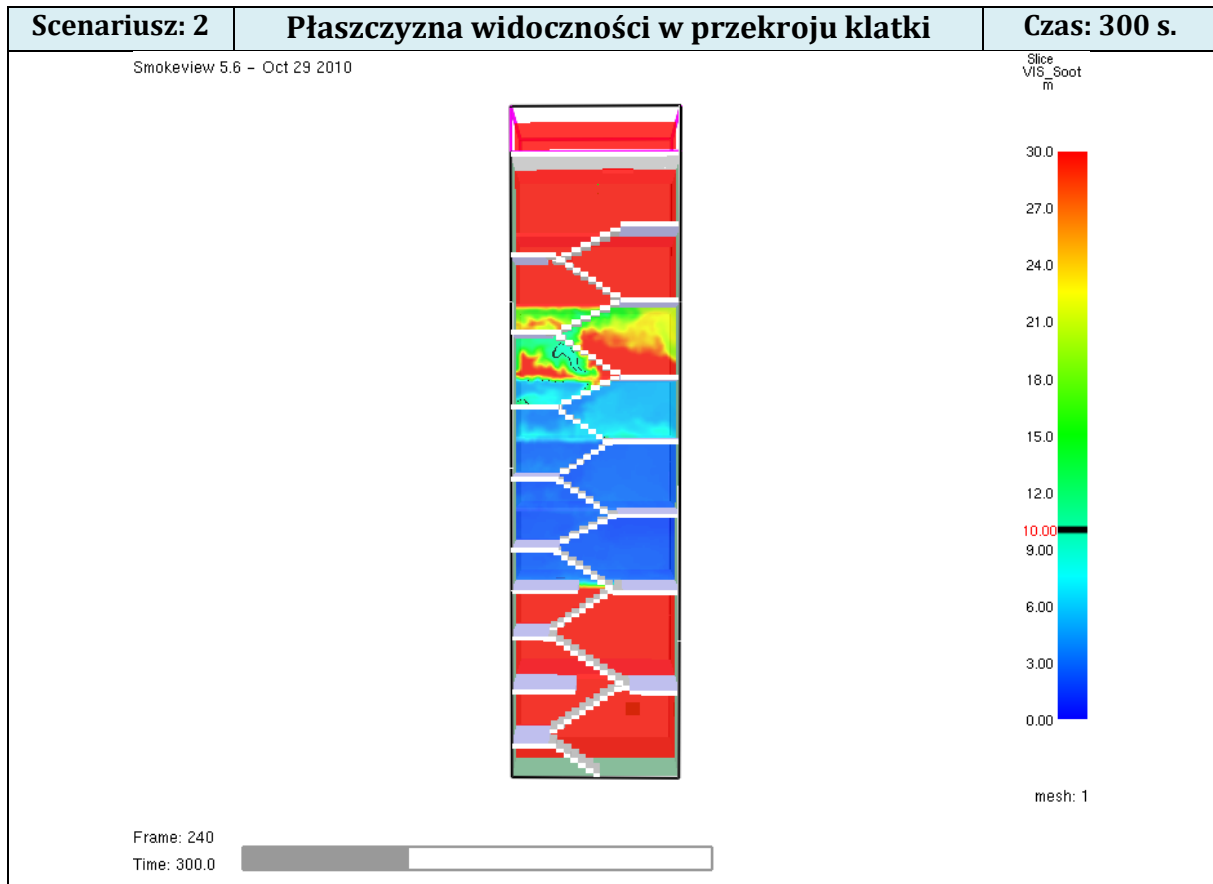
Rys.23 – Wizualizacja zadymienia w klatce KL1 - 600 sekunda



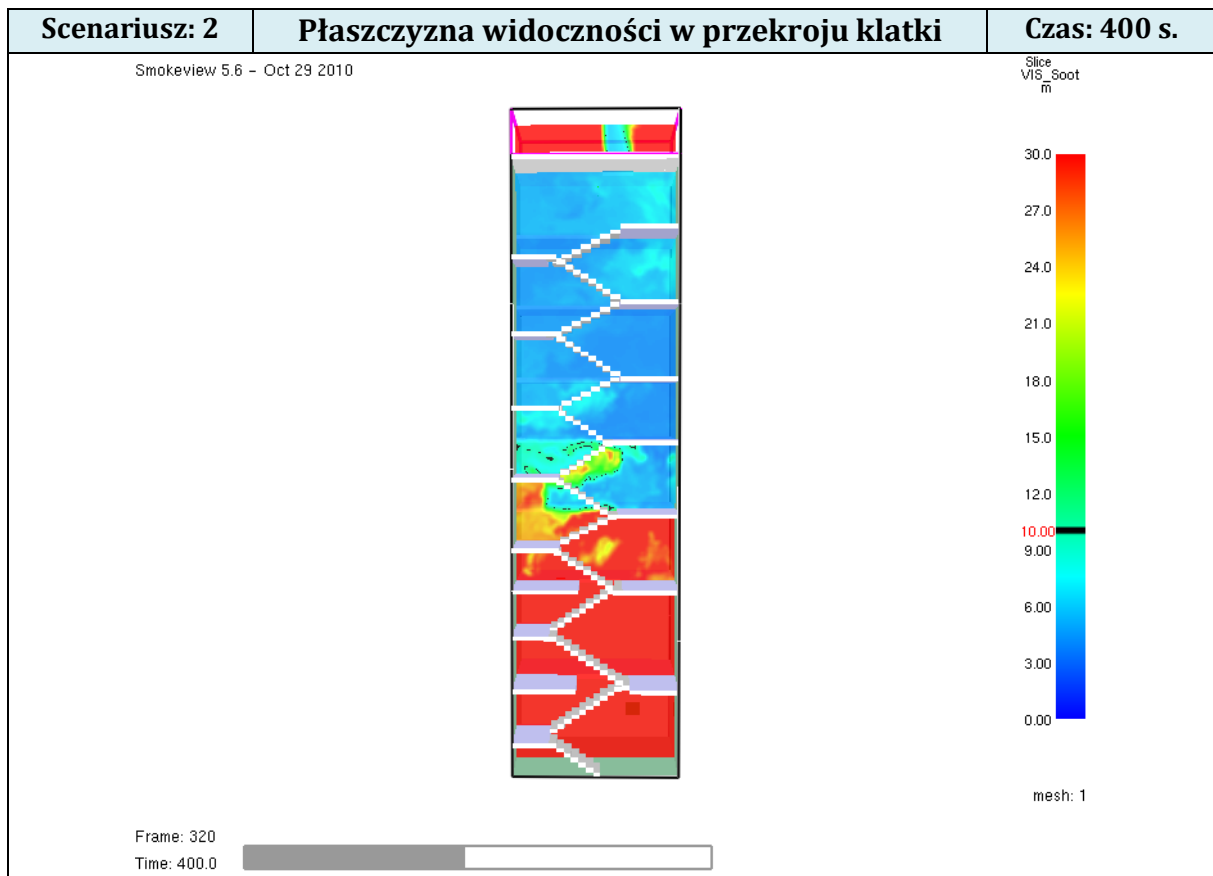
Rys.24 – Płaszczyzna widoczności w przekroju klatki KL1 - 100 sekunda



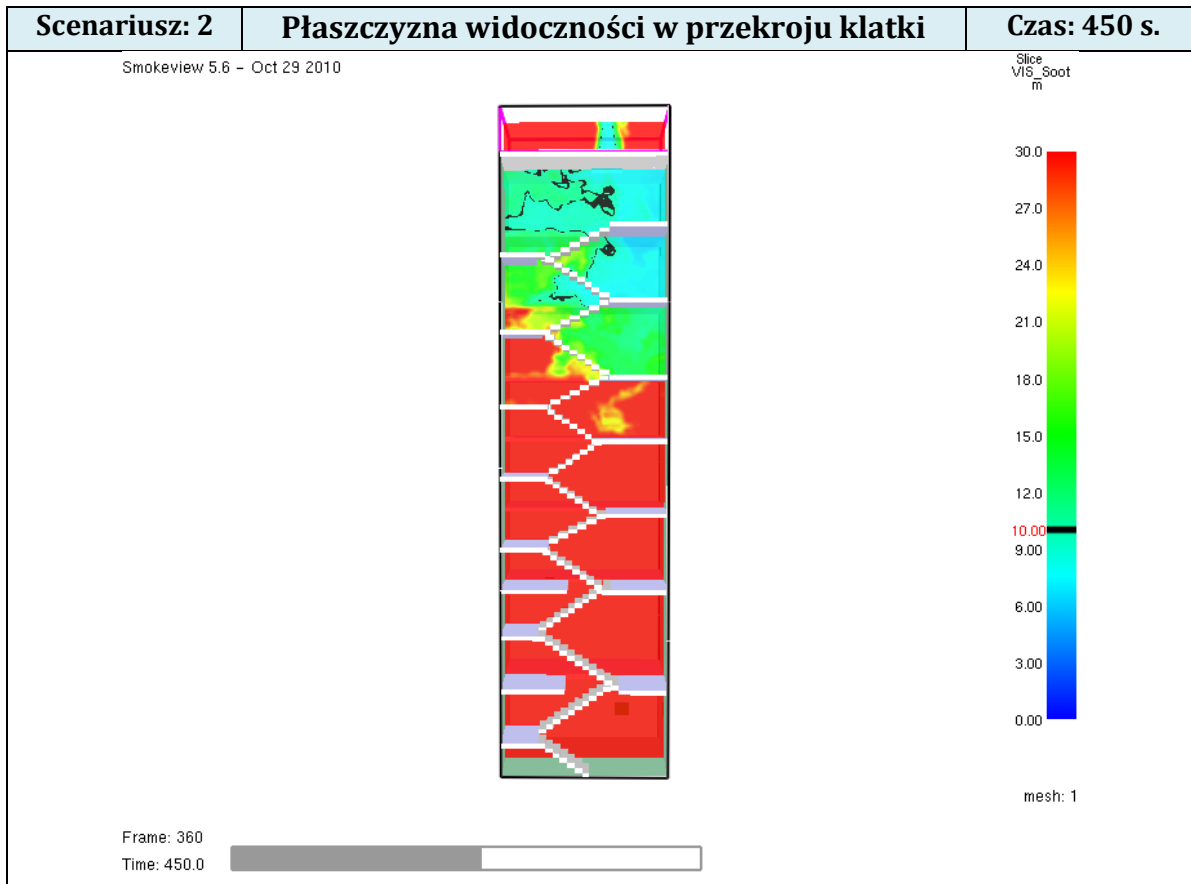
Rys.25 – Płaszczyzna widoczności w przekroju klatki KL1 - 200 sekunda



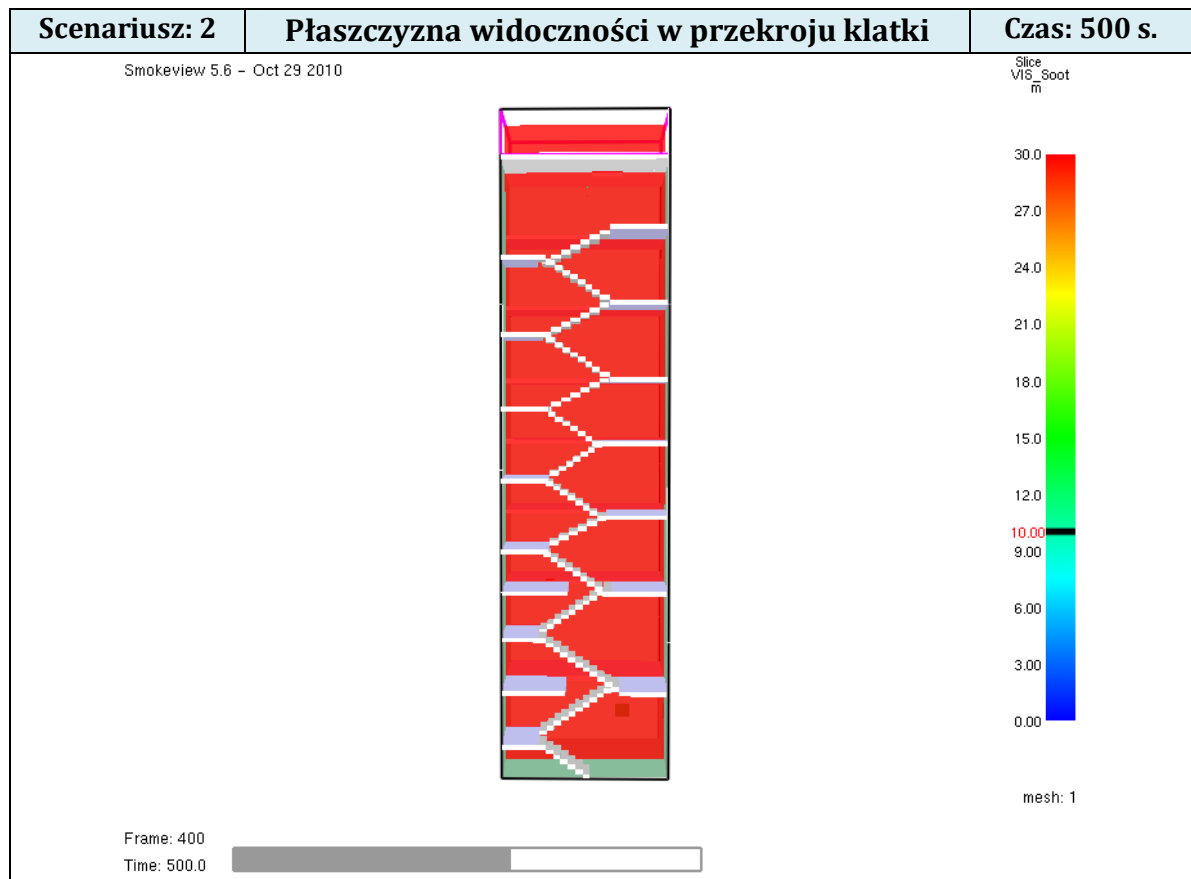
Rys.26 – Płaszczyzna widoczności w przekroju klatki KL1 - 300 sekunda



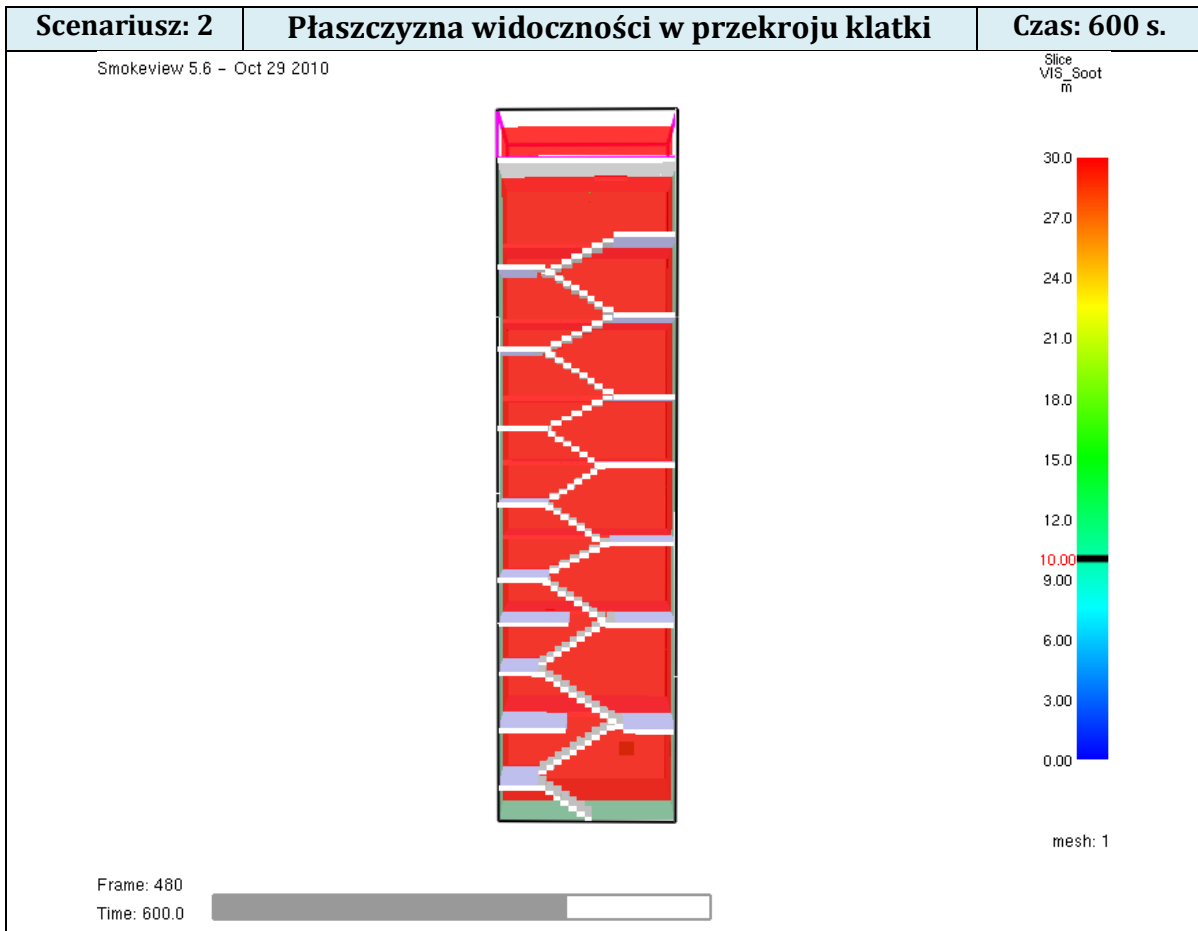
Rys.27 – Płaszczyzna widoczności w przekroju klatki K12 - 400 sekunda



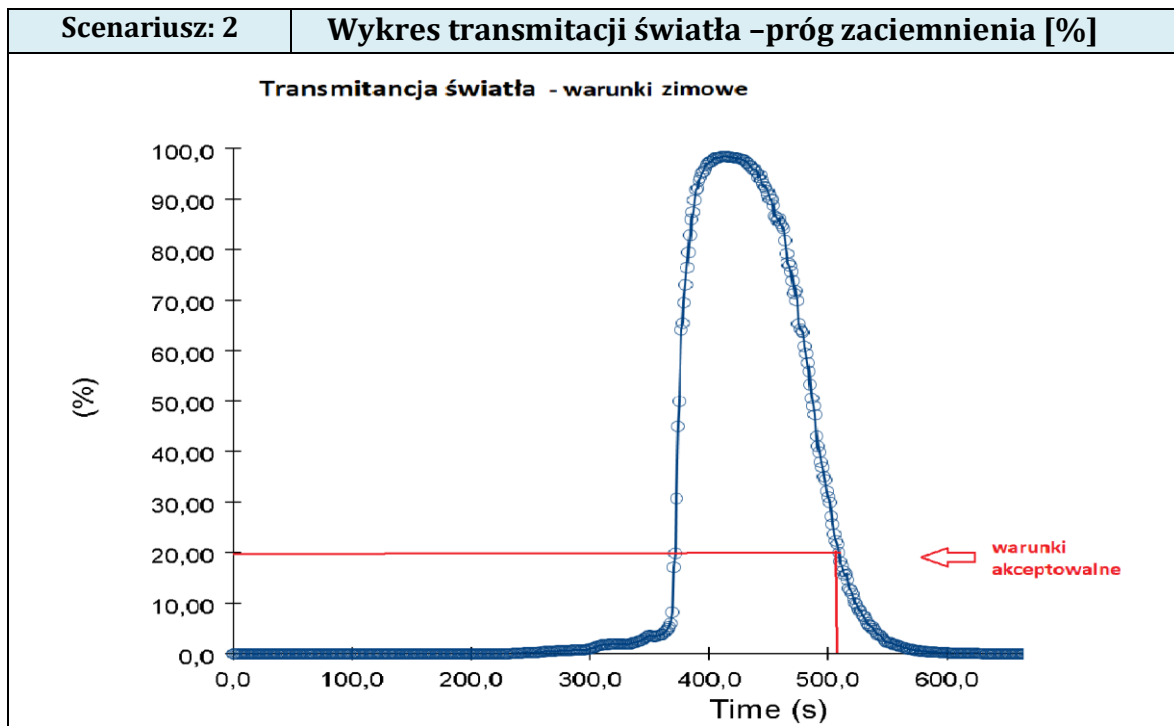
Rys.28 – Płaszczyzna widoczności w przekroju klatki KL1 - 450 sekunda



Rys.29 – Płaszczyzna widoczności w przekroju klatki KL1 - 500 sekunda

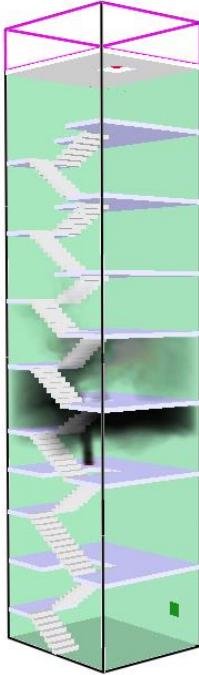


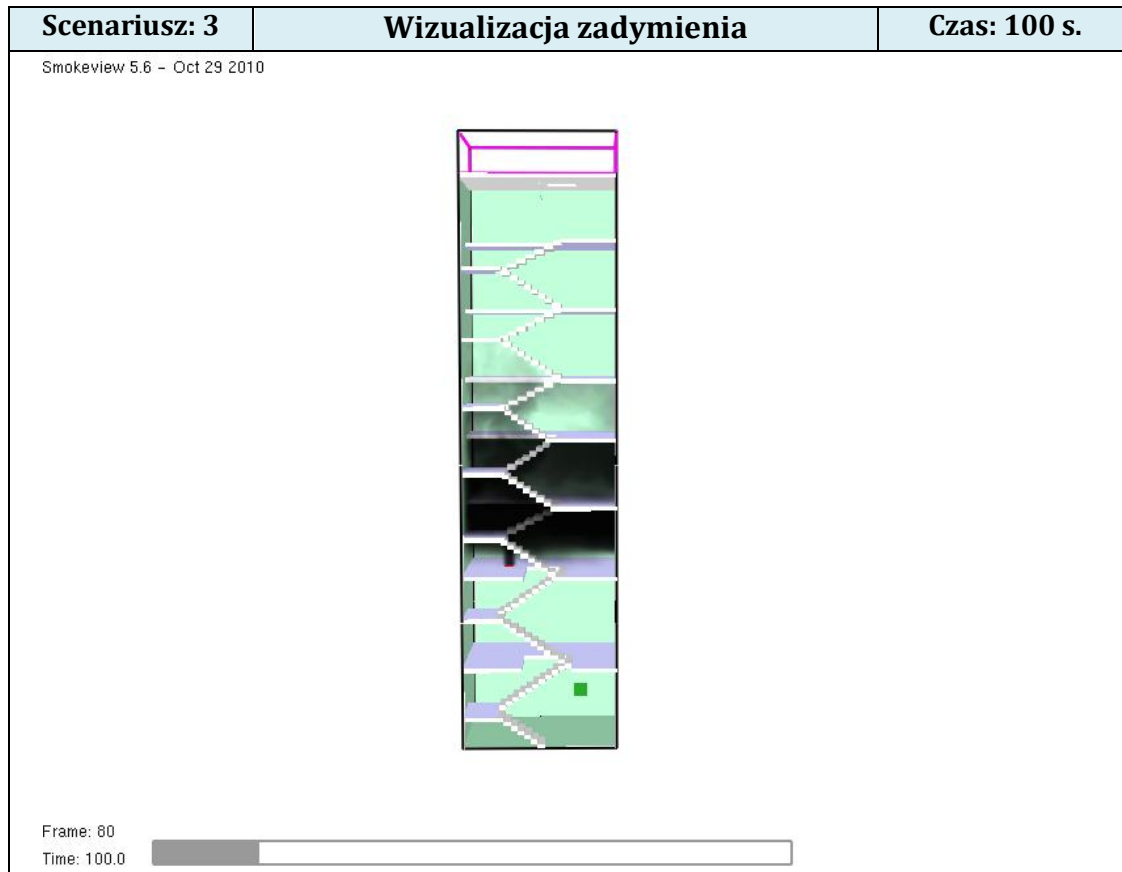
Rys.30 – Płaszczyzna widoczności w przekroju klatki KL1 - 600 sekunda



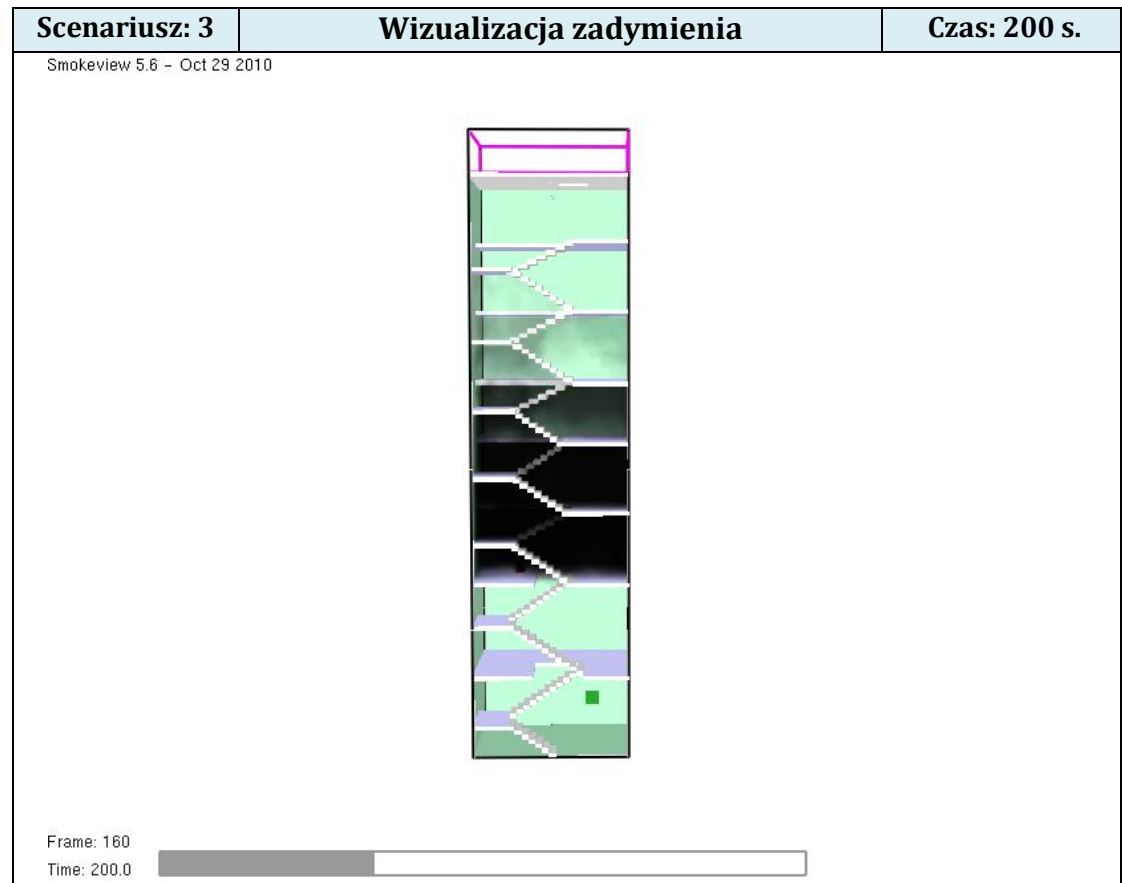
Rys.31 – Wykres transmitancji światła na wys. 2m od posadzki ostatniej kondygnacji klatki schodowej

### 5.3 Wyniki dla Scenariusza III

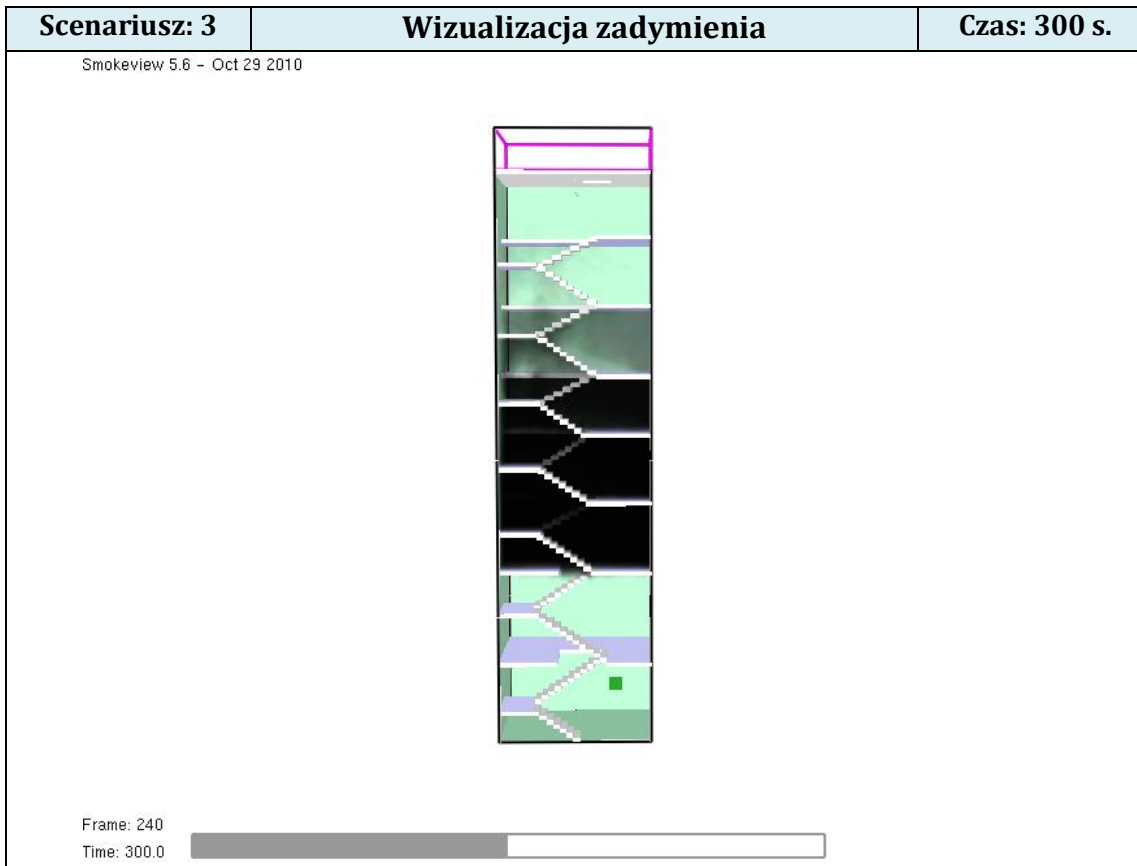
Scenariusz:	3
Oznaczenie badanego obiektu:	KL1
Warunki termiczne:	Warunki zimowe – założono temperaturę zewnętrzną i temperaturę nawiewu równą - 16°C. Temperatura wewnętrzna oraz przegród budowlanych wynosi 20°C.
Czas uruchomienia systemu oddymiania:	360 sekund
Całkowity czas symulacji:	900 sekund
Weryfikowane parametry:	Widoczność w przekroju klatki schodowej Transmitancja światła
Ilustracja graficzna:	 A 3D cutaway diagram of a staircase shaft. The shaft is a vertical rectangular structure with a central staircase. The diagram shows the internal structure, including the staircase and the surrounding walls and ceiling. The shaft is filled with a light green color, representing smoke or air flow. The top of the shaft is open, and the bottom is closed. The diagram is oriented vertically, showing the shaft from a side perspective.



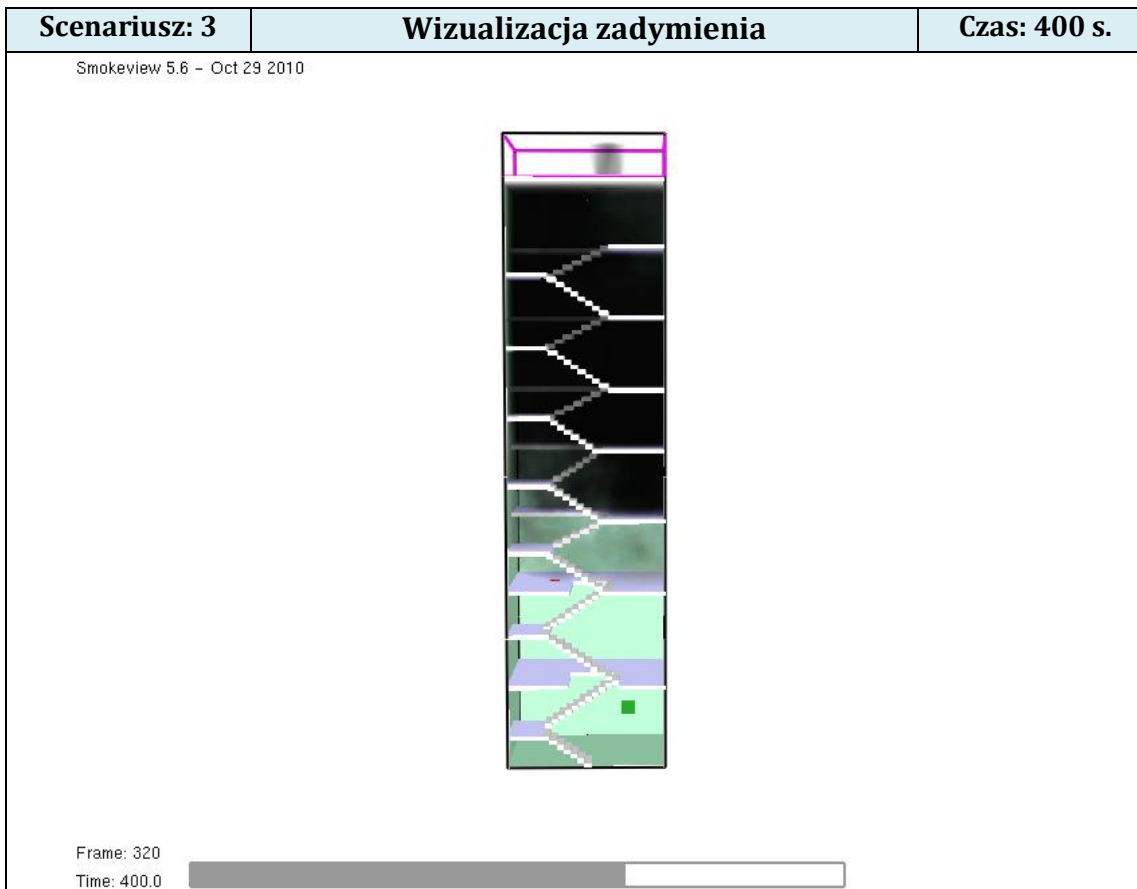
Rys.32 – Wizualizacja zadymienia w klatce KL1 - 100 sekunda



Rys.33 – Wizualizacja zadymienia w klatce KL1 - 200 sekunda

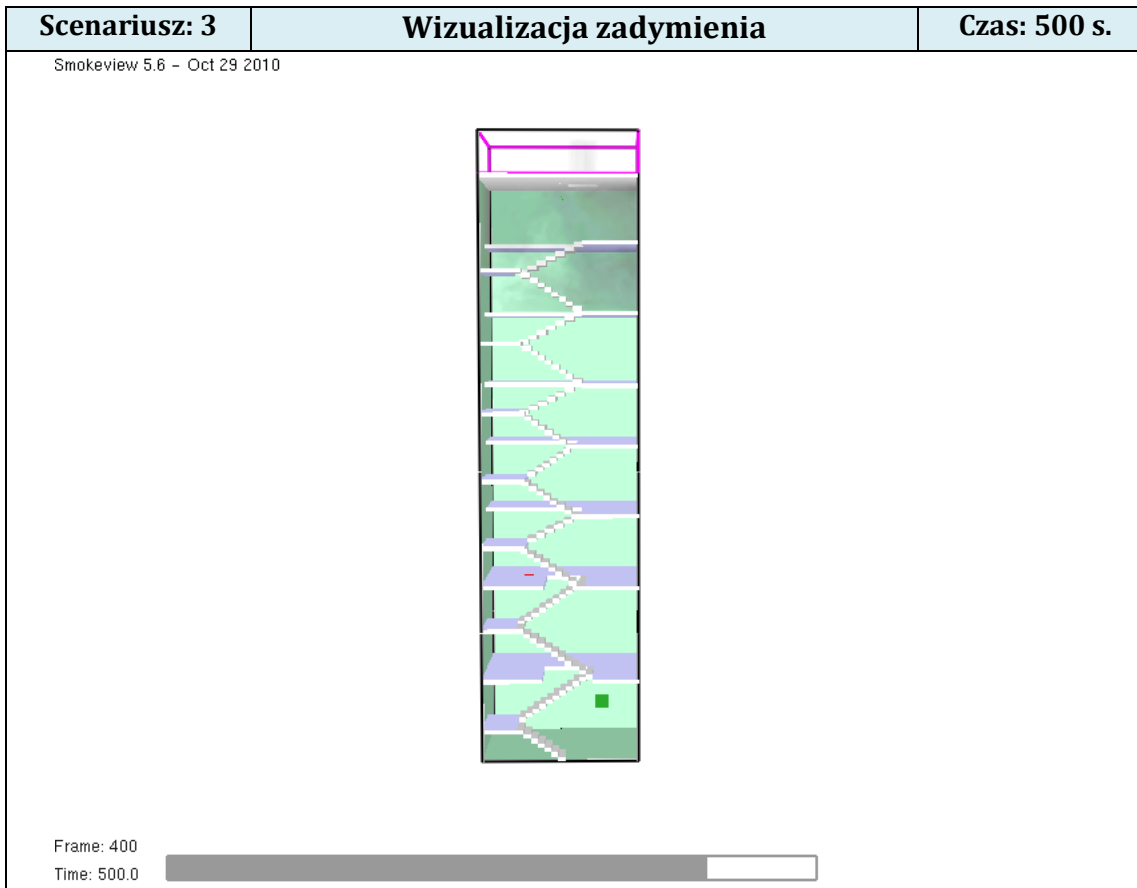


Rys.34 – Wizualizacja zadymienia w klatce KL1 - 300 sekunda

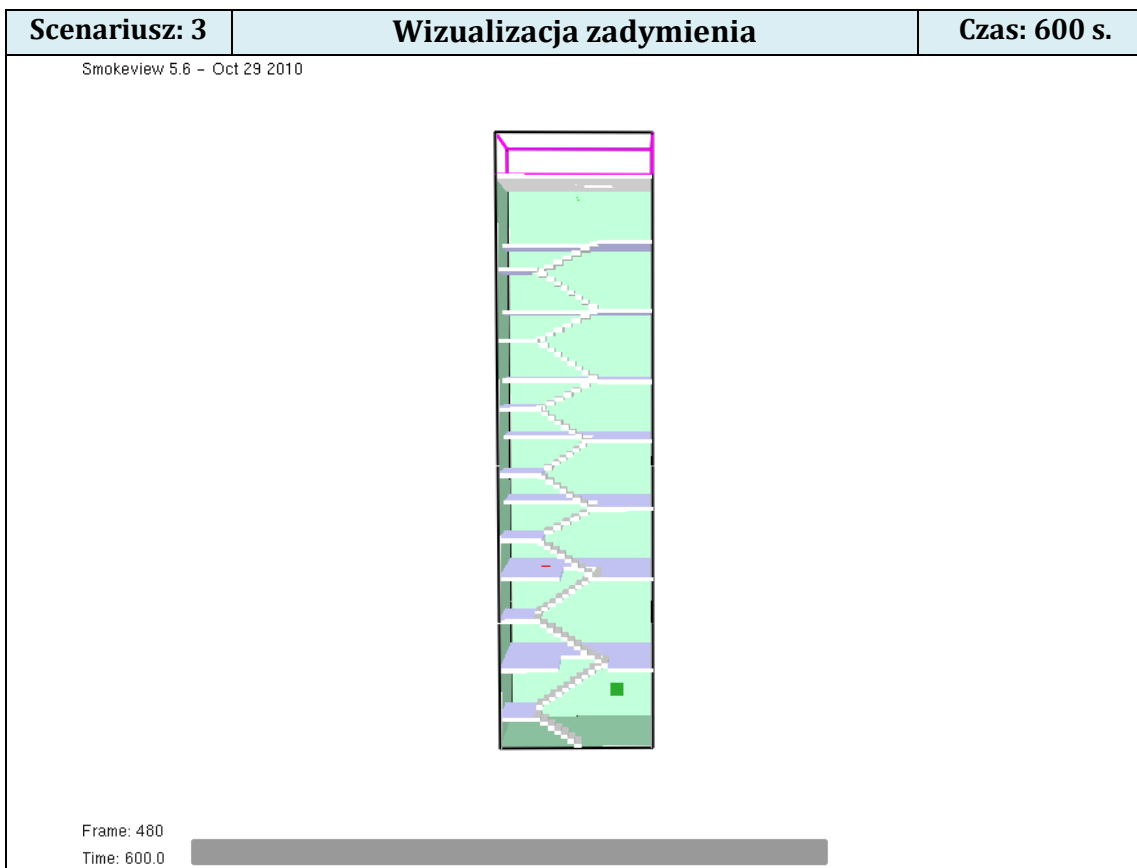


Rys.35 – Wizualizacja zadymienia w klatce KL1 - 400 sekunda

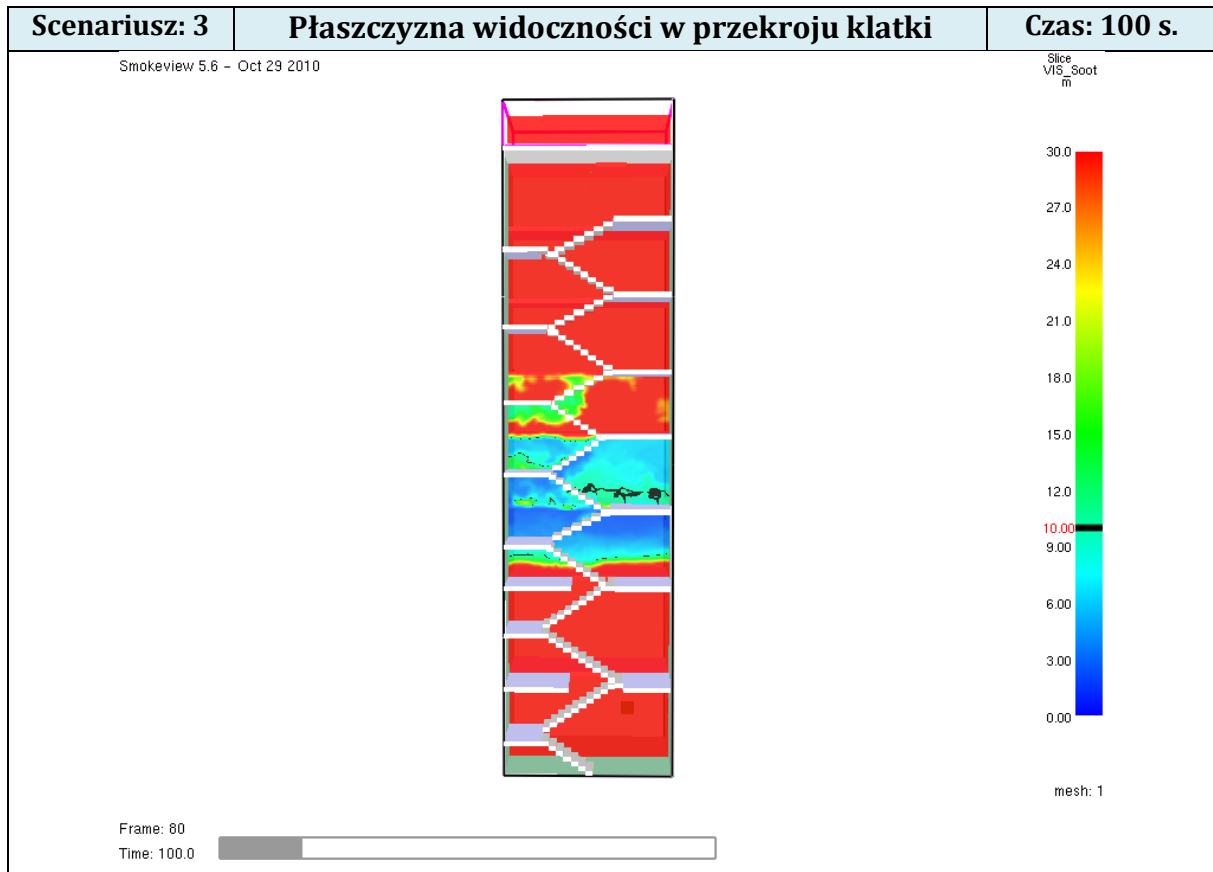




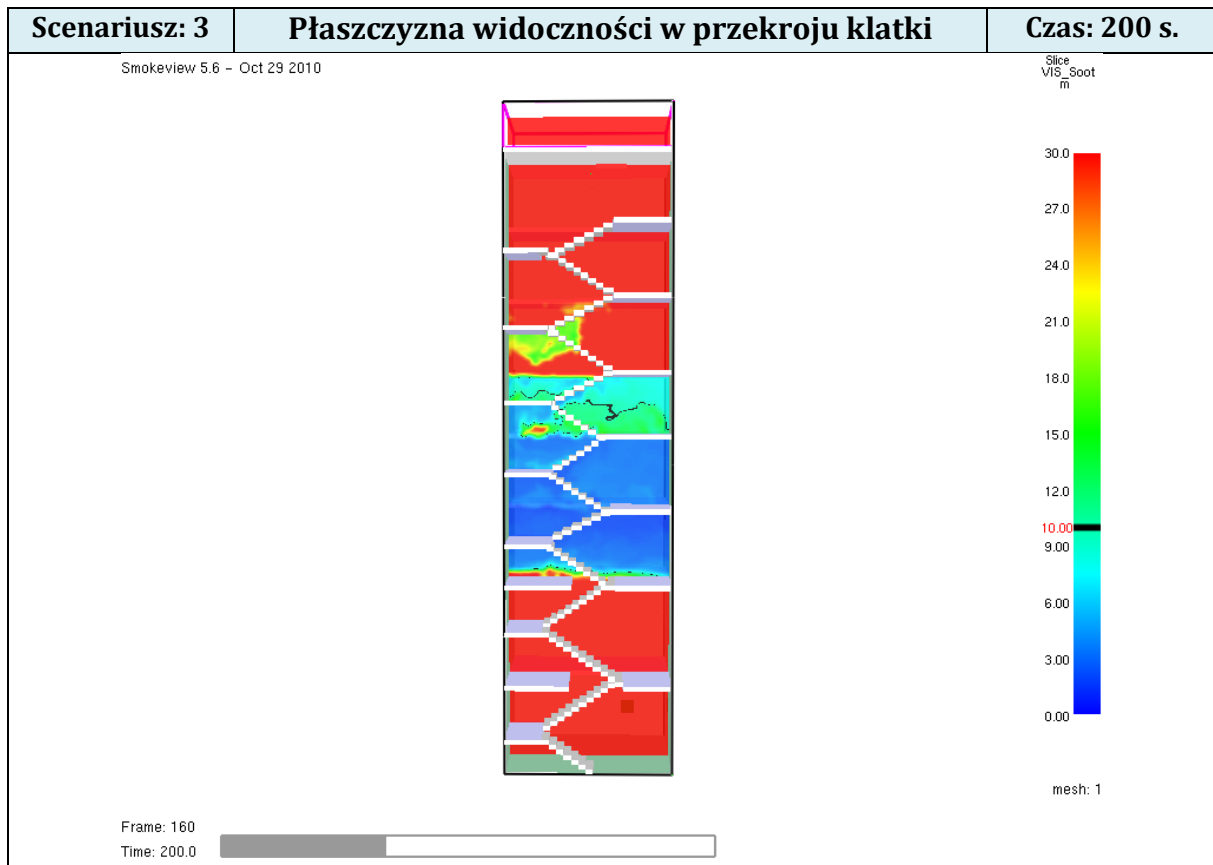
Rys.36 – Wizualizacja zadymienia w klatce KL1 - 500 sekunda



Rys.37 – Wizualizacja zadymienia w klatce KL1 - 600 sekunda



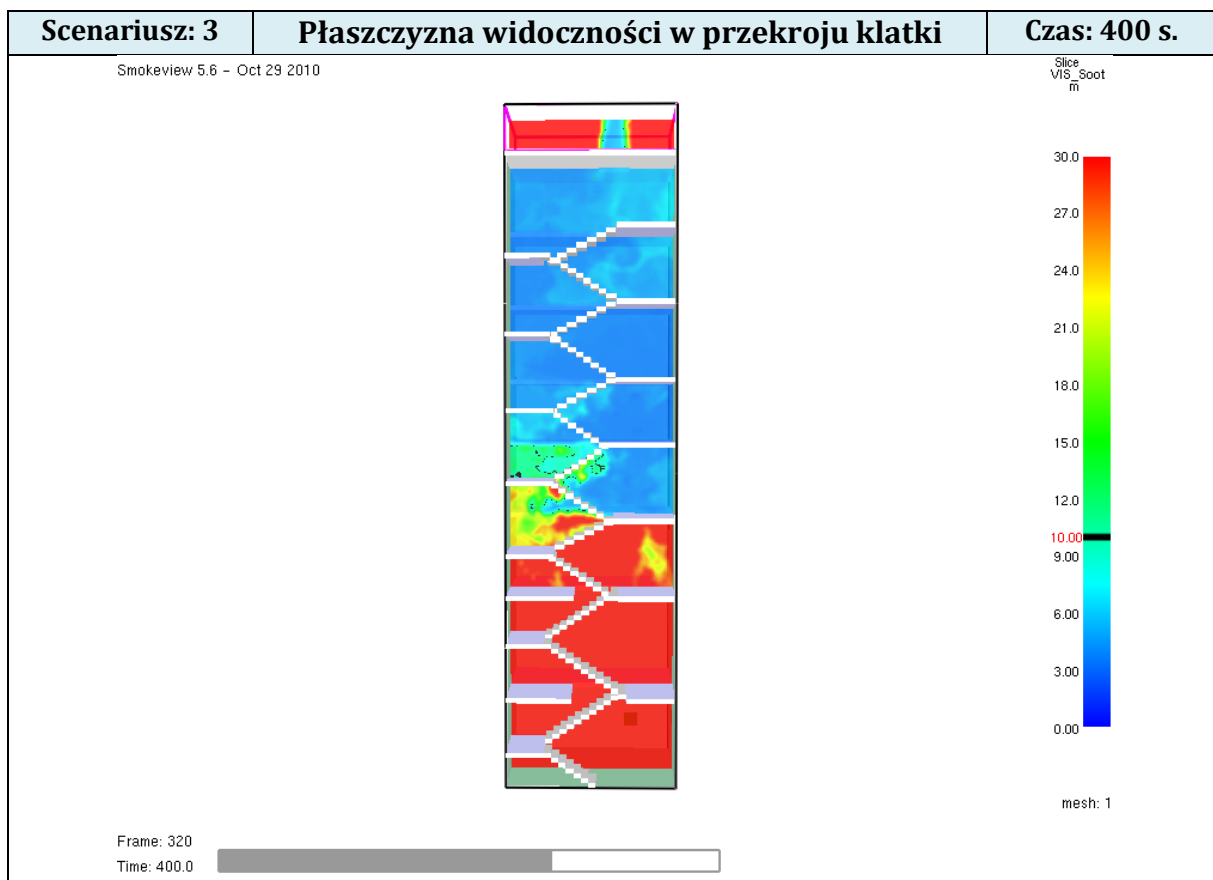
Rys.38 – Płaszczyzna widoczności w przekroju klatki KL1 - 100 sekunda



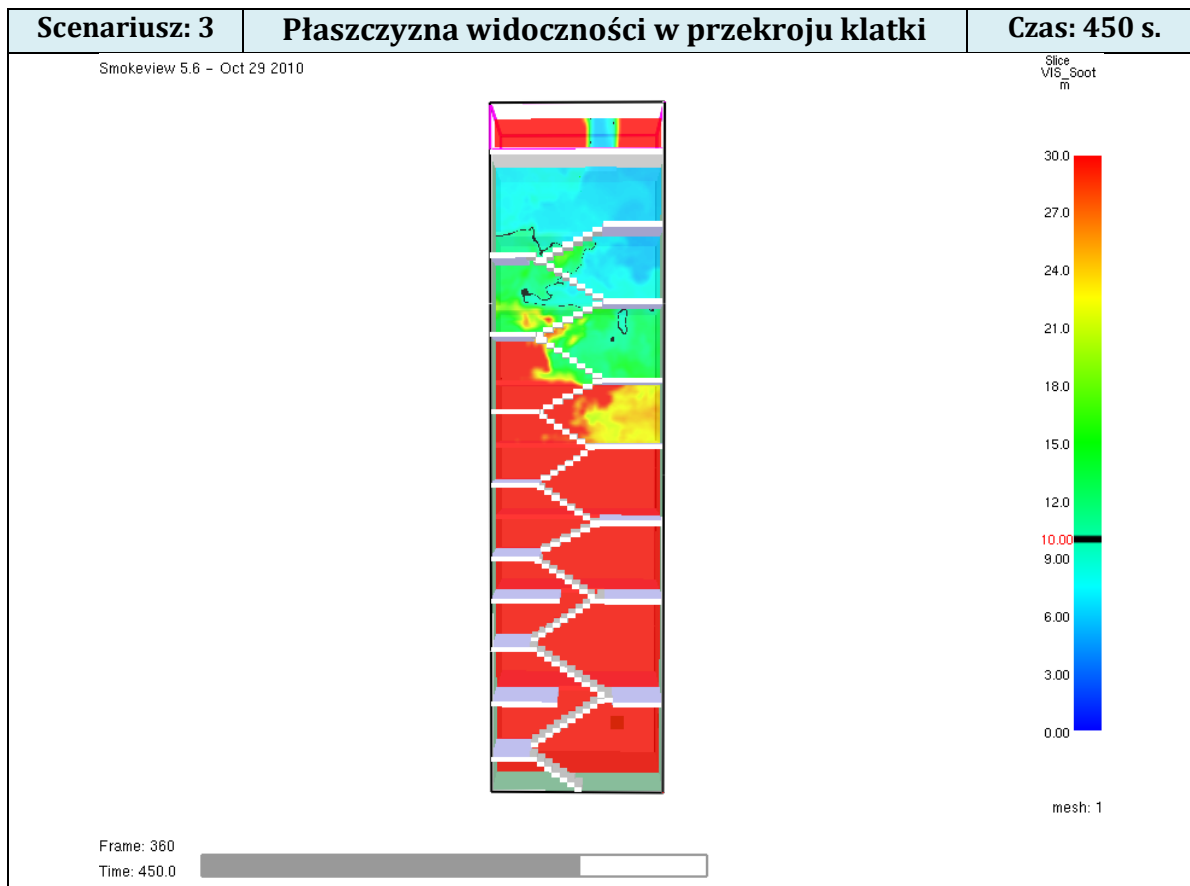
Rys.39 – Płaszczyzna widoczności w przekroju klatki KL1 - 200 sekunda



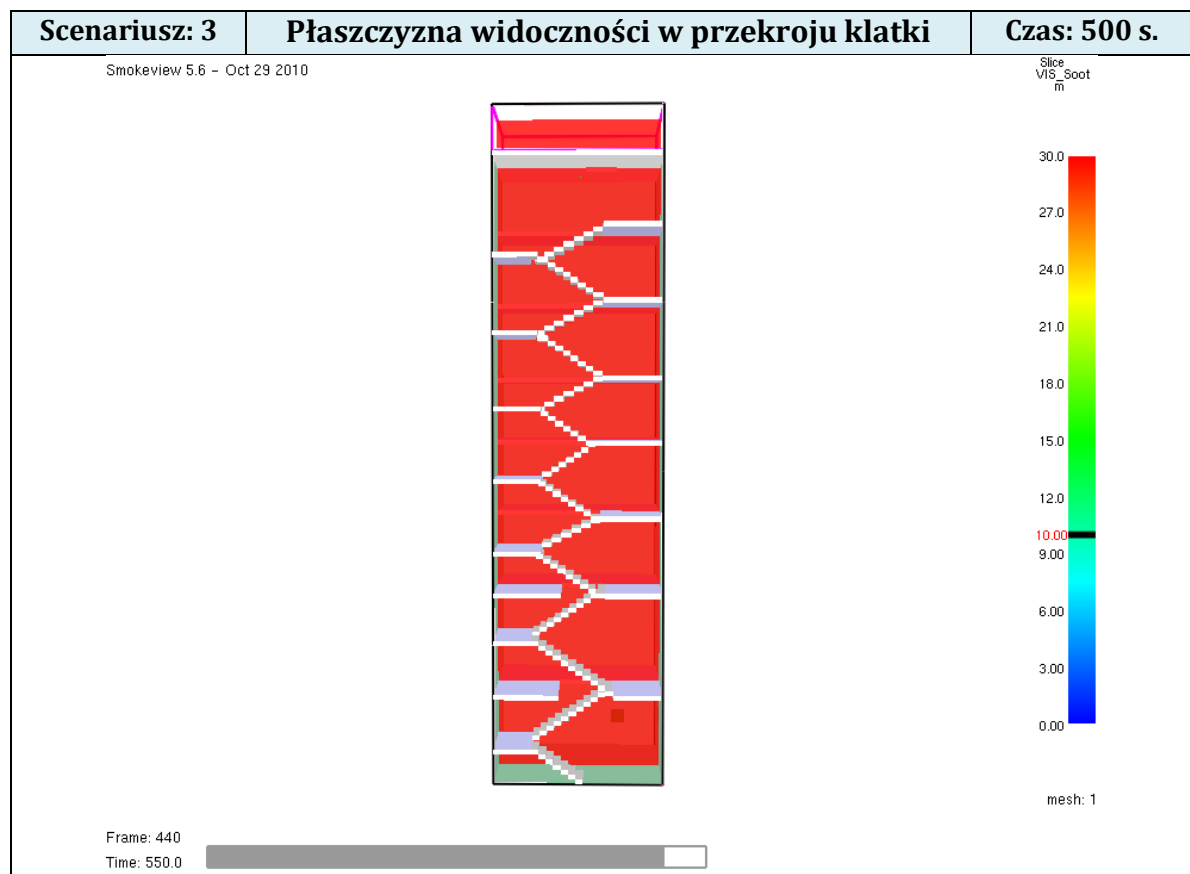
Rys.40 – Płaszczyzna widoczności w przekroju klatki KL1 - 300 sekunda



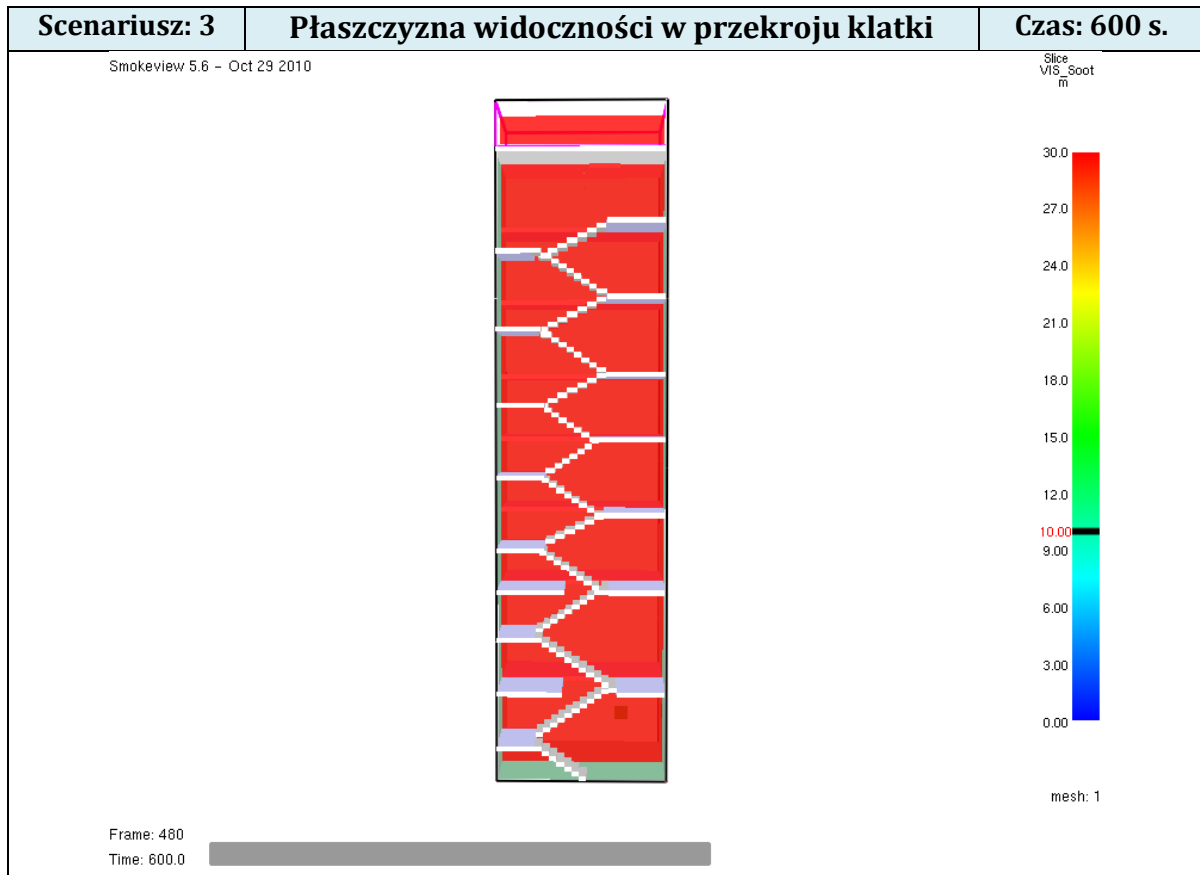
Rys.41 – Płaszczyzna widoczności w przekroju klatki KL1 - 400 sekunda



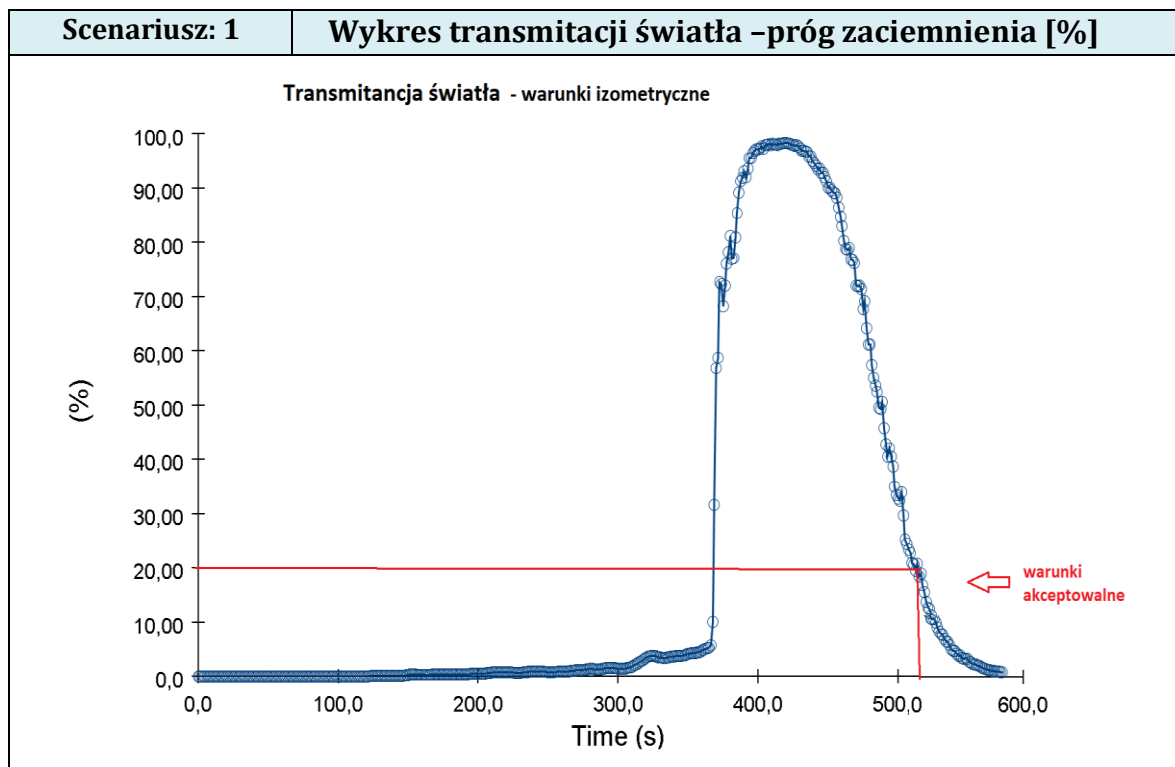
Rys.42 – Płaszczyzna widoczności w przekroju klatki KL1 - 450 sekunda



Rys.43 – Płaszczyzna widoczności w przekroju klatki KL1 - 500 sekunda



Rys.44 – Płaszczyzna widoczności w przekroju klatki KL1 - 600 sekunda



Rys.45 – Wykres transmitancji światła na wys. 2m od posadzki ostatniej kondygnacji klatki schodowej

## 6. WNIOSKI Z PRZEPROWADZONEJ ANALIZY:

Na podstawie symulacji komputerowych CFD przeprowadzona została analiza skuteczności oddymiania grawitacyjnego dla wewnętrznej klatki schodowej KL1 w obiekcie hotelowym przy ul. Kasprowicza w Kołobrzegu. Analizę przeprowadzono dla 3 wariantów – zweryfikowano możliwość oddymiania klatki w warunkach letnich, zimowych oraz izometrycznych.

Analiza numeryczna pozwala wysnuć wnioski, że dym i gorące gazy po ustaniu źródła pożaru zostają w sposób kominowy odprowadzane na zewnątrz obiektu poprzez klapę dymową. Napowietrzanie mechaniczne powoduje, że nie obserwuje się zjawiska opadania mieszaniny dymu i powietrza ani zalegania dymu w przestrzeni klatki schodowej.

Wartość czasu potrzebna do usunięcia dymu – osiągnięcia progu zaciemnienia poniżej 20% (uzyskania przejrzystości powietrza na poziomie 80%) po ustaniu jego źródła powinna spełniać zależność:

$$T_{\text{oddmax}} > T_{\text{odd}}$$

W tabeli zamieszczony czas oddymiania dla poszczególnych wariantów symuacji:

Scenariusz:	$T_{\text{oddmax}}$	$T_{\text{odd}}$	Kryterium $T_{\text{oddmax}} > T_{\text{odd}}$
Warunki letnie	360 sekund	172 sekundy	Spełnione
Warunki zimowe	360 sekund	150 sekund	Spełnione
Warunki izometryczne	360 sekund	160 sekund	Spełnione

Na podstawie powyższej analizy numerycznej należy stwierdzić, że zaprojektowany system oddymiania spełnia swoją rolę poprzez szybkie oczyszczenie klatki z dymu oraz umożliwienie akcji ratowniczo-gaśniczej.