

## **SYMULACJA KOMPUTEROWA CFD KLATKI SCHODOWEJ**

**OBIEKT: Przedszkole publiczne im. Juliana Tuwima w Kowali  
dz. nr 2542/16 w Kowali  
Kowala – Stępcina 82 A, 26-624 Kowala**

**OPRACOWAŁ:**

**RZECZOZNAWCA DO SPRAW ZABEZPIECZEŃ  
PRZECIWPÓLAROWYCH**

*mgr inż. Dariusz Solka Nr upr. 539/2011*

**grudzień 2017 r.**

## Spis treści

1. Przedmiot opracowania .....	3
2. Podstawa opracowania.....	3
a) Ogólna .....	3
b) Standardy techniczne i przepisy przeciwpożarowe.....	3
3. Zakres opracowania .....	4
4. Charakterystyka obiektu .....	4
4.1. Odległość od obiektów sąsiadujących.....	5
4.2. Parametry pożarowe występujących substancji palnych.....	5
4.3. Przewidywana gęstość obciążenia ogniowego .....	5
4.4. Kategoria zagrożenia ludzi, przewidywana liczba osób na każdej kondygnacji i w pomieszczeniach, w których przebywać mogą jednocześnie większe grupy ludzi;.....	5
4.5. Ocena zagrożenia wybuchem pomieszczeń oraz przestrzeni zewnętrznych; .....	6
4.6. Strefy pożarowe i elementy oddzielenia przeciwpożarowych.....	6
4.7. Klasa odporności pożarowej budynku i odporność ogniowa elementów, elementy wystroju wewnątrz .....	6
4.9. Sposób zabezpieczenia przeciwpożarowego instalacji użytkowych, a w szczególności: wentylacyjnej, ogrzewczej, gazowej, elektroenergetycznej, odgromowej, kontroli dostępu .....	7
4.10. Urządzenia przeciwpożarowe w obiekcie.....	7
4.11. Wyposażenie w gaśnice.....	8
4.12. Zaopatrzenie w wodę do zewnętrznego gaszenia pożaru .....	8
4.13. Droga pożarowa.....	8
5. Symulacja Numerycznej Dynamiki Płynów CFD .....	9
6. Założenia symulacji CFD .....	10
6.1. Założenia ogólne.....	10
6.2. Założenia do systemu oddymiania.....	10
6.3. Założenia przyjęte do symulacji .....	11
7. Scenariusze pożarowe.....	14
8. Analizowane parametry pożaru .....	15
9. Wymagany czas bezpiecznej ewakuacji .....	17
10. Analiza wyników .....	19
10.1. Rozkład temperaturowy w przekroju klatki schodowej – scenariusz 1 .....	21
10.2. Widoczność w przekroju klatki schodowej – scenariusz nr 1 .....	25
10.3. Rozkład temperatury w płaszczyźnie na wysokości 1,8 m – scenariusz nr 2.....	29
10.4. Widoczność w płaszczyźnie na wysokości 1,8 m – scenariusz nr 2.....	33
11. Wnioski.....	37

## **1. Przedmiot opracowania**

Przedmiotem opracowania jest przeprowadzenie analizy systemu oddymiania klatki schodowej w budynku Przedszkola publicznego im. Juliana Tuwima w Kowali, na podstawie symulacji komputerowej CFD potwierdzające skuteczność projektowanej instalacji oddymiającej klatkę schodową.

## **2. Podstawa opracowania**

Niniejsza symulacja CFD klatki schodowej została wykonana w celu potwierdzenia skuteczności działania instalacji oddymiającej na założeniach określonych dalszej części, niniejszej dokumentacji.

Opracowanie wykonano na podstawie:

### **a) Ogólna**

- 1) Informacji udzielonych przez Zleceniodawcę.
- 2) Projekcie budowlanym pn.: „Roboty budowlane związane z poprawą bezpieczeństwa pożarowego w budynku” Przedszkole publiczne im. Juliana Tuwima w Kowali dz. nr 2542/16 w Kowali, Kowala – Stępcina 82 A, 26-624 Kowala opracowanym w listopadzie 2017 r. przez mgr inż. Arch. Błażej Marchewka nr upr. MA/029/09, ewid. nr, MA-2117

### **b) Standardy techniczne i przepisy przeciwpożarowe**

- 1) PD 7974-6:2004. The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings. Human factors: Life safety strategies. Occupant evacuation, behaviour and condition.
- 2) Fire Dynamics Simulator Version 5 – Technical Reference Guide, NIST 2004.
- 3) NFPA 204, "Standard for Smoke and Heat Venting" 2002 Edition.
- 4) Ratajczak D. “Rozwiązania zamienne w ochronie przeciwpożarowej” Ochrona Przeciwpożarowa 3/2005.
- 5) Fire Dynamics Simulator Version 5 – Users Guide, NIST 2004.
- 6) PyroSim 2010 – Instrukcja obsługi, Thunderhead Engineering 2010/STIGO.
- 7) Forum wentylacja 2004 - Metoda CFD Jako narzędzie do projektowania wentylacji pożarowej garaży podziemnych – mgr inż. Grzegorz Sztarbała.

- 8) Bogdan Mizieliński - Kondygnacyjny system oddymiania budynków.
- 9) Piotr Smardz, Janusz Paliszek-Saładyga - zalecenia dotyczące prawidłowego stosowania modelu CFD w symulacjach pożarowych dla programu Fire Dynamics Simulator.
- 10) TNO (Dutch organization for applied scientific research) Building and Construction Research; The effectiveness of thrust ventilation in enclosed car parks. Fire tests and simulation, 1999, TNO rapport CVB-RR1442.
- 11) Wybrane modele obliczeniowe czasów ewakuacji. mgr. inż. Iwona Cłapa, mgr inż. Rafał Porowski, prof. dr hab. inż. Marek Dziubiński.
- 12) "Procedury organizacyjno - techniczne w sprawie spełnienia wymagań w zakresie bezpieczeństwa pożarowego w inny sposób niż to określono w przepisach techniczno-budowlanych, w przypadkach wskazanych w tych przepisach, oraz stosowania rozwiązań zamiennych, zapewniających nie pogorszenie warunków ochrony przeciwpożarowej, w przypadkach wskazanych w przepisach przeciwpożarowych". KG PSP Biuro Rozpoznawania Zagrożeń. Warszawa październik 2008 r.
- 13) SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Third Edition. 2002.
- 14) Wytyczne CNBOP-PIB W-0003:2016, Systemy Oddymiania Klatek Schodowych.
- 15) Przepisy i normy związane.

### **3. Zakres opracowania**

Przedmiotowe opracowanie zawiera:

- opis badanego obiektu,
- założenia CFD,
- krzywa pożaru,
- wyniki i analiza obliczeń.

### **4. Charakterystyka obiektu**

Budynek przedszkola jest budynkiem trzykondygnacyjnym, podpiwniczonym.

Charakterystyczne dane liczbowe budynku:

- powierzchnia zabudowy - 585,65 m<sup>2</sup>,
- powierzchnia całkowita - 1260,39 m<sup>2</sup>,
- powierzchnia wewnętrzna - 1110,73 m<sup>2</sup>,
- kubatura - 4260,12 m<sup>3</sup>,
- wysokość budynku - 9,23 m,
- wymiary rzutu - 45,47 m x 16,06 m.

#### **4.1. Odległość od obiektów sąsiadujących.**

Lokalizacja zgodna z wymaganiami warunków technicznych – poza zakresem opracowania.

#### **4.2. Parametry pożarowe występujących substancji palnych.**

W obiekcie ZL II kategorii zagrożenia ludzi nie przewidywane jest zagrożenie wybuchem oraz nie przetrzymuje się materiałów niebezpiecznych pożarowo.

#### **4.3. Przewidywana gęstość obciążenia ogniowego**

Dla budynku kwalifikowanego do kategorii zagrożenia ludzi nie określa się gęstości obciążenia ogniowego. Pomieszczenia magazynowe zlokalizowane w piwnicy – funkcjonalnie powiązane z częścią ZL o gęstości obciążenia ogniowego poniżej 500 MJ/m<sup>2</sup>.

#### **4.4. Kategoria zagrożenia ludzi, przewidywana liczba osób na każdej kondygnacji i w pomieszczeniach, w których przebywać mogą jednocześnie większe grupy ludzi;**

Budynek przedszkola kwalifikowany jest do ZL II kategorii zagrożenia ludzi. Zgodnie z technologią użytkowania w przedszkolu nie występują pomieszczenia o liczbie dzieci powyżej 30.

Liczba dzieci na poszczególnych kondygnacjach:

- parter: dwie sale po max 25 osób,
- I piętro: trzy sale po max 25 osób.

#### **4.5. Ocena zagrożenia wybuchem pomieszczeń oraz przestrzeni zewnętrznych;**

W budynku nie przewiduje się występowania materiałów mogących wytworzyć mieszaniny wybuchowe w związku z tym w obiekcie nie występują pomieszczenia ani strefy zagrożenia wybuchem.

#### **4.6. Strefy pożarowe i elementy oddzieleń przeciwpożarowych**

Dopuszczalna powierzchnia strefy pożarowej ZL II wielokondygnacyjnym niskim wynosi 5000 m<sup>2</sup>.

W chwili obecnej budynek stanowi jedną strefę pożarową o powierzchni wewnętrznej 1110,73 m<sup>2</sup>.

#### **4.7. Klasa odporności pożarowej budynku i odporność ogniowa elementów, elementy wystroju wnętrz**

Dla omawianego budynku niskiego przedszkola ZL II kategorii zagrożenia ludzi wymagana klasa odporności pożarowej „C”. Determinuje ona klasę odporności ogniowej przegród:

- główna konstrukcja nośna R 60,
- stropy REI 60,
- ściany zewnętrzne EI 30,
- ściany wewnętrzne EI 15,
- konstrukcja dachu R 15,
- przekrycie dachu RE 15,
- biegi, spoczniki R 60,
- obudowa klatek schodowych REI 60, zamykanych drzwiami,
- wydzielenie stacji Trafo: ściany REI 120, otwory EI 60, strop REI 120.

#### **4.8. Warunki ewakuacji, oświetlenie awaryjne (bezpieczeństwa i ewakuacyjne).**

Ewakuację osób z pomieszczeń przebywania ludzi umożliwiać powinny otwierane 0,9m wyjścia ewakuacyjne, przy liczbie osób do 3 – szerokość wyjścia 0,8 m. Długość przejścia ewakuacyjnego w pomieszczeniach (lub przez trzy pomieszczenia funkcjonalne) nie przekracza 40 m.

Wyjścia z pomieszczeń o liczbie osób powyżej 6 otwierane na zewnątrz. Pomieszczenie o największej liczbie osób do 25.

Poziome drogi ewakuacji – korytarze o szerokości 1,4 m oraz 1,2 m przy liczbie osób ewakuowanych do 20.

Pionowe drogi ewakuacji – klatki schodowe powinny być obudowane i zamykane drzwiami. W klatkach tych o szerokości wymaganej biegów 1,2 m, spoczników 1,3 m powinien być zastosowany system oddymiania lub uniemożliwiający zadymienie.

Długość dojścia ewakuacyjnego przy jednym dojściu ewakuacyjnym do 10 m, przy dwu dojściach do 40 m. Wyjścia z klatek schodowych oraz drzwi na zewnątrz budynku powinny mieć szerokość min. 1,2 m (skrzydło nieblokowane min. 0,9 m). Powyższe wartości nie dotyczą budynków wybudowanych i przekazanych do użytkowania przed wejściem w życie rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (t.j. Dz. U. z 2015 r. poz. 1422 z późn. zm.) jeśli na podstawie rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. Nr 109, poz. 719) nie są uznane za zagrażające życiu ludzi.

#### **4.9. Sposób zabezpieczenia przeciwpożarowego instalacji użytkowych, a w szczególności: wentylacyjnej, ogrzewczej, gazowej, elektroenergetycznej, odgromowej, kontroli dostępu**

Budynek wyposażony jest w następujące instalacje użytkowe:

- wodno-kanalizacyjną z hydrantami wewnętrznymi 25 z węzłem płaskoskładanym,
- elektryczną z przeciwpożarowym wyłącznikiem prądu,
- instalacja ogrzewacza,
- instalację odgromową,
- wentylację grawitacyjną,
- instalacje teletechniczne.

#### **4.10. Urządzenia przeciwpożarowe w obiekcie**

**System Sygnalizacji Pożarowej** - w budynku nie jest wymagane stosowanie SSP, obiekt nie jest wyposażony w taki system.

**Dźwiękowy system ostrzegawczy** – w budynku nie jest wymagane stosowanie DSO, obiekt nie jest w taki system wyposażony.

**Urządzenia oddymiające** – w obiekcie zostaną zainstalowane urządzenia do usuwania dymu z obszaru klatki schodowej zgodnie z opracowaną dokumentacją projektową dotyczącą niniejszej instalacji.

**Instalacja wodociągowa przeciwpożarowa** – dla budynku jest wymagane wyposażenie w instalację wodociągowa przeciwpożarową z hydrantami wewnętrznymi DN 25 (z węzłem półsztywnym).

**Oświetlenie awaryjne** – dla obiektu jest wymagane awaryjne oświetlenie ewakuacyjne.

**Przeciwpożarowy wyłącznik prądu** - budynek powinien być wyposażony w przeciwpożarowy wyłącznik prądu.

#### **4.11. Wyposażenie w gaśnice**

Obiekt powinien być wyposażony w gaśnice według wskaźnika: jedna jednostka sprzętu o masie 2 kg lub 3 dm<sup>3</sup> na każde 100 m<sup>2</sup> powierzchni strefy pożarowej. Gaśnice odpowiednie do gaszenia grup pożarów mogących wystąpić w obiekcie powinny być umieszczone na każdej kondygnacji w ten sposób, aby dojście do gaśnicy z każdego miejsca w obiekcie nie przekraczało 30 m. Należy zachować dostęp do gaśnic o szerokości, co najmniej 1 m. Miejsca usytuowania gaśnic powinny być oznakowane znakami zgodnymi z polskimi normami.

#### **4.12. Zaopatrzenie w wodę do zewnętrznego gaszenia pożaru**

Dla budynku przedszkola – powierzchnia strefy pożarowej kubatura budynku (4260,12 m<sup>3</sup>) poniżej 5000m<sup>2</sup> – wymagane zaopatrzenie w wodę do zewnętrznego gaszenia pożaru w ilości 10 l/s. Wymaganie to spełnione jest hydrantem Ø 80 – 10 l/s na sieci miejskiej w odległości do 75 m od budynku.

#### **4.13. Droga pożarowa.**

Do przedmiotowego budynku wymagane jest zapewnienie drogi pożarowej o szerokości min. 4 m, nośność 100 kN/oś usytuowanej w odległości 5 – 15 m od ściany zewnętrznej. Budynek posiada 2 kondygnacje nadziemne oraz wysokość nie przekraczającą 12 m, w



związku z powyższym zapewnione zostało połączenie wyjścia z budynku (umożliwiającej dostęp do każdej strefy pożarowej) z drogą pożarową, utwardzonym dojściem o długości do 30 m i szerokości co najmniej 1,5 m.

## 5. Symulacja Numerycznej Dynamiki Płynów CFD

Symulację przeprowadzono za pomocą komputerowej analizy mechaniki płynów CFD (Computational Fluid Dynamics).

Aby zbadać rozkład dymu zostały użyte trzy programy.

Głównym programem jest Fire Dynamics Simulator (FDS), wersja 6.1.2. FDS jest programem umożliwiającym trójwymiarowe symulacje rozwoju pożaru i rozprzestrzeniania się dymu w oparciu o techniki CFD. Bazuje on na numerycznych rozwiązaniach równań Naviera-Stokesa odpowiednich dla przepływów wywołanych ciągiem powstałym pod wpływem ognia, ze szczególnym naciskiem na transport dymu i ciepła. W czasie swego rozwoju program ukierunkowywany był na rozwiązywanie praktycznych problemów inżynierii ochrony przeciwpożarowej, stanowiąc jednocześnie narzędzie do analiz podstaw dynamiki ognia i spalania. Jak wykazały badania w skali rzeczywistej dokładności wyników uzyskiwanych w programie FDS, wartości przyrostów temperatury w warstwie dymu mogą różnić się od rzeczywistych o nie więcej niż 15%, z wyjątkiem warstwy podsufitowej, dla której różnice mogą wynosić nie więcej niż 20%. Rzeczywiste spadki widzialności są z kolei zawsze mniejsze od określonych za pomocą programu FDS, nawet do 30%. Tak więc przy ocenie warunków bezpieczeństwa pożarowego w obiekcie, aby zapewnić odpowiedni margines bezpieczeństwa, uzyskane za pomocą symulacji komputerowych z użyciem programu FDS wartości przyrostów temperatur należy zwiększać o 15%, przy czym w warstwie podsufitowej o 20%, natomiast uzyskane wartości spadku widzialności można wykorzystywać bez zmian.

Pyrosim (wersja 2015.2.0604) jest to graficzny interfejs użytkownika stosowany do tworzenia plików danych wejściowych dla FDS. Zapewnia interaktywne tworzenie geometrii i siatki oraz określenie właściwości materiału, scenariusza pożarowego i systemu wentylacji. Program został opracowany przez Thunderhead Engineering Consultants, Inc.

Smokeview (wersja 6.1.12) jest programem wizualizacji, którego używa się do graficznego przedstawienia symulacji uzyskanej w programie FDS.

## **6. Założenia symulacji CFD**

### **6.1. Założenia ogólne**

W celu zapewnienia bezpieczeństwa osobom przebywającym w budynku podczas pożaru uwzględniono następujące założenia:

- utrzymanie odpowiednich warunków środowiskowych powszechnie uznawanych za bezpieczne, pozwalające na bezpieczne opuszczenie strefy pożarowej jak również na bezpieczne prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych tj. w czasie, gdy warunki na drogach ewakuacyjnych nie osiągną na wysokości mniejszej lub równej 1,8 m wartości krytycznych tj.:
  - temperatury powyżej 60 °C,
  - zadymienia ograniczającego widzialność krawędzi elementów budowlanych i drzwi powyżej 10 m,
- przyjęto, że zabezpieczeniu przed zadymieniem będzie podlegać klatka schodowa omawianego obiektu.

### **6.2. Założenia do systemu oddymiania**

**Specyfikacja techniczna oraz szczegółowa charakterystyka, oraz dobór odpowiednich elementów urządzenia przeciwpożarowego, jakim są urządzenia oddymiające powinny być zaprojektowane i wykonane na bazie osobnej dokumentacji projektowej, uzgodnionej z rzeczoznawcą ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych. Warunkiem dopuszczenia do ich użytkowania jest przeprowadzenia szeregu prób potwierdzających sprawność funkcjonowania poszczególnych elementów systemu jak i całej instalacji oddymiania.**

Dla niniejszego obiektu zaprojektowanie oddymianie realizowane jest przy pomocy naturalnego przepływu powietrza i dymu, wywołanego ciągiem termicznym i stratyfikacją termiczną dymów pożarowych, od punktu nawiewu kompensacyjnego do punktu odbioru powietrza i dymu (klapy dymowej lub ściennego otworu oddymiającego) – system oddymiania grawitacyjnego.

### 6.3. Założenia przyjęte do symulacji

Założenia przyjęte do symulacji oparto na wytycznych Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowy Instytut Badawczy W-0003:2016. Zgodnie z nimi w budynkach nie zakłada się wystąpienia pożaru w przestrzeni klatki schodowej, ponieważ zgodnie z warunkami techniczno-budowlanymi obudowane klatki schodowe zamykane drzwiami o klasie odporności ogniowej, co najmniej EI 30, wyposażonych w urządzenia zapobiegające zadymieniu lub służące do usuwania dymy, mogą być traktowane równorzędnie, jako wyjścia do innej strefy pożarowej (§ 256 ust. 2 rozp. MI z dn. 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jaki powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. J.t.: Dz.U. z 2015 r. poz. 1422). Jednak na potrzeby oceny skuteczności systemu oddymiania na pomocą analiz CFD, bez konieczności rozpatrywania wielu scenariuszy rozwoju pożaru uwzględniającego sekwencję otwierania drzwi z przestrzeni objętej pożarem na klatkę schodową. Przedmiotowa analiza służy wyłącznie ocenie skuteczności systemu oddymiania i nie należy jej rozpatrywać jako projektu urządzenia oddymiającego oraz oceny warunków ochrony przeciwpożarowej w budynku.

#### Model sieci obliczeniowej

Wielkość siatki obliczeniowej została uzależniona od zastosowanego programu.

Przyjęto model z kartezyjską siecią obliczeniową, polecany dla tego typu obiektów, który charakteryzuje się wymiarem elementów równym 0,1 m x 0,1 m x 0,1 m. Obrana rozdzielczość umożliwiła wystarczające dla potrzeb niniejszej analizy odwzorowanie przepływu dymu przez przestrzeń klatki schodowej.

Model obliczeniowy obejmuje przestrzeń klatki schodowej oraz uwzględnia w sposób możliwie najdokładniejszy rozlokowanie wszystkich jej elementów mających wpływ na przepływ powietrza tj. ścian, schodów, spoczników, drzwi i okien, oraz innych istotnych z punktu widzenia wykonywanej analizy przestrzeni przyległych.

Model analizowanej przestrzeni został rozszerzony o część przestrzeni zewnętrznej umożliwiającej odwzorowanie napływu i wypływu powietrza oraz mieszaniny dymu z powietrzem.

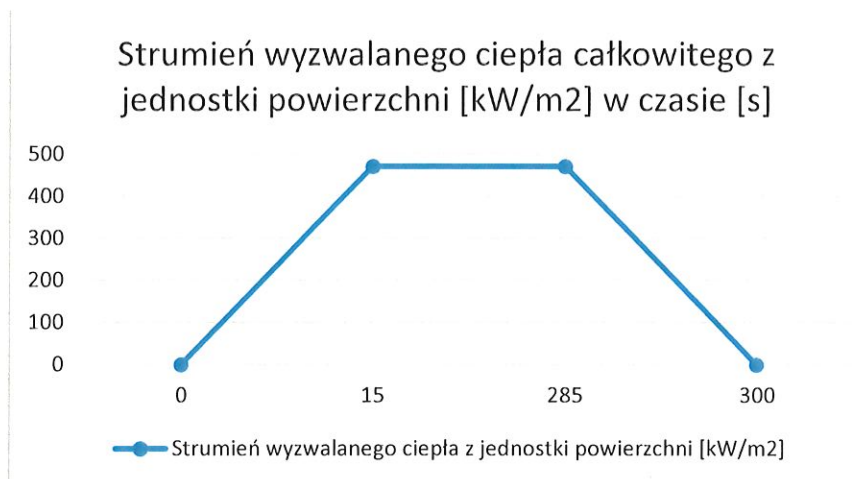
### Czas trwania symulacji

Zgodnie z wytycznymi CNBOP-PIB czas trwania symulacji CFD ustalono 20 minut (1200 sekund). System powinien działać przynajmniej przez czas 90 minut. Przyjęcie tak długiego zalecanego czasu symulacji w omawianym przypadku nie jest warunkiem koniecznym, z uwagi na fakt, iż wymagany czas bezpiecznej ewakuacji z przedmiotowego obiektu jest znacznie krótszy.

### Parametry pożaru

Zgodnie z ww. wytycznymi przyjęto następujące testowe źródło pożaru:

- powierzchnia pożaru: 0,3 m x 0,45 m,
- lokalizacja – klatka schodowa, druga kondygnacja
- moc pożaru: 471 kW/m<sup>2</sup>,
- przebieg zmian wartości wyzwalanego ciepła całkowitego z jednostki powierzchni [kW/m<sup>2</sup>] w czasie [s]:



**Rys. 1:** opracowanie własne na podstawie wytycznych CNBOP-PIB W-0003:2016 [14]

- moc pożaru założonego:

$$Q = 471 \frac{kW}{m^2} * 0,3 m * 0,45 m = 63,585 kW$$

### Przyjęte parametry systemu wentylacji

Dla niniejszego obiektu zaprojektowanie oddymianie realizowane jest przy pomocy naturalnego przepływu powietrza i dymu, wywołanego ciągiem termicznym i stratyfikacją termiczną dymów pożarowych, od punktu nawiewu kompensacyjnego do

punktu odbioru powietrza i dymu (klapy dymowej lub ściennego otworu oddymiającego) – system oddymiania grawitacyjnego.

Odprowadzenie dymu z przestrzeni klatki schodowej poprzez okno o wymiarach w świetle ościeżnic 0,77 m x 1,60 m z siłownikami elektrycznymi.

Dopływ świeżego powietrza zapewniony poprzez istniejące drzwi napowietrzające otwierane automatycznie. Geometryczna powierzchnia drzwi: 0,9 m x 2 m = 1,8 m<sup>2</sup>.

Napowietrzanie w systemie oddymiania realizowane poprzez drzwi jw. napowietrzające uruchamiane w systemie automatycznym na pomocą siłowników elektrycznych otwierających otwór napowietrzający.

Oddymianie uruchamiane poprzez centralę sterującą Systemem oddymiania współpracującą z czujkami dymu umieszczonymi na każdej kondygnacji oraz Ręcznymi Przyciskami Oddymiania zlokalizowanymi również na każdej kondygnacji.

### **Parametry otaczającego środowiska**

Temperatura otaczającego powietrza: 16 ° C (warunki zimowe zgodnie z wytycznymi CNBOP-PIB W-0003:2016).

Pionowe usytuowanie okna służącego do oddymiania oraz drzwi kompensacyjnych ma odniesienie do wpływu wiatru na skuteczność oddymiania. W celu uniknięcia konieczności analizowania jego wpływu jego kierunku i prędkości na skuteczność oddymiania klatki schodowej, na potrzeby niniejszej symulacji przyjęto warunki atmosferyczne bezwietrzne bądź o znikomą małą prędkości wiatru.

Ciśnienie otoczenia: 1024 hPa.

### **Materiały elementów budowlanych**

Właściwości materiałów budowlanych przyjęto w symulacji w oparciu o normę PN-EN ISO 6946 [6]

**Tabela 1.** Właściwości materiałów budowlanych, w programie **PyroSim**.

Material	Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ]	Ciepło właściwe [kJ/kg·K] dla temp. otoczenia 20 <sup>0</sup> C	Współczynnik przewodzenia ciepła [W/m·K]
beton	2280	1,00	1,80
plyta gipsowo-kartonowa	1440	0,84	0,48
Stal	7850	0,46	45,8
Izolacja dachu	208	0,8	0,05

**Źródło:** wbudowana baza materiałowa programu PyroSim.

## 7. Scenariusze pożarowe

### Scenariusz nr 1

Scenariusz ten bazuje głównie na ww. założeniach i ma za zadanie przede wszystkim sprawdzenie skuteczności oddymiania wg. wytycznych opracowanych przez **CNBOP- PIB [14]**. Zamyka się w obrębie klatki schodowej, tym samym zakłada stworzenie warunków, które podczas normalnej eksploatacji obiektu nie mogą się pojawić oraz nie odnosi się do wpływu warunków panujących podczas wystąpienia zdarzenia niebezpiecznego, jakim jest pożar, na ewakuację osób przebywających w obiekcie.

### Scenariusz nr 2

W celu lepszego zobrazowania otrzymanych wyników przeprowadzono drugą analizę numeryczną skuteczności działania systemu oddymiania w oparciu o odmienne założenia, polegające na zmianie lokalizacji pożaru na przestrzeń, w której jego wystąpienie jest znacznie bardziej prawdopodobne.

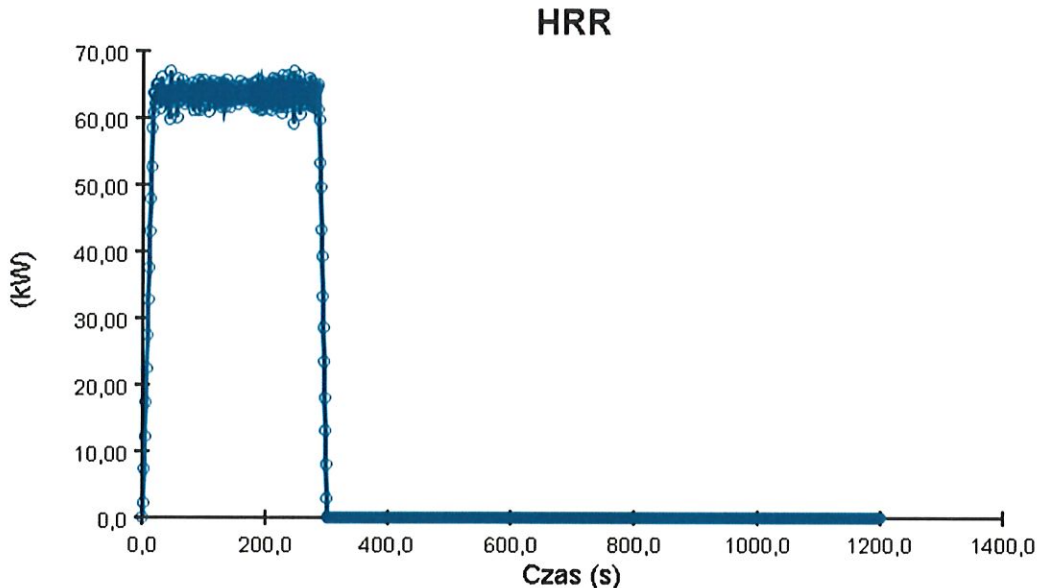
Założono pożar w pomieszczeniu sąsiadującym z bezpośrednio z korytarzem prowadzącym do klatki schodowej na parterze o powierzchni pożaru 1,0 m<sup>2</sup>. Emisja ciepła wg. funkcji t<sup>2</sup>.

Wykonano warianty symulacji przy założeniu, że drzwi z przestrzeni korytarza w obrębie klatki schodowej wyposażone w samozamykacz, pozostają otwarte w czasie ewakuacji osób znajdujących się w pomieszczeniu, po zakończeniu ewakuacji z tego pomieszczenia drzwi zostają zamknięte.

## 8. Analizowane parametry pożaru

### Scenariusz nr 1

Krzywa mocy pożaru wygenerowana przez program FDS:



Rys. 2 – Krzywa rozwoju mocy pożaru

Źródło: Wykres wygenerowany przez program Pyrosim.

Jako materiał palny przyjęto etanol.

### Scenariusz nr 2

Dane wyjściowe zostały wprowadzone w oparciu o wytyczne **Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej, Biuro Rozpoznawania Zagrożeń** [12]. Chodzi o takie parametry jak: moc pożaru na jednostkę powierzchni, szybkość rozprzestrzeniania się pożaru.

Wykonana symulacja umożliwiła sprawdzenie temperatury gazów pożarowych na wysokości 1,8 m od posadzki parteru, na wysokości 1,8 m od posadzki piętra jak również pola widoczności na tych wysokościach.

Zmiana mocy pożaru w czasie została wprowadzona wg. krzywej pożaru  $T^2$ , ilość ciepła określana jest wzorem:

$$Q = \gamma * t^2$$

gdzie:

q – ilość wydzielającego się ciepła (kW)

$\gamma$  - stała określająca przebieg krzywej pożaru ( $kWs^{-2}$ )

$t$  - czas od momentu inicjacji (s)

$$Q = A \cdot q = 1,0 \text{ m}^2 \times 250 \text{ kW/m}^2 = 250 \text{ kW}$$

$q$  - przyjęto wartość  $250 \text{ kW/m}^2$  jak dla obiektów użyteczności publicznej

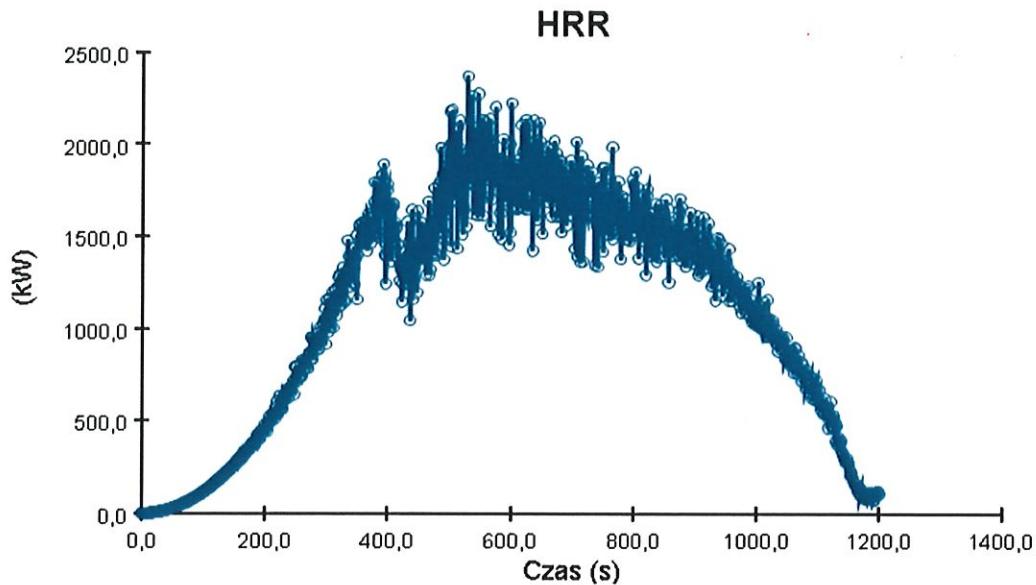
$\gamma$  - przyjęto współczynnik 0,01179 dla średniej szybkości rozwoju pożaru

$$Q = 0,01172 \frac{kW}{s^2} \times (1200s)^2 = 16876,8kW$$

$$S = \frac{Q}{q} = \frac{16876,8kW}{250 \frac{kW}{m^2}} \approx 67,5m^2$$

$S$  – powierzchnia jaką obejmie pożar po czasie  $t$ .

**Krzywa mocy pożaru wygenerowana przez program FDS:**



**Rys. 3** – Krzywa rozwoju mocy pożaru  
**Źródło:** Wykres wygenerowany przez program Pyrosim.

Jako materiał palny przyjęto etanol.



**Tabela 2.** Właściwości materiału spalanego użyte w symulacji.

Ciepło spalania [MJ/kg]	26 800
Ciepło parowania [kJ/kg]	837
Stosunek atomów węgla:wodoru:tlenu	1:3:0,5

Źródło: [13].

## 9. Wymagany czas bezpiecznej ewakuacji

Wymagany czas bezpiecznej ewakuacji WCBE jest czasem, który trwa od początku powstania pożaru do momentu, w którym założona ilość osób zdoła się ewakuować na zewnątrz budynku lub do innej strefy pożarowej. WCBE wyznacza się ze wzoru:

$$WCBE = t_d + t_a + t_{rozp} + t_{reak} + t_p$$

$t_d$  - czas detekcji pożaru,

$t_a$  - czas alarmowania,

$t_{rozp}$  - czas rozpoznania sytuacji,

$t_{reak}$  - czas reakcji na zdarzenie,

$t_p$  - czas przemieszczania się ewakuowanych osób.

Właściwy czas ewakuacji osób, czyli czas przemieszczania się osób jest w tym przypadku pokonaniem drogi ewakuacyjnej z określoną prędkością poruszania się. Czas przemieszczania się poszczególnych osób określa się na podstawie poniższego wzoru:

$$t_p = \frac{N_a}{B' \cdot N'} + \frac{k_s}{v}$$

gdzie:

$N_a$  – całkowita liczba osób ewakuowanych,

$B'$  – szerokość drzwi,

$N'$  – ilość osób ewakuujących się przez konkretne drzwi,

$v$  – prędkość poruszania się osób na drodze ewakuacyjnej,

$k_s$  – długość drogi ewakuacyjnej.

W budynku objętym opracowaniem przewidziano około 130 osób.

Dla potrzeb obliczenia WBCE dla scenariusza nr 2 uwzględnia się osoby, które do ewakuacji wykorzystują omawianą klatkę schodową, ewakuują się z kondygnacji I

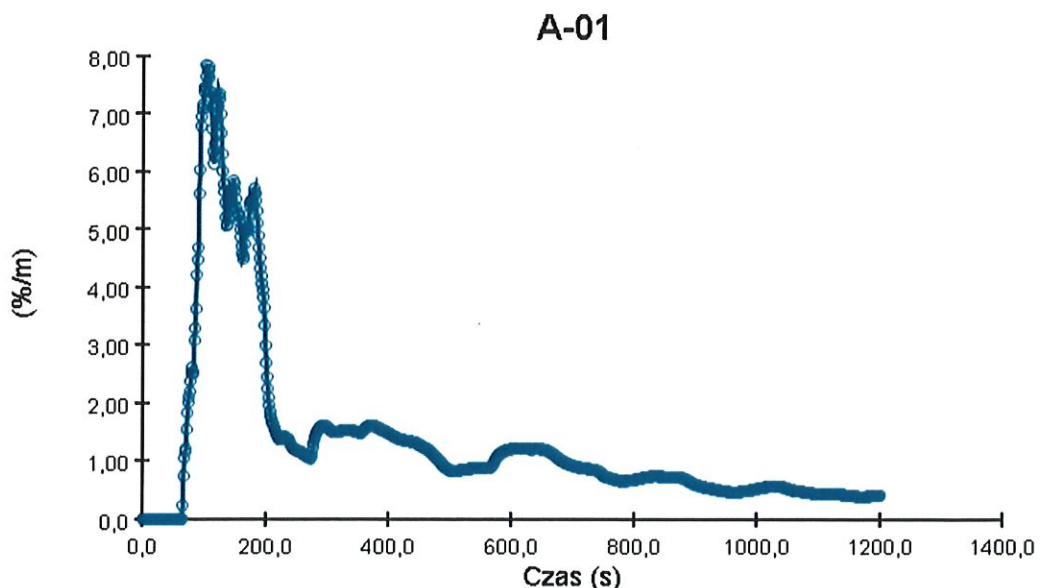
piętra poprzez kondygnację parteru funkcjonalnie połączoną z klatką schodową. Przyjmuje się 75 osób.

Szerokość wyjść ewakuacyjnych z przestrzeni klatki schodowej wynosi łącznie 0.9 m. Najdłuższa długość drogi ewakuacyjnej wynosi około 50,4 m. Ustala się, że prędkość poruszania się osób po drodze ewakuacyjnej dla tej kategorii zagrożenia ludzi wynosi 0,5 m/s. Przez szerokość jednego metra drzwi może ewakuować się 1,3 osoby/metr/s. Właściwy czas ewakuacji osób przy założeniu, że osoby będą się ewakuowały równomiernie do wyjścia ewakuacyjnego wynosi:

$$t_p = \frac{75}{0,9 * 1,3} + \frac{50,4}{0,5} \approx 165s$$

W celu wyznaczenia wymaganego czasu bezpiecznej ewakuacji przyjmuje się następujące założenia:

- Detekcja pożaru oparta jest na obserwacji przez użytkowników budynku w obrębie pomieszczeń użytkowych. Do detekcji na klatce schodowej wykorzystuje się czujki dymu oraz ręczne ostrzegacze pożarowe. Zakłada się, że wykrycie pożaru zastąpi z chwilą pojawienia się dymu na korytarzu przez przeszkolony personel, zatem czas wykrycia wynosi 63 s.



**Rys. 4** – Krzywa detekcji czujki.

**Źródło:** Wykres wygenerowany przez program Pyrosim.

- Alarmowanie po wykryciu pożaru przez użytkowników bez zbędnej zwłoki. Zatem czas alarmowania będzie wynosił  $t_a=30$ .
- Ewakuacja powinna nastąpić natychmiast po ogłoszeniu alarmu ewakuacyjnego. Przyjmuje się zatem, że czas rozpoznania będzie wynosił nie więcej niż  $t_{rozp} = 1$  min.
- Ewakuacja bez względu na lokalizację pożaru będzie odbywać się natychmiast. Przyjmuje się, że czas decyzji o podjęciu ewakuacji nie będzie wynosił więcej

niż  $t_{reak} = 1$  min.

- Czas przemieszczania się osób wynika z powyższych obliczeń i wynosi 165 s. Obliczeniowy czas bezpiecznej ewakuacji będzie wynosił:

$$WCBE = 63 + 30 + 60 + 60 + 165 = 378 \text{ s}$$

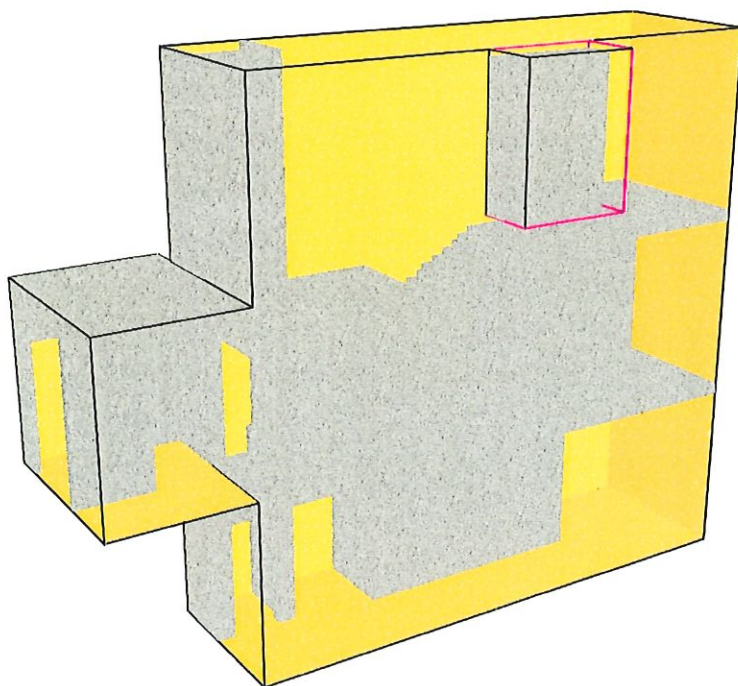
Do określenia dostępnego czasu bezpiecznej ewakuacji należy uwzględnić:

- Czas, po którym temperatura powietrza przekroczy  $60^{\circ}\text{C}$ . Nie przekroczenie temperatury powietrza powyżej kryterialnej temperatury nie powoduje ograniczenia dostępnego czasu bezpiecznej ewakuacji.
- Czas, po którym widoczność na drodze ewakuacyjnej spada poniżej 10 m. W przypadku widoczności powyżej 10 m czas DCBE nie jest ograniczony.

## 10. Analiza wyników

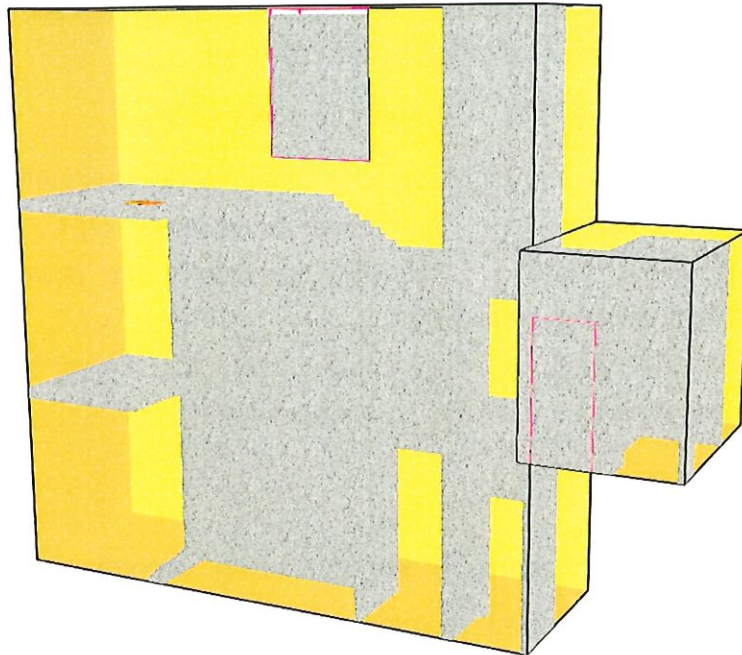
W wyniku przeprowadzonej symulacji komputerowej otrzymano szereg wyników zgodnie z zadanymi płaszczyznami wynikowymi. Oprócz wyników otrzymanych z płaszczyzn wynikowych, interpretacje sprawności działania systemu oddymiania można oceniać na podstawie wizualizacji dymu 3D.

Smokeview 6.1.12 - Oct 1 2014



Rys. 5 Uproszczony model klatki schodowej wygenerowany w programie PyroSim. mesh: 1

Smokeyview 6.1.12 - Oct 1 2014

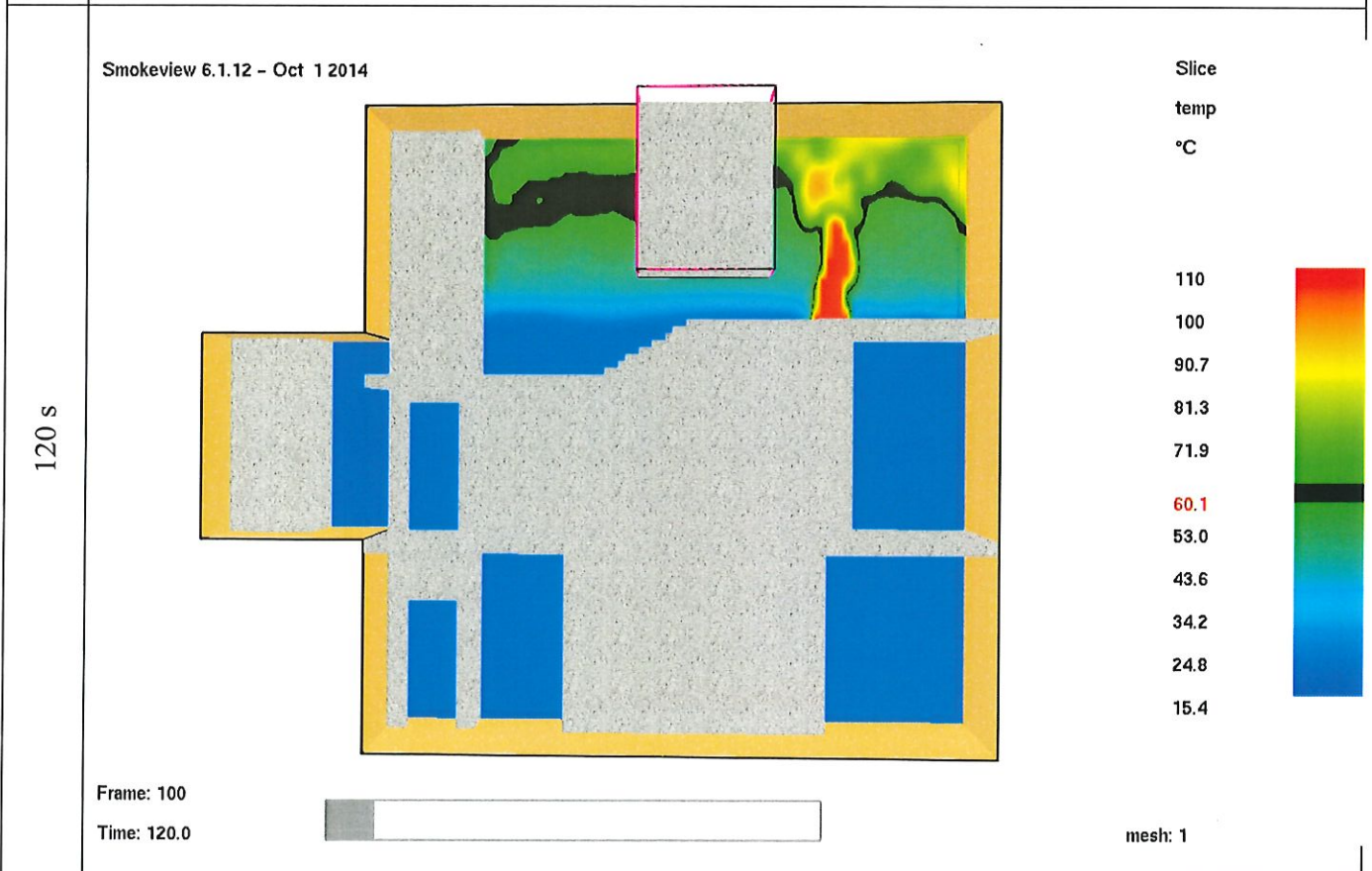
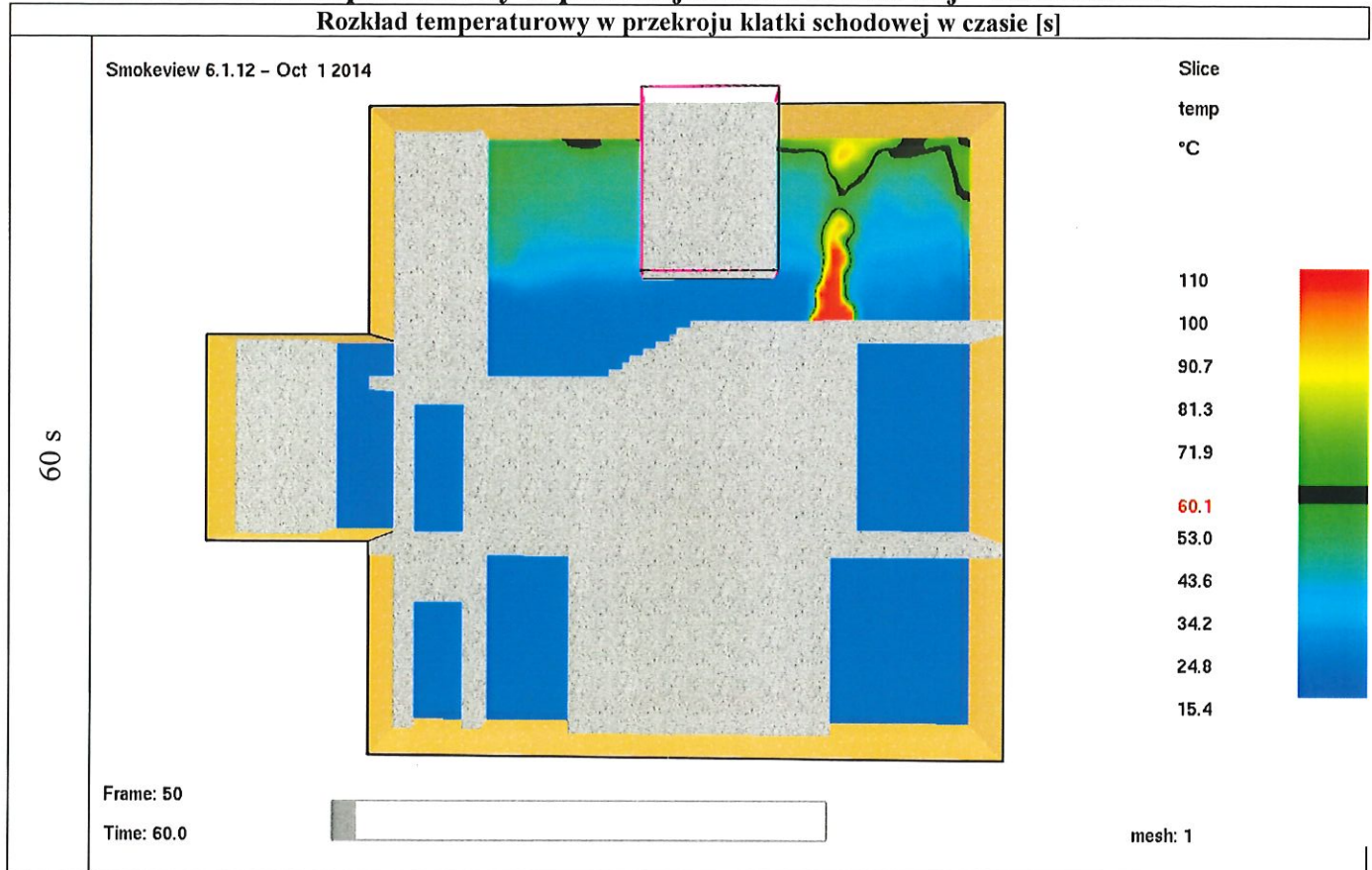


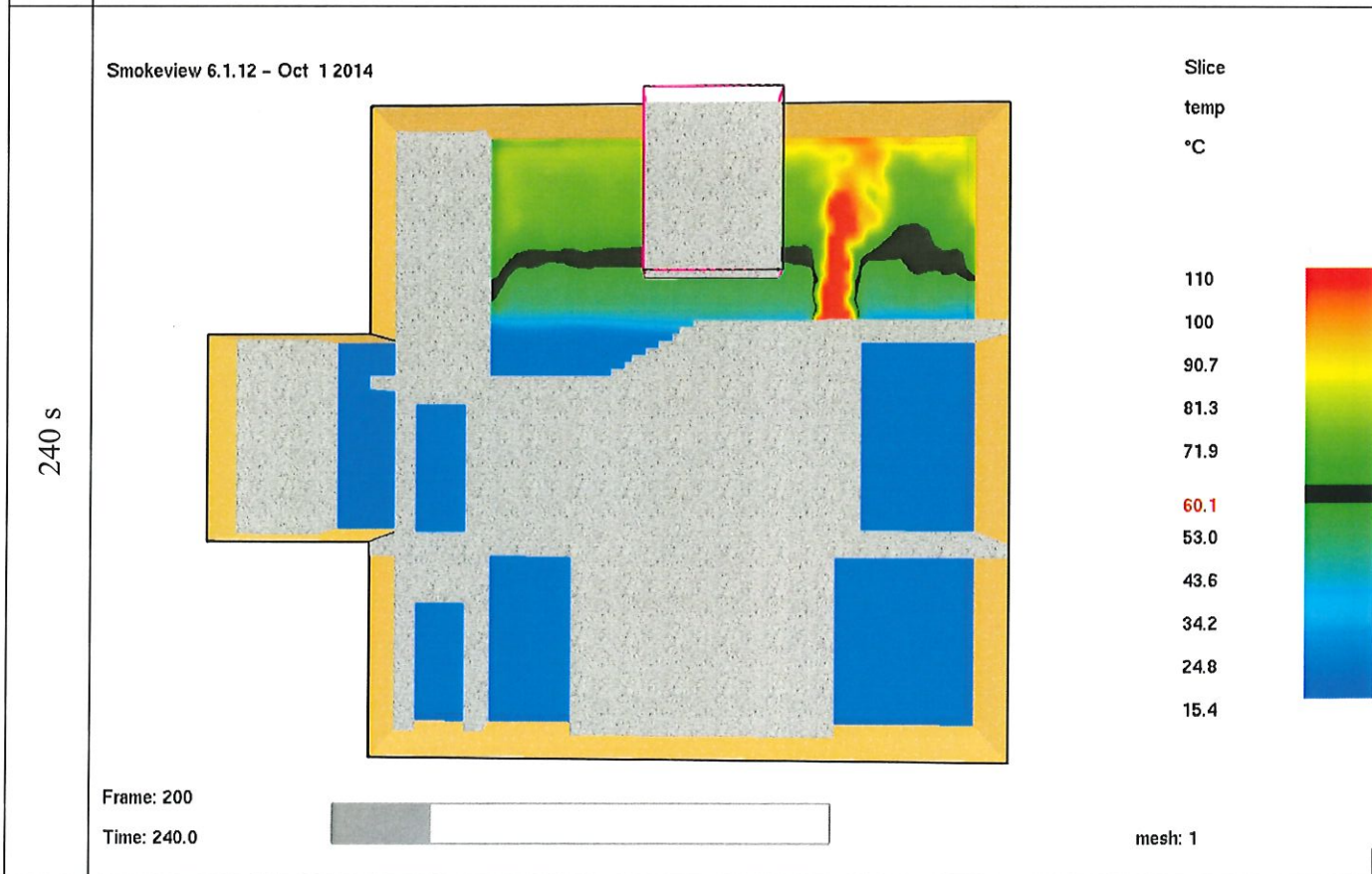
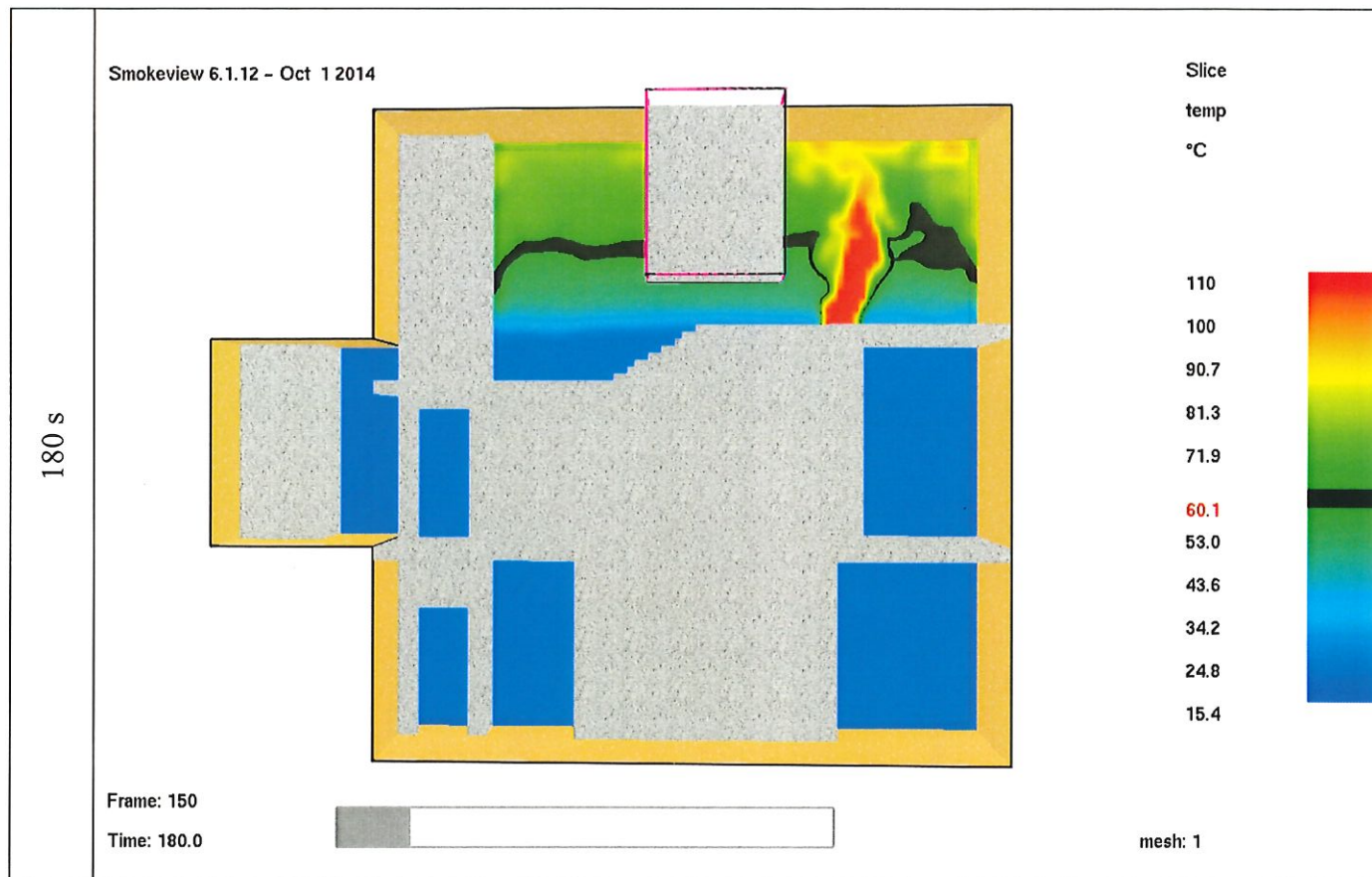
mesh: 1

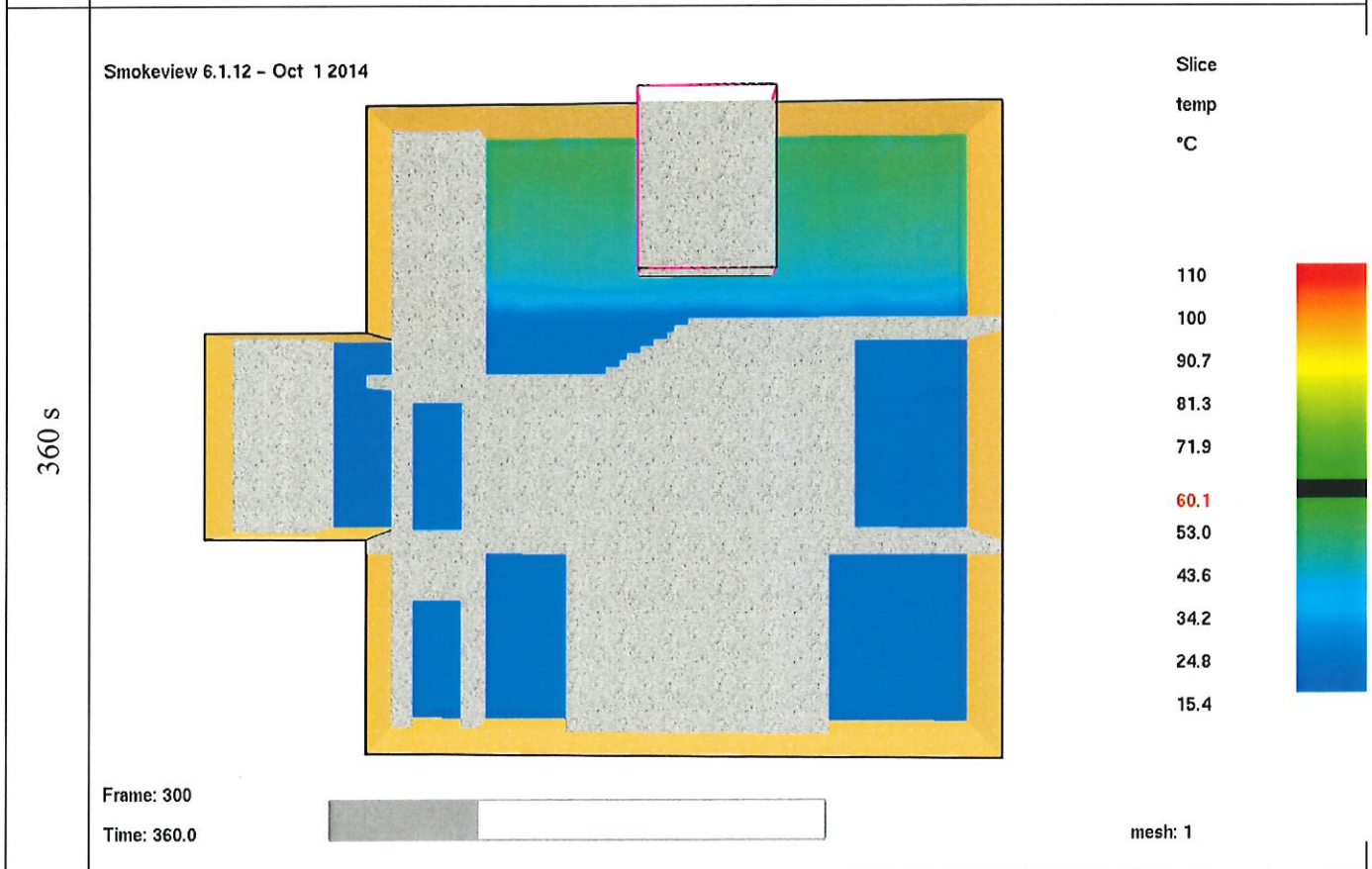
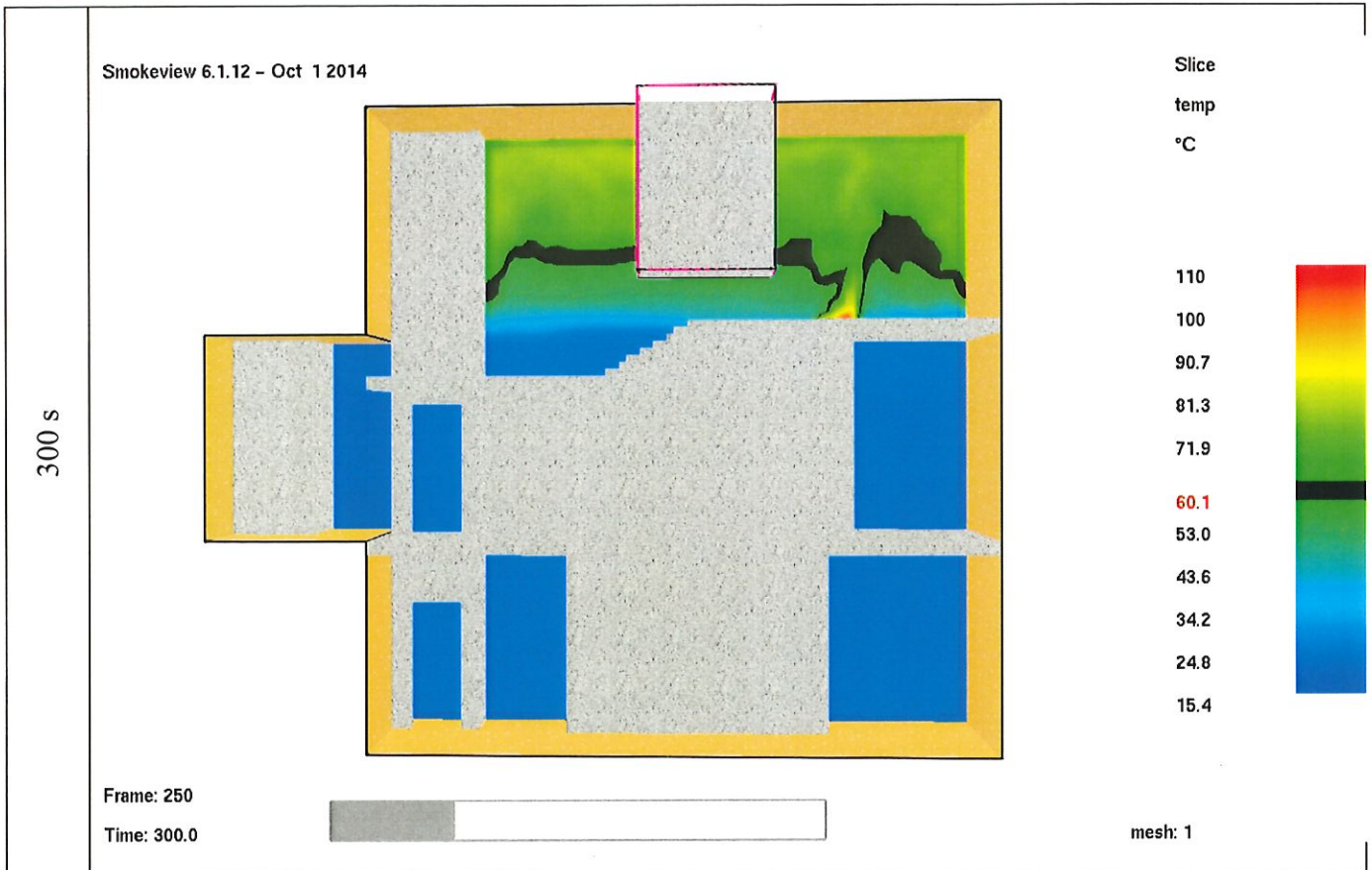
**Rys. 6** Uproszczony model klatki schodowej wygenerowany w programie PyroSim. Zaleca się rozpatrywać symulację wraz z projektem oddymiania gdzie zostały zawarte wszystkie szczegółowe dane systemu.

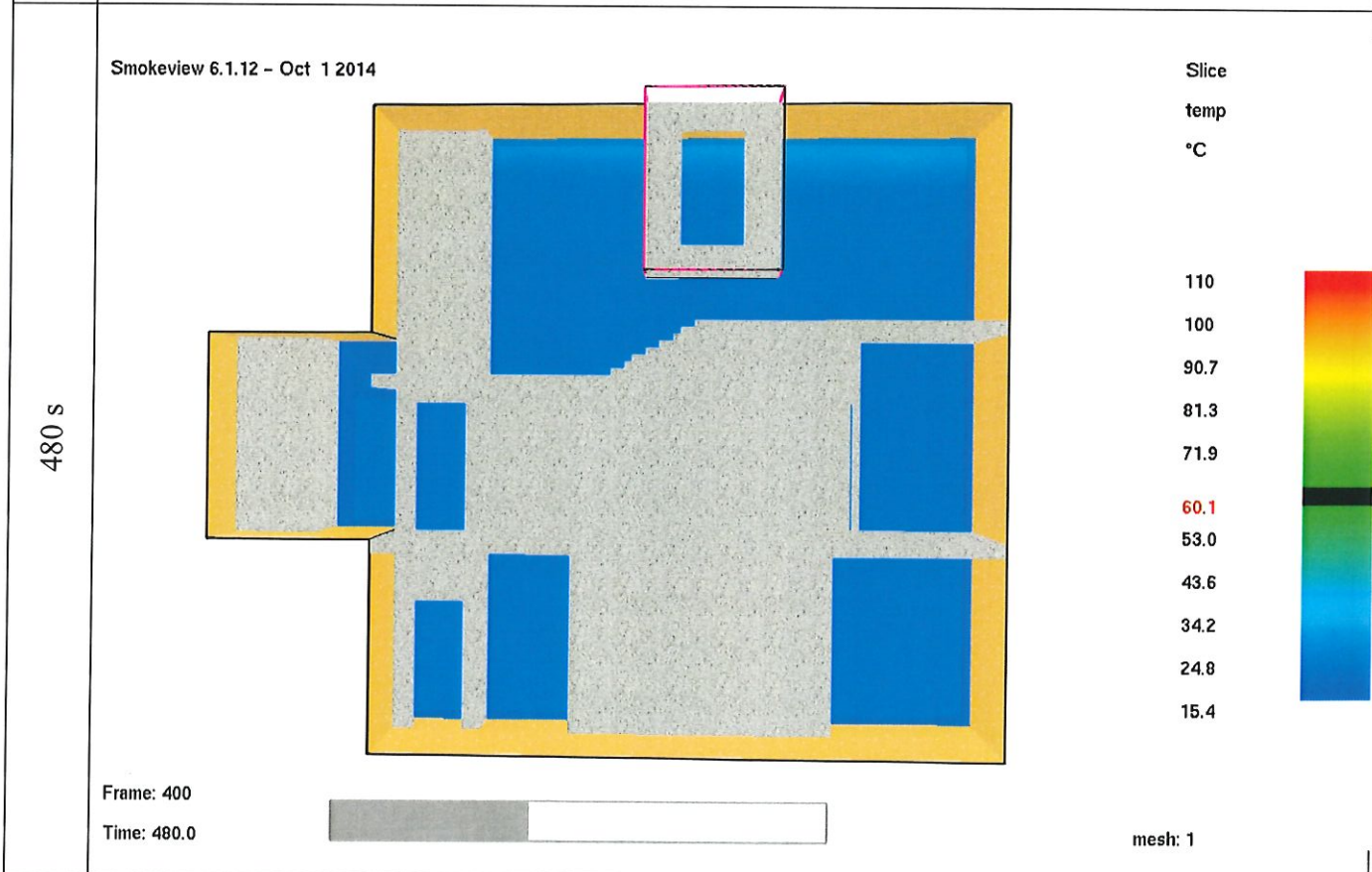
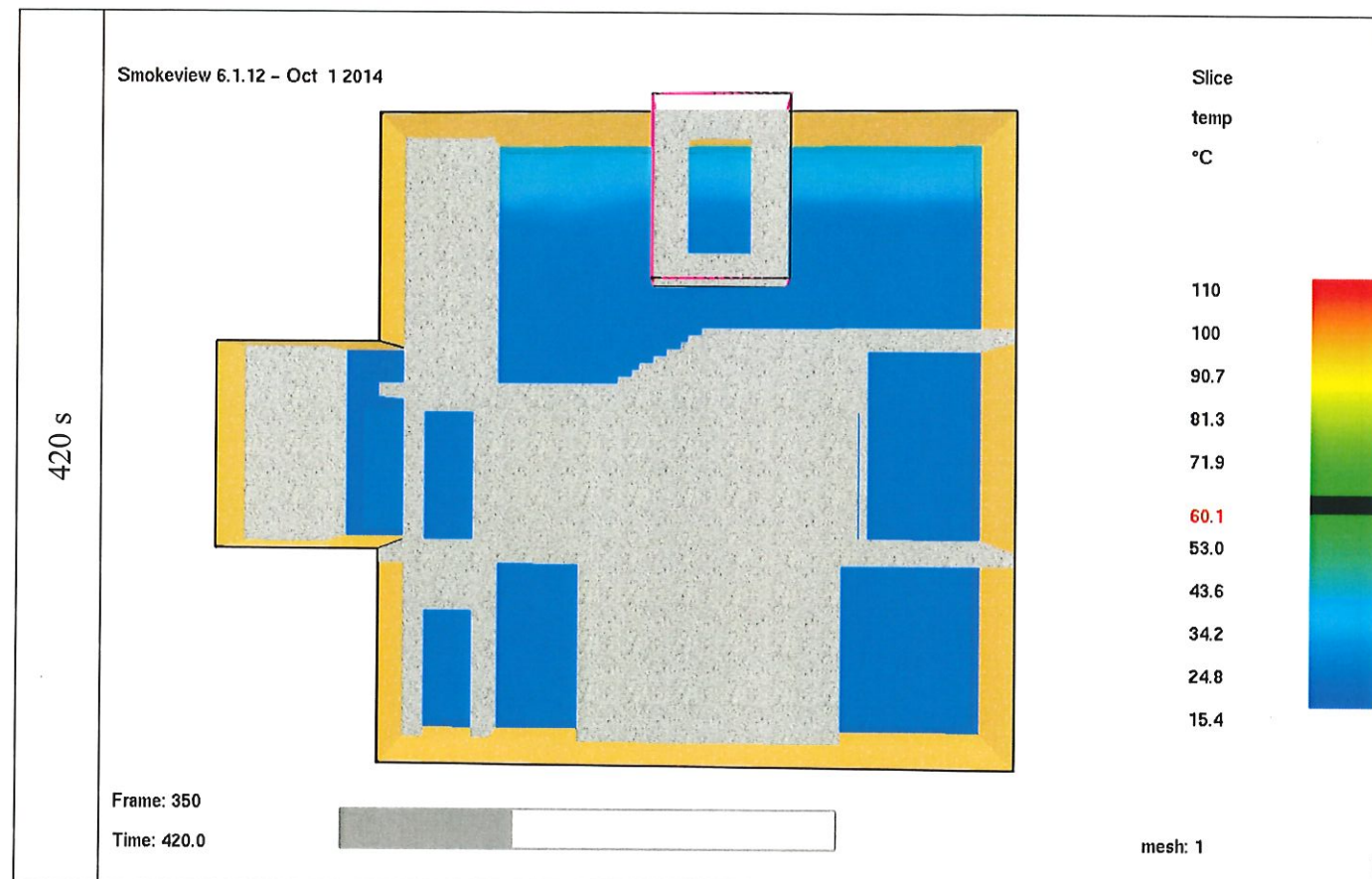
**10.1. Rozkład temperaturowy w przekroju klatki schodowej – scenariusz 1**

Rozkład temperaturowy w przekroju klatki schodowej w czasie [s]





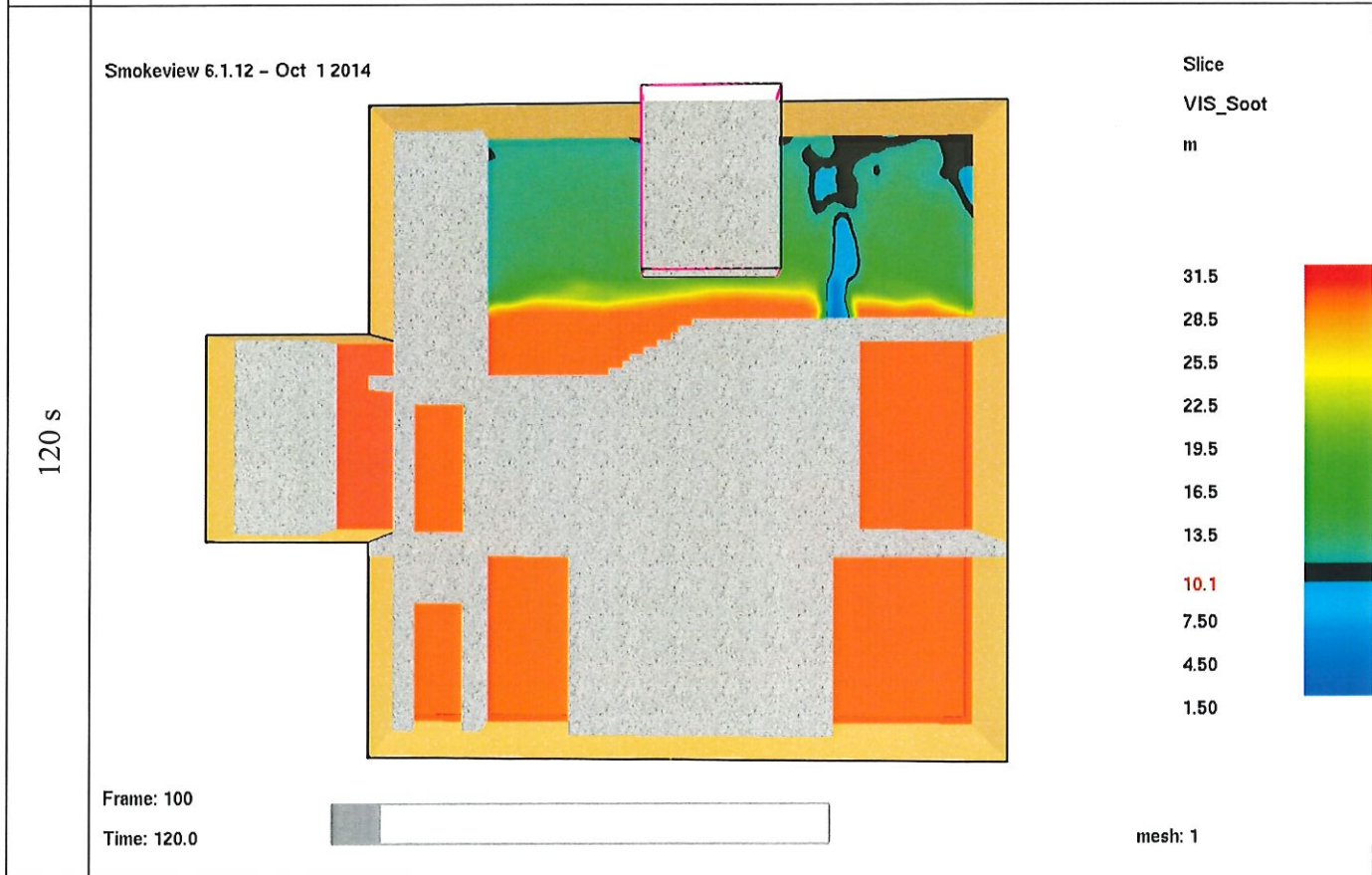
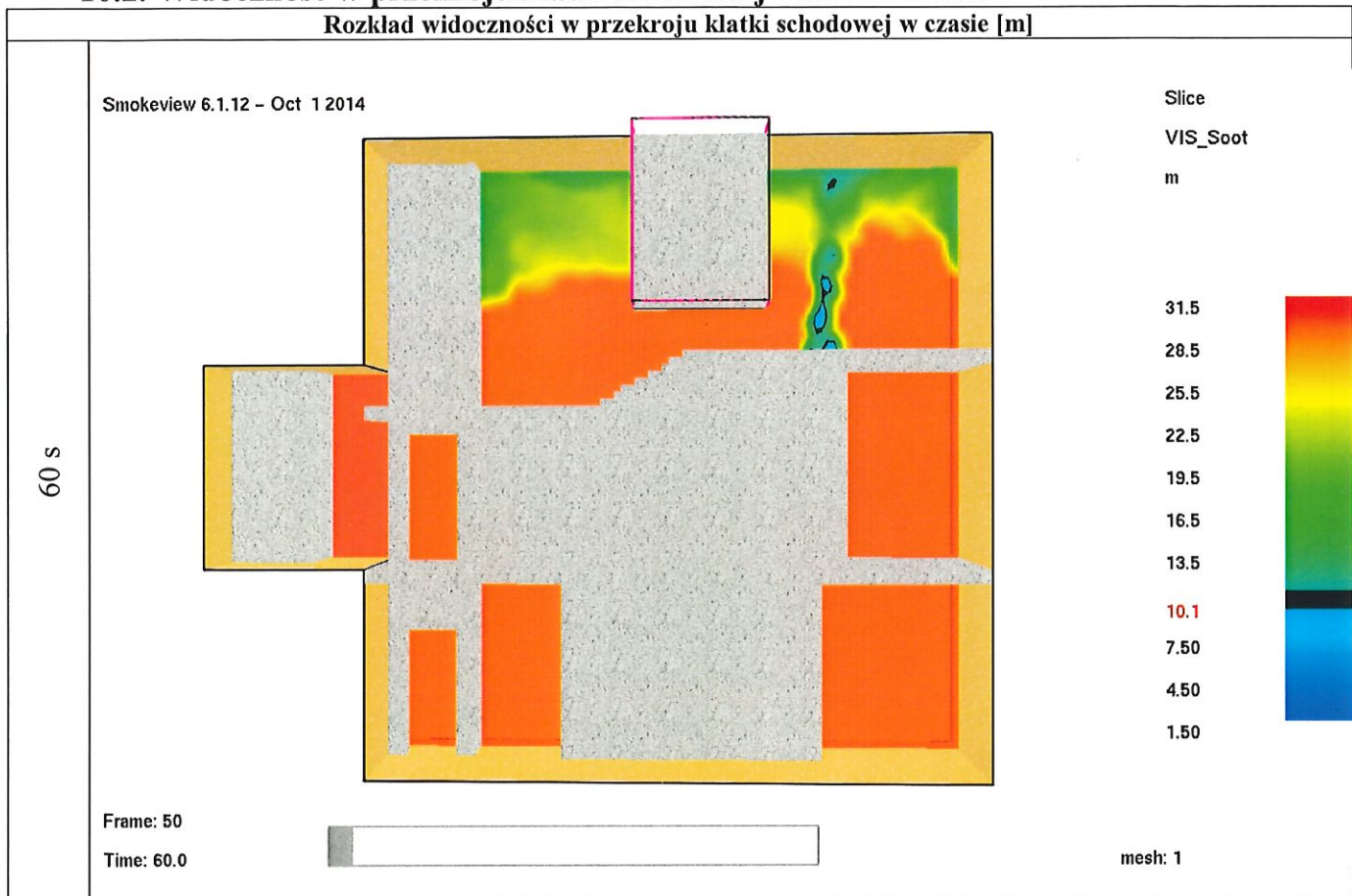


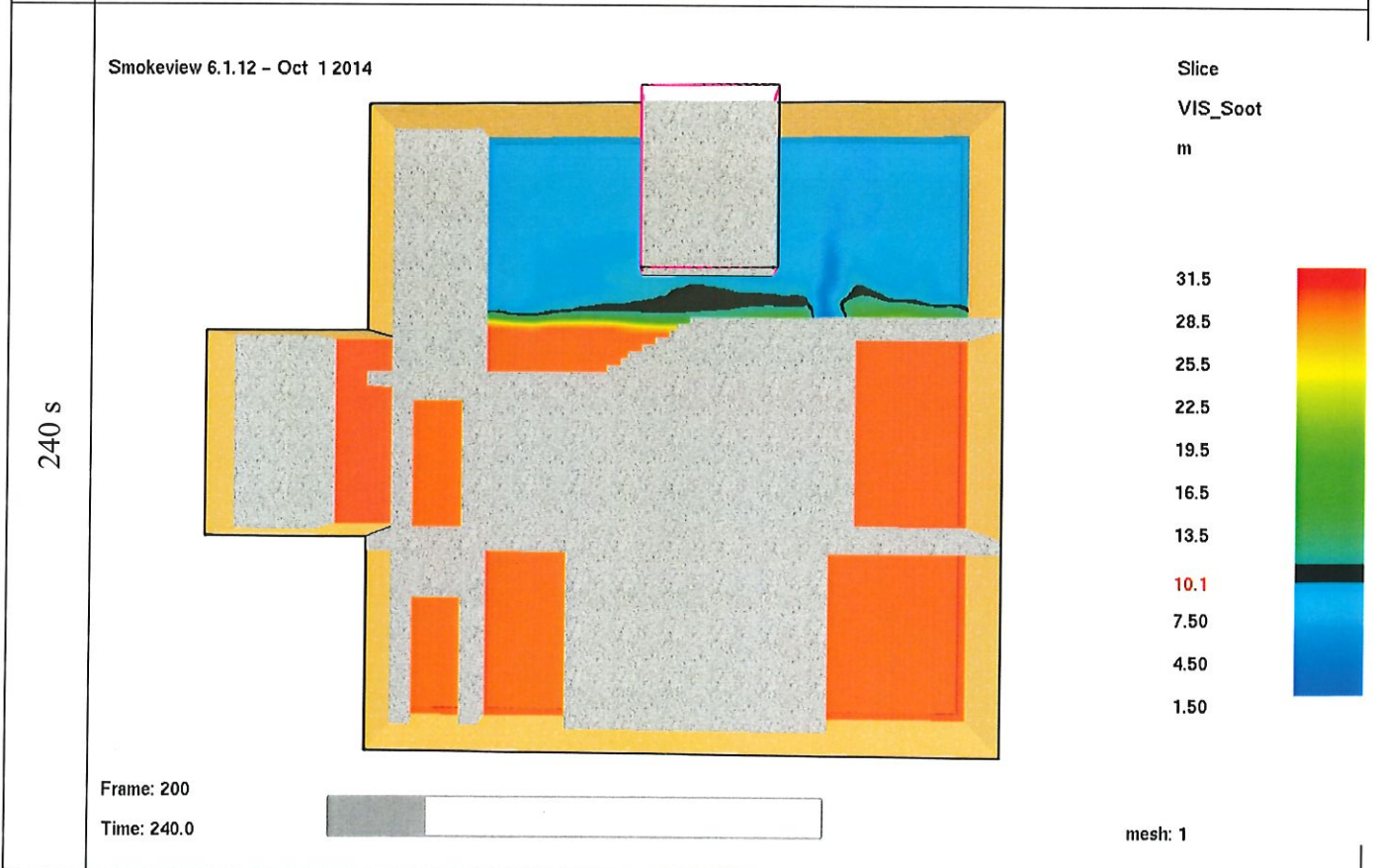
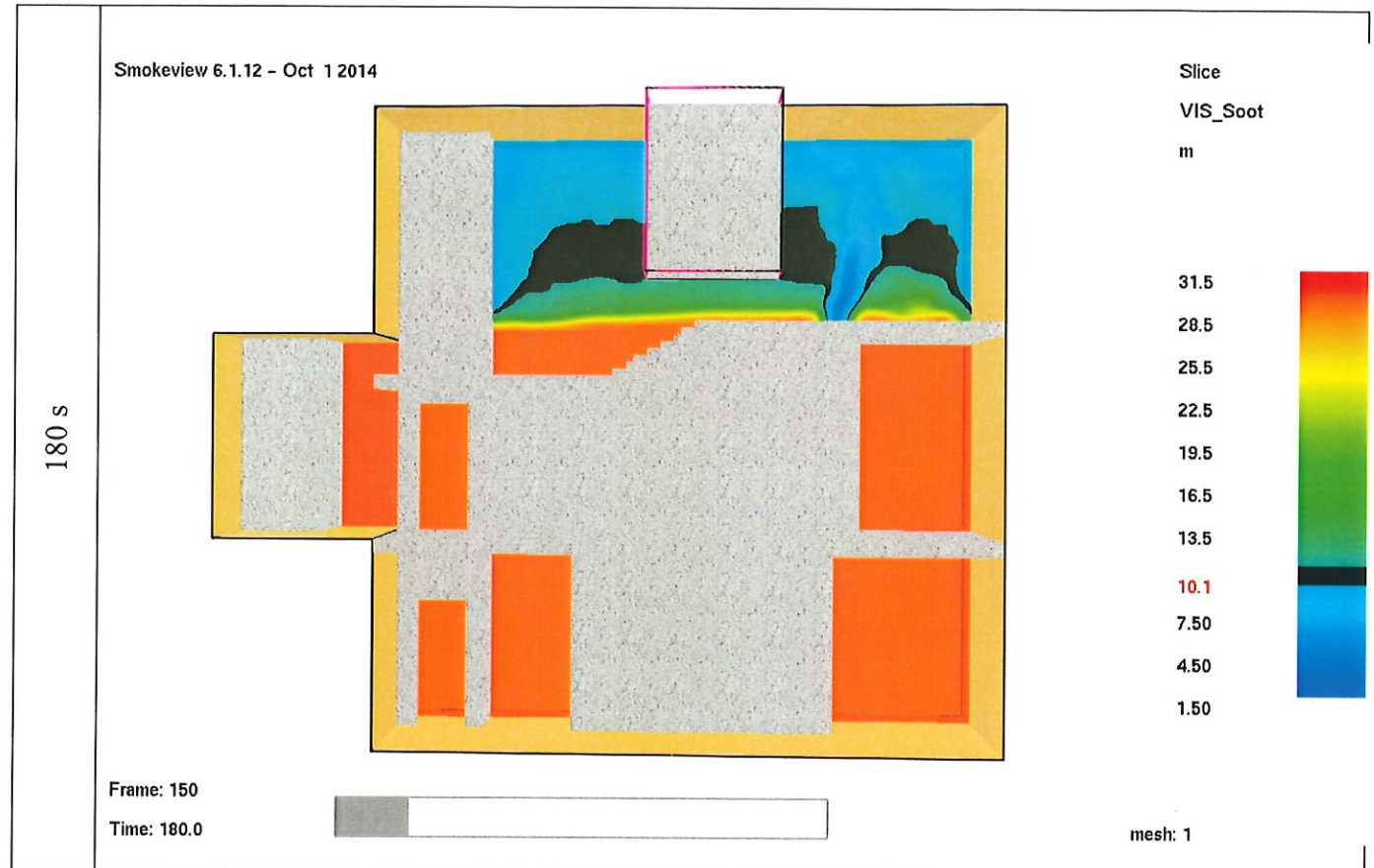


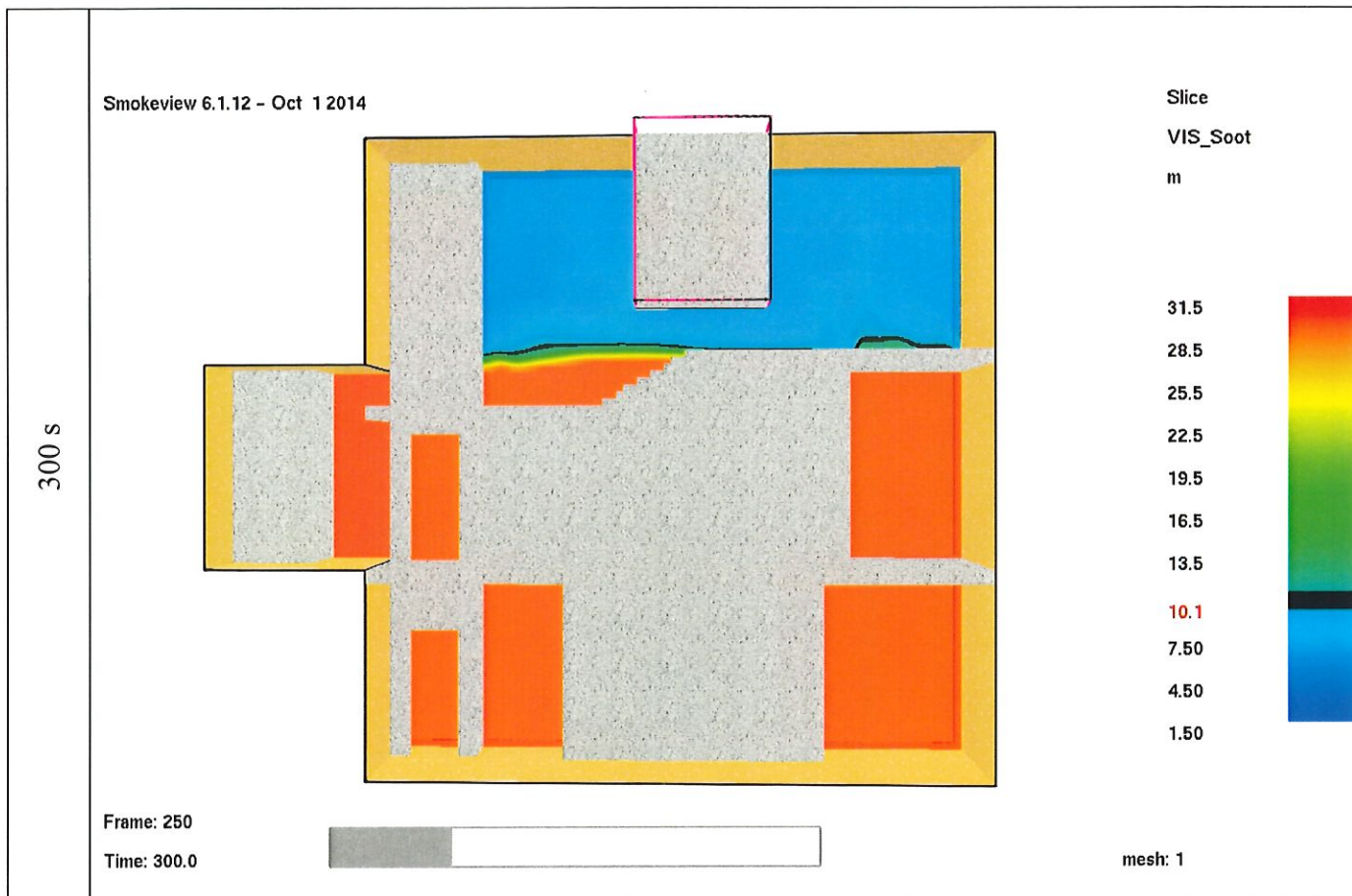


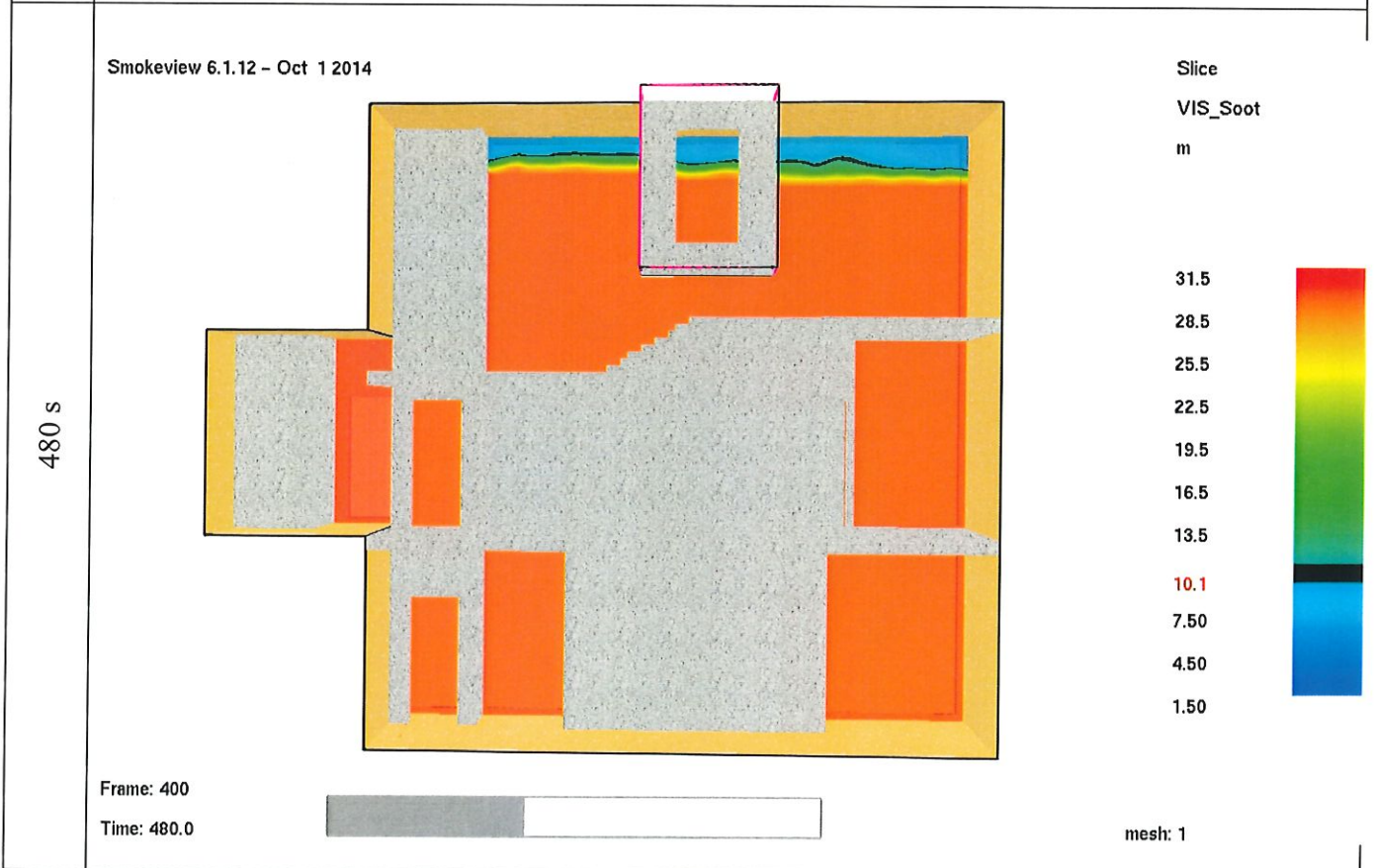
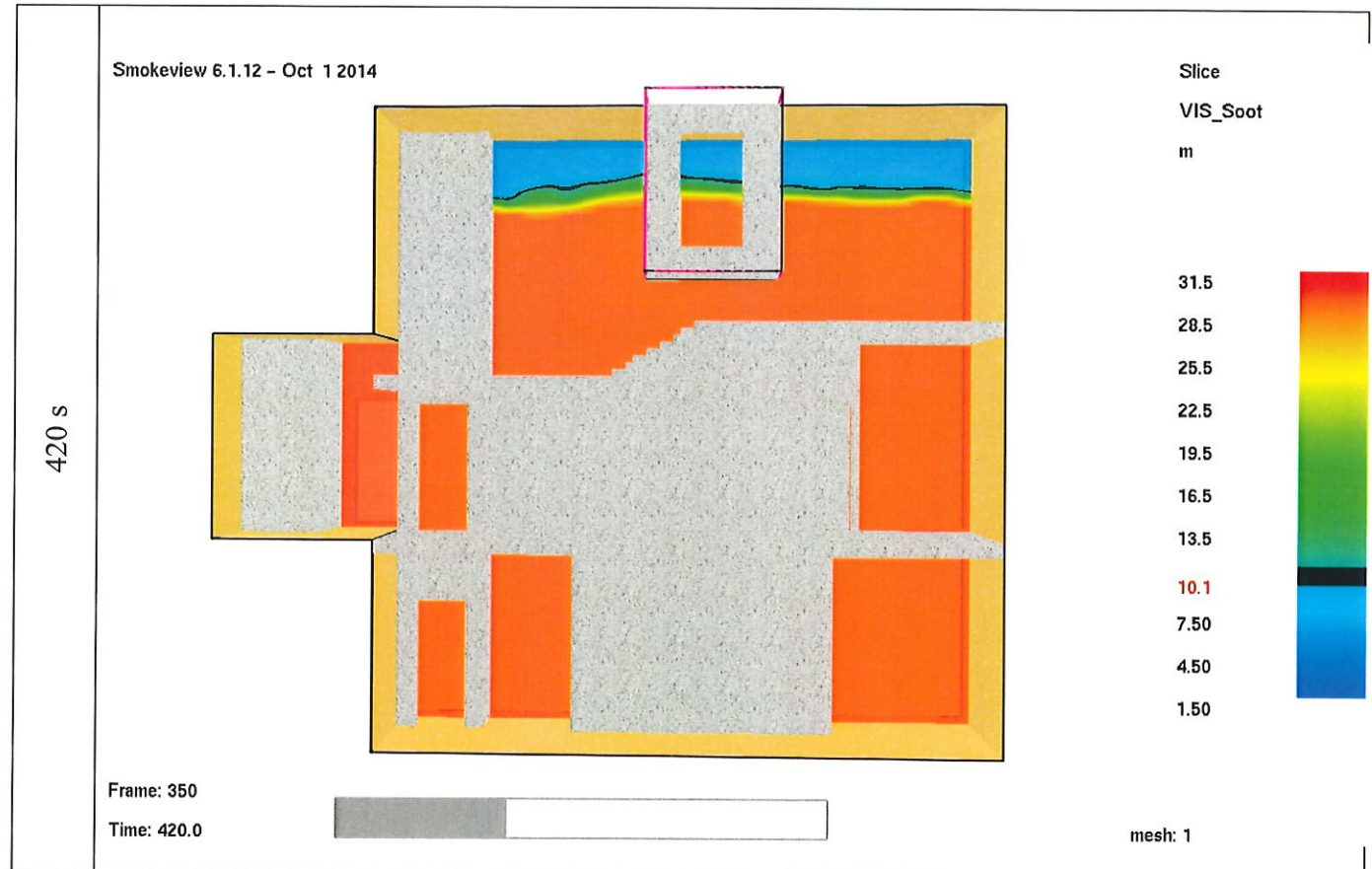
**10.2. Widoczność w przekroju klatki schodowej – scenariusz nr 1**

**Rozkład widoczności w przekroju klatki schodowej w czasie [m]**



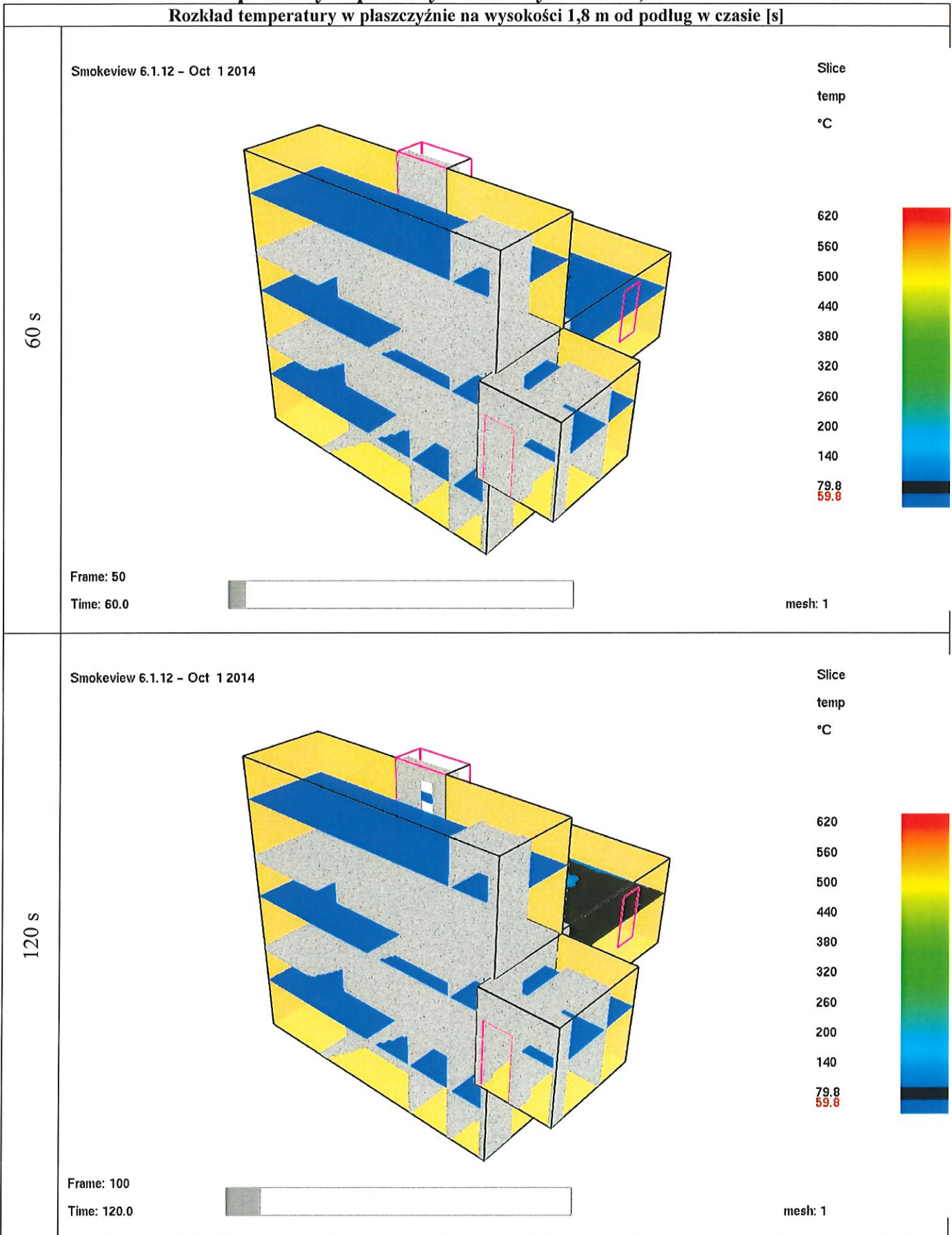


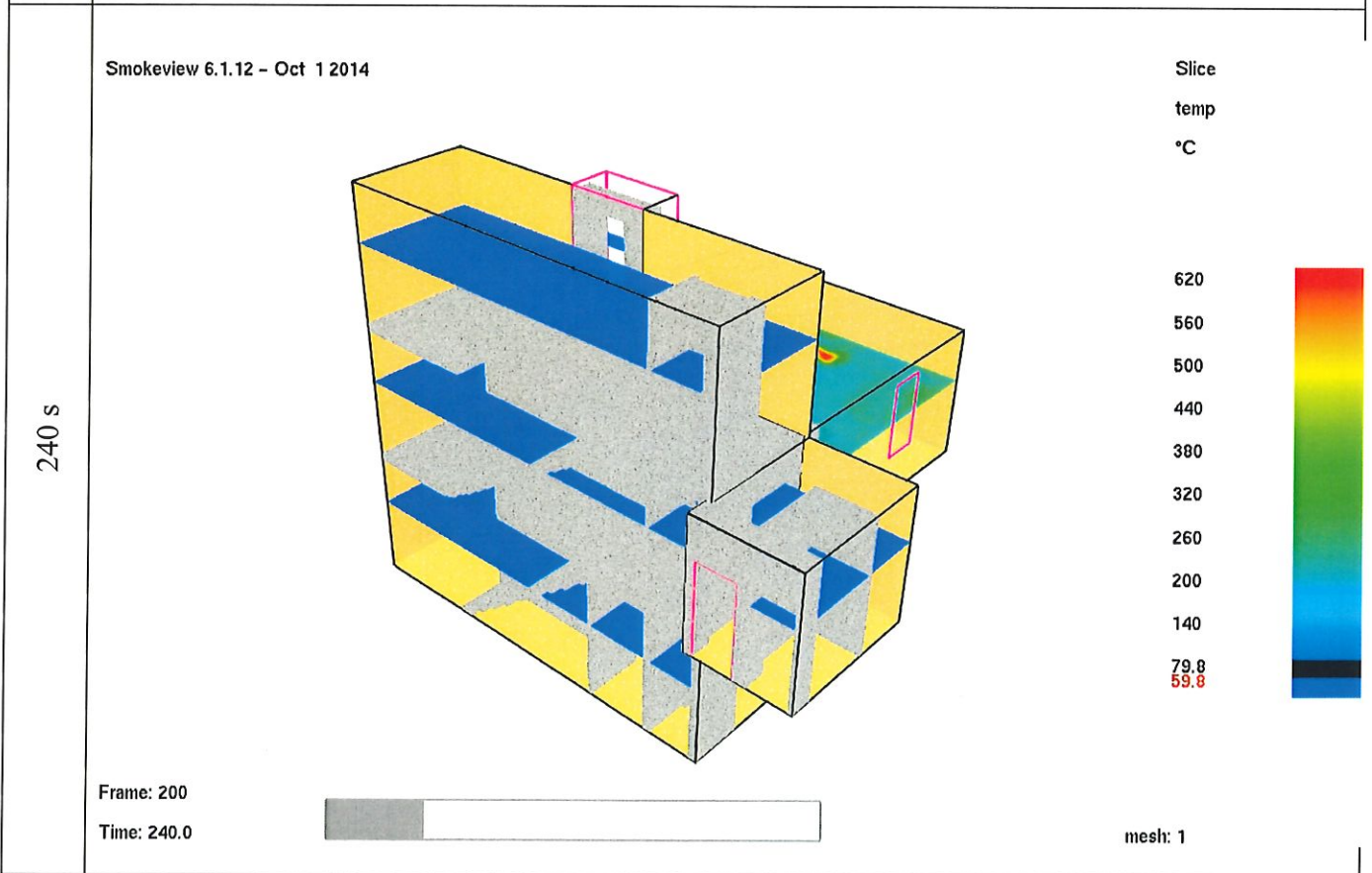
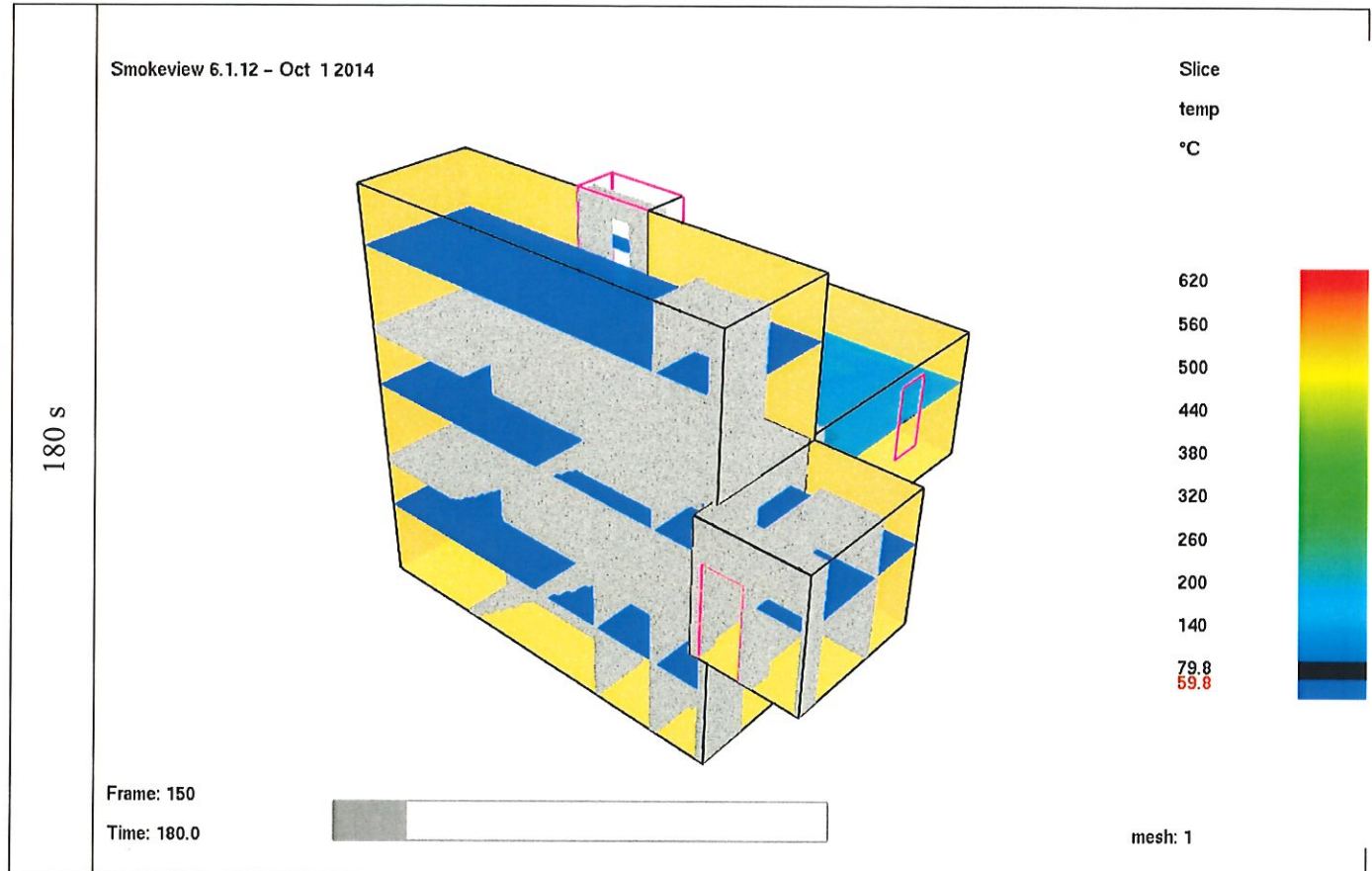


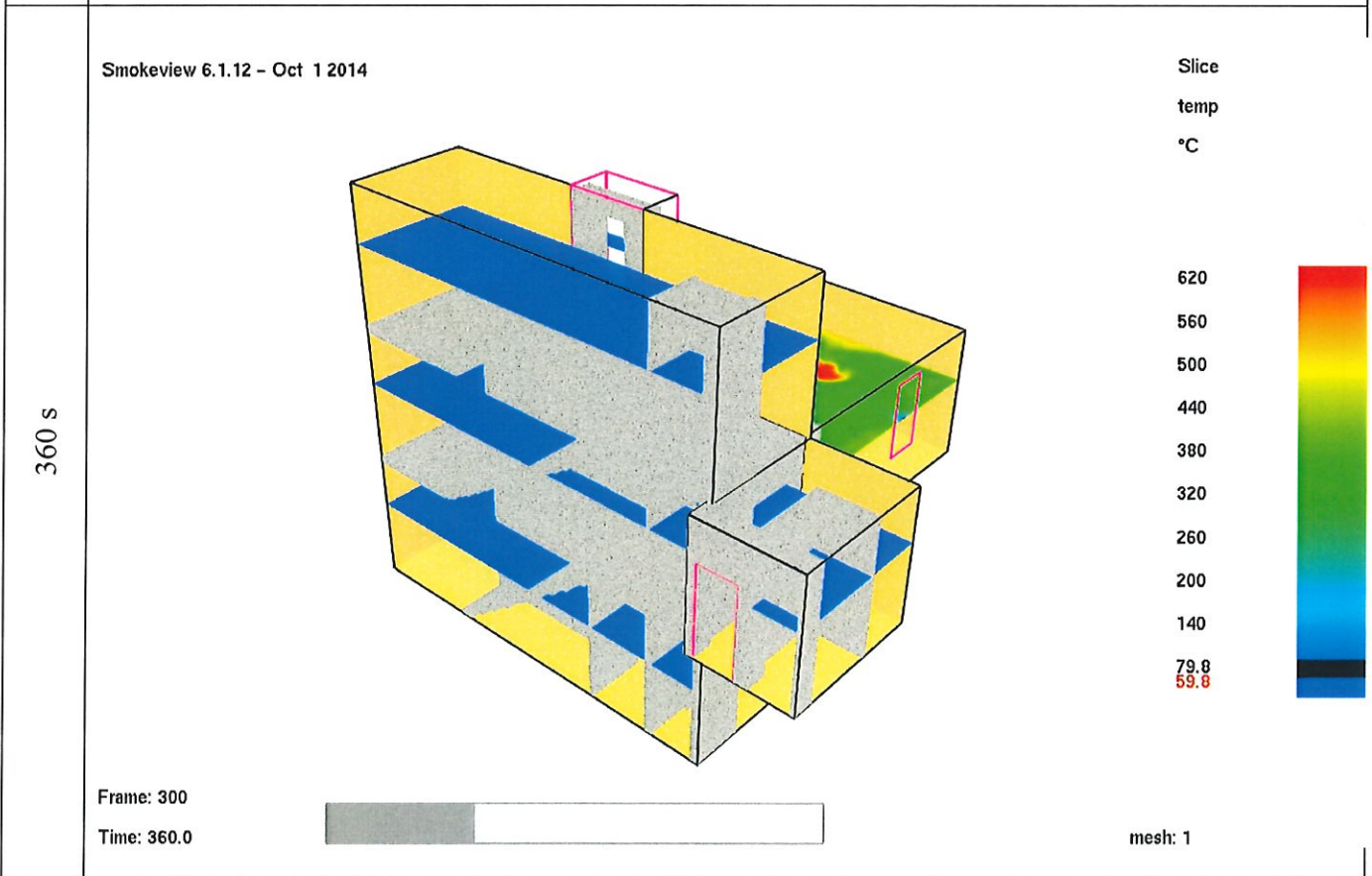
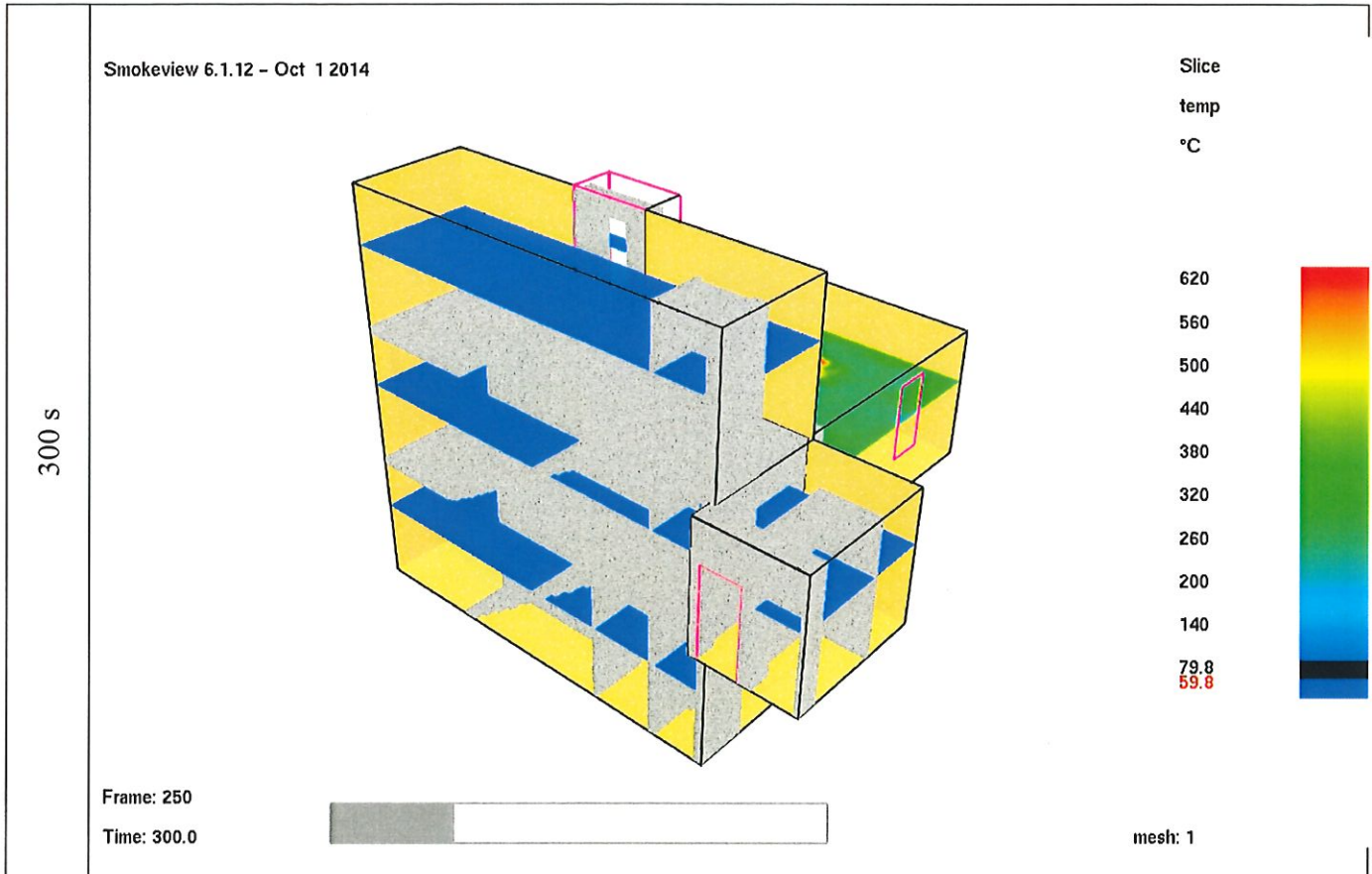


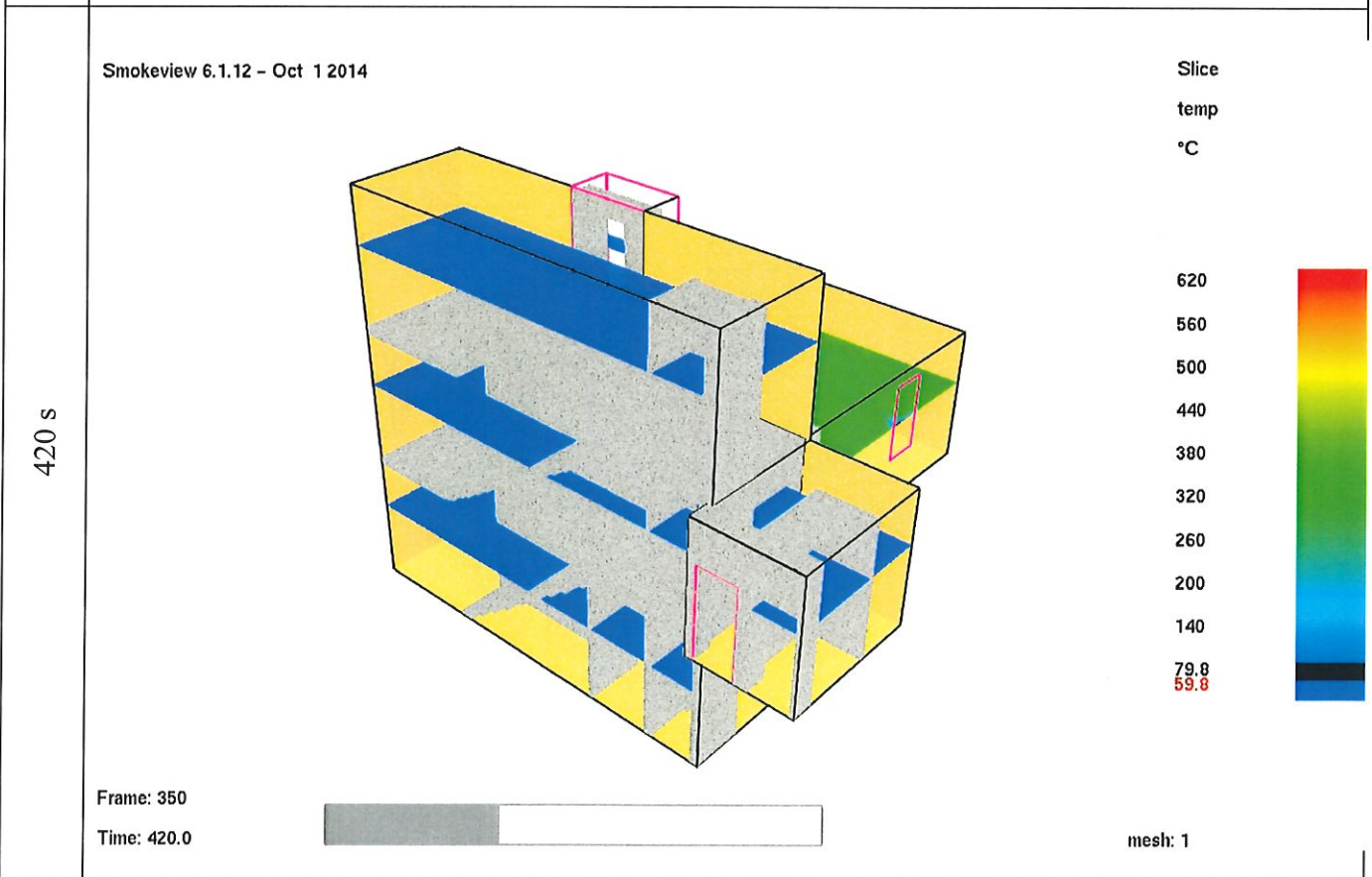
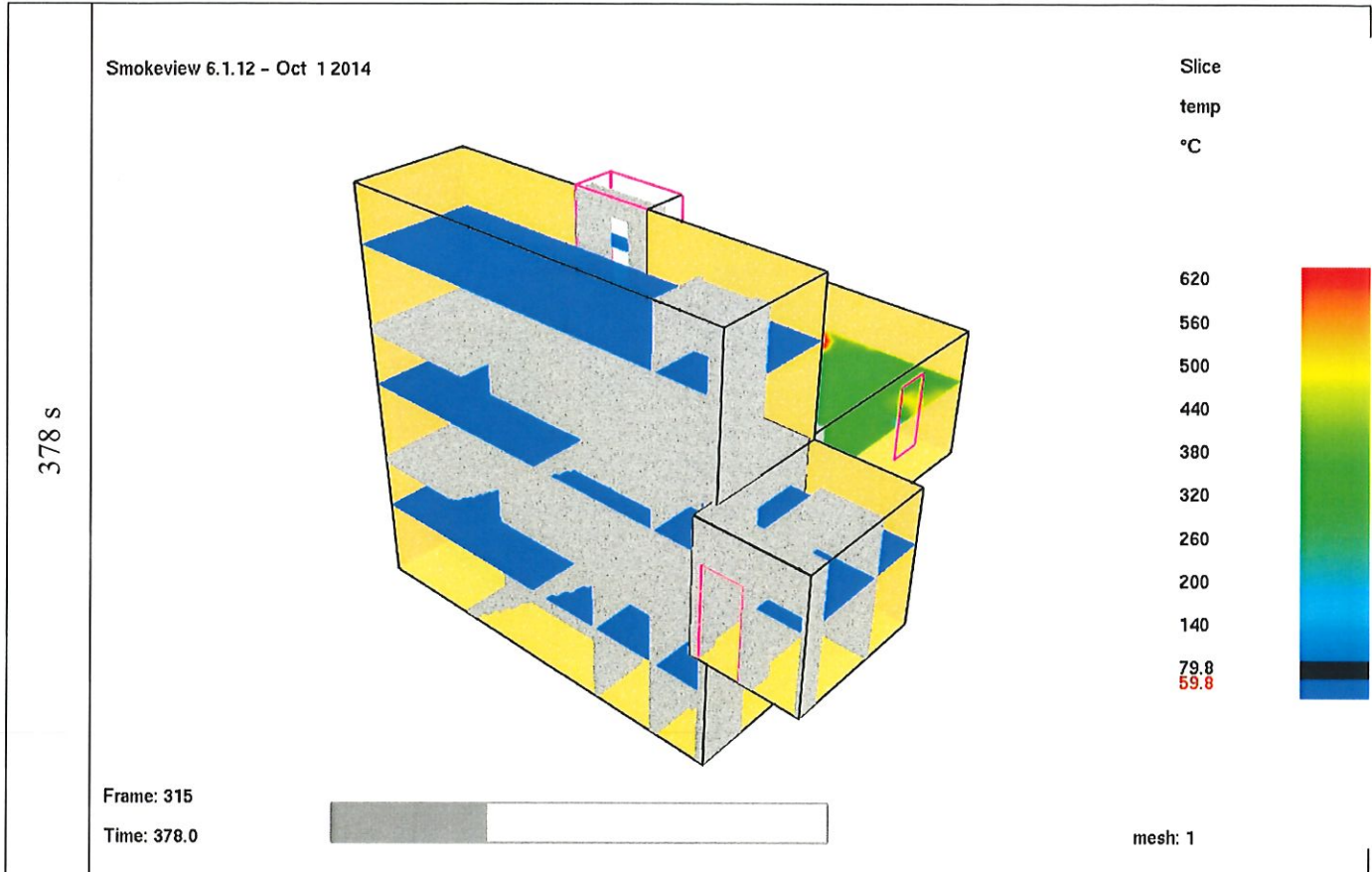
**10.3. Rozkład temperatury w płaszczyźnie na wysokości 1,8 m – scenariusz nr 2**

**Rozkład temperatury w płaszczyźnie na wysokości 1,8 m od podług w czasie [s]**





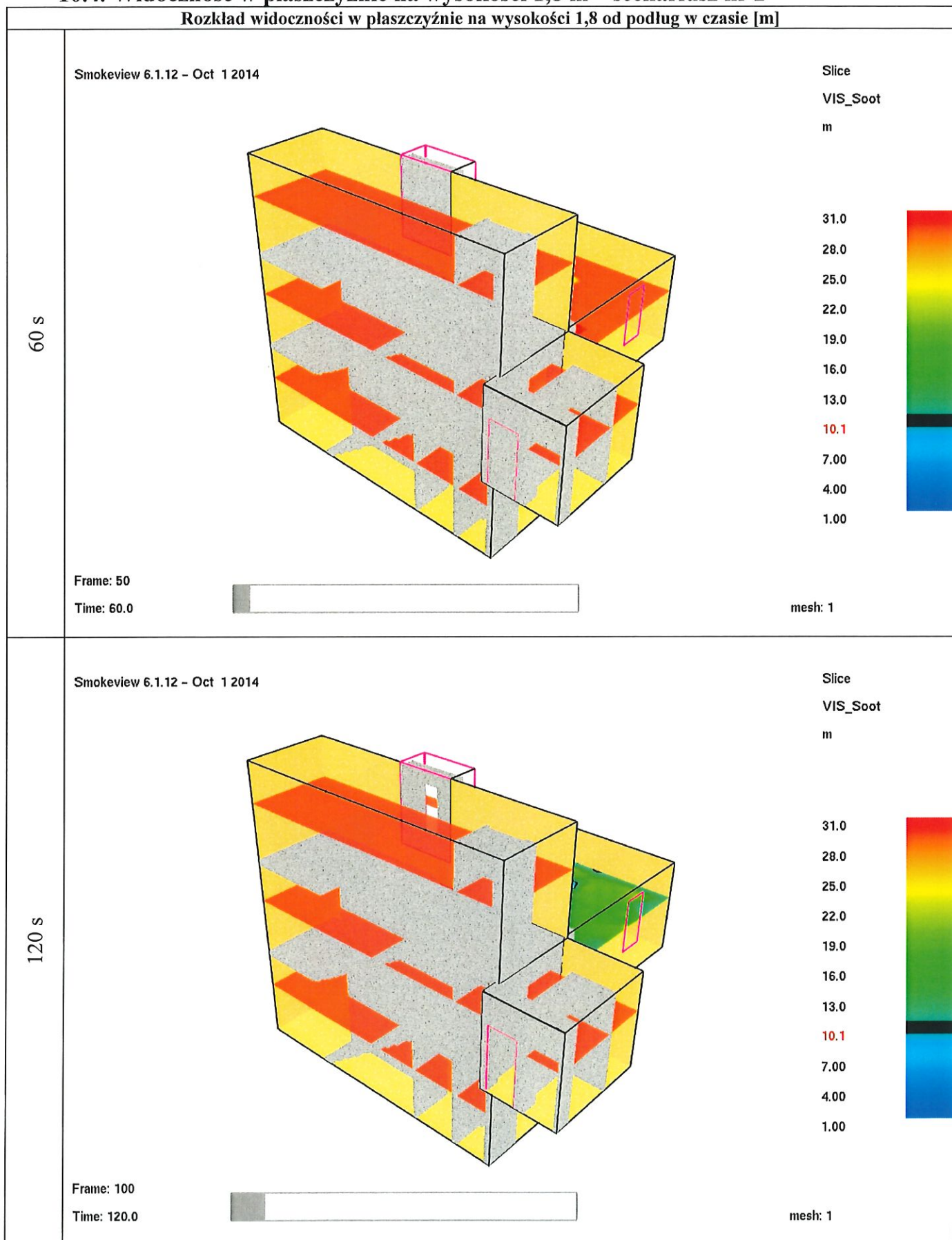


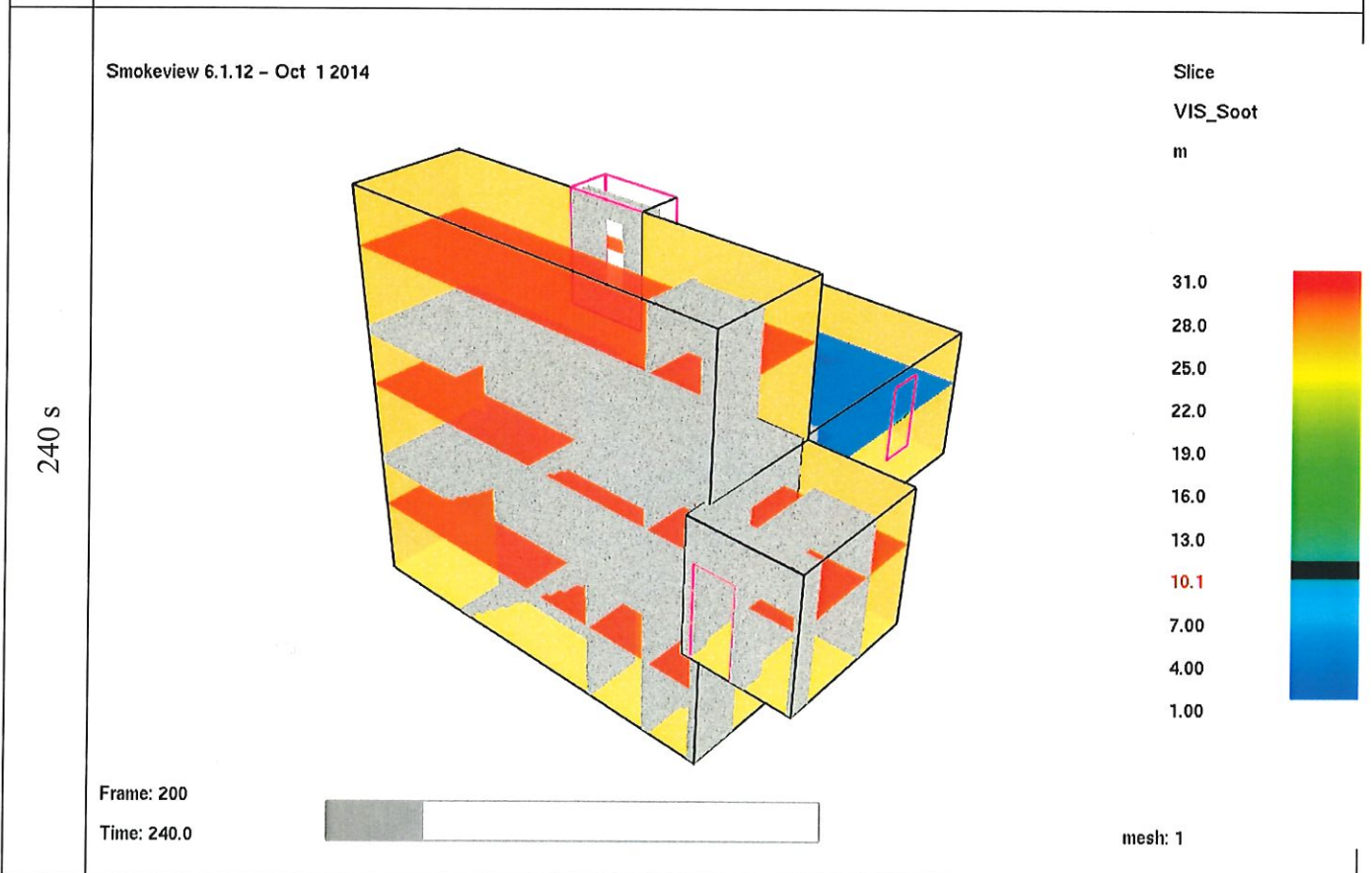
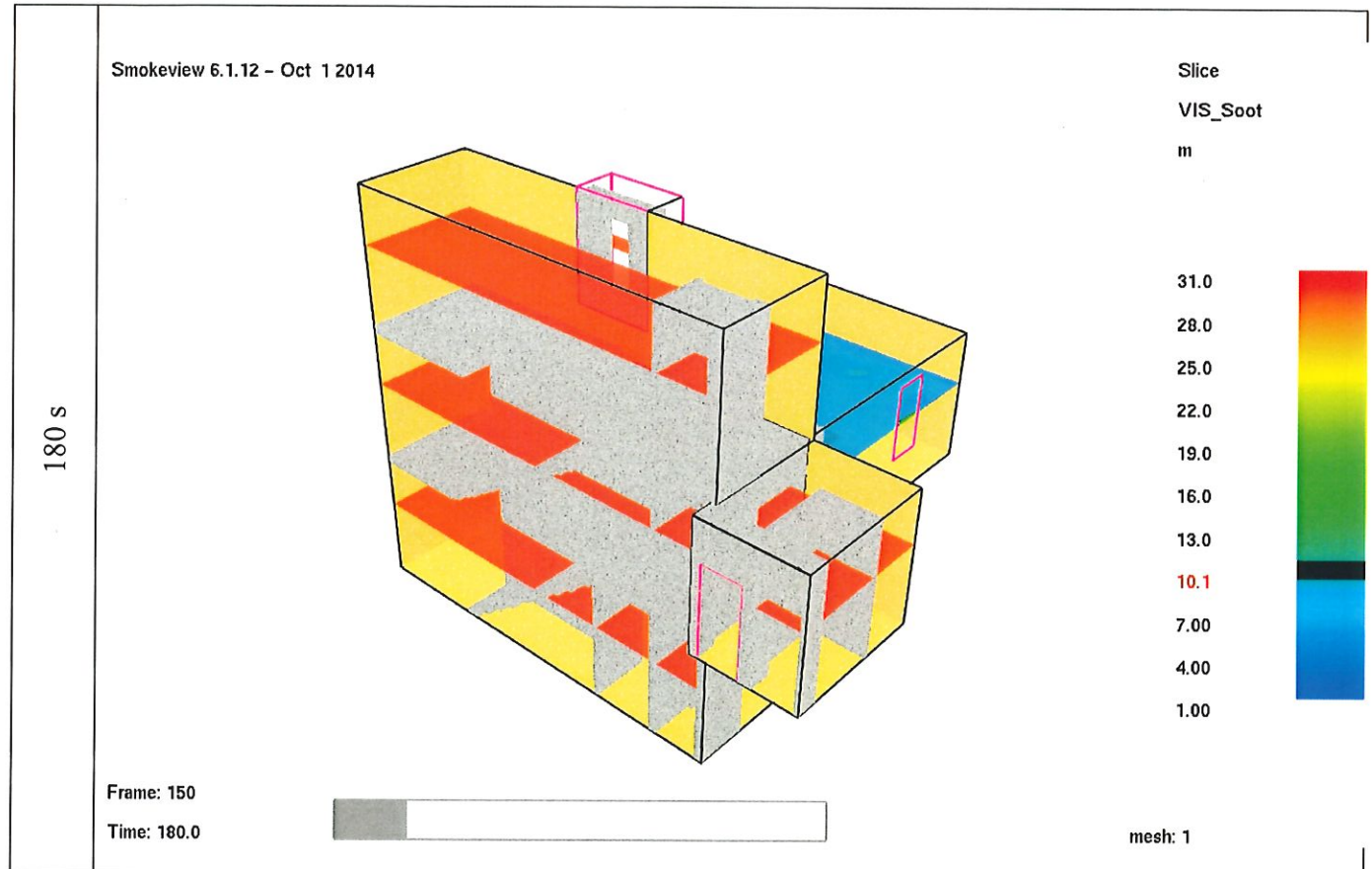


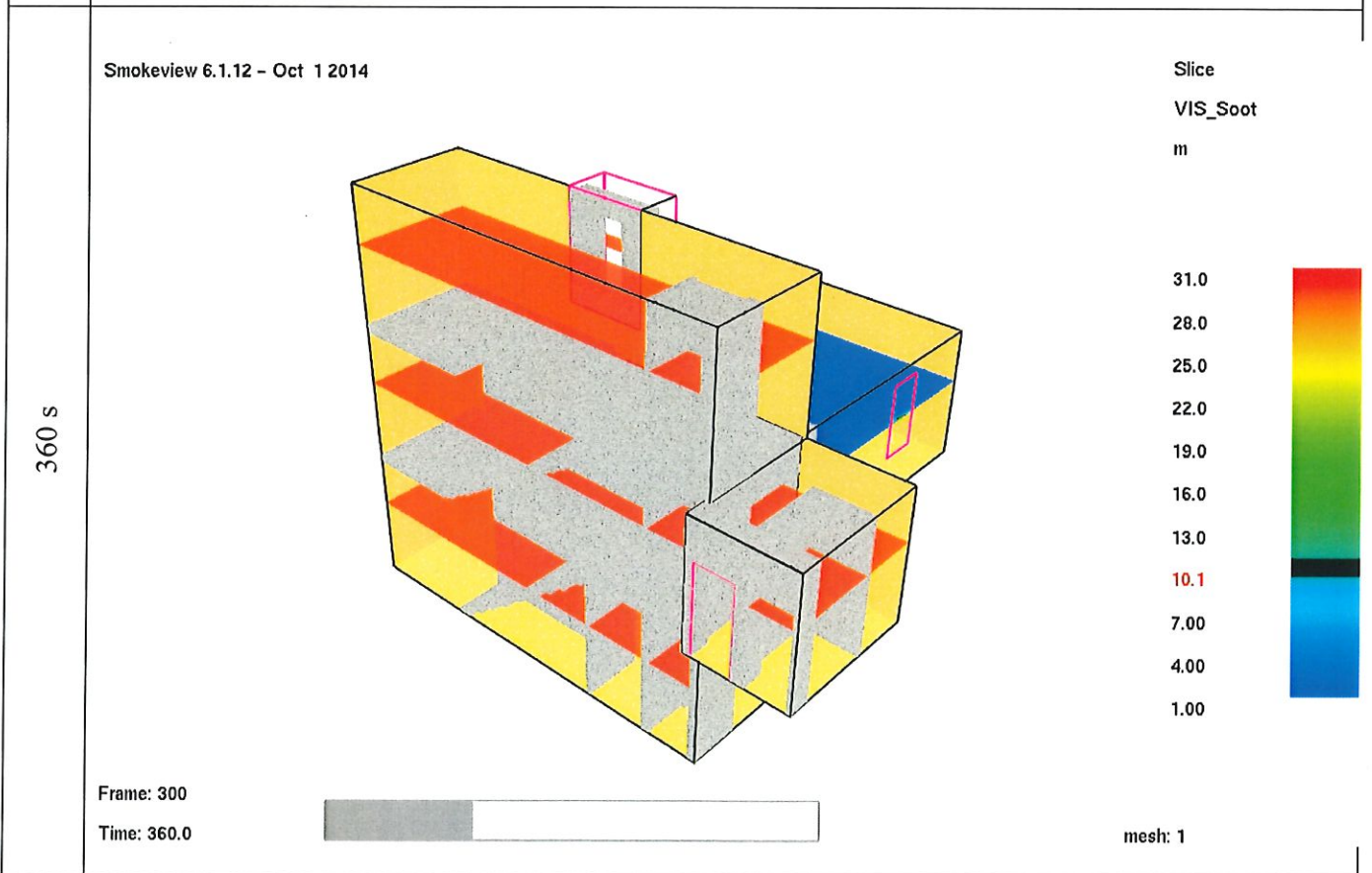
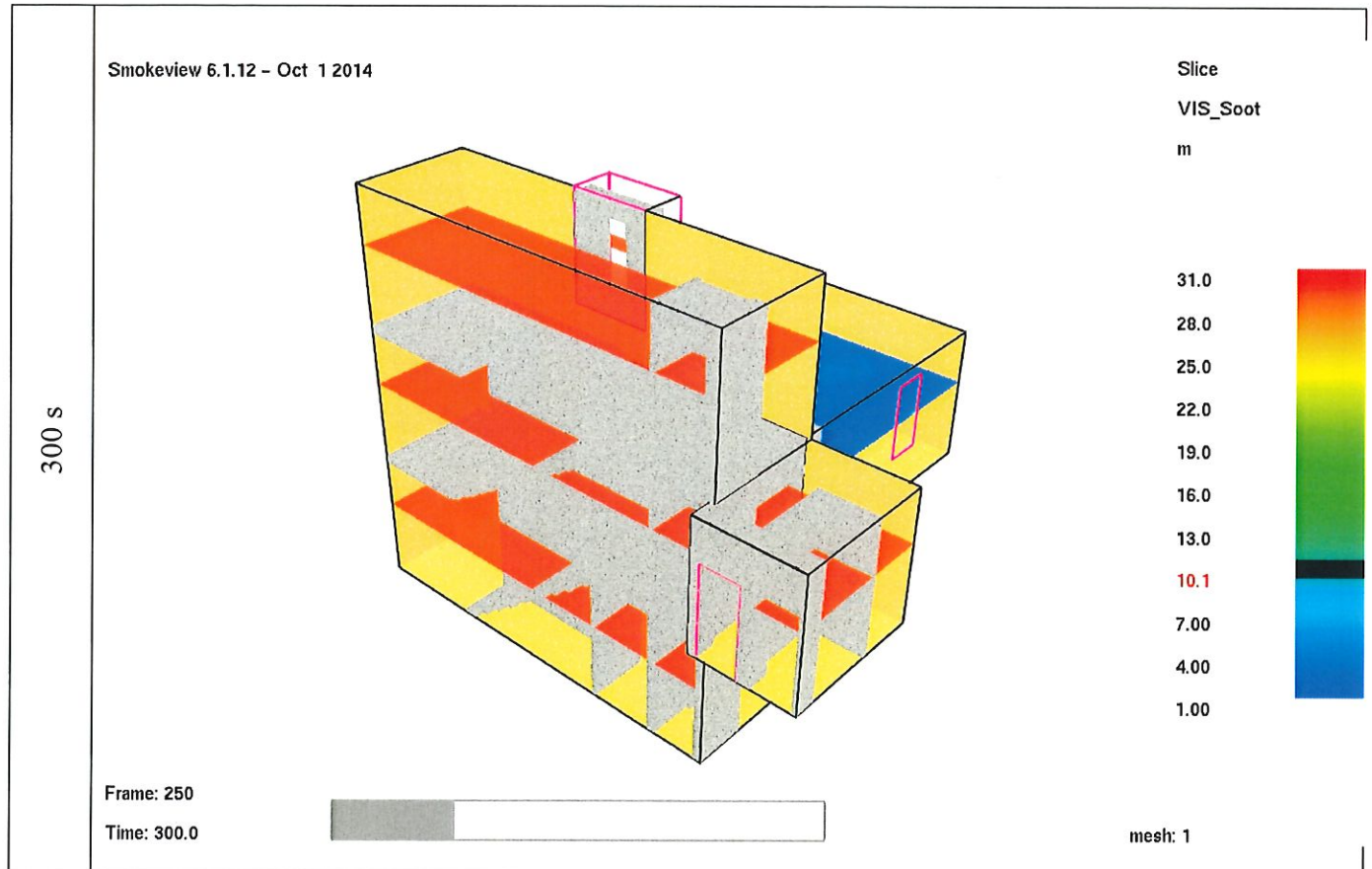


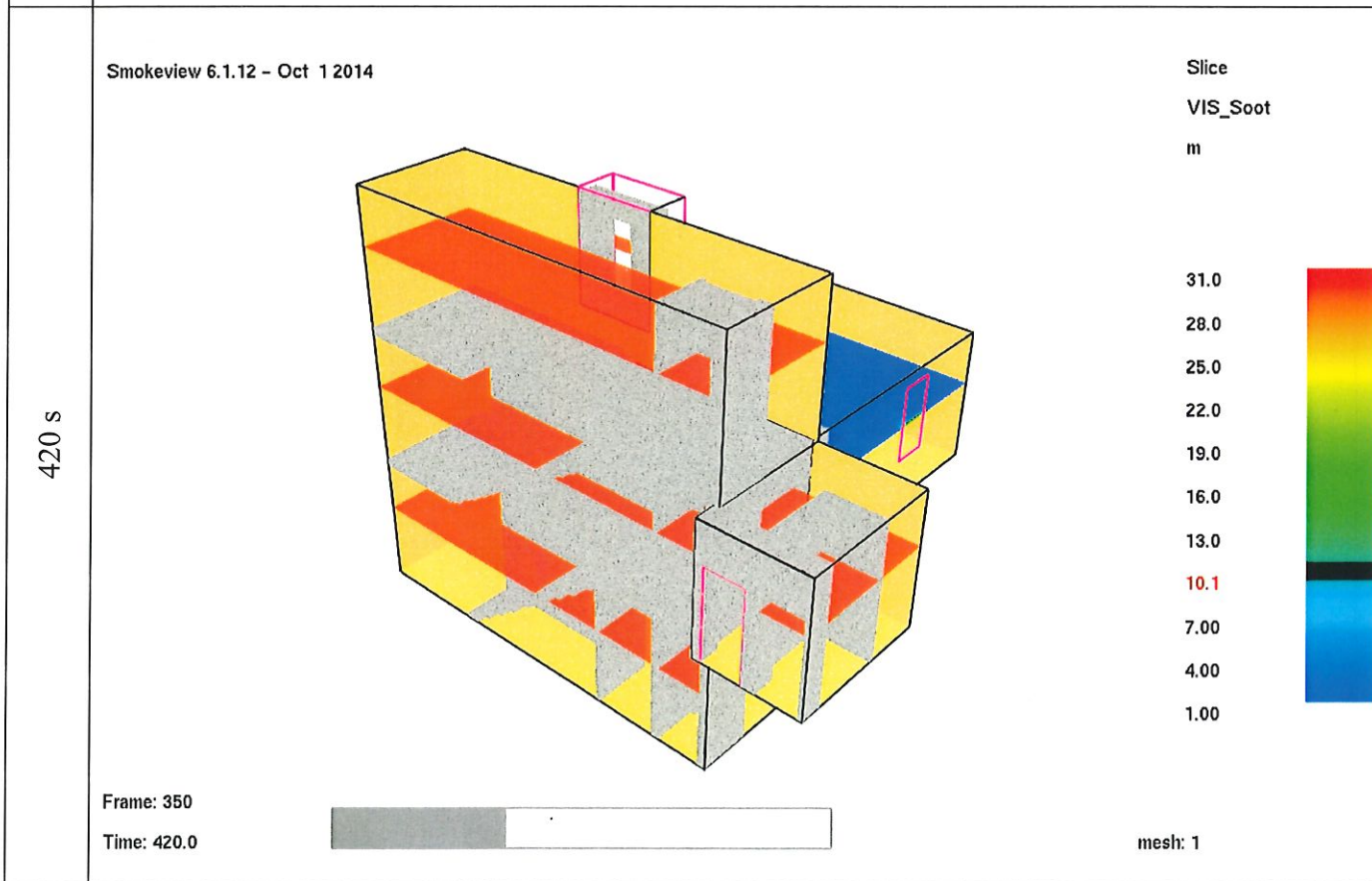
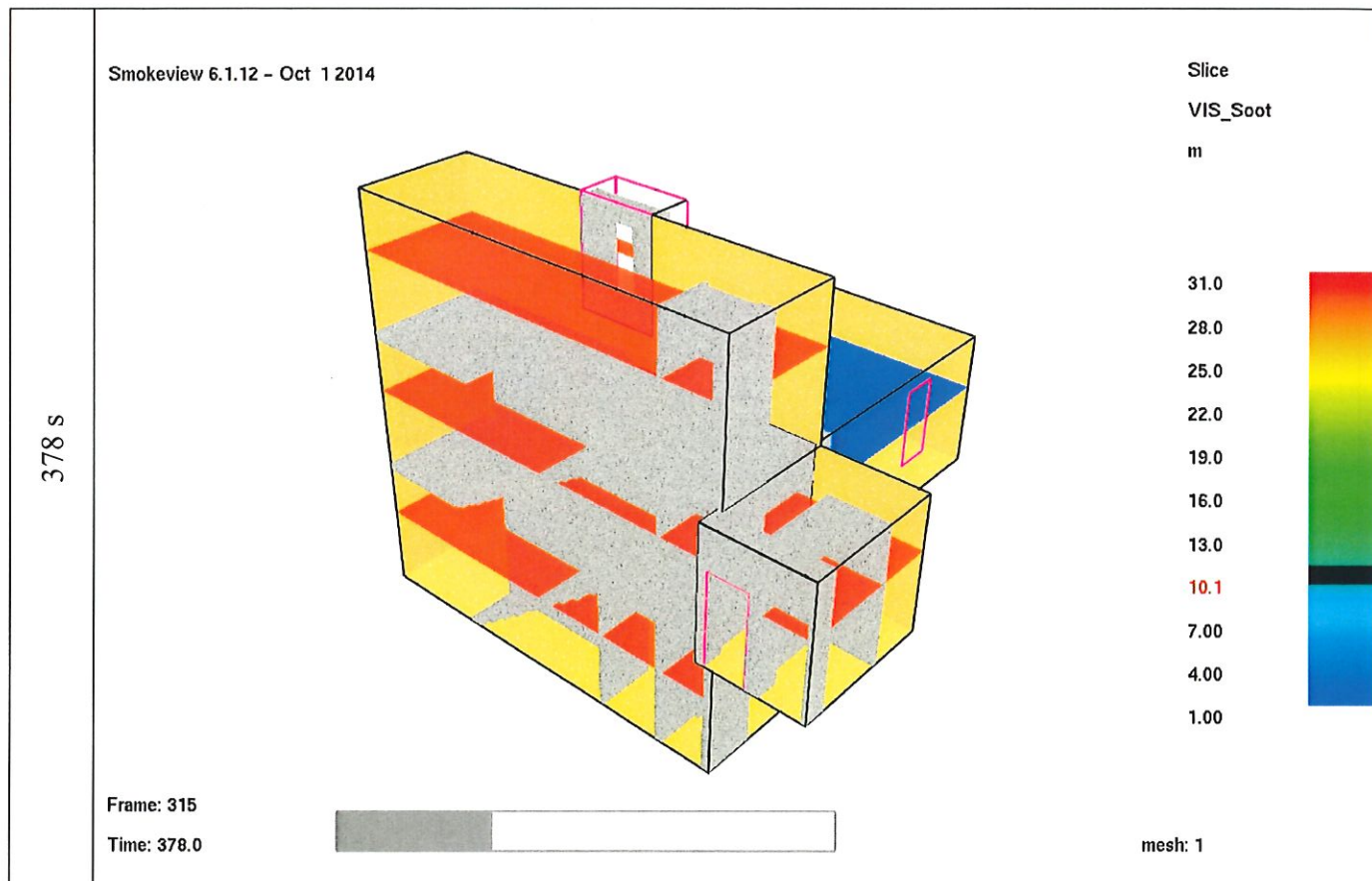
### 10.4. Widoczność w płaszczyźnie na wysokości 1,8 m – scenariusz nr 2

Rozkład widoczności w płaszczyźnie na wysokości 1,8 od podług w czasie [m]









## 11. Wnioski

Na podstawie symulacji komputerowych przeprowadzona została analiza rozkładu zasięgu widzialności oraz temperatury w czasie pożaru na klatce schodowej w zależności od przyjętego scenariusza rozwoju pożaru. Wykazała ona, iż w scenariuszu nr 1 czas oddymiania klatki schodowej nie jest dłuższy niż iloczyn liczby kondygnacji powyżej źródła testowego (z uwzględnieniem kondygnacji, ze źródłem testowym) i średniego czasu usuwania dymu z pojedynczej kondygnacji, wynoszący 60 s/kondygnację. W przypadku założonego scenariusza pożarowego nr 2 w ciągu przewidywanego czasu ewakuacji, wynoszącego w najbardziej niekorzystnych warunkach, parametry uznane za uniemożliwiające bezpieczną ewakuację nie wystąpiły na żadnym z poziomów na klatce schodowej na wysokości 1,8m. Jako parametry i miejsce powstania pożaru przyjęto miejsce, w ocenie autora opracowania, które jest najmniej sprzyjające, i które mogło spowodować największe utrudnienia w ewakuacji i występowało największe prawdopodobieństwo stworzenia warunków niesprzyjających lub utrudniających ewakuację. W związku z tym istnieje konieczność wyposażenia wszystkich drzwi przeciwpożarowych EI 30 wydzielających klatkę schodową oraz wydzielających drogi ewakuacyjne w urządzenia zamykające regularnie poddawane przeglądom w okresach wskazanych przez producenta danego urządzenia, nie rzadziej jednak niż raz w roku. W przypadku dodatkowego ryglowania drzwi ewakuacyjnych służących do napowietrzania klatek schodowych należy bezwzględnie przestrzegać zasady wyłączenia Grawitacyjnego Systemu Oddymiania. W przeciwnym wypadku może dojść do uszkodzenia systemu sterowania oddymianiem.

Analiza rozkładu temperatury na drodze ewakuacyjnej wykazała, iż maksymalna przewidywana temperatura, dla analizowanego scenariusza rozwoju pożaru, z uwzględnieniem marginesu bezpieczeństwa 20% wynosi nie przekroczy krytycznych wartości. Oznacza to, iż dla przyjętych założeń, projektowany system oddymiania klatki schodowej zapewnia, że czasie potrzebnym do ewakuacji ludzi nie wystąpi zadymienie lub temperatura uniemożliwiająca bezpieczną ewakuację jedynie w przypadku scenariusza nr 1, który zakładał wystąpienie pożaru bezpośrednio w przestrzeni klatki schodowej. W związku z powyższym zaleca się wprowadzenie całkowitego zakazu stosowania i gromadzenia materiałów palnych w klatce schodowej.

REKONSTRUKCJA I SPRAWA BEZPIECZEŃ  
PRZECIWPOŻAROWYCH

37

mgr inż. Dariusz Solka Nr upr. 539/2011

