

Załącznik nr 1
Analiza systemu oddymiania
klatek schodowych K5 i K6
Raport z obliczeń numerycznych

OBIEKT: **Wojewódzki Szpital Zespolony**
 im. dr Romana Ostrzyckiego w Koninie
 ul. Szpitalna 45, 62-504 Konin

<i>stanowisko</i>	<i>imię i nazwisko</i>	<i>podpis</i>
<i>Opracował:</i>	<i>mgr inż. Andrzej Kulesa</i> <i>upr. bud. WKP/0271/POOS/04</i>	
<i>Opiniował:</i>	<i>mgr inż. Grzegorz Majda</i> <i>Rzecznawca do spraw</i> <i>zabezpieczeń przeciwpożarowych</i> <i>nr upr. 665/2017</i>	

Konin, sierpień 2020 r.

SPIS TREŚCI

1.	Cel, przedmiot i zakres opracowania	3
2.	Podstawa opracowania	3
3.	Charakterystyka obiektu.....	4
4.	Założenia projektowe symulacji komputerowej K5.....	4
5.	Prezentacja wyników symulacji dla klatki schodowej K5	8
5.1.	Lokalizacja pożaru, kraty nawiewnej i klapy dymowej – K5	8
5.2.	Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki zimowe – K5.....	9
5.3.	Prędkość przepływu powietrza w osi kraty nawiewnej dla klatki schodowej – warunki zimowe – K5	13
5.4.	Transmitancja klatka schodowa (pomiar zaciemnienia) – warunki zimowe – K5.....	14
5.5.	Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki izotermiczne – K5.....	15
5.6.	Prędkość przepływu powietrza w osi kraty nawiewnej dla klatki schodowej – warunki izotermiczne – K5	19
5.7.	Transmitancja klatka schodowa (pomiar zaciemnienia) – warunki izotermiczne – K5	20
5.8.	Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki letnie – K5	21
5.9.	Prędkość przepływu powietrza w osi kraty nawiewnej dla klatki schodowej – warunki letnie – K5	25
5.10.	Transmitancja klatka schodowa (pomiar zaciemnienia) – warunki letnie – K5	26
6.	Analiza wyników symulacji i wnioski dla klatki schodowej K5	26
7.	Założenia projektowe symulacji komputerowej K6.....	28
8.	Prezentacja wyników symulacji dla klatki schodowej K6	31
8.1.	Lokalizacja pożaru, kraty nawiewnej i klapy dymowej – K6	31
8.2.	Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki zimowe – K6.....	32
8.3.	Prędkość przepływu powietrza w osi kraty nawiewnej dla klatki schodowej – warunki zimowe – K6	37
8.4.	Transmitancja klatka schodowa (pomiar zaciemnienia) – warunki zimowe – K6.....	37
8.5.	Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki izotermiczne – K6.....	38
8.6.	Prędkość przepływu powietrza w osi kraty nawiewnej dla klatki schodowej – warunki izotermiczne – K6	43
8.7.	Transmitancja klatka schodowa (pomiar zaciemnienia) – warunki izotermiczne – K6	43
8.8.	Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki letnie – K6	44
8.9.	Prędkość przepływu powietrza w osi kraty nawiewnej dla klatki schodowej – warunki letnie – K6	49
8.10.	Transmitancja klatka schodowa (pomiar zaciemnienia) – warunki letnie – K6	49
9.	Analiza wyników symulacji i wnioski dla klatki schodowej K6	50

1. Cel, przedmiot i zakres opracowania

Przedmiotem opracowania jest analiza systemu oddymiania **klatek schodowych K5 i K6** w ramach dostosowania obiektów Wojewódzkiego Szpitala Zespołonego im. dr Romana Ostrzyckiego przy ul. Szpitalnej 45 do obowiązujących przepisów ochrony przeciwpożarowej wg opracowanej ekspertyzy technicznej. Lokalizacja budynku: ul. Szpitalna 45, 62-504 Konin.

Celem analizy jest potwierdzenie skuteczności działania przyjętych rozwiązań projektowych systemu oddymiania klatek schodowych w przedmiotowym budynku.

Zakres opracowania obejmuje przeprowadzenie komputerowej symulacji oddymiania klatek schodowych w warunkach zimowych, izotermicznych i letnich w oparciu o Wytyczne CNBOP-PIB W-0003:2016 Systemy oddymiania klatek schodowych, wyd. 2, Józefów, maj 2019 r.

Komputerową symulację oddymiania wykonano w oparciu o program FDS wersja 6.4.0. Podgląd wyników symulacji umożliwia program Smokeview SMV 6.3.6.

2. Podstawa opracowania

Przedmiotową analizę wykonuje się w oparciu o następujące przepisy i źródła wiedzy technicznej:

- 1) Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej (J.t Dz. U. 2020, poz. 961),
- 2) Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków i innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. Nr 109, poz. 719 z późniejszymi zmianami),
- 3) Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 2 grudnia 2015 r. w sprawie uzgadniania projektu budowlanego pod względem ochrony przeciwpożarowej (Dz. U. 2015 r., poz. 2117),
- 4) Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (J.t.: Dz. U. z 2019 r., poz. 1065),
- 5) G. Kubicki, D. Ratajczak, T. Kielbasa, Wytyczne CNBOP-PIB W-0003:2016 Systemy oddymiania klatek schodowych, wyd.2, Józefów, maj 2019 r.,
- 6) B. Mizeliński, G. Kubicki, *Wentylacja pożarowa. Oddymianie.*, Warszawa 2012,
- 7) Ekspertyza techniczna przeciwpożarowa określająca wymagania ze względu na warunki bezpieczeństwa pożarowego dla Szpitala Wojewódzkiego im. dr Romana Ostrzyckiego w Koninie, ul. Szpitalna 45, 62-504 Konin, opracowana przez rzeczoznawcę ds. zabezpieczeń ppoż. Małgorzatę Pilch oraz rzeczoznawcę budowlanego Romana Pilch, data opracowania: październik 2019 r.,
- 8) Postanowienie nr 458/2019 z dnia 27 listopada 2019 r., znak sprawy: WZ.5595.458.1.2019, wydane przez Wielkopolskiego Komendanta Wojewódzkiego Państwowej Straży Pożarnej,
- 9) Komplet rysunków architektonicznych,
- 10) Zlecenie Inwestora,
- 11) <http://www.pyrosim.pl>.

3. Charakterystyka obiektu

Budynek główny Wojewódzkiego Szpitala Zespolonego w Koninie zbudowany na planie prostokątów, które są połączone między sobą łącznikiem. Jest to obiekt podpiwniczony, wzajemnie ze sobą powiązany pod względem funkcjonalnym budynkami oznaczonymi literami A, B, C, D, E, F. Poszczególne pawilony są budynkami zblokowanymi, o zróżnicowanej wysokości, przy czym każdy (po przebudowie) będzie stanowił odrębną strefę pożarową. Komunikacja odbywa się z wykorzystaniem poziomych i pionowych dróg komunikacji ogólnej z wykorzystaniem żelbetowych klatek schodowych. Klatki schodowe objęte zakresem opracowania oznaczone jako K5 i K6 znajdują się w budynku B (niskim). Klatki schodowe objęte zakresem opracowania zostaną obudowane oraz zamknięte drzwiami w klasie EIS 30 odporności ogniowej. Dla budynku B wymagana klasa „B” odporności pożarowej.

Parametry budynku B:

- | | |
|-----------------------------------|--|
| a) Powierzchnia zabudowy | – 2 130,00 m ² |
| b) Powierzchnia użytkowa | – 5 824,65 m ² |
| c) Kubatura | – 42 635,00 m ³ |
| d) Wysokość budynku | – 10,31 m |
| e) Liczba kondygnacji nadziemnych | – 3 (4 w obszarze klatki schodowej K6) |
| g) Liczba kondygnacji podziemnych | – 1 |
| e) Grupa wysokości | – budynek niski (N) |

Pawilon B podzielony został na następujące strefy pożarowe:

- Kondygnacja II piętra zakwalifikowana do kategorii zagrożenia ludzi ZL II,
- Kondygnacja I piętra zakwalifikowana do kategorii zagrożenia ludzi ZL III,
- Kondygnacja parteru zakwalifikowana do kategorii zagrożenia ludzi ZL III,
- Kondygnacja piwnicy zakwalifikowana jako PM o gęstości obciążenia ogniowego poniżej 500 MJ/m².

4. Założenia projektowe symulacji komputerowej K5

Symulację pożaru wykonano w oparciu o program FDS. Podgląd wyników symulacji jest możliwy dzięki programowi Smokeview.

Obliczenia powierzchni czynnej urządzenia oddymiającego dla klatki schodowej K5:

Przewidziano grawitacyjny system oddymiania klatek schodowych z napowietrzaniem mechanicznym – usuwanie dymu za pomocą klapy dymowej, napowietrzanie realizowane za pomocą wentylatora napowietrzającego. Wymagana powierzchnia czynna oddymiania powinna wynosić co najmniej 5% powierzchni obliczeniowej klatki schodowej A_{KS-O} , a minimalna powierzchnia czynna nie może być mniejsza niż 1,0 m². Wymagana powierzchnia czynna klapy dymowej dla klatki schodowej powinna wynosić:

$$A_{CZ} = 5\% \cdot A_{KS-O} = 5\% \cdot 18,80 \text{ m}^2 = 0,94 \text{ m}^2$$

$$A_{CZ} \geq 1,0 \text{ m}^2$$

Oddymianie klatki schodowej realizowane za pomocą klapy dymowej jednoskrzydłowej o wymiarach 1,40 x 1,00 m. Powierzchnia czynna klapy wynosi 1,05 m², natomiast powierzchnia geometryczna wynosi 1,40 m² (w symulacji przyjęto powierzchnię geometryczną

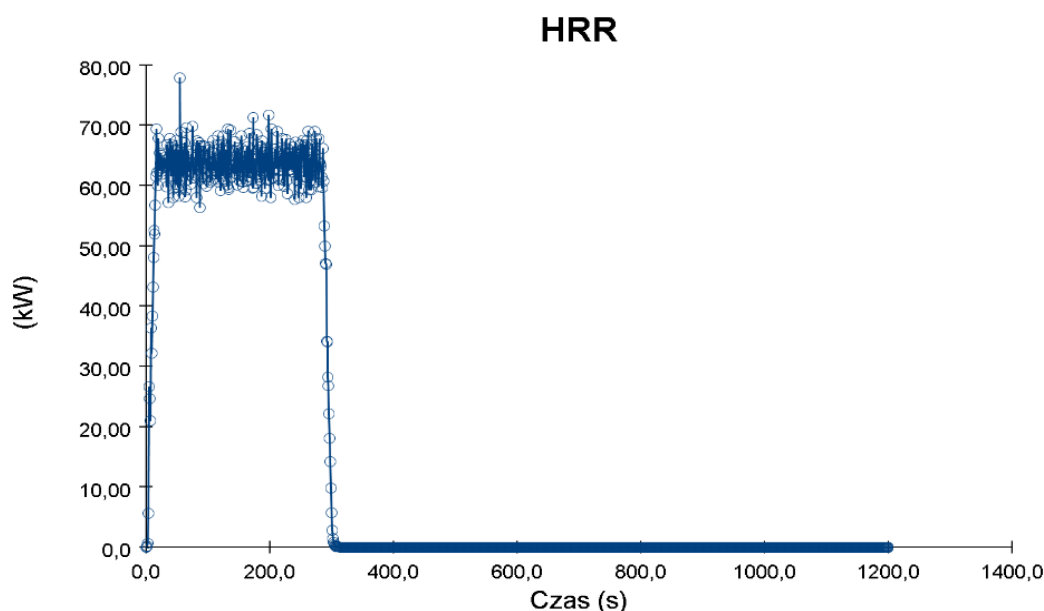
kłapy równą 1,40 m² zgodnie z wytycznymi CNBOP). Klapę dymową usytuowaną w dachu budynku.

Napowietrzanie realizowane poprzez wentylator napowietrzający o wydajności 10 000 m³/h. Wentylator napowietrzający zlokalizowany w przestrzeni technicznej na poziomie piwnicy. Czerpnia powietrza dla potrzeb napowietrzania klatki schodowej umieszczona w ścianie budynku na poziomie piwnicy. Kanał wentylacyjny wykonany systemem PROMADUCT-500 o klasie odporności ogniowej EIS 120 zgodnie z projektem. Punkt nawiewny zlokalizowano na poziomie piwnicy.

Założenia projektowe symulacji:

- a) moc pożaru wyznaczona zgodnie z wytycznymi CNBOP

Poniższy wykres obrazuje moc pożaru względem czasu. Moc pożaru przyjęto na podstawie wytycznych CNBOP. Całkowity strumień ciepła wyzwalanego z pożaru wynosi ok. 63,6 kW.



Rysunek 1. Krzywa rozwoju pożaru – maksymalna moc 63,6 kW

- b) współczynnik dymotwórczości 0,05 kg/kg,
- c) reakcje spalania wg materiału palnego – etanol o wzorze chemicznym C₂H₅OH,
- d) pożar usytuowany na klatce schodowej na poziomie I piętra,
- e) obliczenia numeryczne prowadzone wg metody wielkich wirów (LES),
- f) symulacja wykonana na siatce numerycznej o wymiarach 0,10 x 0,10 x 0,10 m,
- g) wymiary źródła pożaru – 0,40 x 0,60 m (stosunek 2:3),
- h) udział emisji ciepła przez promieniowanie – 0,30,
- i) stropy wykonane jako żelbetowe,
- j) ściany klatki schodowej betonowe,
- k) temperatura otoczenia:
 - dla warunków zimowych: -18°C (II strefa klimatyczna),
 - dla warunków izotermicznych: 20°C,
 - dla warunków letnich: 30°C (II strefa klimatyczna),
- l) temperatura ścian oraz temperatura wewnątrz klatki schodowej:

- dla warunków zimowych: 16°C,
 - dla warunków izotermicznych: 20°C,
 - dla warunków letnich: 24°C,
- m) wilgotność względna 40%,
- n) ciśnienie powietrza 1013,25 hPa,
- o) liczba Smagorinskiego 0,1 – wartość oszacowana na podstawie badań firmy Smay,
- p) architektura wykonana z dokładnością do 10 cm w odniesieniu do architektury projektu budowlanego,
- q) czas trwania pożaru 300 s, po tym czasie pożar zostaje wyłączony,
- r) maksymalna moc pożaru 63,6 kW,
- s) czas uruchomienia systemu oddymiania 360 s,
- t) wydajność wentylatora napowietrzającego wynosi 10 000 m³/h – nawiew realizowany jako jednopunktowy - krata nawiewna 1225 x 625 mm – powierzchnia efektywna min. 0,5879 m² (w symulacji przyjęto otwór nawiewny 1100 x 500 mm – powierzchnia efektywna 0,55 m²) – prędkość na kracie nawiewnej nie może przekraczać 8 m/s,
- u) symulacja nie uwzględnia czasu otwarcia czerpni powietrza na kanale nawiewnym – w momencie uruchomienia systemu oddymiania czerpnia jest otwarta,
- v) kłapa dymowa otwarta w 360 s – symulacja nie uwzględnia czasu otwierania klapy,
- w) kłapa dymowa o wymiarach 100x140 cm (w projekcie 100x140 cm), podstawa klapy 50 cm,
- x) powierzchnia szczelności dla klatki schodowej – ok. 0,173 m² (w symulacji 0,18 m²),
- y) drzwi do poszczególnych pomieszczeń, korytarzy będących poza obszarem klatki schodowej zamknięte – klatka schodowa obudowana, zamykana drzwiami EIS 30 na wszystkich kondygnacjach,
- z) ciepło spalania 26,78 MJ/kg,
- aa) pomiar transmitancji realizowany poprzez pomiar zaciemnienia,
- bb) czas symulacji 1200 s (20 minut),
- cc) uwaga: w rzeczywistych warunkach system oddymiania uruchamiany natychmiast po wykryciu pożaru.

Kryteria oceny skuteczności systemu oddymiania klatki schodowej:

- a) po uruchomieniu systemu oddymiania (po czasie 360 s) dym przemieszcza się w kierunku klapy dymowej,
- b) czas oddymiania klatki schodowej (t_{odd}) nie powinien być dłuższy niż wynik iloczynu tempa oddymiania oraz różnicy wysokości punktu pomiarowego w klatce schodowej i źródła pożaru. Przyjmuje się tempo oddymiania jako 18 s na 1 m wysokości. Czas oddymiania określa się na podstawie wzoru:

$$t_{odd} = 18 \cdot h [s]$$

gdzie:

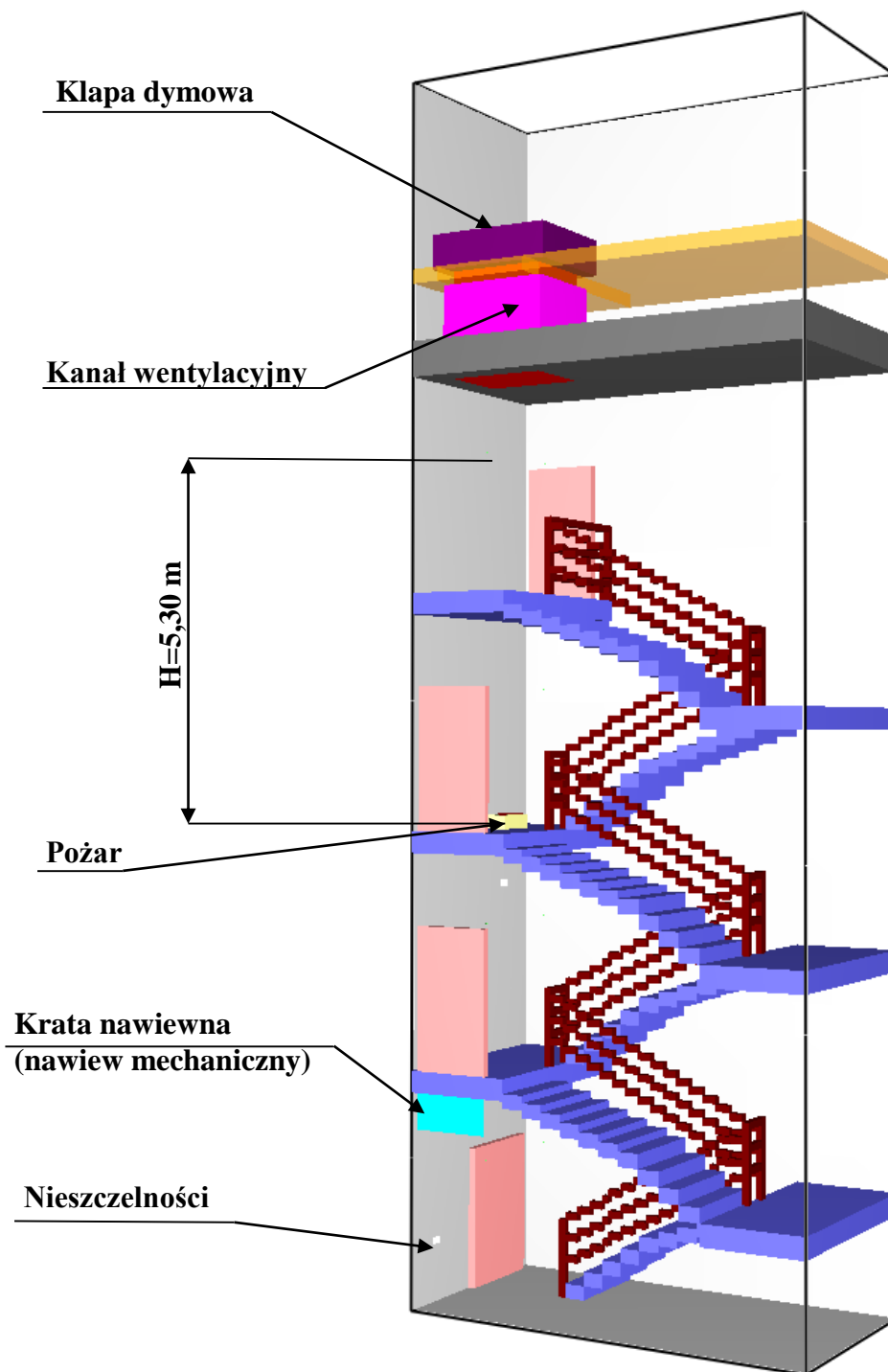
h - różnica wysokości punktu pomiarowego w klatce schodowej i źródła pożaru [m].

- c) transmitancja na wysokości 2,0 m od posadzki spocznika ostatniej kondygnacji powinna wynosić co najmniej 95% (pomiar transmitancji realizowany przez pomiar zaciemnienia – wynik uznaje się za prawidłowy, kiedy próg zaciemnienia nie przekracza 5%),

- d) końcowy czas oddymiania klatki schodowej ustalony w momencie osiągnięcia transmitancji na poziomie co najmniej 95% na wysokości 2,0 m od posadzki spocznika najwyższej kondygnacji,
- e) maksymalna prędkość przepływu powietrza na kracie nawiewnej 8,0 m/s,
- f) wyznaczenie czasu oddymiania klatki schodowej liczony od momentu uruchomienia systemu oddymiania (po 360 s).

5. Prezentacja wyników symulacji dla klatki schodowej K5

5.1. Lokalizacja pożaru, kraty nawiewnej i klapy dymowej – K5



Legenda:

Kłapa dymowa – wymiary 140 x 100 cm, pow. geometryczna 1,40 m²
(w symulacji wymiary 140 x 100 cm, pow. geometryczna 1,40 m²)

Kanał wentylacyjny – wymiary 140 x 100 cm, pow. geometryczna 1,40 m²
(w symulacji wymiary 140 x 100 cm, pow. geometryczna 1,40 m²)

Krata nawiewna – wymiary 122,5 x 62,5 cm, wydajność 10 000 m³/h
(w symulacji wymiary otworu nawiewnego 110 x 50 cm)

Nieszczelności klatki – powierzchnia sumaryczna ok. 0,173 m² (w symulacji 0,18 m²)

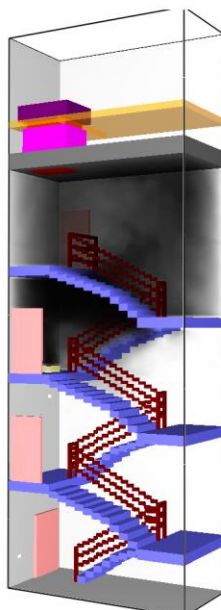
Pożar – maksymalna moc 63,6 kW

H=5,30 m (wysokość punktu pomiarowego względem pożaru)

5.2. Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki zimowe – K5

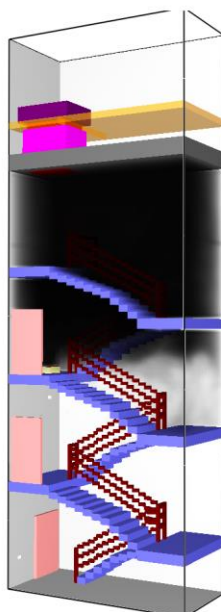
Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki zimowe – K5

Smokeyview 6.3.6 – Apr 5 2016



Time: 60.0
Smokeyview 6.3.6 – Apr 5 2016

mesh: 1

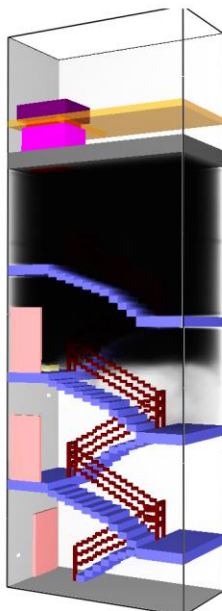


Time: 120.0

mesh: 1

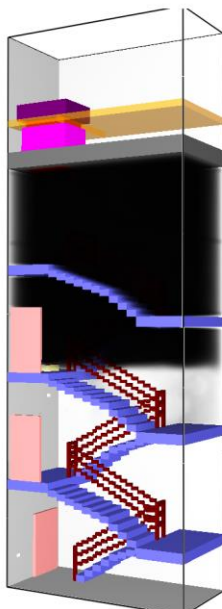
Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki zimowe – K5

Smokeyview 6.3.6 – Apr 5 2016



Time: 180.0
Smokeyview 6.3.6 – Apr 5 2016

mesh: 1

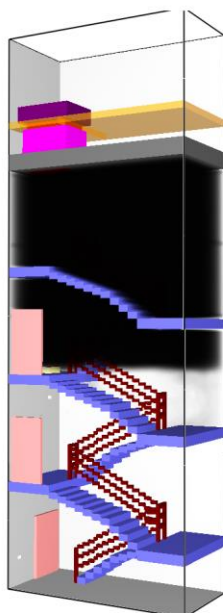


Time: 240.0

mesh: 1

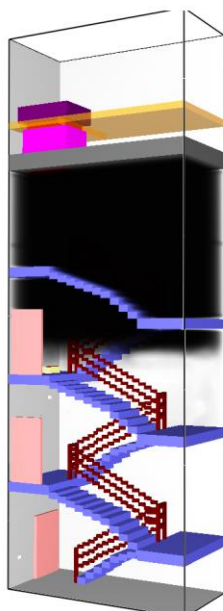
Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki zimowe – K5

Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016



Time: 300.0
Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016

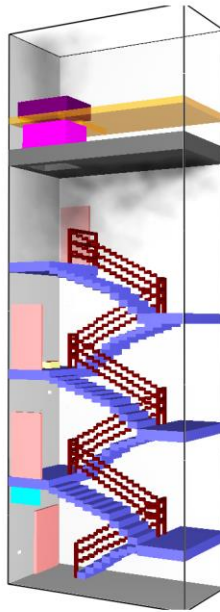
mesh: 1



Time: 360.0

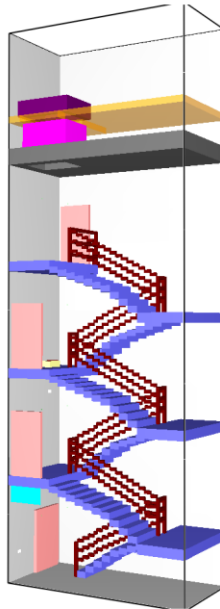
mesh: 1

Smokeview 6.3.6 - Apr 5 2016



Time: 420.0
Smokeview 6.3.6 - Apr 5 2016

mesh: 1

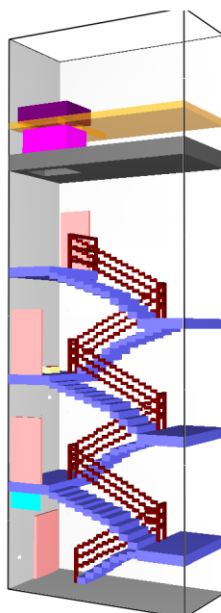


Time: 480.0

mesh: 1

Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki zimowe – K5

Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016



Time: 1200.0

mesh: 1

5.3. Prędkość przepływu powietrza w osi kraty nawiewnej dla klatki schodowej – warunki zimowe – K5

Prędkość przepływu powietrza w osi kraty nawiewnej dla klatki schodowej – warunki zimowe – K5

Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016



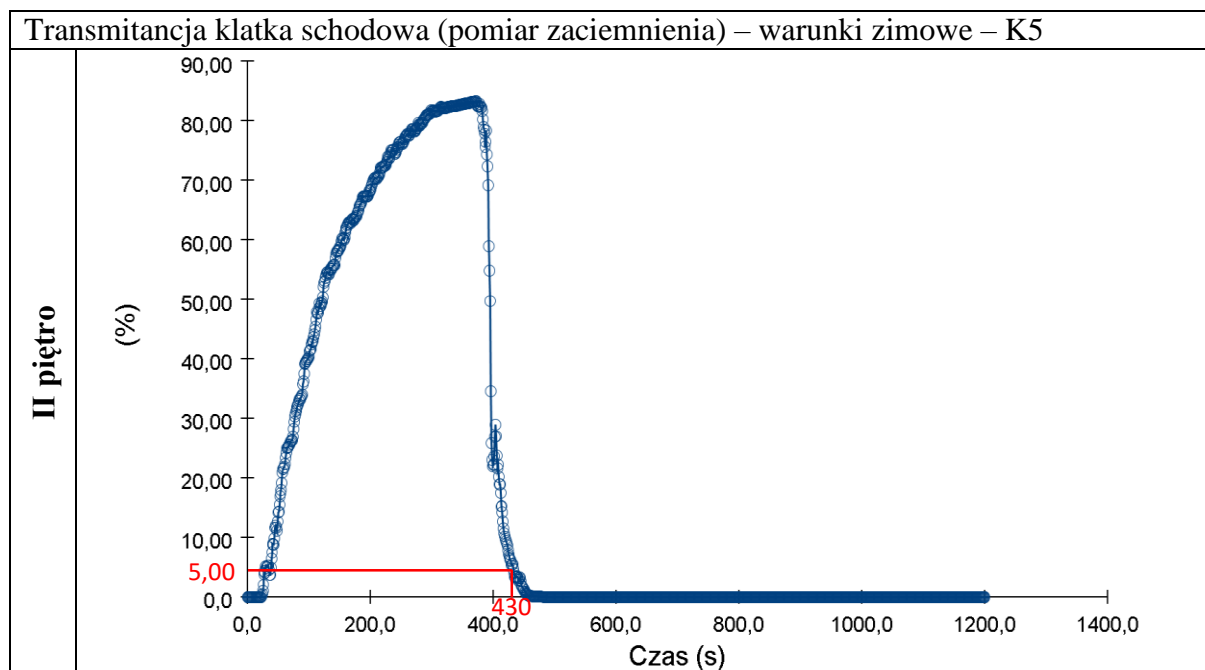
Slice
vel
m/s



Time: 455.0

mesh: 1

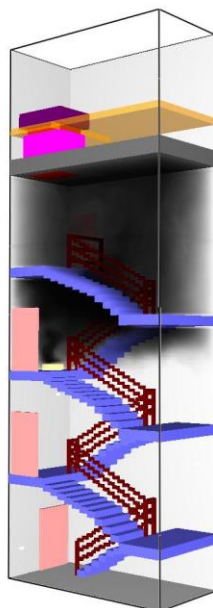
5.4. Transmittance of the staircase cage (darkening measurement) – winter conditions – K5



5.5. Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki izotermiczne – K5

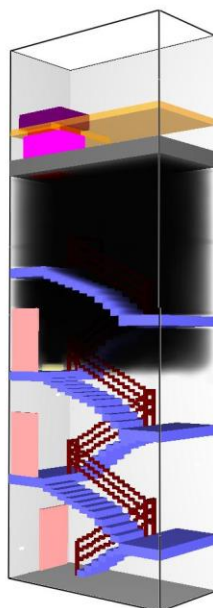
Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki izotermiczne – K5

Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016



Time: 60.0
Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016

mesh: 1

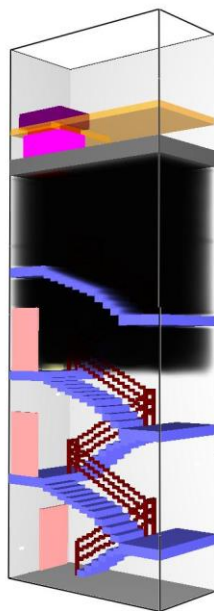


Time: 120.0

mesh: 1

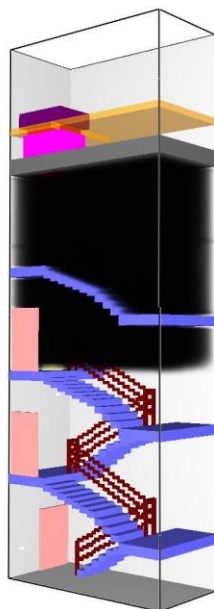
Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki izotermiczne – K5

Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016



Time: 180.0
Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016

mesh: 1

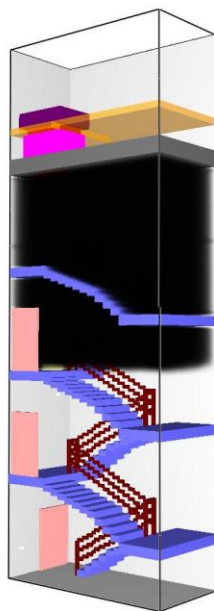


Time: 240.0

mesh: 1

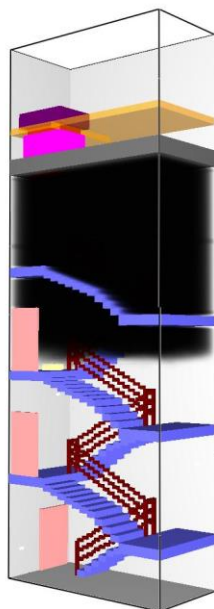
Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki izotermiczne – K5

Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016



Time: 300.0
Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016

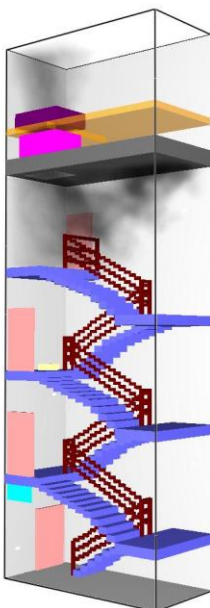
mesh: 1



Time: 360.0

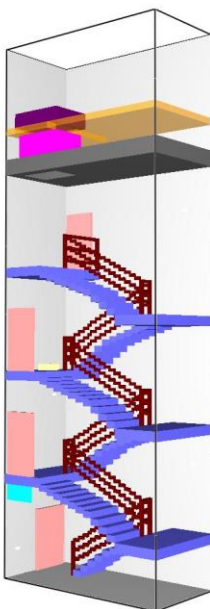
mesh: 1

Smokeview 6.3.6 - Apr 5 2016



Time: 420.0
Smokeview 6.3.6 - Apr 5 2016

mesh: 1

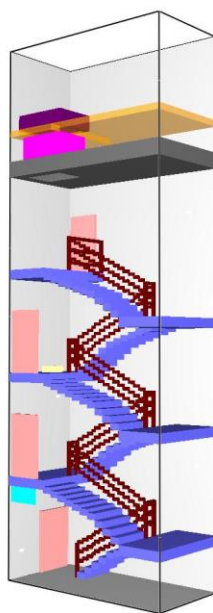


Time: 480.0

mesh: 1

Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki izotermiczne – K5

Smokeyview 6.3.6 – Apr 5 2016



Time: 1200.0

mesh: 1

5.6. Prędkość przepływu powietrza w osi kraty nawiewnej dla klatki schodowej – warunki izotermiczne – K5

Prędkość przepływu powietrza w osi kraty nawiewnej dla klatki schodowej – warunki izotermiczne – K5

Smokeyview 6.3.6 – Apr 5 2016



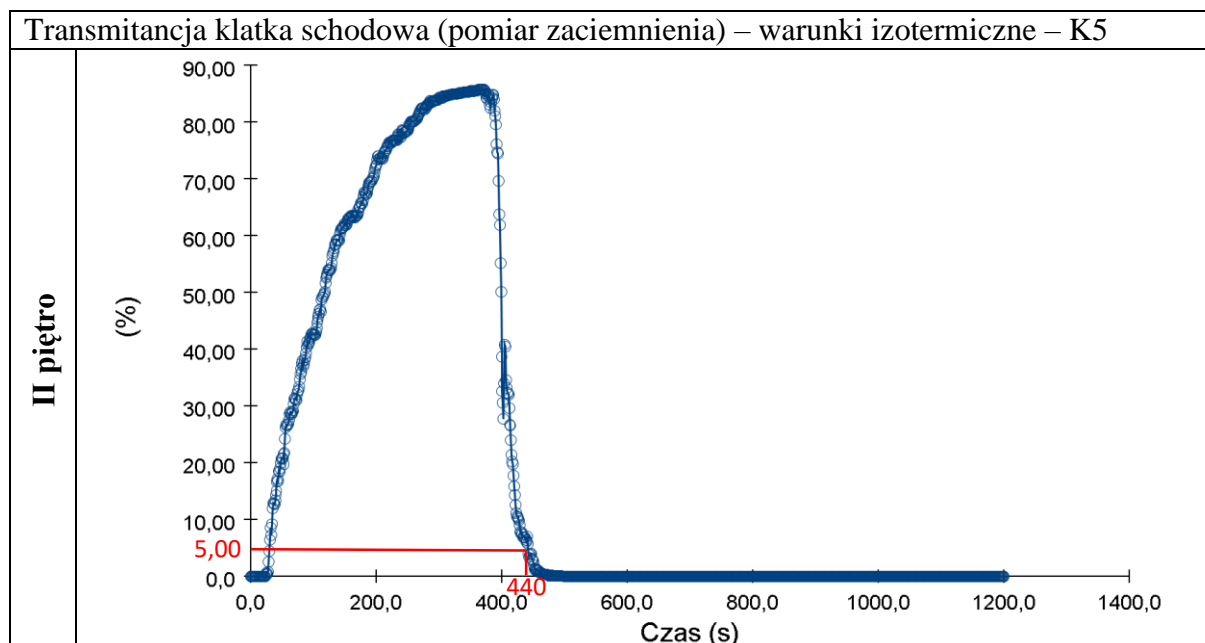
Slice
vel
m/s

8.00
7.20
6.40
5.60
4.80
4.00
3.20
2.40
1.60
0.80
0.00

Time: 455.0

mesh: 1

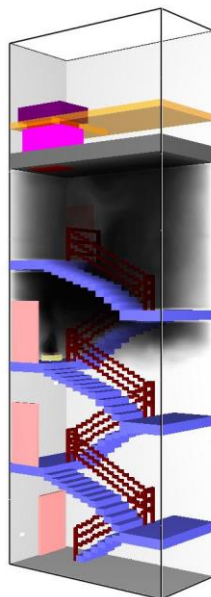
5.7. Transmittancja klatka schodowa (pomiar zaciemnienia) – warunki izotermiczne – K5



5.8. Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki letnie – K5

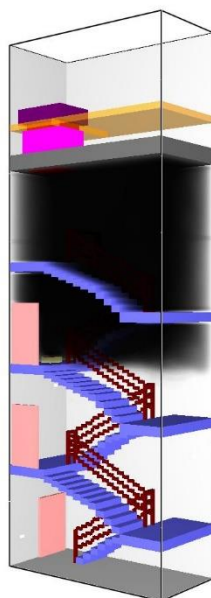
Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki letnie – K5

Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016



Time: 60.0
Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016

mesh: 1

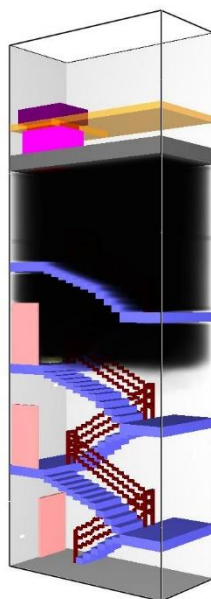


Time: 120.0

mesh: 1

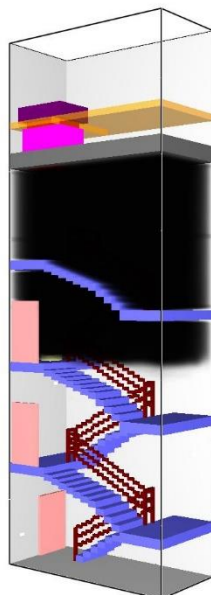
Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki letnie – K5

Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016



Time: 180.0
Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016

mesh: 1

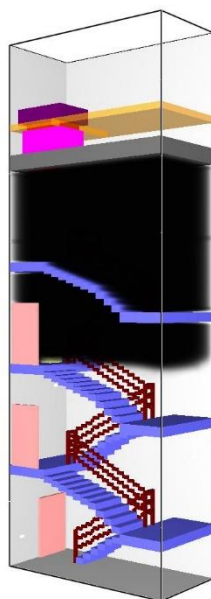


Time: 240.0

mesh: 1

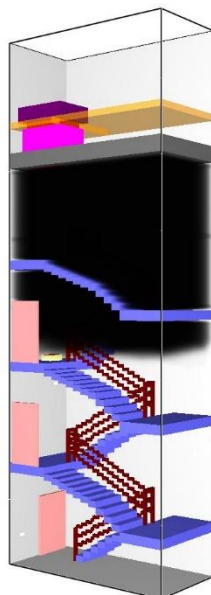
Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki letnie – K5

Smokeyview 6.3.6 – Apr 5 2016



Time: 300.0
Smokeyview 6.3.6 – Apr 5 2016

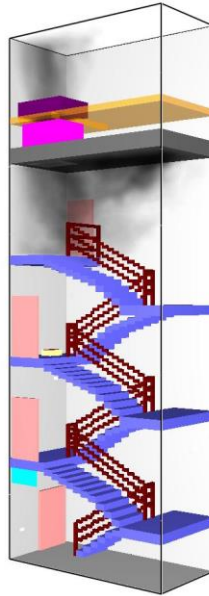
mesh: 1



Time: 360.0

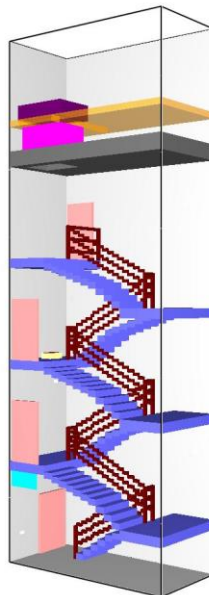
mesh: 1

Smokeyview 6.3.6 - Apr 5 2016



Time: 420.0
Smokeyview 6.3.6 - Apr 5 2016

mesh: 1

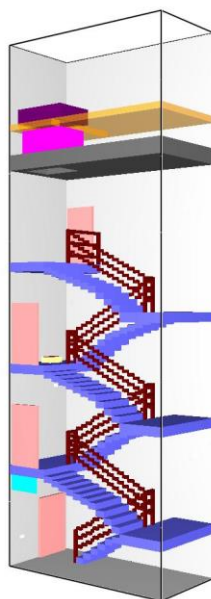


Time: 480.0

mesh: 1

Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki letnie – K5

Smokeyview 6.3.6 – Apr 5 2016



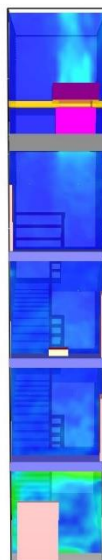
Time: 1200.0

mesh: 1

5.9. Prędkość przepływu powietrza w osi kraty nawiewnej dla klatki schodowej – warunki letnie – K5

Prędkość przepływu powietrza w osi kraty nawiewnej dla klatki schodowej – warunki letnie – K5

Smokeyview 6.3.6 – Apr 5 2016



Scale
vel
m/s

8.00

7.20

6.40

5.60

4.80

4.00

3.20

2.40

1.60

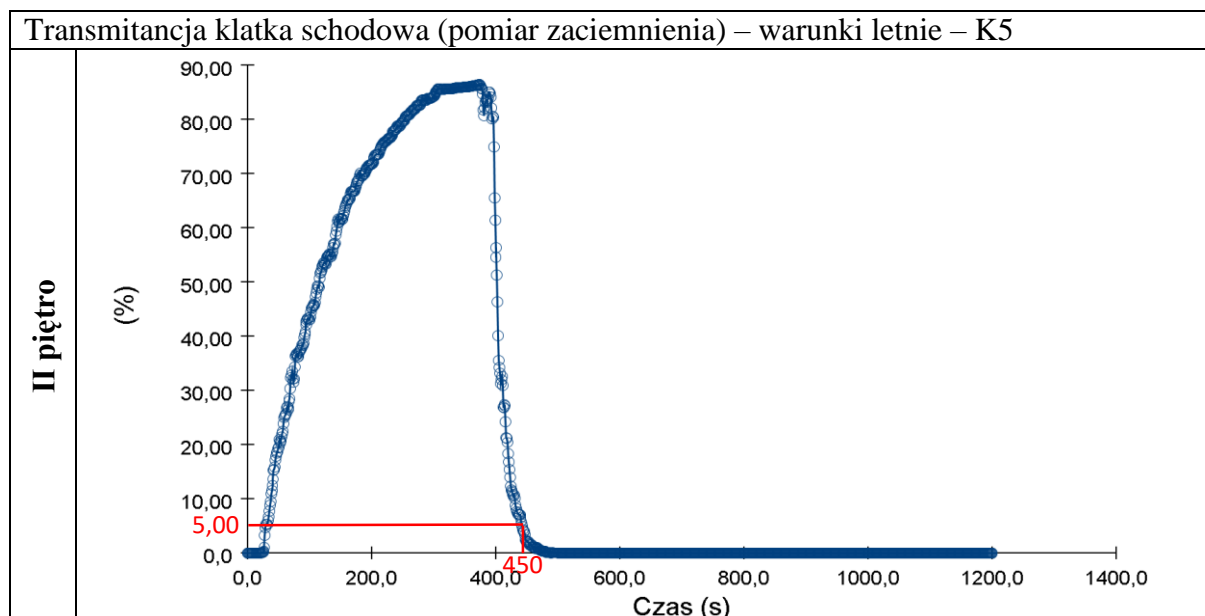
0.80

0.00

Time: 455.0

mesh: 1

5.10. Transmitancja klatka schodowa (pomiar zaciemnienia) – warunki letnie – K5



6. Analiza wyników symulacji i wnioski dla klatki schodowej K5

Powyższa prezentacja wyników umożliwia dokonanie analizy warunków pożarowych ze szczególnym uwzględnieniem warunków transmitancji (zaciemnienia) na wysokości 2,0 m nad posadzką analizowanej kondygnacji oraz analizę skuteczności działania systemu oddymiania na podstawie wizualizacji zadymienia 3D. Poniżej przedstawiono analizę wyników symulacji:

- 1) Prędkość przepływu powietrza na kracie nawiewnej wynosi maksymalnie 5,5 m/s. Dopuszczalna prędkość przepływu powietrza 8 m/s nie została przekroczona.
- 2) Prędkość przepływu powietrza na kracie nawiewnej jest większa niż 5 m/s, jednakże krata znajduje się na wysokości ok. 2,30 m nad poziomem posadzki, tzn. ponad strefą ewakuacji ludzi.
- 3) Maksymalna moc pożaru wynosi 63,6 kW.
- 4) Dym przez cały okres symulacji nie opada poniżej drugiej kondygnacji nadziemnej, czyli poniżej kondygnacji I piętra – na tej kondygnacji usytuowano źródło pożaru testowego.
- 5) Pożar zostaje wyłączony po upływie 300 s.
- 6) System oddymiania zostaje uruchomiony po upływie 360 s – otwarcie klapy dymowej i uruchomienie wentylatora napowietrzającego.
- 7) Dopuszczalny czas oddymiania klatki schodowej (t_{odd}) stanowi wynik iloczynu tempa oddymiania oraz różnicy wysokości punktu pomiarowego w klatce schodowej i źródła pożaru ($h=5,30$ m). Przyjmuje się tempo oddymiania jako 18 s na 1 m wysokości. Czas oddymiania liczony jest od momentu uruchomienia systemu oddymiania (360 s). Dopuszczalny czas oddymiania wynosi:

$$t_{odd} = 18 \cdot 5,30 + 360 = 455 \text{ s}$$

- 8) Całkowite usunięcie dymu z klatki schodowej następuje po upływie – transmitancja > 95 % (zaciemnienie < 5 %) na wysokości 2,0 m od posadzki na najwyższej kondygnacji

Klatka schodowa K5				
Poziom	Dopuszczalne wymagania [s]	Warunki zimowe [s]	Warunki izotermiczne [s]	Warunki letnie [s]
II piętro	455	430	440	450

- 9) Wymagania dla systemu oddymiania klatki schodowej są spełnione.

Parametry symulacji zostały przyjęte na podstawie wytycznych CNBOP. Dym przez cały okres symulacji nie opada poniżej kondygnacji I piętra, a po uruchomieniu systemu oddymiania, dym przesuwa się w kierunku klapy dymowej. Dopuszczalny czas oddymiania klatki schodowej nie został przekroczony. Prędkość przepływu na kracie nawiewnej nie przekracza 8 m/s, co nie zaburza skuteczności usuwania dymu z klatki schodowej. W rzeczywistych warunkach system oddymiania (otwarcie klapy dymowej, uruchomienie wentylatora nawiewnego) zostaje uruchomiony natychmiast po wykryciu pożaru.

System oddymiania spełnia założenia projektowe oraz założenia wytycznych CNBOP. Dla niniejszego systemu nie przewiduje się dodatkowych rozwiązań.

7. Założenia projektowe symulacji komputerowej K6

Symulację pożaru wykonano w oparciu o program FDS. Podgląd wyników symulacji jest możliwy dzięki programowi Smokeview.

Obliczenia powierzchni czynnej urządzenia oddymiającego dla klatki schodowej K6:

Przewidziano grawitacyjny system oddymiania klatek schodowych z napowietrzaniem mechanicznym – usuwanie dymu za kłapy dymowej, napowietrzanie realizowane za pomocą wentylatora napowietrzającego. Wymagana powierzchnia czynna oddymiania powinna wynosić co najmniej 5% powierzchni obliczeniowej klatki schodowej A_{KS-O} , a minimalna powierzchnia czynna nie może być mniejsza niż $1,0 \text{ m}^2$. Wymagana powierzchnia czynna kłapy dymowej dla klatki schodowej powinna wynosić:

$$A_{CZ} = 5\% \cdot A_{KS-O} = 5\% \cdot 19,50 \text{ m}^2 = 0,98 \text{ m}^2$$

$$A_{CZ} \geq 1,0 \text{ m}^2$$

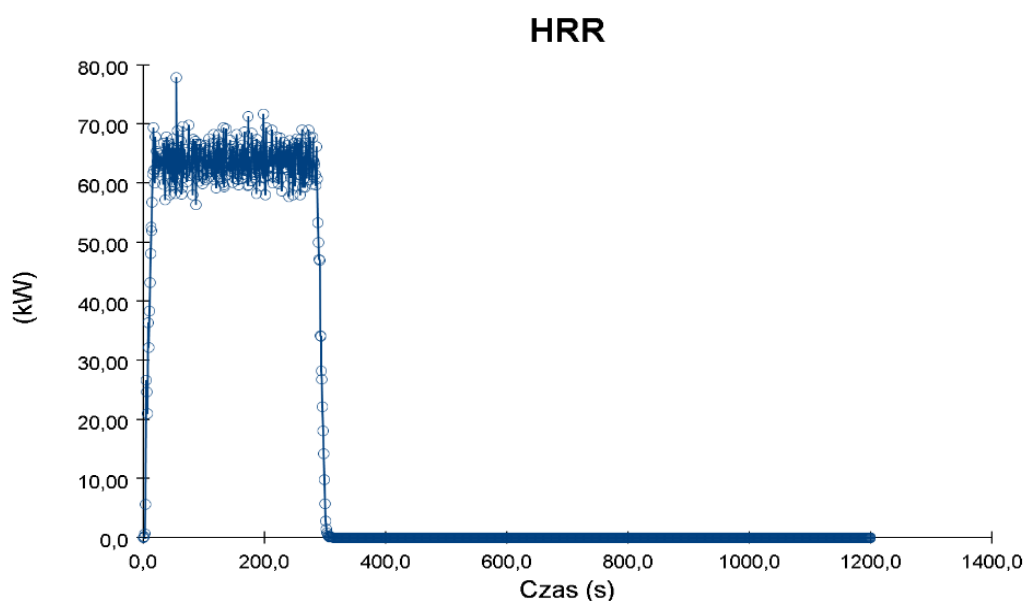
Oddymianie klatki schodowej realizowane za pomocą kłapy dymowej jednoskrzydłowej o wymiarach $1,20 \times 1,10 \text{ m}$. Powierzchnia czynna kłapy wynosi $1,08 \text{ m}^2$, natomiast powierzchnia geometryczna wynosi $1,32 \text{ m}^2$ (w symulacji przyjęto powierzchnię geometryczną kłapy równą $1,32 \text{ m}^2$ zgodnie z wytycznymi CNBOP). Klapę dymową usytuowano w dachu budynku.

Napowietrzanie realizowane poprzez wentylator napowietrzający o wydajności $10\,000 \text{ m}^3/\text{h}$. Wentylator napowietrzający zlokalizowany w obszarze klatki schodowej na poziomie piwnicy. Czerpnia powietrza dla potrzeb napowietrzania klatki schodowej umieszczona w ścianie czerpni terenowej. Kanał wentylacyjny wykonany systemem PROMADUCT-500 o klasie odporności ogniowej EIS 120 zgodnie z projektem. Punkt nawiewny zlokalizowano na poziomie piwnicy.

Założenia projektowe symulacji:

- a) moc pożaru wyznaczona zgodnie z wytycznymi CNBOP

Poniższy wykres obrazuje moc pożaru względem czasu. Moc pożaru przyjęto na podstawie wytycznych CNBOP. Całkowity strumień ciepła wyzwalanego z pożaru wynosi ok. $63,6 \text{ kW}$.



Rysunek 1. Krzywa rozwoju pożaru – maksymalna moc $63,6 \text{ kW}$

- b) współczynnik dymotwórczości 0,05 kg/kg,
- c) reakcje spalania wg materiału palnego – etanol o wzorze chemicznym C_2H_5OH ,
- d) pożar usytuowany na klatce schodowej na poziomie I piętra,
- e) obliczenia numeryczne prowadzone wg metody wielkich wirów (LES),
- f) symulacja wykonana na siatce numerycznej o wymiarach 0,10 x 0,10 x 0,10 m,
- g) wymiary źródła pożaru – 0,40 x 0,60 m (stosunek 2:3),
- h) udział emisji ciepła przez promieniowanie – 0,30,
- i) stropy wykonane jako żelbetowe,
- j) ściany klatki schodowej betonowe,
- k) temperatura otoczenia:
 - dla warunków zimowych: $-18^{\circ}C$ (II strefa klimatyczna),
 - dla warunków izotermicznych: $20^{\circ}C$,
 - dla warunków letnich: $30^{\circ}C$ (II strefa klimatyczna),
- l) temperatura ścian oraz temperatura wewnątrz klatki schodowej:
 - dla warunków zimowych: $16^{\circ}C$,
 - dla warunków izotermicznych: $20^{\circ}C$,
 - dla warunków letnich: $24^{\circ}C$,
- m) wilgotność względna 40%,
- n) ciśnienie powietrza 1013,25 hPa,
- o) liczba Smagorinskiego 0,1 – wartość oszacowana na podstawie badań firmy Smay,
- p) architektura wykonana z dokładnością do 10 cm w odniesieniu do architektury projektu budowlanego,
- q) czas trwania pożaru 300 s, po tym czasie pożar zostaje wyłączony,
- r) maksymalna moc pożaru 63,6 kW,
- s) czas uruchomienia systemu oddymiania 360 s,
- t) wydajność wentylatora napowietrzającego wynosi $10\,000\,m^3/h$ – nawiew realizowany jako jednopunktowy – krata nawiewna 1150 x 650 mm – powierzchnia efektywna min. $0,5872\,m^2$ (w symulacji przyjęto otwór nawiewny 1100 x 500 mm – powierzchnia efektywna $0,55\,m^2$) – prędkość na kracie nawiewnej nie może przekraczać 8 m/s,
- u) symulacja nie uwzględnia czasu otwarcia czerpni powietrza na kanale nawiewnym – w momencie uruchomienia systemu oddymiania czerpnia jest otwarta,
- v) kłapa dymowa otwarta w 360 s – symulacja nie uwzględnia czasu otwierania kłapy,
- w) kłapa dymowa o wymiarach 110x120 cm (w projekcie 110x120 cm), podstawa kłapy 50 cm,
- x) powierzchnia nieszczelności dla klatki schodowej – ok. $0,18\,m^2$ (w symulacji $0,18\,m^2$),
- y) drzwi do poszczególnych pomieszczeń, korytarzy będących poza obszarem klatki schodowej zamknięte – klatka schodowa obudowana, zamykana drzwiami EIS 30 na wszystkich kondygnacjach,
- z) ciepło spalania 26,78 MJ/kg,
- aa) pomiar transmitancji realizowany poprzez pomiar zaciemnienia,
- bb) czas symulacji 1200 s (20 minut),

Kryteria oceny skuteczności systemu oddymiania klatki schodowej:

- a) po uruchomieniu systemu oddymiania (po czasie 360 s) dym przemieszcza się w kierunku klapy dymowej,
- b) czas oddymiania klatki schodowej (t_{odd}) nie powinien być dłuższy niż wynik iloczynu tempa oddymiania oraz różnicy wysokości punktu pomiarowego w klatce schodowej i źródła pożaru. Przyjmuje się tempo oddymiania jako 18 s na 1 m wysokości. Czas oddymiania określa się na podstawie wzoru:

$$t_{odd} = 18 \cdot h [s]$$

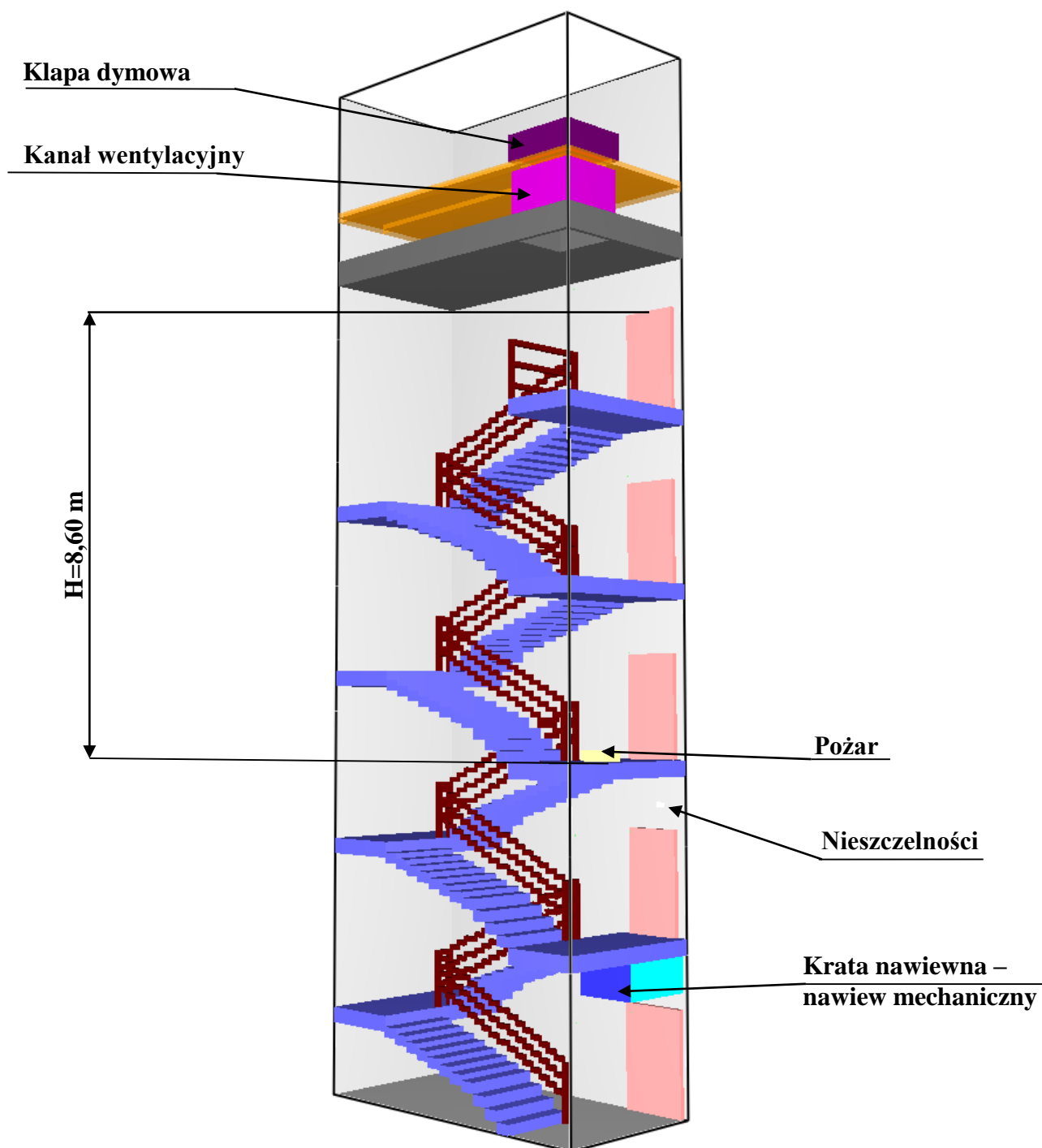
gdzie:

h - różnica wysokości punktu pomiarowego w klatce schodowej i źródła pożaru [m].

- c) transmitancja na wysokości 2,0 m od posadzki spocznika ostatniej kondygnacji powinna wynosić co najmniej 95% (pomiar transmitancji realizowany przez pomiar zaciemnienia – wynik uznaje się za prawidłowy, kiedy próg zaciemnienia nie przekracza 5%),
- d) końcowy czas oddymiania klatki schodowej ustalony w momencie osiągnięcia transmitancji na poziomie co najmniej 95% na wysokości 2,0 m od posadzki spocznika najwyższej kondygnacji,
- e) maksymalna prędkość przepływu powietrza na kracie nawiewnej 8,0 m/s,
- cc) wyznaczenie czasu oddymiania klatki schodowej liczony od momentu uruchomienia systemu oddymiania (po 360 s).

8. Prezentacja wyników symulacji dla klatki schodowej K6

8.1. Lokalizacja pożaru, kraty nawiewnej i klapy dymowej – K6



Legenda:

Kłapa dymowa – wymiary $120 \times 110\text{ cm}$, pow. geometryczna $1,32\text{ m}^2$

(w symulacji wymiary $120 \times 110\text{ cm}$, pow. geometryczna $1,32\text{ m}^2$)

Kanał wentylacyjny – wymiary $120 \times 115\text{ cm}$, pow. geometryczna $1,38\text{ m}^2$

(w symulacji wymiary $120 \times 110\text{ cm}$, pow. geometryczna $1,32\text{ m}^2$)

Krata nawiewna – wymiary $1150 \times 65\text{ cm}$, wydajność $10\,000\text{ m}^3/\text{h}$

(w symulacji wymiary otworu nawiewnego $110 \times 50\text{ cm}$)

Nieszczelności klatki – powierzchnia ok. $0,18\text{ m}^2$ (w symulacji $0,18\text{ m}^2$)

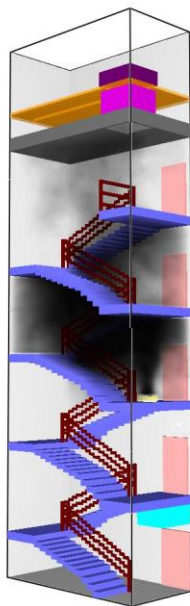
Pożar – maksymalna moc $63,6\text{ kW}$

$H=8,60\text{ m}$ (wysokość punktu pomiarowego względem pożaru)

8.2. Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki zimowe – K6

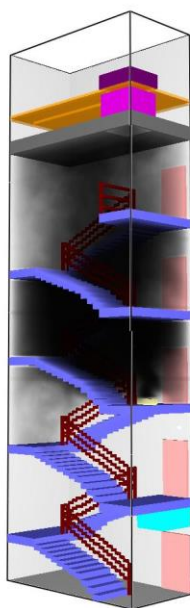
Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki zimowe – K6

Smokeyview 6.3.6 – Apr 5 2016



Time: 60.0
Smokeyview 6.3.6 – Apr 5 2016

mesh: 1

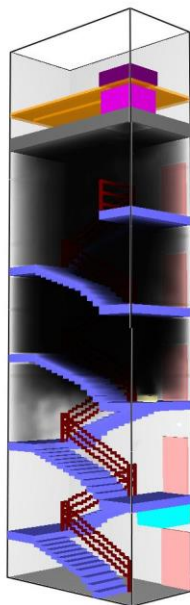


Time: 120.0

mesh: 1

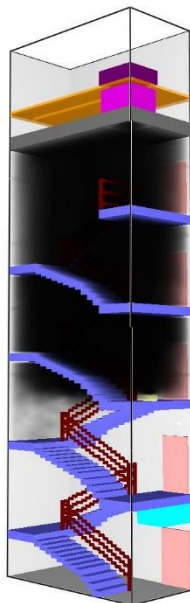
Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki zimowe – K6

Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016



Time: 180.0
Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016

mesh: 1

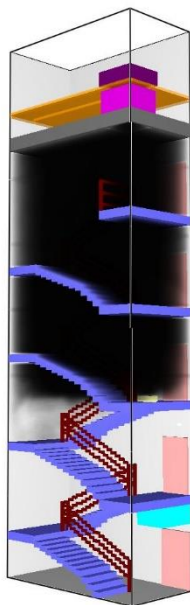


Time: 240.0

mesh: 1

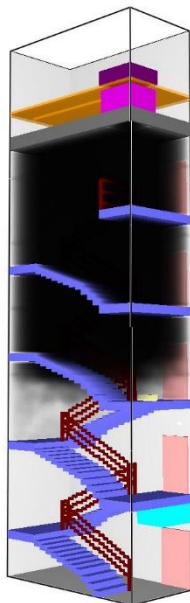
Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki zimowe – K6

Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016



Time: 300.0
Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016

mesh: 1

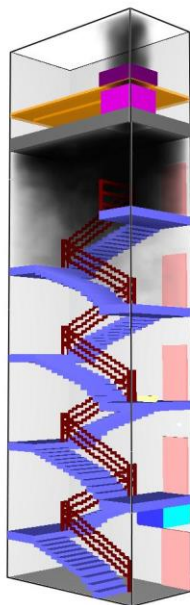


Time: 360.0

mesh: 1

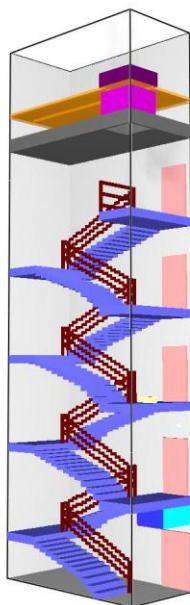
Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki zimowe – K6

Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016



Time: 420.0
Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016

mesh: 1

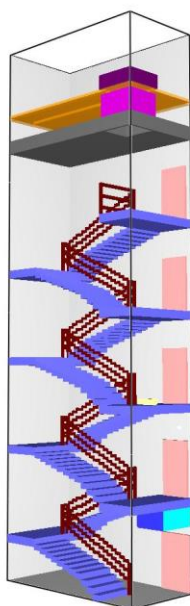


Time: 480.0

mesh: 1

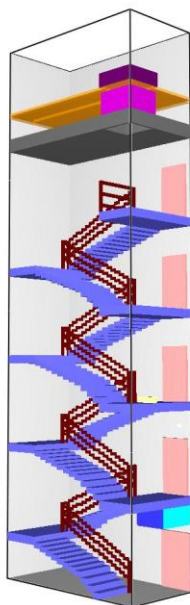
Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki zimowe – K6

Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016



Time: 540.0
Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016

mesh: 1

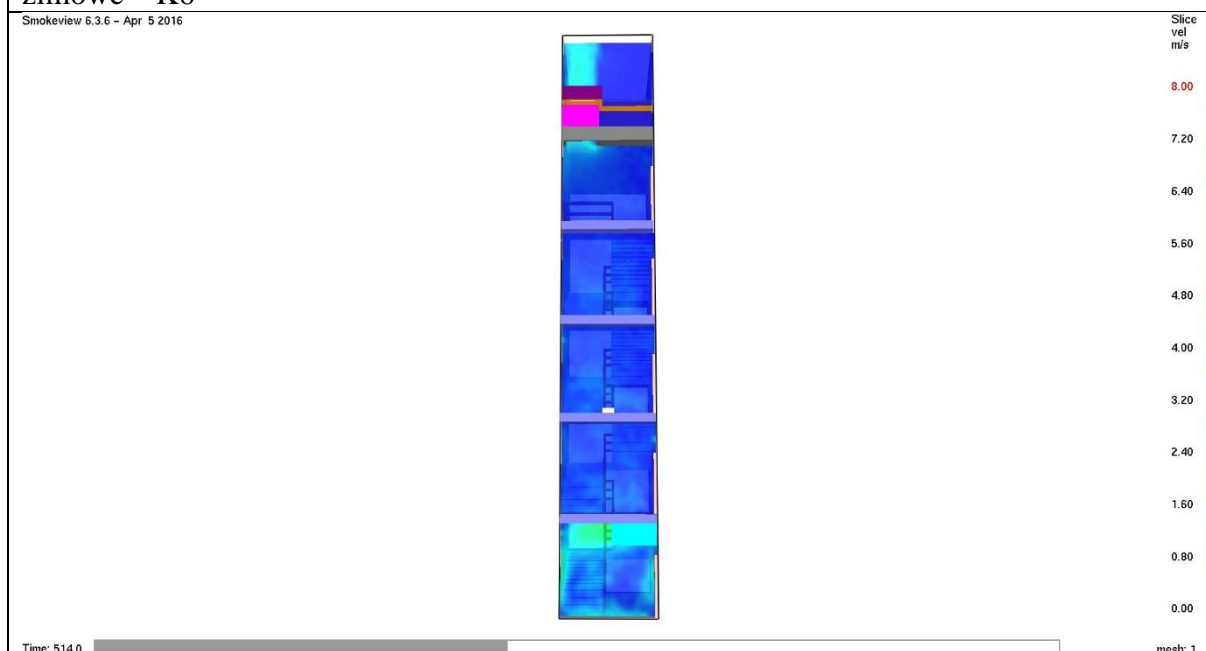


Time: 1200.0

mesh: 1

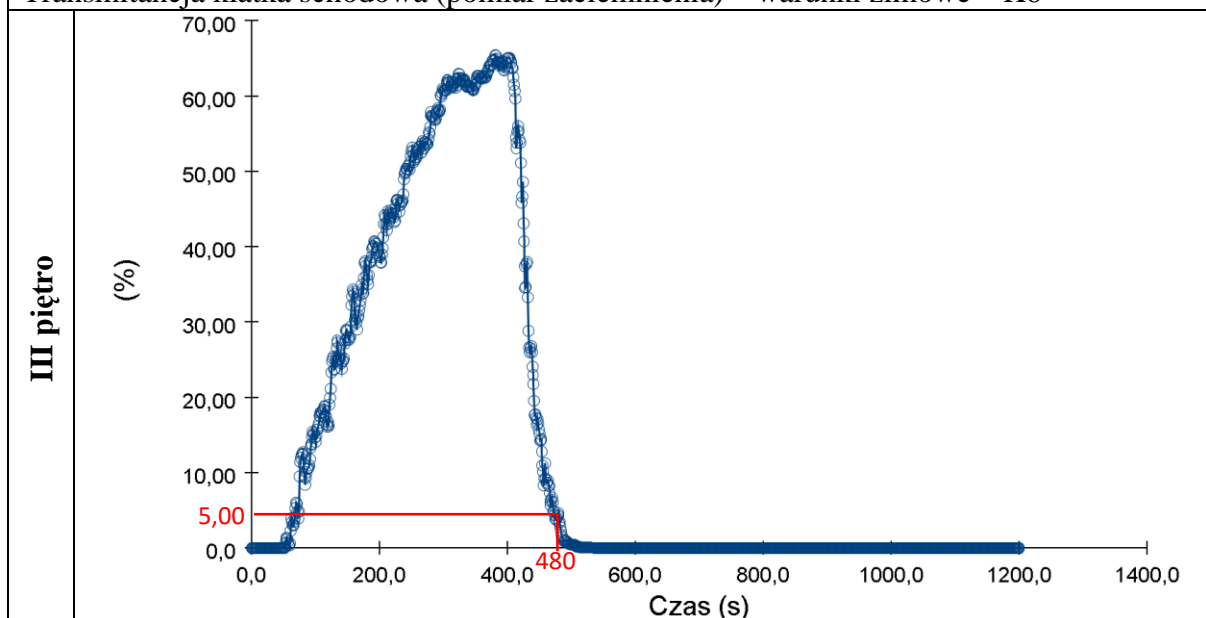
8.3. Prędkość przepływu powietrza w osi kraty nawiewnej dla klatki schodowej – warunki zimowe – K6

Prędkość przepływu powietrza w osi kraty nawiewnej dla klatki schodowej – warunki zimowe – K6



8.4. Transmitancja klatka schodowa (pomiar zaciemnienia) – warunki zimowe – K6

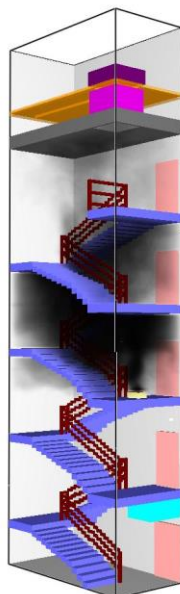
Transmitancja klatka schodowa (pomiar zaciemnienia) – warunki zimowe – K6



8.5. Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki izotermiczne – K6

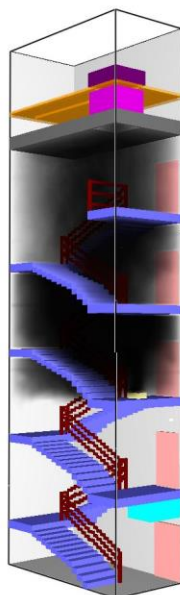
Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki izotermiczne – K6

Smokeyview 6.3.6 – Apr 5 2016



Time: 60.0
Smokeyview 6.3.6 – Apr 5 2016

mesh: 1

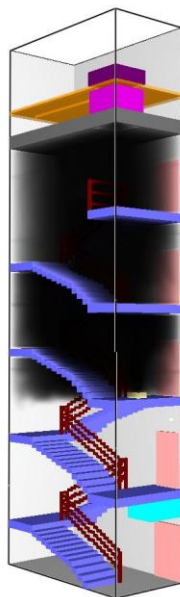


Time: 120.0

mesh: 1

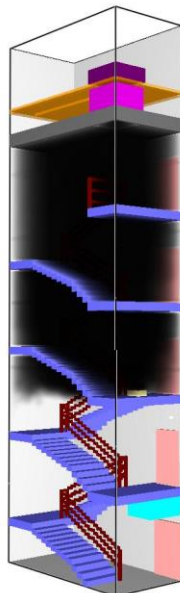
Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki izotermiczne – K6

Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016



Time: 180.0
Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016

mesh: 1

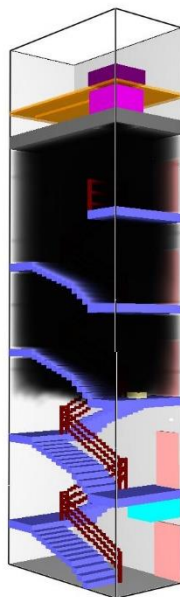


Time: 240.0

mesh: 1

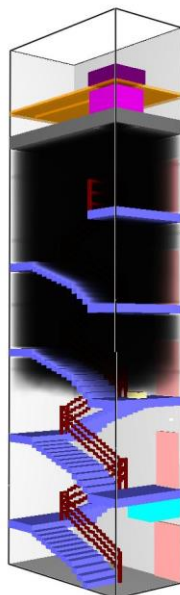
Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki izotermiczne – K6

Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016



Time: 300.0
Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016

mesh: 1

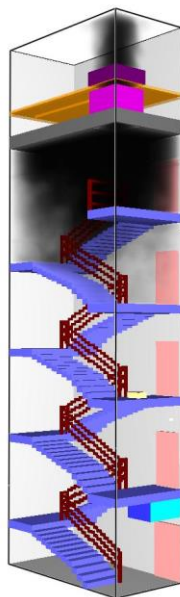


Time: 360.0

mesh: 1

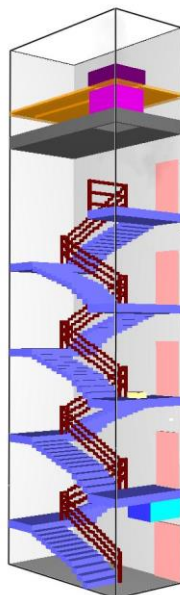
Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki izotermiczne – K6

Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016



Time: 420.0
Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016

mesh: 1

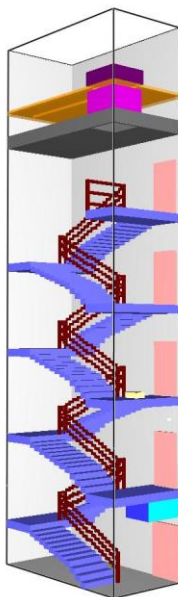


Time: 480.0

mesh: 1

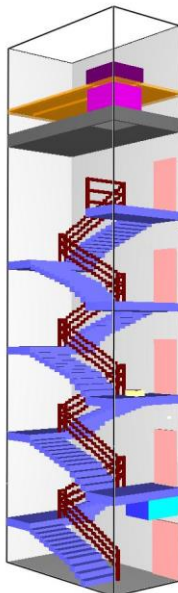
Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki izotermiczne – K6

Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016



Time: 540.0
Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016

mesh: 1

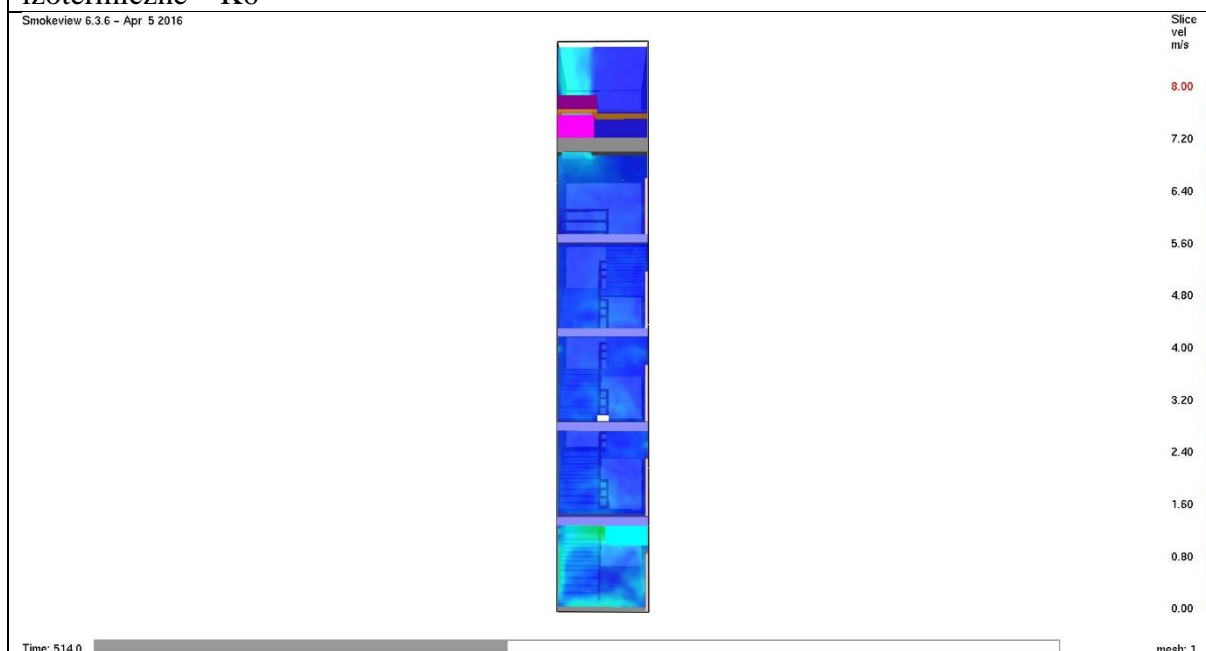


Time: 1200.0

mesh: 1

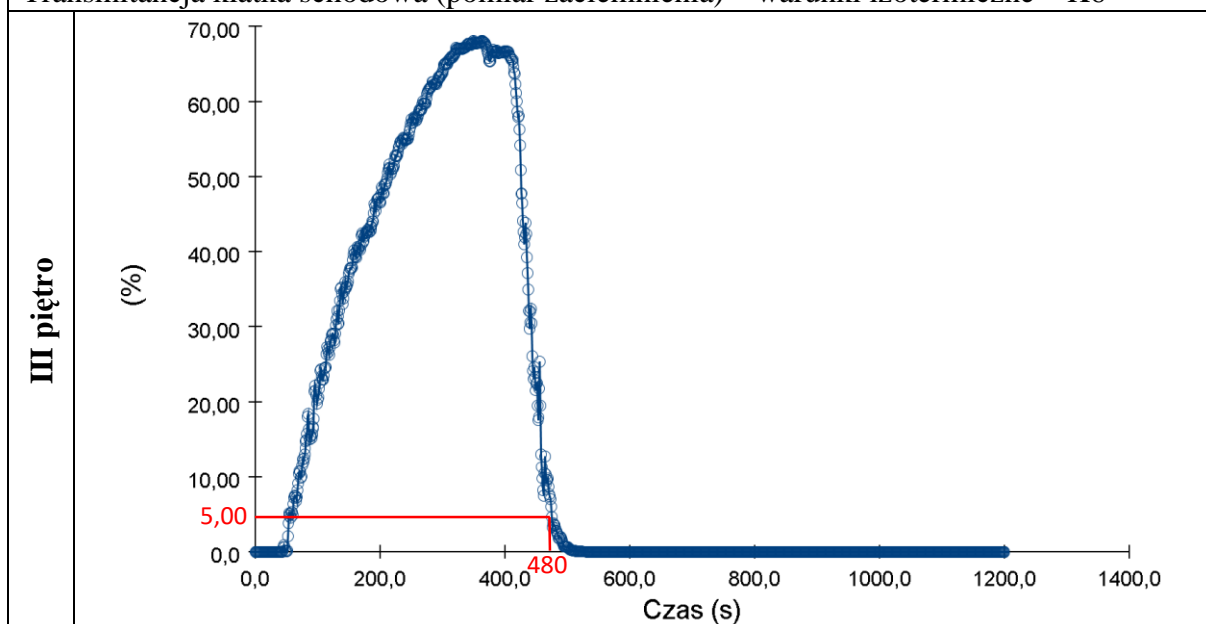
8.6. Prędkość przepływu powietrza w osi kraty nawiewnej dla klatki schodowej – warunki izotermiczne – K6

Prędkość przepływu powietrza w osi kraty nawiewnej dla klatki schodowej – warunki izotermiczne – K6



8.7. Transmitancja klatka schodowa (pomiar zaciemnienia) – warunki izotermiczne – K6

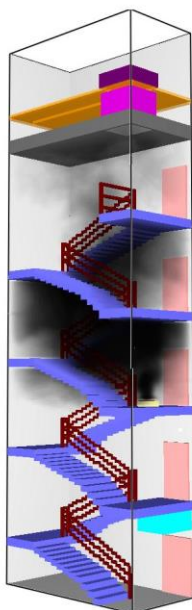
Transmitancja klatka schodowa (pomiar zaciemnienia) – warunki izotermiczne – K6



8.8. Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki letnie – K6

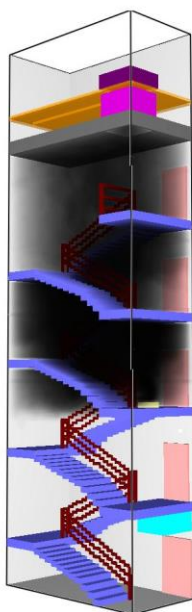
Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki letnie – K6

Smokeyview 6.3.6 – Apr 5 2016



Time: 60.0
Smokeyview 6.3.6 – Apr 5 2016

mesh: 1

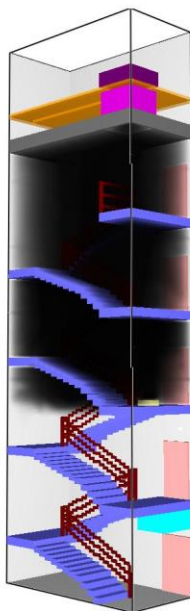


Time: 120.0

mesh: 1

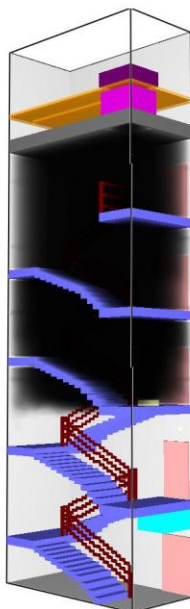
Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki letnie – K6

Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016



Time: 180.0
Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016

mesh: 1

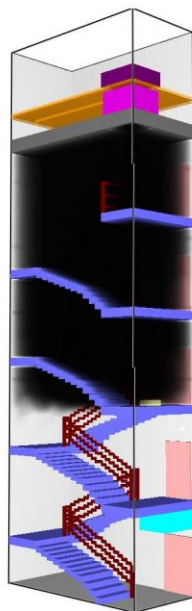


Time: 240.0

mesh: 1

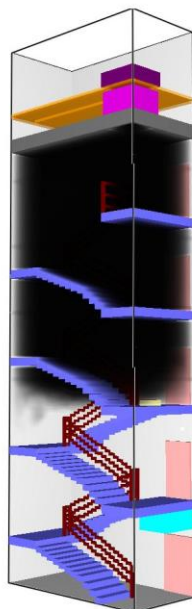
Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki letnie – K6

Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016



Time: 300.0
Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016

mesh: 1

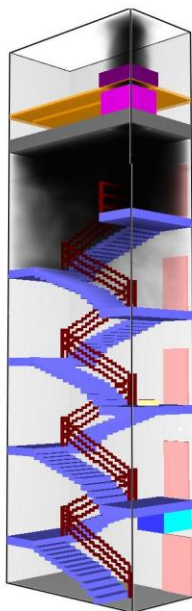


Time: 360.0

mesh: 1

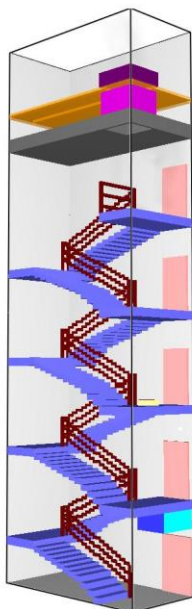
Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki letnie – K6

Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016



Time: 420.0
Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016

mesh: 1

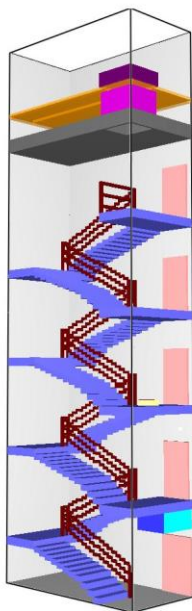


Time: 480.0

mesh: 1

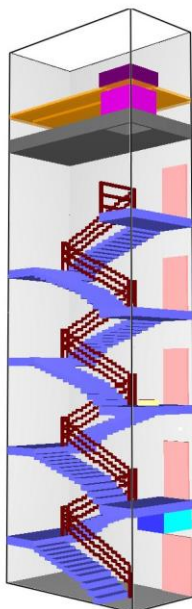
Wizualizacja dymu 3D klatka schodowa – warunki letnie – K6

Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016



Time: 540.0
Smokeview 6.3.6 – Apr 5 2016

mesh: 1

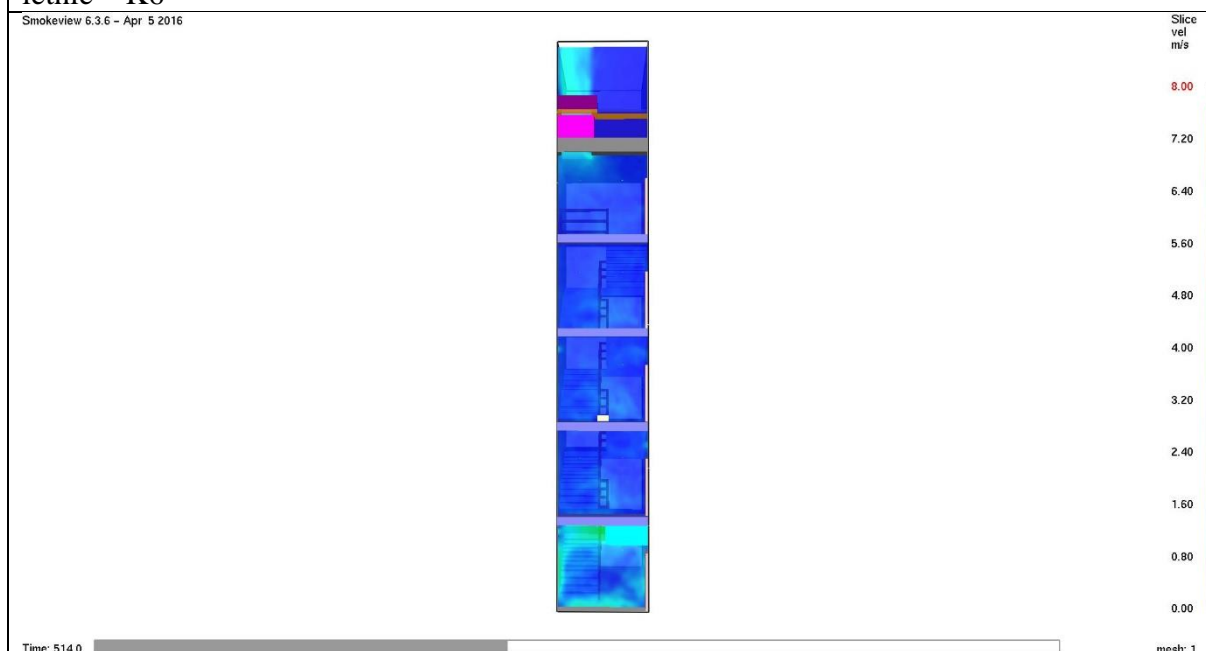


Time: 1200.0

mesh: 1

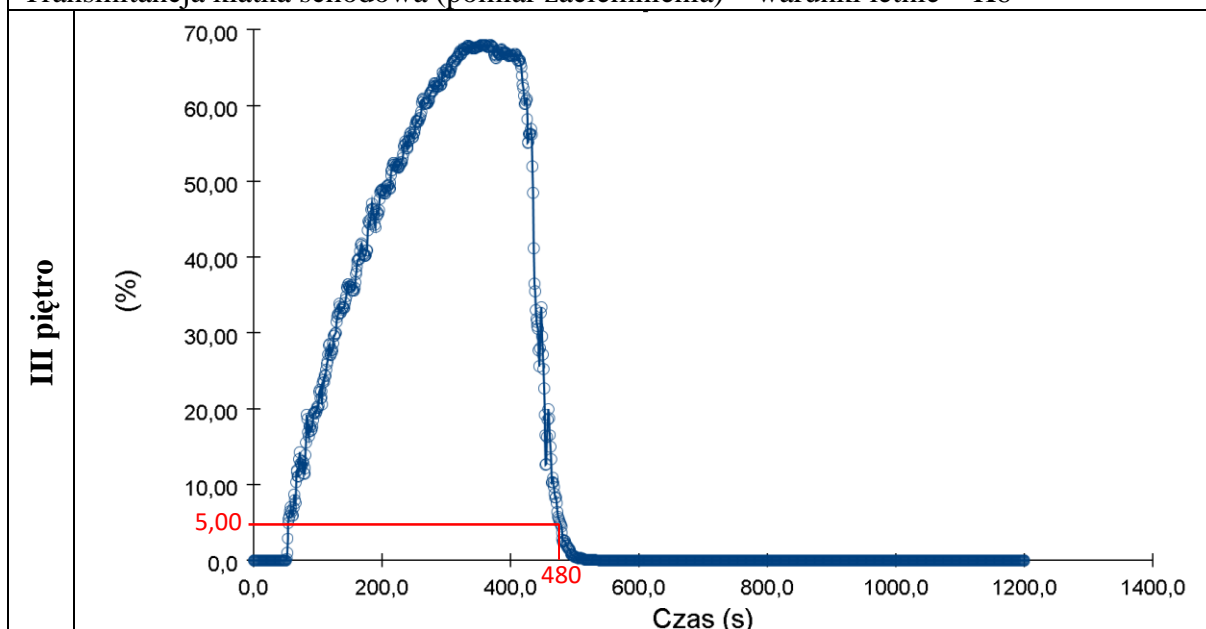
8.9. Prędkość przepływu powietrza w osi kraty nawiewnej dla klatki schodowej – warunki letnie – K6

Prędkość przepływu powietrza w osi kraty nawiewnej dla klatki schodowej – warunki letnie – K6



8.10. Transmittancja klatka schodowa (pomiar zaciemnienia) – warunki letnie – K6

Transmittancja klatka schodowa (pomiar zaciemnienia) – warunki letnie – K6



9. Analiza wyników symulacji i wnioski dla klatki schodowej K6

Powyższa prezentacja wyników umożliwia dokonanie analizy warunków pożarowych ze szczególnym uwzględnieniem warunków transmitancji (zaciemnienia) na wysokości 2,0 m nad posadzką analizowanej kondygnacji oraz analizę skuteczności działania systemu oddymiania na podstawie wizualizacji zadymienia 3D. Poniżej przedstawiono analizę wyników symulacji:

- 1) Prędkość przepływu powietrza na kracie nawiewnej wynosi maksymalnie 5,0 m/s. Dopuszczalna prędkość przepływu powietrza 8 m/s nie została przekroczona.
- 2) Maksymalna moc pożaru wynosi 63,6 kW.
- 3) Pożar zostaje wyłączony po upływie 300 s.
- 4) System oddymiania zostaje uruchomiony po upływie 360 s – otwarcie klapy dymowej i uruchomienie wentylatora napowietrzającego.
- 5) Dopuszczalny czas oddymiania klatki schodowej (t_{odd}) stanowi wynik iloczynu tempa oddymiania oraz różnicy wysokości punktu pomiarowego w klatce schodowej i źródła pożaru ($h=8,60$ m). Przyjmuje się tempo oddymiania jako 18 s na 1 m wysokości. Czas oddymiania liczony jest od momentu uruchomienia systemu oddymiania (360 s). Dopuszczalny czas oddymiania wynosi:

$$t_{odd} = 18 \cdot 8,60 + 360 = 514 \text{ s}$$

- 6) Całkowite usunięcie dymu z klatki schodowej następuje po upływie – transmitancja > 95 % (zaciemnienie < 5 %) na wysokości 2,0 m od posadzki na najwyższej kondygnacji

Klatka schodowa K6				
Poziom	Dopuszczalne wymagania [s]	Warunki zimowe [s]	Warunki izotermiczne [s]	Warunki letnie [s]
III piętro	514	480	480	480

- 7) Wymagania dla systemu oddymiania klatki schodowej są spełnione.

Parametry symulacji zostały przyjęte na podstawie wytycznych CNBOP. Dym przez cały po uruchomieniu systemu oddymiania przesuwają się w kierunku klapy dymowej. Dopuszczalny czas oddymiania klatki schodowej nie został przekroczony. Prędkość przepływu na kracie nawiewnej nie przekracza 8 m/s, co nie zaburza skuteczności usuwania dymu z klatki schodowej. W rzeczywistych warunkach system oddymiania (otwarcie klapy dymowej, uruchomienie wentylatora nawiewnego) zostaje uruchomiony natychmiast po wykryciu pożaru.

System oddymiania spełnia założenia projektowe oraz założenia wytycznych CNBOP. Dla niniejszego systemu nie przewiduje się dodatkowych rozwiązań.