

F&K Consulting Engineers Sp. z o.o.

ul. Krakowskie Przedmieście 62 lok. 10
00-321 Warszawa

fax.: 22 490 66 18

tel.: 507 821 449 • 723 339 800

www.fkce.pl • biuro@fkce.pl

Nazwa opracowania:	Raport z symulacji CFD działania grawitacyjnego systemu do usuwania dymu z klatek schodowych w obiekcie użyteczności publicznej
Obiekt:	MODERNIZACJA BUDYNKU WYDZIAŁU INFORMATYKI ZUT W SZCZECINIE ul. Żołnierska 49
Inwestor:	ZACHODNIOPOMORSKI UNIWERSYTET TECHNOLOGICZNY W SZCZECINIE Al. Piastów 17, 71-899 Szczecin

Wyniki analizy skuteczności działania systemu wentylacji oddymiającej na klatkach schodowych w obiekcie użyteczności publicznej zlokalizowanym w Szczecinie na ul. Żołnierskiej 49

Branża: **Ochrona przeciwpożarowa/Sanitarna**

Opracował:	mgr inż. Marcin Trociński	Podpis:	Marcin Trociński <i>Trociński</i> mgr inż. pożarnictwa
Sprawdził:	mgr inż. Andrzej Krauze		Andrzej Krauze <i>Andrzej Krauze</i> mgr inż. pożarnictwa

Warszawa, czerwiec 2016 r.

SPIS TREŚCI

1. Dane ogólne	4
1.1. Przedmiot opracowania	4
1.2. Podstawa opracowania.....	4
1.3. Zawartość opracowania	4
2. Koncepcja oddymiania obiektu.....	5
2.1. Ustalenia podstawowe	5
2.2. Założenia do koncepcji zabezpieczenia przed zadymieniem	5
4. Przewidywany czas ewakuacji użytkowników obiektu	7
3. Symulacje CFD	9
3.1. Charakterystyka użytego programu CFD	9
3.1.1. Nazwa programu, wersja, producent	9
3.1.2. Rodzaj i gęstość siatki obliczeniowej.....	9
3.1.3. Model turbulencji	9
3.1.4. Model spalania	10
3.1.5. Model promieniowania.....	10
3.2. Niepewności obliczeniowe i zastosowane współczynniki bezpieczeństwa	10
3.3. Warunki początkowe i brzegowe.....	11
3.3.1. Początkowa temperatura wewnętrzna i zewnętrzna	11
3.3.2. Materiały elementów budowlanych	11
3.3.3. Materiał palny.....	11
3.3.4. Zastosowane schematy i ustawienia numeryczne	12
3.3.5. Czas symulacji.....	12
3.4. Analizowane parametry pożaru	12
3.5. Analizowane scenariusze pożarowe	13
4. Wyniki symulacji CFD	14
4.1. Zasięg widzialności w przekroju pionowym poprowadzonym przez klatkę – Scenariusz nr 1 (stan faktyczny).....	14
4.2. Zasięg widzialności w przekroju pionowym poprowadzonym przez klatkę – Scenariusz nr 2 (zgodnie z PN)	21
4.3. Zasięg widzialności w przekroju pionowym poprowadzonym przez klatkę – Scenariusz nr 3 (zgodnie z vds).....	27
4.4. Temperatura w przekroju pionowym poprowadzonym przez klatkę – Scenariusz nr 1 (stan faktyczny)	33

4.5. Temperatura w przekroju pionowym poprowadzonym przez klatkę – Scenariusz nr 2 (zgodnie z PN)	38
4.6. Temperatura w przekroju pionowym poprowadzonym przez klatkę – Scenariusz nr 3 (zgodnie z VDS)	43
5. Wnioski	48
6. Bibliografia	50

1. DANE OGÓLNE

1.1. PRZEDMIOT OPRACOWANIA

Niniejsze opracowanie stanowi raport z symulacji CFD działania grawitacyjnego systemu do usuwania dymu z klatek schodowych w obiekcie użyteczności publicznej zlokalizowanym w Szczecinie na ul. Żołnierskiej 49.

1.2. PODSTAWA OPRACOWANIA

Podstawą opracowania są:

- a) Zlecenie inwestora
- b) Projekt budowlany architektoniczno-konstrukcyjny
- c) Obowiązujące przepisy przeciwpożarowe i techniczno-budowlane
- d) Obowiązujące normy
- e) Uzgodnienia branżowe

1.3. ZAWARTOŚĆ OPRACOWANIA

Opracowanie zawiera część opisową przedstawiającą ogólną charakterystykę obiektu, zasadę funkcjonowania systemu wentylacji oddymiającej na klatkach schodowych oraz założenia i metodykę wykonywania symulacji CFD. Ponadto raport zawiera obliczenia czasu ewakuacji ludzi z przedmiotowego obiektu. Kolejne rozdziały dokumentu przedstawiają opis programu wykorzystanego do wykonania obliczeń numerycznych, wyniki oraz wnioski z przeprowadzonej analizy.

2. KONCEPCJA ODDYMIANIA OBIEKTU

2.1. USTALENIA PODSTAWOWE

Niniejsza analiza obejmuje sprawdzenie skuteczności działania grawitacyjnego systemu do usuwania dymu z klatek schodowych w obiekcie użyteczności publicznej zlokalizowanym w Szczecinie na ul. Żołnierskiej 49. Przedmiotowy budynek charakteryzuje się kategorią zagrożenia ludzi ZL III, należą do obiektów średniowysokich (SW). Posiada 4 kondygnacje nadziemne (w tym poddasze), jedną kondygnację podziemną. Przedmiotowe klatki schodowe są obudowane oraz zostaną zamknięte drzwiami dymoszczelnymi. Ponadto przewiduje się podział poziomych dróg ewakuacyjnych (korytarzy) również za pomocą drzwi dymoszczelnych.

Gazy pożarowe usuwane będą z klatek schodowych poprzez okna oddymiające o wymiarach 206/135 cm (na każdej z klatek), dwuskrzydłowe (skrzydła otwierane na zewnątrz do kąta 90°), zlokalizowane w lukarnach na poziomie 3 piętra. Z kolei powietrze kompensacyjne dostarczane będzie na klatki schodowe poprzez drzwi o wymiarach 150/200 cm znajdujące się na poziomie parteru. Za wykrycie zjawisk pożarowych na przedmiotowych klatkach odpowiedzialny będzie automatyczny system detekcji dymu.

W przedmiotowym opracowaniu zawarto wyniki symulacji CFD przeprowadzonych dla 3 wariantów. Pierwszy obejmuje sprawdzenie systemu oddymiania według parametrów rzeczywistych, drugi według wymagań PN-B-02877-4 [12], zaś trzeci zgodnie z normą VdS [14]. Określając wymaganą powierzchnię czynną oddymiania i napowietrzania przyjęto do obliczeń powierzchnię klatki schodowej wynoszącą 21,26 m².

2.2. ZAŁOŻENIA DO KONCEPCJI ZABEZPIECZENIA PRZED ZADYMIENIEM

W związku z tym, że rozpatrywany obiekt nie jest zabezpieczony instalacją tryskaczową, pożar projektowy przyjęto w oparciu o wyliczony czas ewakuacji. W symulacji przyjęto następujące założenia (zgodnie z [4]):

- szybkość rozwoju pożaru średnia, $\gamma=0.00172$,
- gęstość mocy pożaru 290 kW/m² (właściwa dla pomieszczeń biurowych),
- ułamek mocy promieniowania 0,2,
- liniowa szybkość rozprzestrzeniania się pożaru 0.003586657 m/s,
- pominięto wpływ wiatru,
- dla okien oddymiających przyjęto aerodynamiczny współczynnik wypływu na poziomie 0,5 (zgodnie z PN EN 12101 dla okien otwieranych na zewnątrz pod kątem 90°), dla pozostałych otworów napowietrzających oraz oddymiających przyjęto aerodynamiczny współczynnik wypływu równy 0,6,
- w symulacjach przyjęto skorygowaną wartość powierzchni geometrycznej otworów oddymiających i napowietrzających (uwzględniając domyślną wartość aerodynamicznego współczynnika wypływu określoną w programie FDS na poziomie 0,7÷0,8) tak, aby

wyliczona powierzchnia czynna tychże otworów odpowiadała w przybliżeniu powierzchni czynnej wprowadzonej do symulacji.

Charakterystyka elementów systemu do usuwania dymu dla poszczególnych scenariuszy przedstawiają się następująco:

Tabela 1. Charakterystyka elementów systemu do usuwania dymu

Lp.	Scenariusz	Okno/klapa oddymiająca (charakterystyka)	Otwór kompensacyjny (charakterystyka)
1	1 (stan faktyczny)	Okno oddymiające o wymiarach 206/105 cm, dwuskrzydłowe, otwierane pod kątem 90° – powierzchnia czynna 1,4 m ² (przy aerodynamicznym współczynniku wypływu równym 0,5).	Drzwi dwuskrzydłowe na poziomie parteru o wymiarach 150/200 cm – powierzchnia czynna 1,8 m ² .
2	2 (według PN)	Kłapa oddymiająca o powierzchni czynnej 1,06 m ² .	Drzwi napowietrzające o powierzchni czynnej równej 1,38 m ² (o 30% więcej w stosunku do powierzchni klapy oddymiającej).
3	3 (według VdS)	Kłapa oddymiająca o powierzchni czynnej 1,06 m ² .	Drzwi napowietrzające o powierzchni czynnej równej 1,06 m ² .

4. PRZEWIDYWANY CZAS EWAKUACJI UŻYTKOWNIKÓW OBIEKTU

Obliczenia przewidywanego czasu ewakuacji z 3 piętra zostały wykonane w oparciu o normę Published Document PD 7974-6:2004 [8].

Tabela 2. Obliczenia czasu ewakuacji

Projektowy scenariusz zachowań i rodzaj użytkownika:	
Kategoria	A
Gotowość użytkowników	Czuwający
Znajomość użytkowników	Zaznajomieni
Gęstość użytkowników	Niska
Wydzielenia/złożoność	Kilka
Wpływ jakości systemu alarmowego na pierwsze-wstępne reakcje	
Poziom systemu alarmowego	A3 Lokalny system wykrywania pożaru z rozgłoszeniem alarmu tylko w niewielkim obrębie pożaru lub brak automatycznego systemu wykrywania pożaru, z ręcznym rozgłaszaniem alarmu dla wszystkich zagrożonych przestrzeni.
Wpływ złożoności budynku na czas ewakuacji	
Poziom budynku	B2 Na przykład – prosty, wielokondygnacyjny budynek biurowy. Przedstawia prosty budynek, wieloma przegrodami wewnętrznymi i zazwyczaj wielokondygnacyjny, z większością cech projektowanych zgodnie z warunkami techniczno-budowlanymi oraz nieskomplikowanym rozplanowaniem wewnętrznym.
Klasyfikacja systemu zarządzania bezpieczeństwem pożarowym i wpływ na czas ewakuacji	
Poziom zarządzania	M3 Standardowe wyposażenie z minimalnym poziomem systemu zarządzania bezpieczeństwem. Nie występuje niezależny audyt. Cechy budynku mogą być na poziomie B2 lub B3, poziom systemu alarmowego A3.
Obliczenie WCBE	
Czas detekcji pożaru	Δt_{det} – czas detekcji pożaru: 300 sekund Zakłada się zauważenie pożaru bezpośrednio przez użytkowników obiektu ze względu na brak systemu sygnalizacji pożarowej.

Obliczenie czasu alarmowania	<p>Δt_a – czas alarmowania: 180 sekund</p> <p>Przekazywanie informacji o pożarze tzw. środkami ruchomymi (poprzez wzajemne informowanie się użytkowników), zgodnie z procedurą określoną w instrukcji bezpieczeństwa pożarowego, brak systemu sygnalizacji pożarowej.</p>
Obliczenie czasu pierwszych-wstępnych reakcji	<p>Kategoria scenariuszy i modyfikacje: Czuwający, niezaznajomieni – M3 B2 A3.</p> <p>$\Delta t_{pw-r 1\%}$ - czas reakcji > 15 minut</p> <p>$\Delta t_{pw-r 99\%}$ - czas reakcji > 15 minut (przyjęto 16 minut)</p>
Obliczenie czasu przejścia	<p>1. Czas dojścia ewakuacyjnego z pomieszczenia 308 do klatki schodowej: prędkość na drodze poziomej – 1,2 m/s, czas pokonania drogi: 14,5 m:1,2 m/s= 12,1 s.</p> <p>2. Czas dojścia ewakuacyjnego po klatce schodowej: prędkość na drodze pionowej – 1m/s, długość dojścia po klatce schodowej 45,1 m, czas pokonania drogi: 45,1 m:1 m/s=45,1 s</p>
<p>$WCBE=td+ta+t_{pw-r99\%}+tp = 300+180+960+57,2=1497,2 \text{ s} \sim 25 \text{ minut}$</p>	
<p>WCBE (wymagany czas bezpiecznej ewakuacji) = 25 minut</p>	

3. SYMULACJE CFD

3.1. CHARAKTERYSTYKA UŻYTEGO PROGRAMU CFD

3.1.1. NAZWA PROGRAMU, WERSJA, PRODUCENT

Do przeprowadzenia szczegółowej analizy oraz otrzymania wyników zawartych w raporcie wykorzystany został program Fire Dynamics Simulator wersja 5.5.3, który jest narzędziem opracowanym przez amerykański instytut naukowo-badawczy NIST (National Institute of Standards and Technology). Program jest znany oraz stosowany w środowisku inżynierów, pracowników i studentów wyższych uczelni technicznych na całym świecie, zajmujących się nowoczesną inżynierią bezpieczeństwa pożarowego. Aplikacja wykorzystuje metody obliczeniowe numerycznej mechaniki płynów CFD. Model CFD, zastosowany w programie FDS pozwala badać rozwój pożaru w złożonych geometriach. CFD opisuje ruch płynu na podstawie rozwiązań układu równań różniczkowych cząstkowych Naviera-Stokesa. Wykorzystują one zasady zachowania masy, pędu i energii. FDS jest narzędziem przeznaczonym do szczegółowej analizy zagrożeń pożarowych i rozwiązywania problemów związanych inżynierią bezpieczeństwa pożarowego. Zapewnia tym samym możliwość poznania dynamiki zjawiska pożaru oraz zachodzących tam procesów spalania. Program ten, w zakresie zagadnień związanych z bezpieczeństwem pożarowym, można stosować do modelowania transportu ciepła i produktów spalania powstałych na skutek pożaru, wymiany ciepła poprzez promieniowanie i konwekcję, pirolizy, rozprzestrzeniania się płomieni oraz rozwoju pożaru, aktywacji tryskaczy oraz czujek dymu i ciepła, czy też oddziaływania kropli wody na płomień [1]. Program FDS wykorzystuje technikę LES oraz, po wprowadzeniu odpowiednio gęstej siatki obliczeniowej, bezpośrednią symulację numeryczną (DNS). Model LES uwzględnia wiry o wielkości porównywalnej z wielkością komórek siatki. Metoda ta w ostatnich latach jest intensywnie rozwijana, ponieważ stanowi kompromis pomiędzy dokładnością odwzorowania dynamiki pożaru, a dostępnymi obecnie możliwościami obliczeniowymi. DNS traktuje turbulencję w sposób deterministyczny.

3.1.2. RODZAJ I GĘSTOŚĆ SIATKI OBLICZENIOWEJ

Użyto siatki regularnej sześcienniej o boku 20 cm dla analizy w każdej strefie pożarowej. Domena obliczeniowa została podzielona na 8 siatek obliczeniowych. Rozmiar siatki dobrano w oparciu o:

- a) wytyczne Health and Safety Laboratory [2],
- b) wytyczne NUREG, publikowane również w instrukcji użytkownika FDS5 User's Guide [3].

3.1.3. MODEL TURBULENCJI

W przeprowadzonej symulacji został wykorzystany model Smagorinsky LES, odpowiedni dla wolnych przepływów dymu i gazów pożarowych pod wpływem termicznych sił wyporu.

3.1.4. MODEL SPALANIA

Użyto modelu MixtureFraction. Model ten przyjmuje następujące uproszczenia:

- c) skład stechiometryczny mieszaniny palnej jest definiowany przez ułamek molowy gazów palnych i produktów spalania (równy 1 dla czystego paliwa) i powietrza (równy 0 dla czystego powietrza),
- d) spalanie następuje natychmiast po zmieszaniu,
- e) spalanie jest jednoetapowe i całkowite,
- f) procent powstającego tlenku węgla jest stały i wynika z początkowych założeń symulacji a nie z aktualnych warunków spalania.

Założenia te dają prawidłowe wyniki w przypadku pożarów kontrolowanych przez paliwo jak ma to miejsce w założonych scenariuszach.

3.1.5. MODEL PROMIENIOWANIA

Równanie transportu promieniowania dla gazu szarego, jest rozwiązywane metodą objętości skończonych (FVM – Finite Volume Method). Metoda ta dzieli całe widmo promieniowania na kilka przedziałów częstości (typowo 6) i korzysta w nich z całkowitej postaci równań transportu promieniowania. Przedziały te dobrane są tak, by pokrywały się z pasmami widma substancji występujących w układzie. Część strumienia mocy pożaru emitowana w postaci promieniowania jest stała i jest jednym z parametrów symulacji. Przyjęto ułamek promieniowania 20 %, domyślnie ustawiony w programie, prawdziwy dla większości spalanych materiałów, które mogą znajdować się na wyposażeniu biur.

3.2. NIEPEWNOŚCI OBLICZENIOWE I ZASTOSOWANE WSPÓLCZYNNIKI BEZPIECZEŃSTWA

W tabeli poniżej przedstawiono średnie procentowe niepewności obliczeniowe dla poszczególnych parametrów.

Tabela 3. Średnie błędy wyznaczania wielkości fizycznych w FDS.
Źródło: [5]

Mierzona wielkość	Niepewność (%)
Temperatura warstwy podsufitowej dymu	15
Wysokość strefy wolnej od zadymienia	13
Temperatura strumienia podsufitowego	16
Temperatura płomienia	14
Stężenia gazów	9
Stężenie dymu i widzialność	33
Ciśnienie	40
Strumień ciepła	20
Temperatura powierzchni	14

3.3. WARUNKI POCZĄTKOWE I BRZEGOWE

3.3.1. POCZĄTKOWA TEMPERATURA WEWNĘTRZNA I ZEWNĘTRZNA

Przyjęto początkową temperaturę wewnątrz i na zewnątrz obiektu równą 20°C.

3.3.2. MATERIAŁY ELEMENTÓW BUDOWLANYCH

Właściwości materiałów budowlanych przyjęto w symulacji na podstawie normy PN-EN ISO 6946 [6].

Tabela 4. Właściwości materiałów budowlanych, wprowadzonych do programu FDS.
Źródło: opracowanie własne na podstawie [6].

Material	Gęstość [kg/m ³]	Ciepło właściwe [kJ/kg·K]	Współczynnik przewodzenia ciepła [W/m·K]
Żelbet	2500	0,84	1,70
Błoczki betonowe	800	0,84	0,30
Płyta gipsowo-kartonowa	1000	1,00	0,30
Szkło	2500	0,84	0,80
Stal	7850	0,44	58
Tynk wapienny	1700	0,84	0,70

3.3.3. MATERIAŁ PALNY

Jako materiał palny przyjęto piankę poliuretanową. Właściwości palne wg [8] zebrano w tabeli 3.

Tabela 5. Właściwości materiału spalanego użyte w symulacji.
Źródło: [8].

Ciepło spalania [kJ/kg]	26200
Ułamek masowy dymu	0,13
Ułamek masowy tlenku węgla	0,01
Stosunek atomów węgla : wodoru : tlenu	1:1,75:0,25
Masowy współczynnik ekstynkcji K_m [m ² /kg]	8700

3.3.4. ZASTOSOWANE SCHEMATY I USTAWIENIA NUMERYCZNE

W symulacji użyto domyślnych ustawień programu. Krok czasowy jest obliczany z zachowaniem kryterium CFL, tzn:

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

Krok czasowy obliczany jest automatycznie zgodnie z jednym z trzech schematów, odnoszących się do sposobu normalizacji wektora prędkości. Domyślnym schematem dla użytej wersji 5.5.0 jest schemat L_∞ :

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

3.3.5. CZAS SYMULACJI

Jako czas symulacji przyjęto czas 3600 sekund (60 minut). Czas ewakuacji z obiektu wynosi około 25 minut (1500 sekund). Krok czasowy jest ustalany automatycznie na podstawie liczby CFL, przy użyciu schematu L_∞ .

3.4. ANALIZOWANE PARAMETRY POŻARU

Podczas analizy numerycznej sprawdzeniu podlegał zasięg widzialności oraz temperatura na klatce schodowej. Temperatura krytyczna w czasie ewakuacji wynosi 60 st. C, natomiast ze względu na współczynnik niepewności wynoszący 15% wartości przyrostu temperatury powyżej temperatury początkowej dla górnej warstwy dymu analizowano wartość 54 st. C. W przypadku zasięgu widzialności założono wartość krytyczną równą 10 m.

Założono, iż pożar rozwija się w szatni zlokalizowanej na parterze w pobliżu głównego wejścia, a dym rozprzestrzenia się na całą kondygnację, w tym również drogi ewakuacyjne (klatki schodowe).

Założono, że do czasu zakończenia ewakuacji z budynku (25 minut zgodnie [10]), dym wydostaje się swobodnie na klatki schodowe na skutek otwarcia drzwi przez ewakuujących się użytkowników obiektu. Po czasie detekcji, który oszacowano na około 300 sekund, następuje otwarcie otworów oddymiających oraz kompensacyjnych, które pozostają otwarte aż do zakończenia symulacji. Po czasie ewakuacji natomiast następuje zamknięcie drzwi dymoszczelnych prowadzących na klatki schodowe oraz zlokalizowanych na korytarzu.

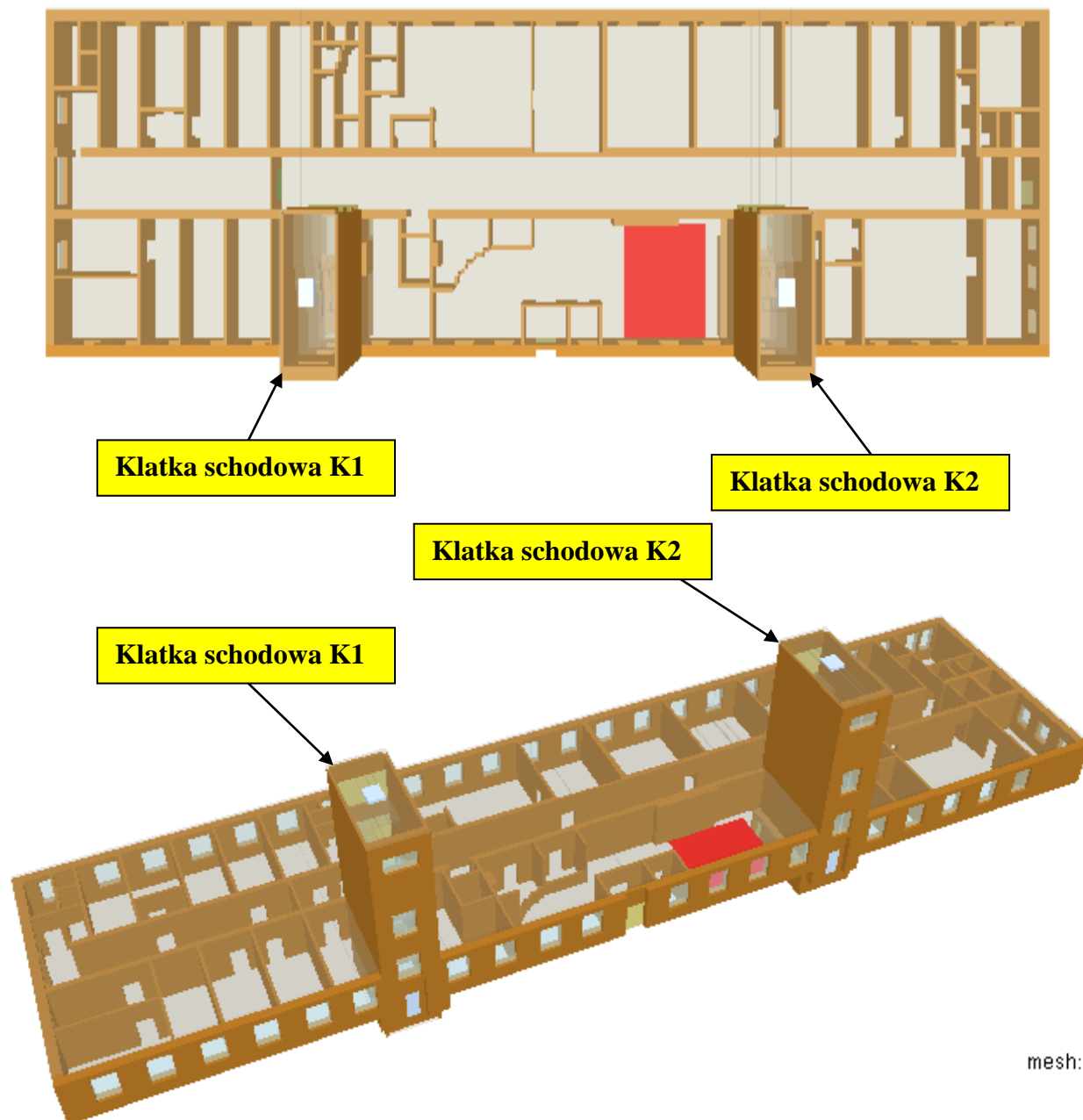
Oceniano czy ilość dymu, która wydostała się na klatkę schodową może zagrażać ewakuującym się ludziom (w warunkach swobodnego napływu dymu na klatkę schodową). Ponadto ocenie podlegał czas oczyszczania klatki schodowej z dymu (po czasie ewakuacji, kiedy przestaje on docierać na klatkę schodową), w celu określenia skuteczności działania projektowanego systemu do usuwania dymu.

Dane wyjściowe zostały odczytane poprzez wizualizację w programie SmokeView.

3.5. ANALIZOWANE SCENARIUSZE POŻAROWE

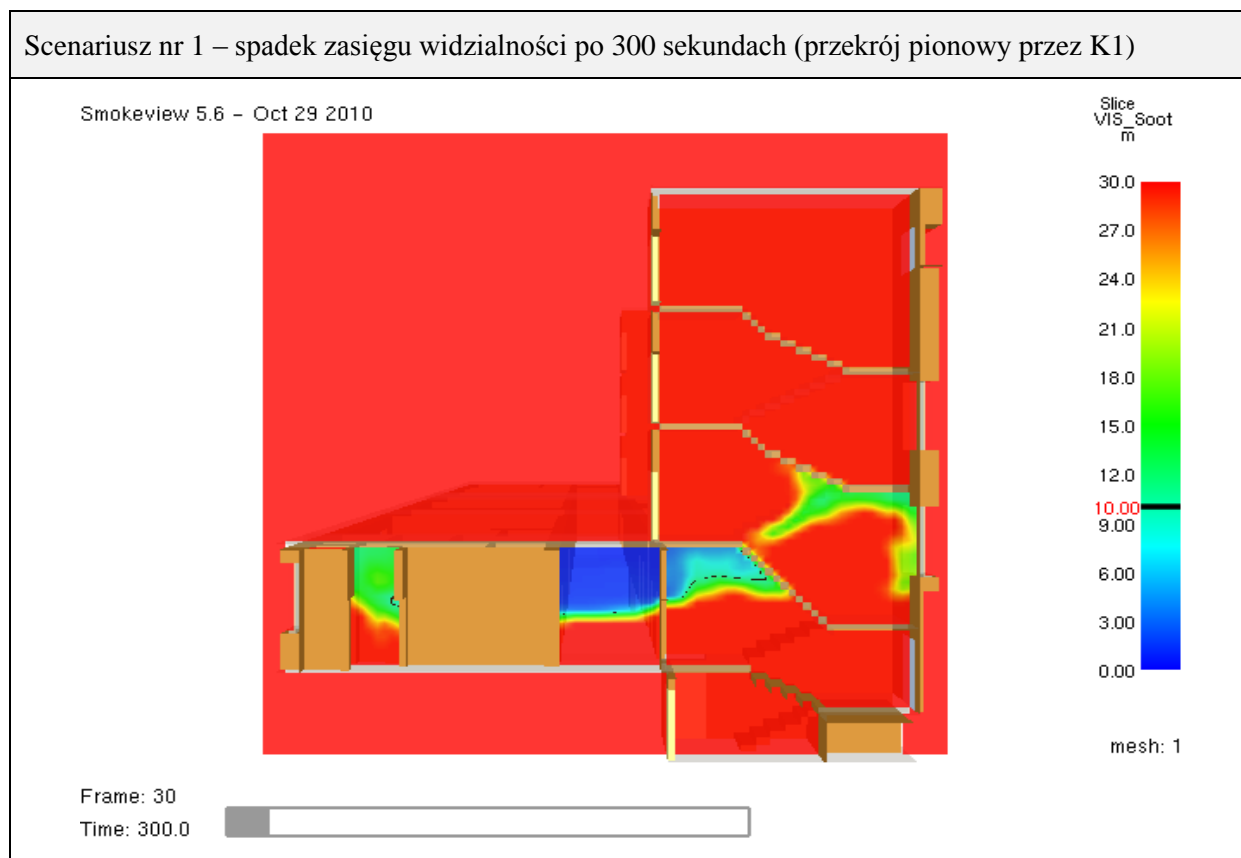
W obiekcie przeanalizowano trzy scenariusze pożarowe. Scenariusz nr 1 obrazuje funkcjonowanie systemu oddymiania zgodnie ze stanem faktycznym. Scenariusz nr 2 i 3 odzwierciedla działanie systemu oddymiania wykonanego zgodnie z wymaganiami zawartymi odpowiednio w PN [12] oraz VdS [14]. Założono rozwój pożaru na kondygnacji parterowej.

Lokalizację pożaru w poszczególnych scenariuszach przedstawiono na poniższej ilustracji.



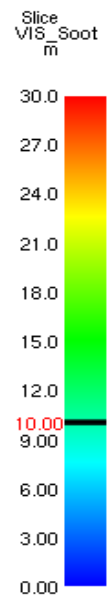
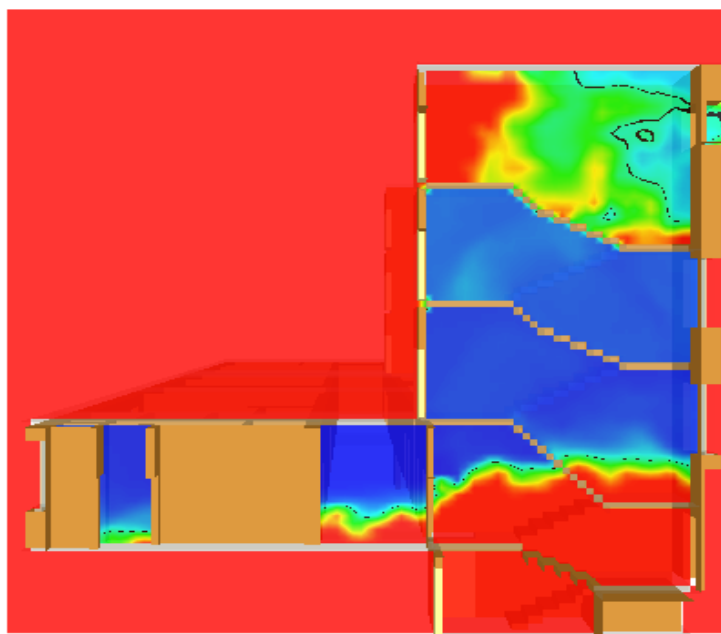
4. WYNIKI SYMULACJI CFD

4.1. ZASIĘG WIDZIALNOŚCI W PRZEKROJU PIONOWYM POPROWADZONYM PRZEZ KŁATKĘ – SCENARIUSZ NR 1 (STAN FAKTYCZNY)



Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 500 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



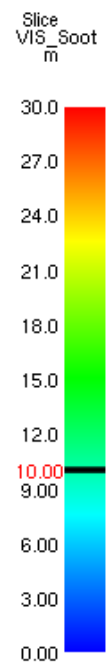
mesh: 1

Frame: 50
Time: 500.0



Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1000 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



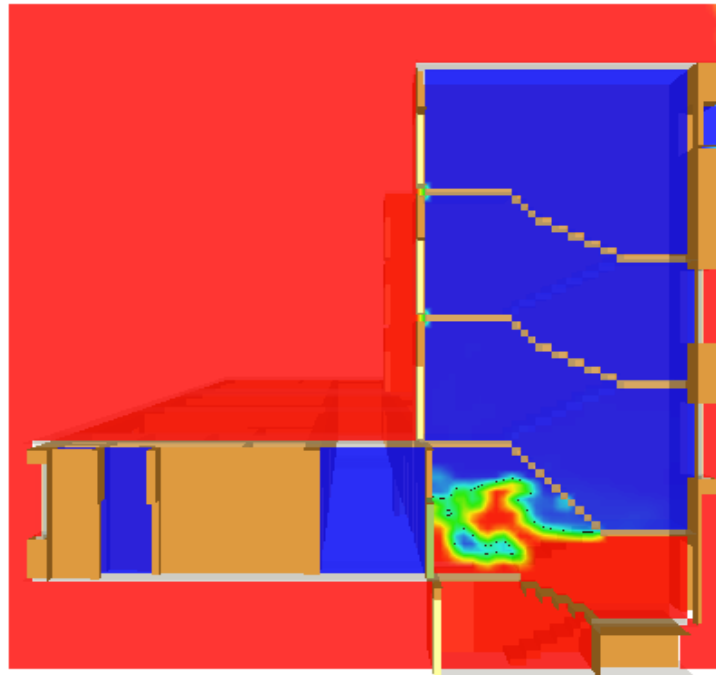
mesh: 1

Frame: 100
Time: 1000.0

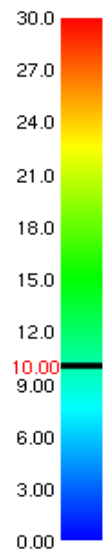


Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1500 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



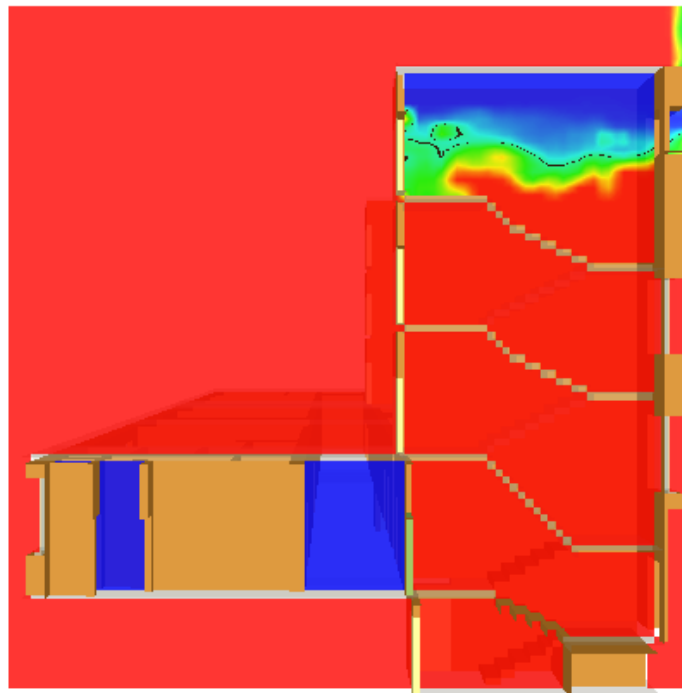
mesh: 1

Frame: 150

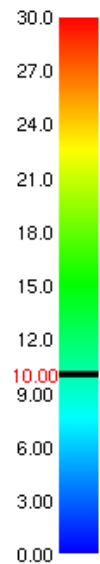
Time: 1500.0

Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1690 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



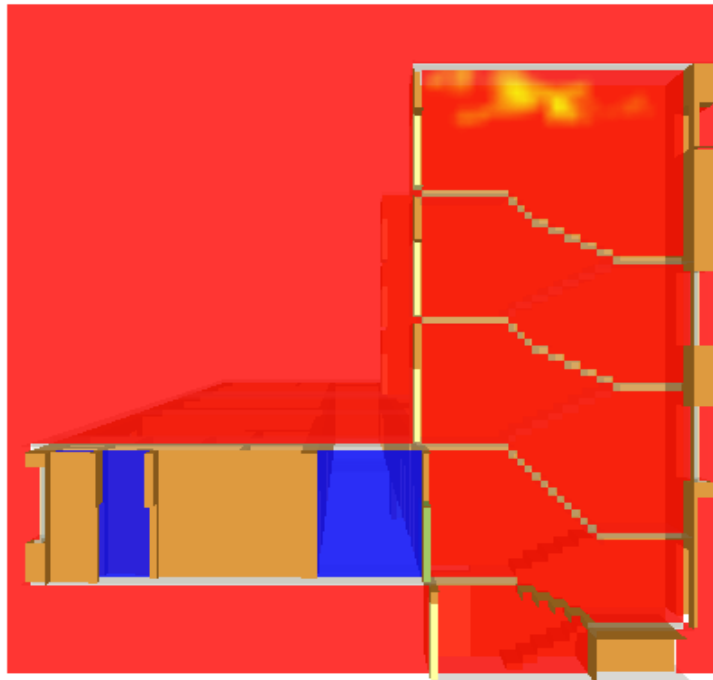
mesh: 1

Frame: 169

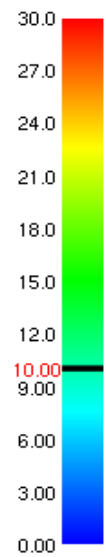
Time: 1690.0

Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 2320 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



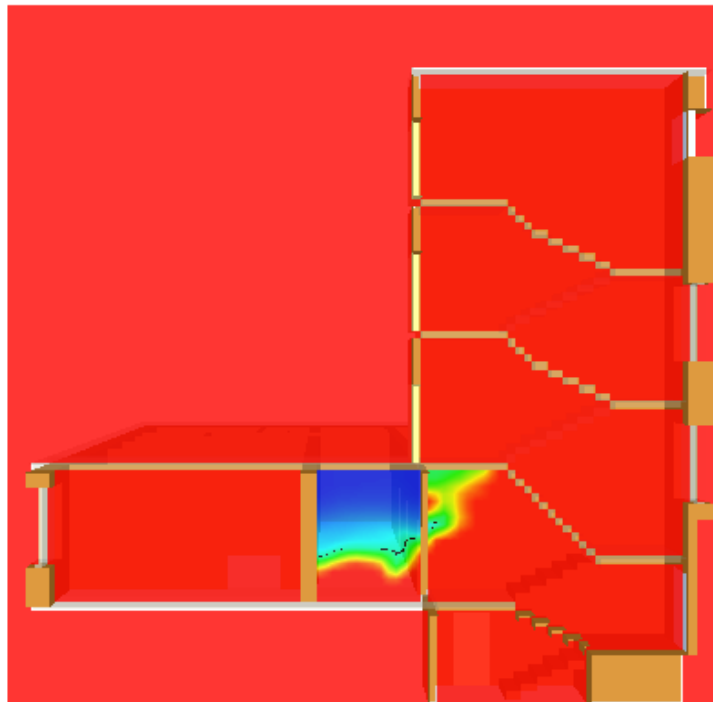
mesh: 1

Frame: 232
Time: 2320.1



Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 300 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



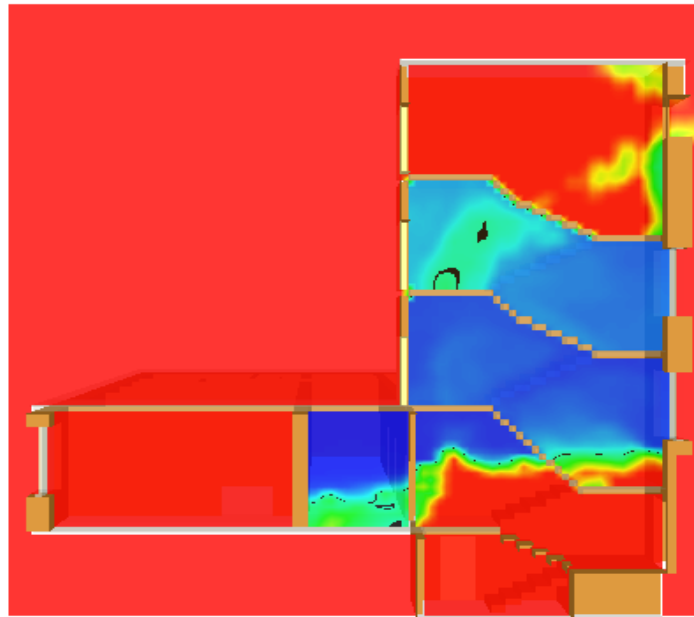
mesh: 1

Frame: 30
Time: 300.0

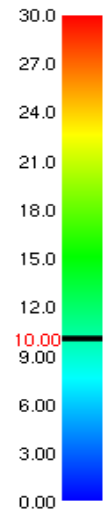


Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 500 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



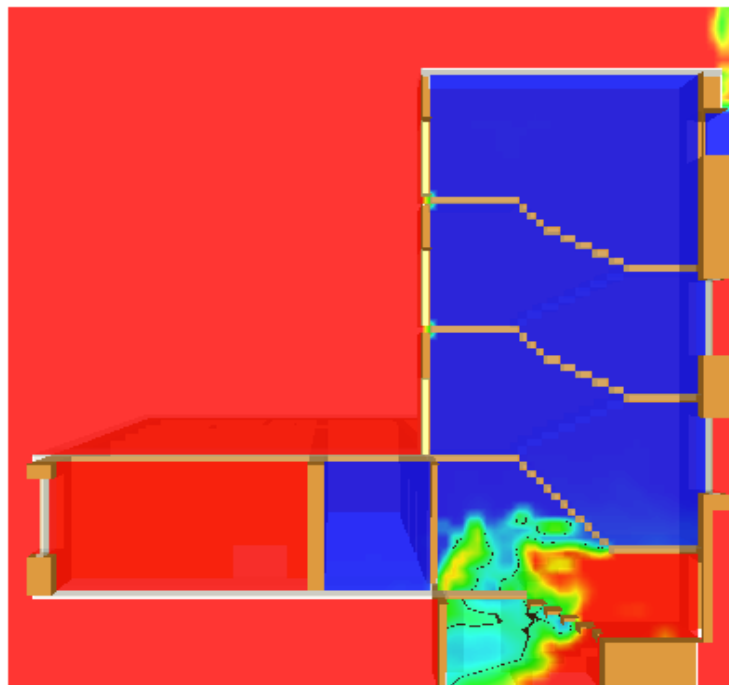
mesh: 1

Frame: 50
Time: 500.0

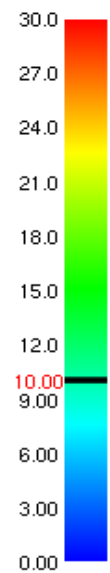


Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1000 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



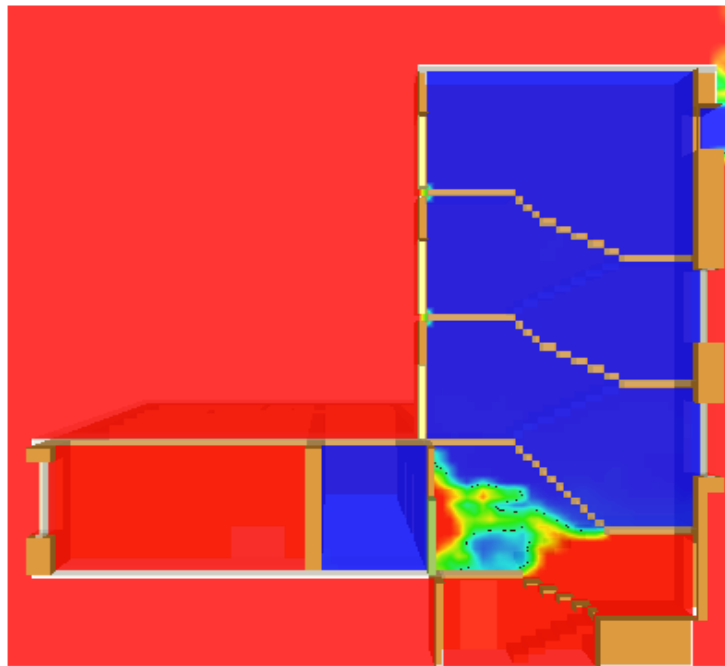
mesh: 1

Frame: 100
Time: 1000.0

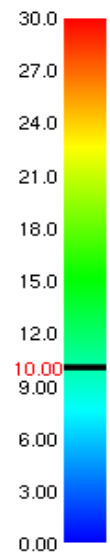


Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1500 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



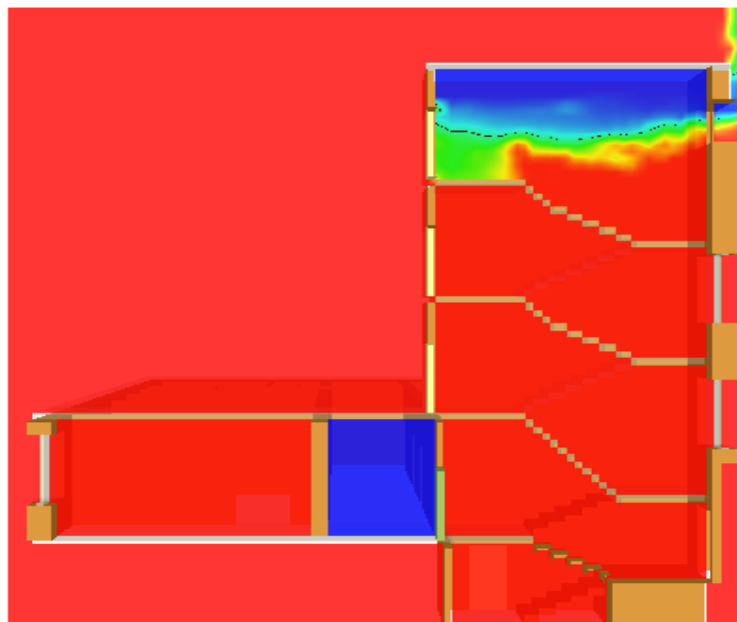
mesh: 1

Frame: 150
Time: 1500.0

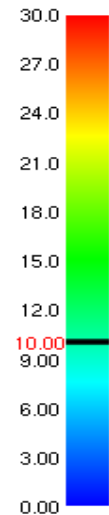


Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 1770 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



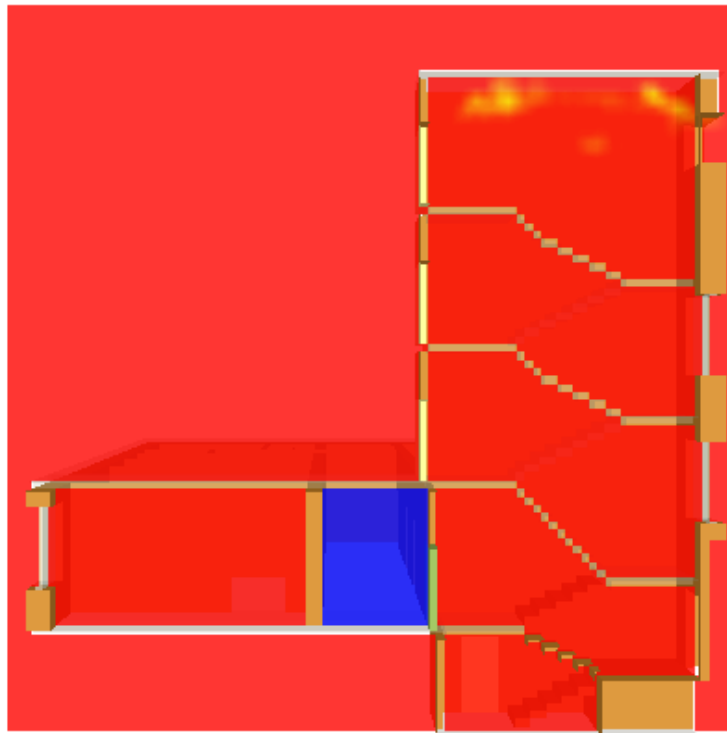
mesh: 1

Frame: 177
Time: 1770.0

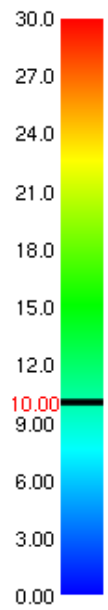


Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 2680 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



mesh: 1

Frame: 268

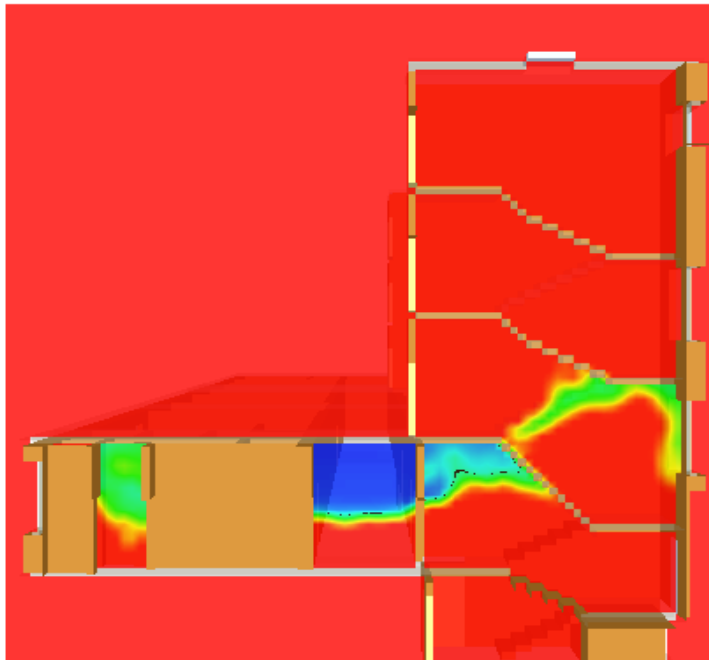
Time: 2680.1



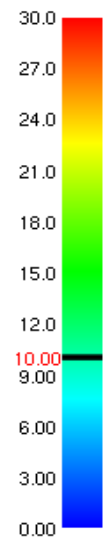
4.2. ZASIĘG WIDZIALNOŚCI W PRZEKROJU PIONOWYM POPROWADZONYM PRZEZ KŁATKĘ – SCENARIUSZ NR 2 (ZGODNIE Z PN)

Scenariusz nr 2 – spadek zasięgu widzialności po 300 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



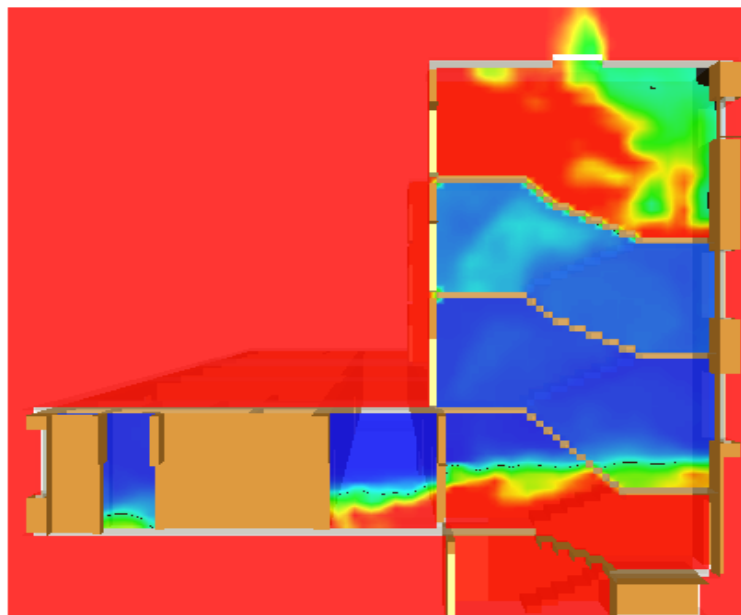
mesh: 1

Frame: 30
Time: 300.0



Scenariusz nr 2 – spadek zasięgu widzialności po 500 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



mesh: 1

Frame: 50
Time: 500.0



Scenariusz nr 2 – spadek zasięgu widzialności po 1000 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



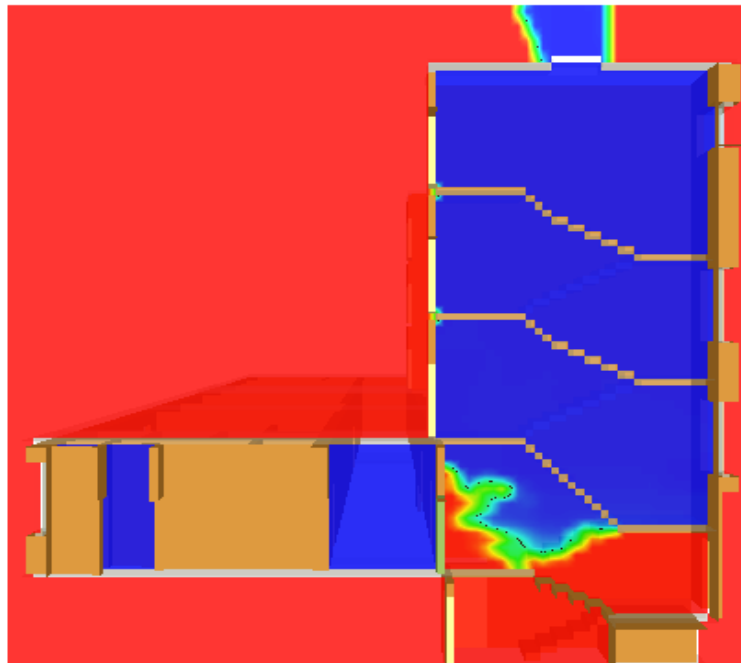
mesh: 1

Frame: 100

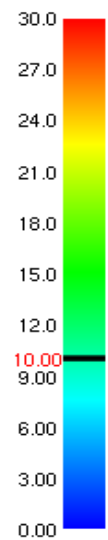
Time: 1000.0

Scenariusz nr 2 – spadek zasięgu widzialności po 1500 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



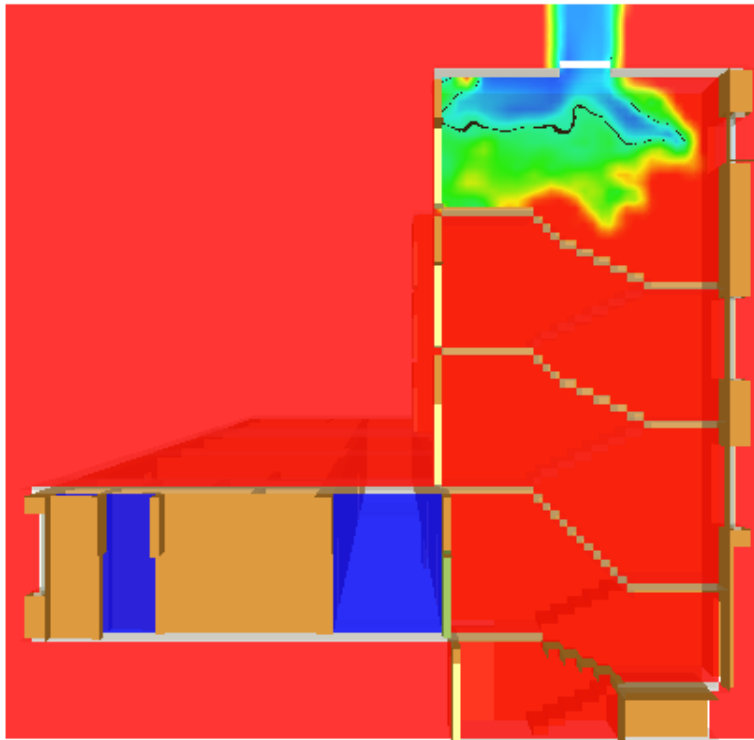
mesh: 1

Frame: 150

Time: 1500.0

Scenariusz nr 2 – spadek zasięgu widzialności po 1680 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



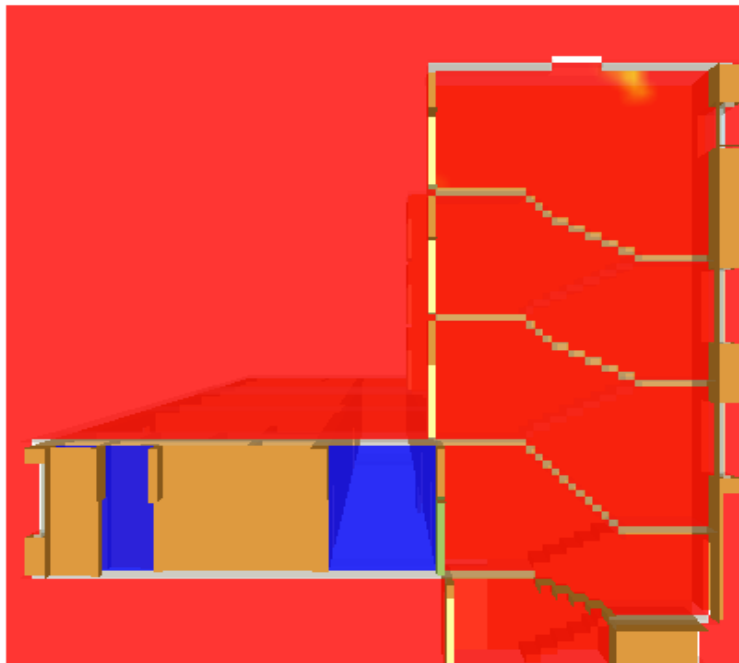
mesh: 1

Frame: 168

Time: 1680.0

Scenariusz nr 2 – spadek zasięgu widzialności po 1750 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



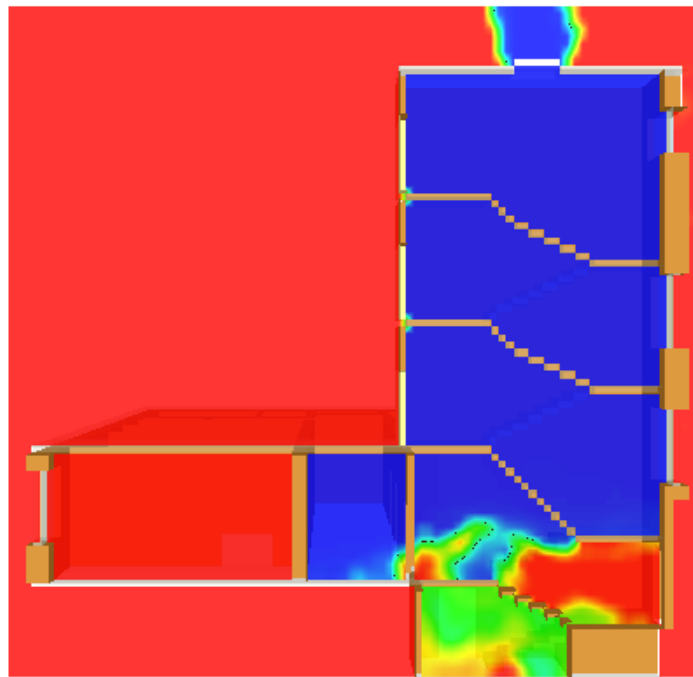
mesh: 1

Frame: 175

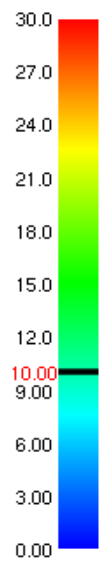
Time: 1750.0

Scenariusz nr 2 – spadek zasięgu widzialności po 1000 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



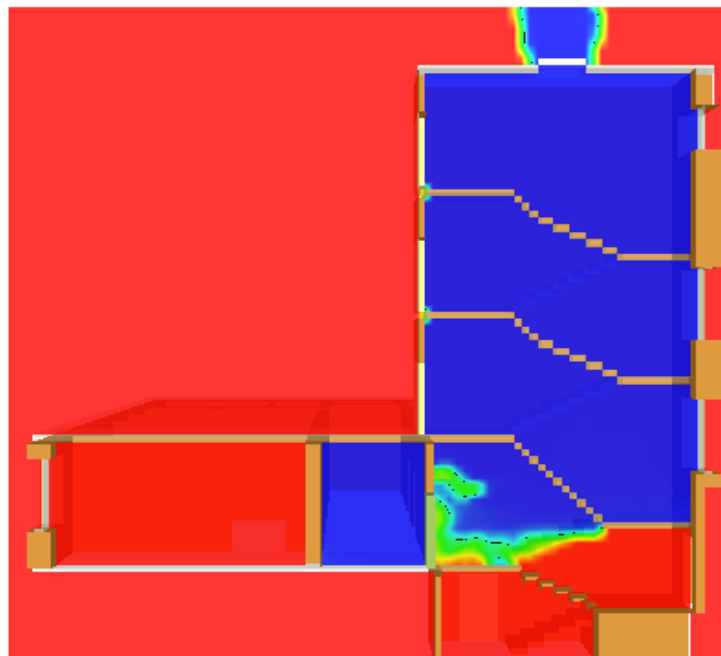
mesh: 1

Frame: 100

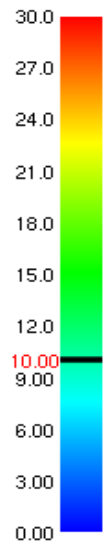
Time: 1000.0

Scenariusz nr 2 – spadek zasięgu widzialności po 1500 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



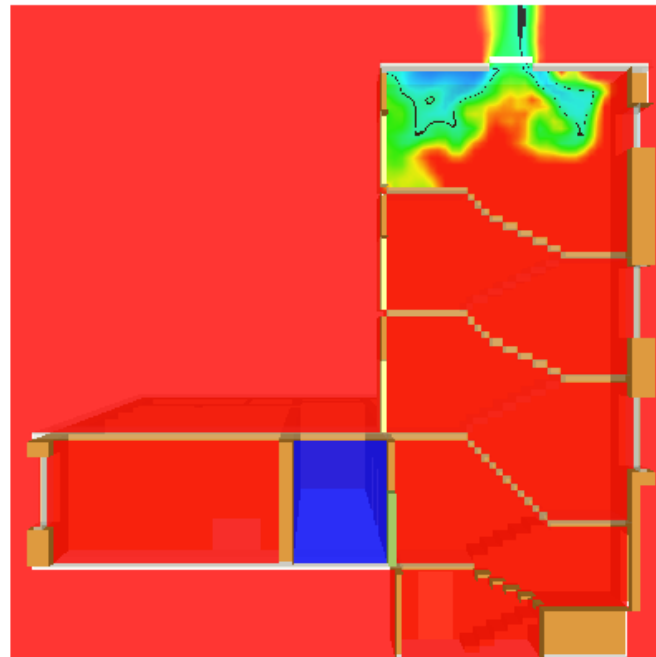
mesh: 1

Frame: 150

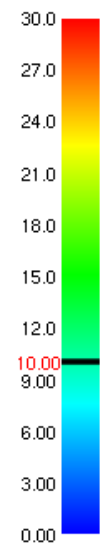
Time: 1500.0

Scenariusz nr 2 – spadek zasięgu widzialności po 1780 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



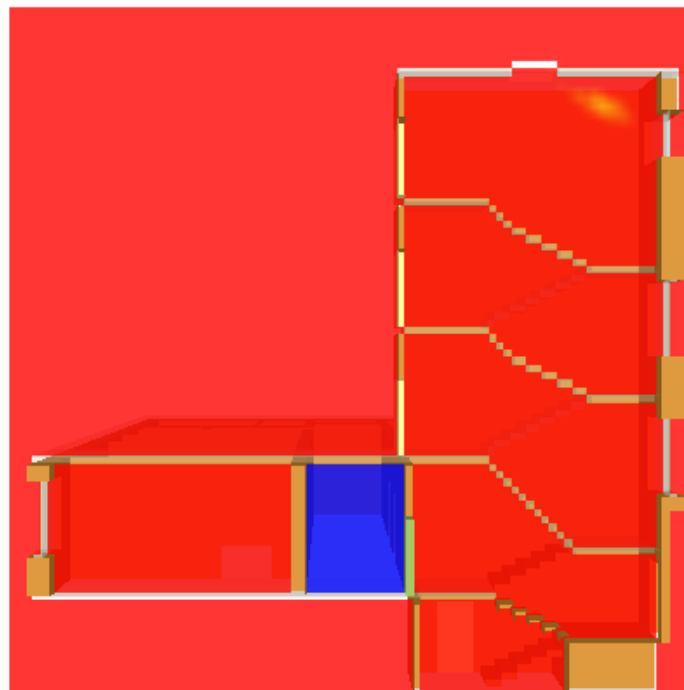
mesh: 1

Frame: 178
Time: 1780.0

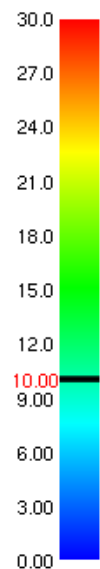


Scenariusz nr 2 – spadek zasięgu widzialności po 1870 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



mesh: 1

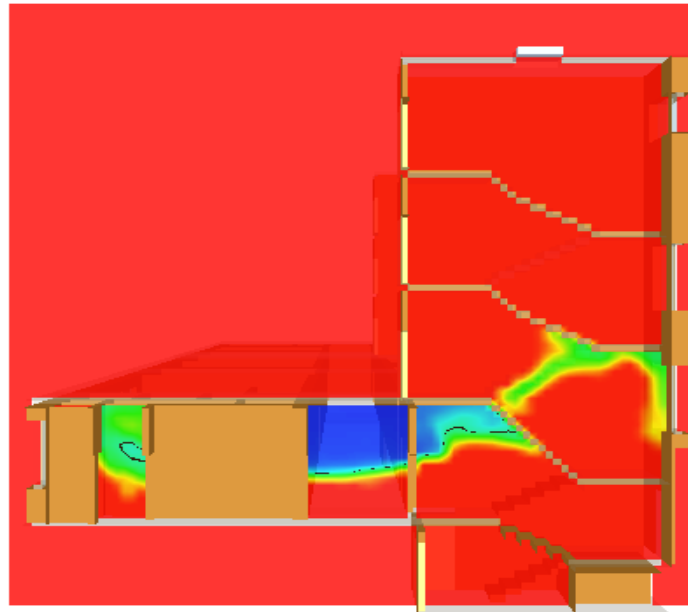
Frame: 187
Time: 1870.0



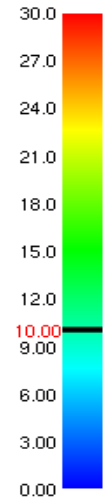
4.3. ZASIĘG WIDZIALNOŚCI W PRZEKROJU PIONOWYM POPROWADZONYM PRZEZ KŁATKĘ – SCENARIUSZ NR 3 (ZGODNIE Z VDS)

Scenariusz nr 3 – spadek zasięgu widzialności po 300 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



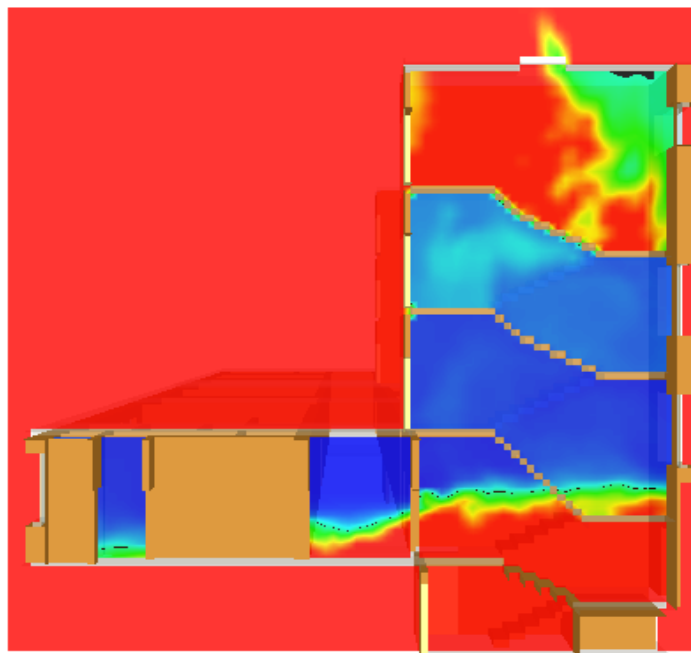
mesh: 1

Frame: 30
Time: 300.0



Scenariusz nr 3 – spadek zasięgu widzialności po 500 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



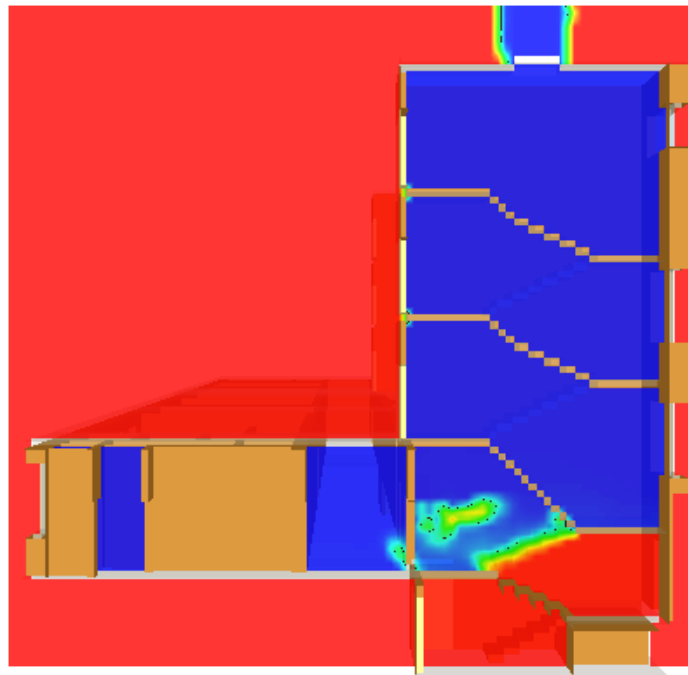
mesh: 1

Frame: 50
Time: 500.0

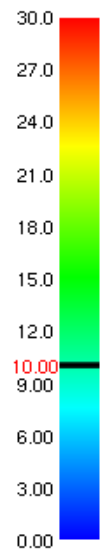


Scenariusz nr 3 – spadek zasięgu widzialności po 1000 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



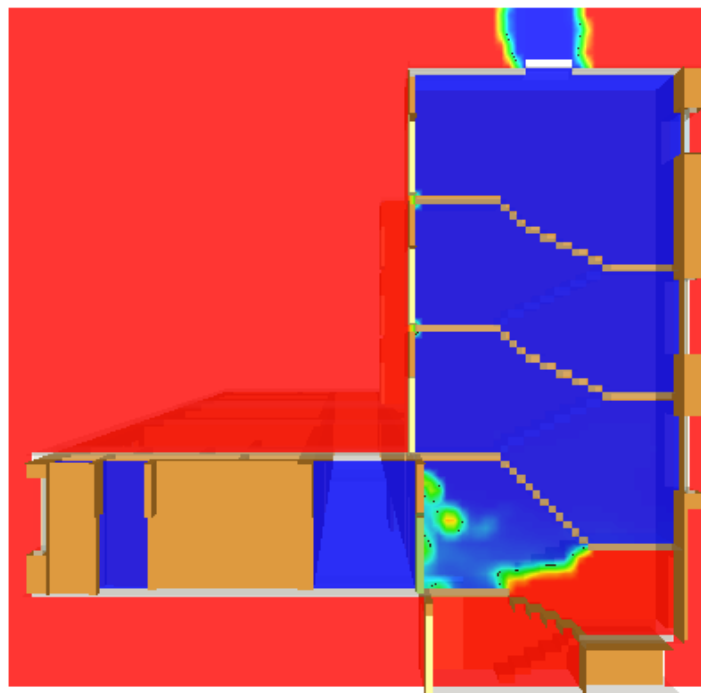
mesh: 1

Frame: 100

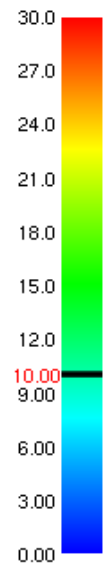
Time: 1000.0

Scenariusz nr 3 – spadek zasięgu widzialności po 1500 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



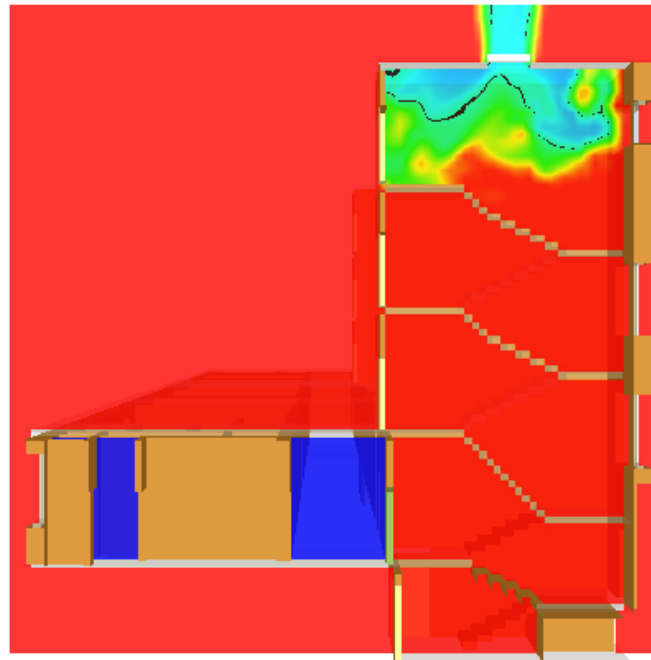
mesh: 1

Frame: 150

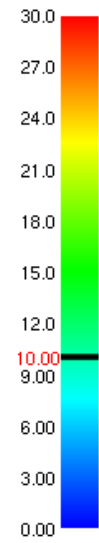
Time: 1500.0

Scenariusz nr 3 – spadek zasięgu widzialności po 1710 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



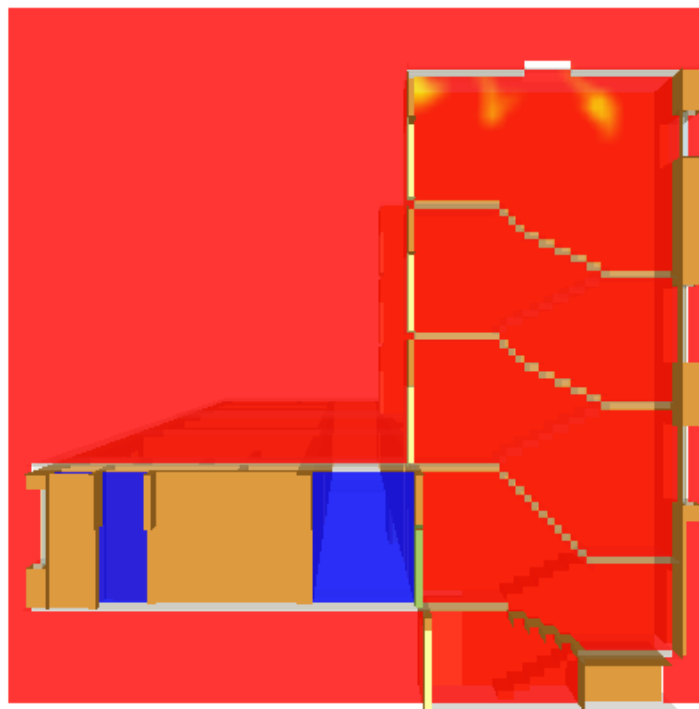
mesh: 1

Frame: 171

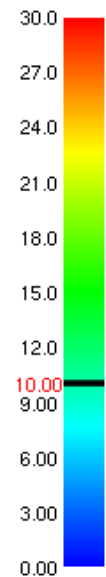
Time: 1710.0

Scenariusz nr 3 – spadek zasięgu widzialności po 1770 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



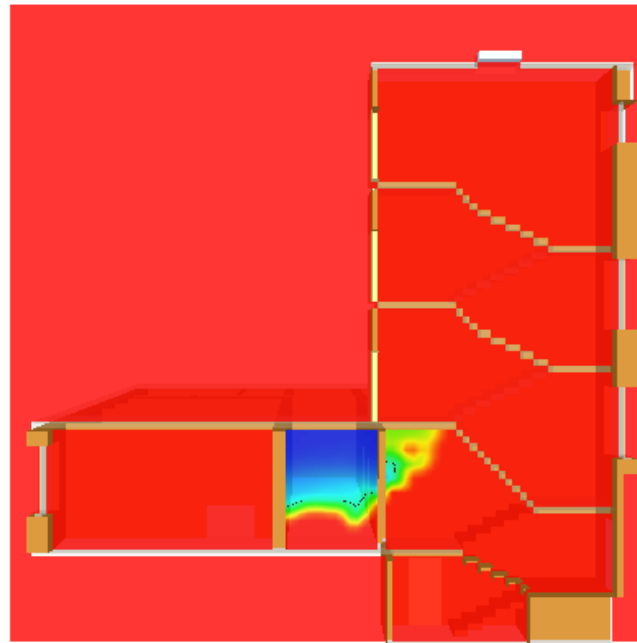
mesh: 1

Frame: 177

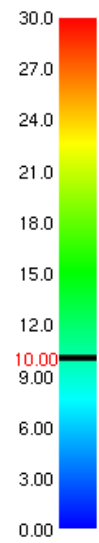
Time: 1770.0

Scenariusz nr 3 – spadek zasięgu widzialności po 300 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



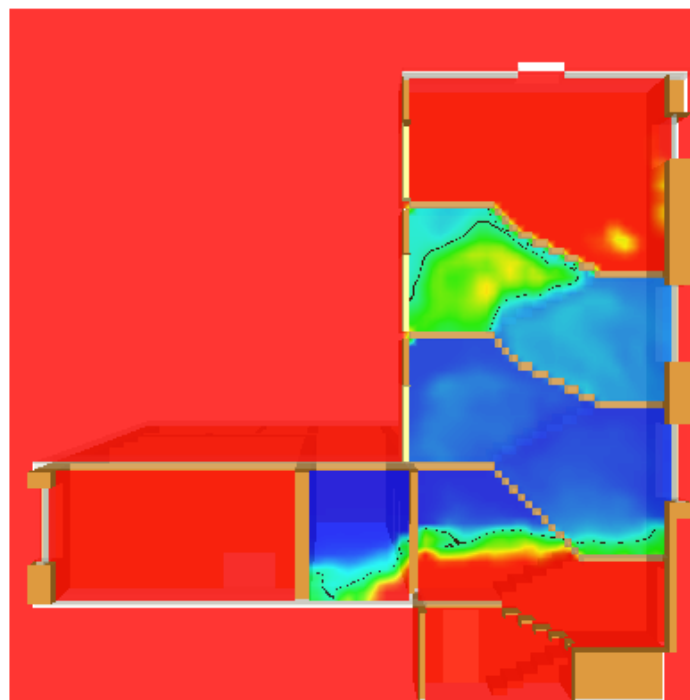
mesh: 1

Frame: 30

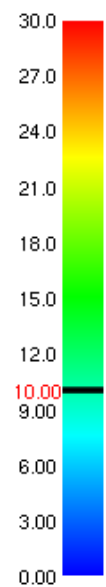
Time: 300.0

Scenariusz nr 3 – spadek zasięgu widzialności po 500 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



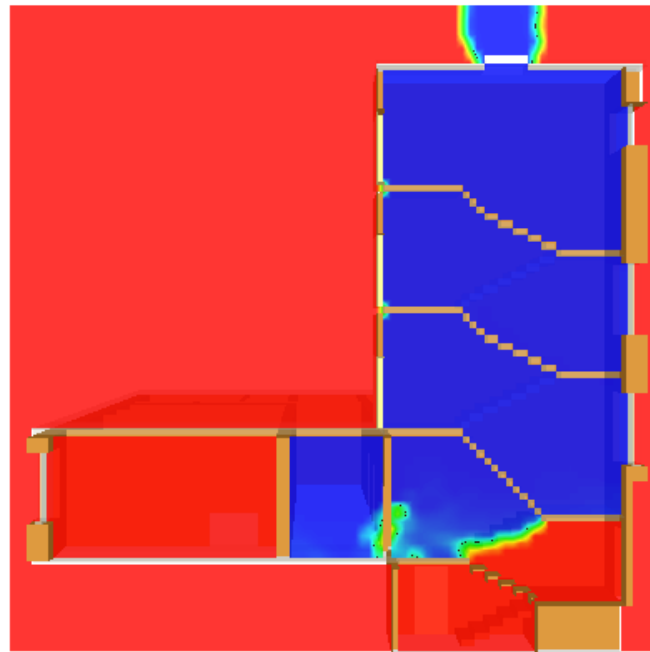
mesh: 1

Frame: 50

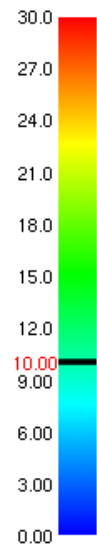
Time: 500.0

Scenariusz nr 3 – spadek zasięgu widzialności po 1000 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



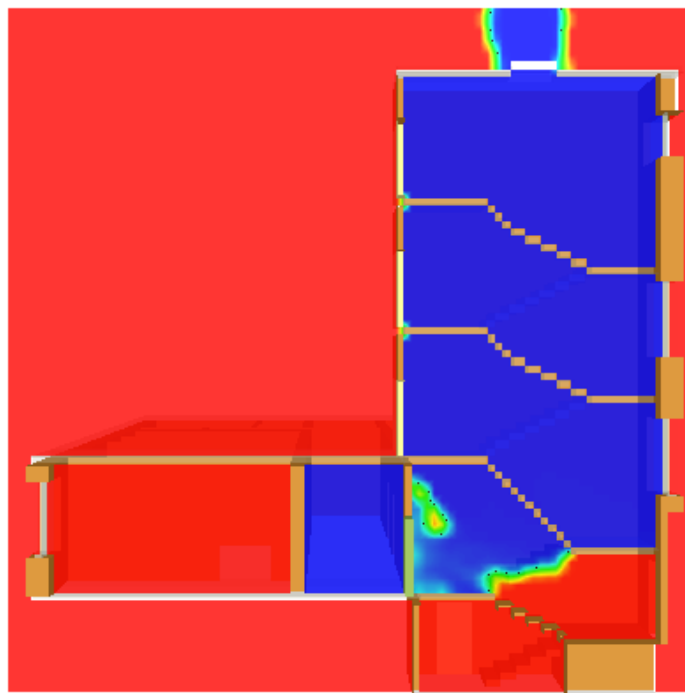
mesh: 1

Frame: 100
Time: 1000.0



Scenariusz nr 3 – spadek zasięgu widzialności po 1500 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



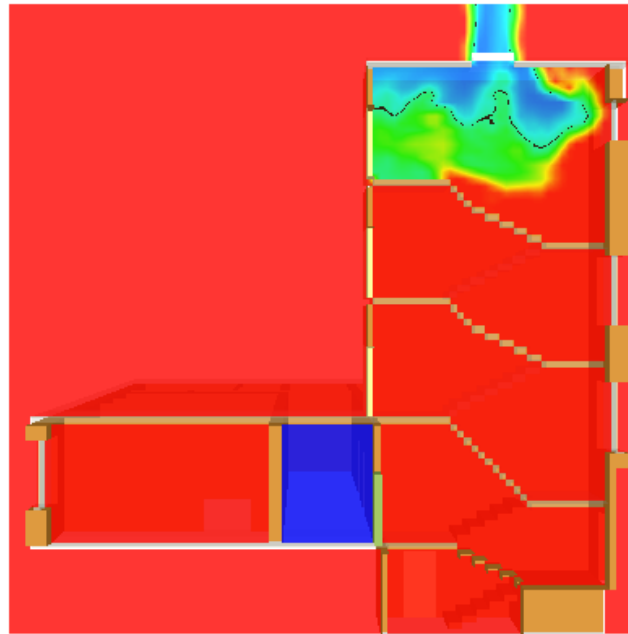
mesh: 1

Frame: 150
Time: 1500.0

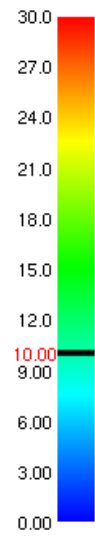


Scenariusz nr 3 – spadek zasięgu widzialności po 1750 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



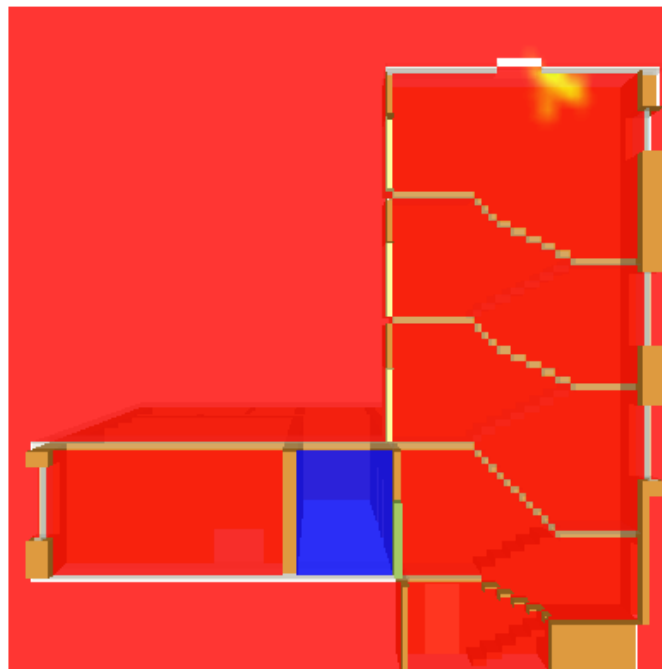
mesh: 1

Frame: 175

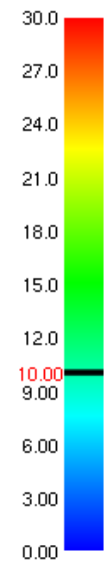
Time: 1750.0

Scenariusz nr 3 – spadek zasięgu widzialności po 1860 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Slice
VIS_Soot
m



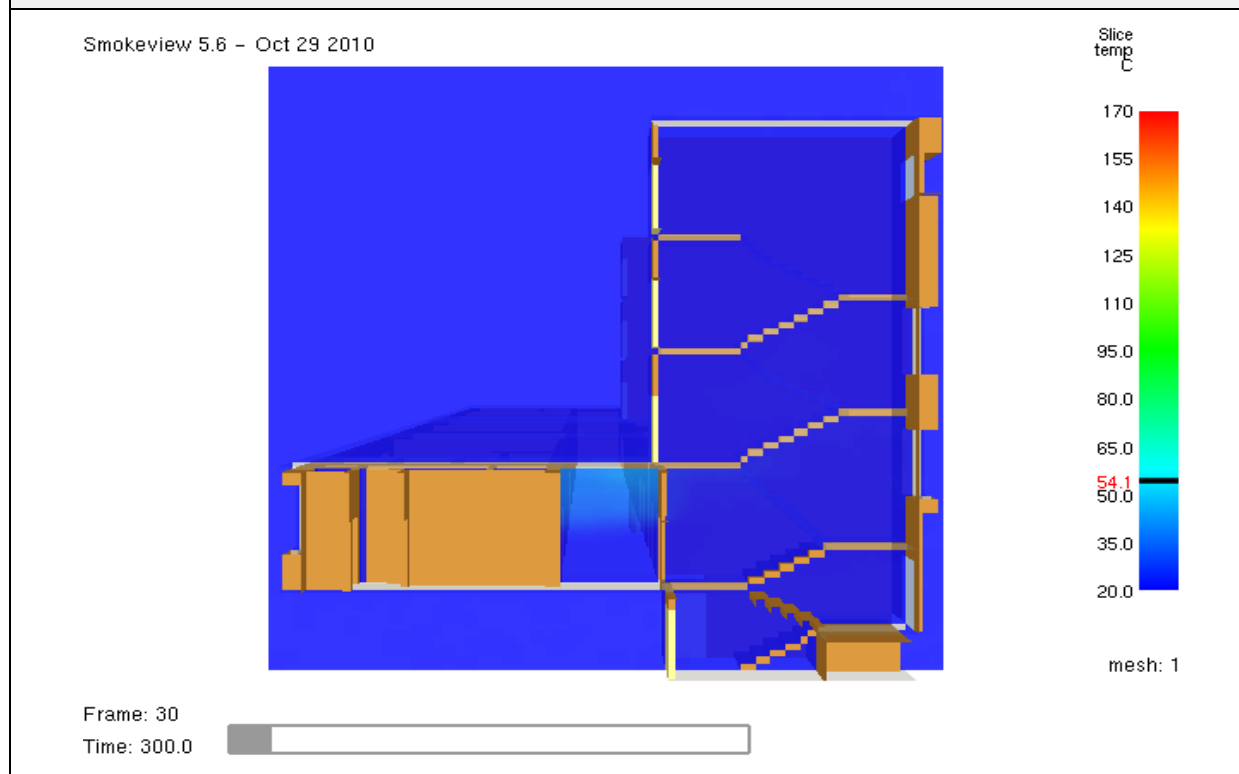
mesh: 1

Frame: 186

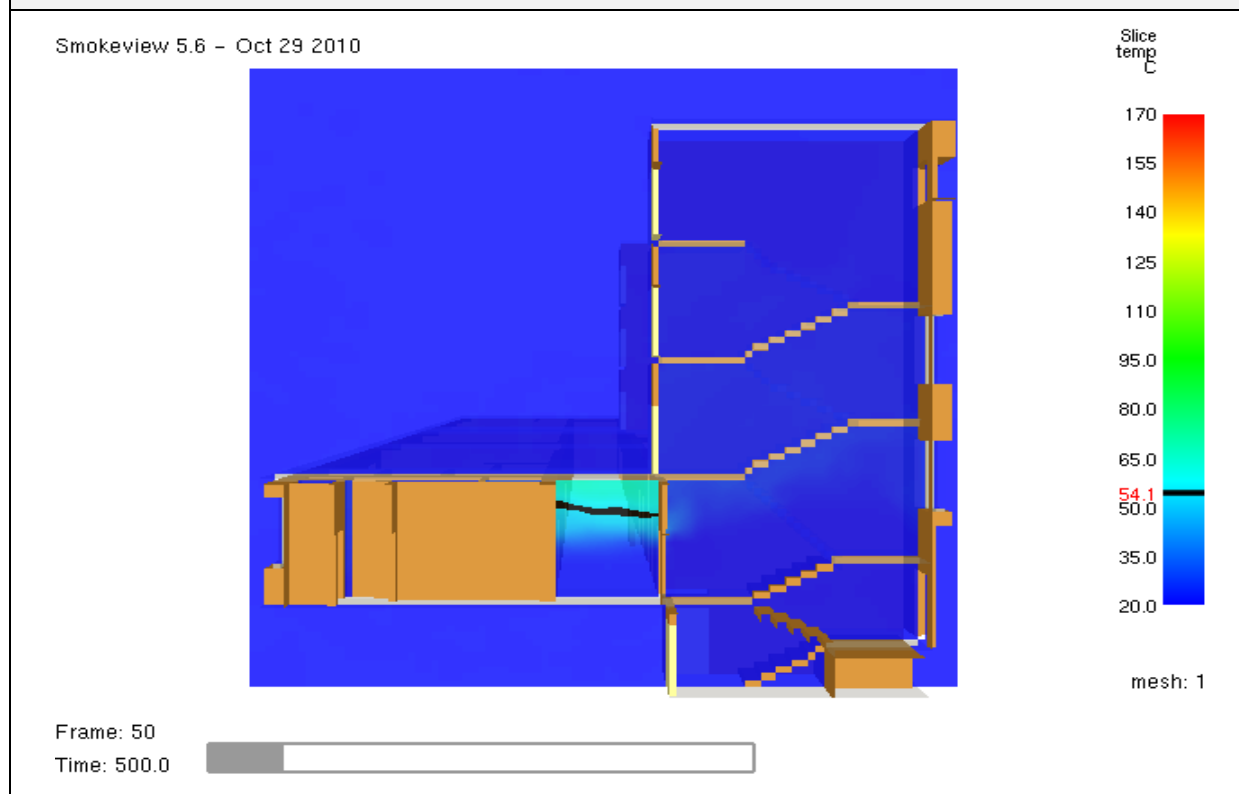
Time: 1860.0

4.4. TEMPERATURA W PRZEKROJU PIONOWYM POPROWADZONYM PRZEZ KLATKĘ – SCENARIUSZ NR 1 (STAN FAKTYCZNY)

Scenariusz nr 1 – temperatura po 300 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

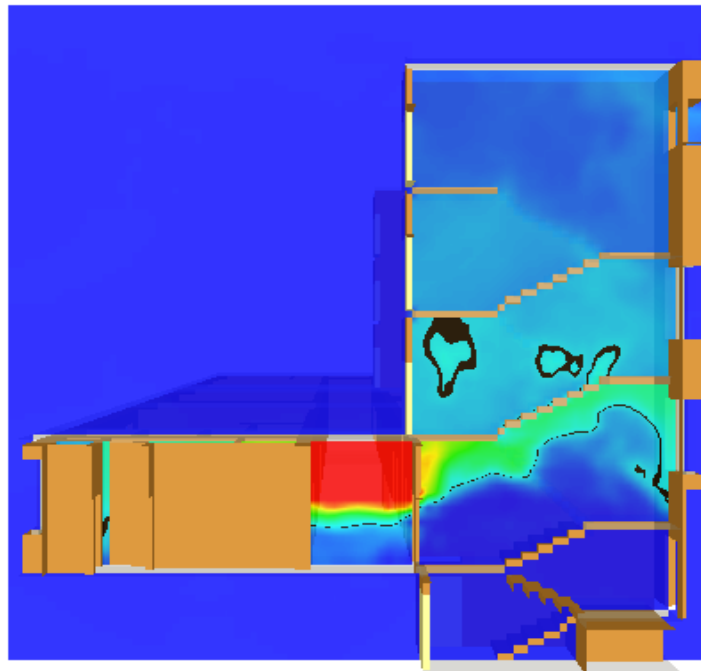


Scenariusz nr 1 – temperatura po 500 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

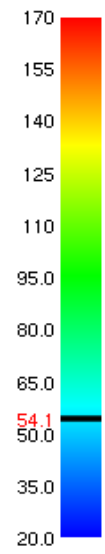


Scenariusz nr 1 – temperatura po 1000 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Slice temp
C



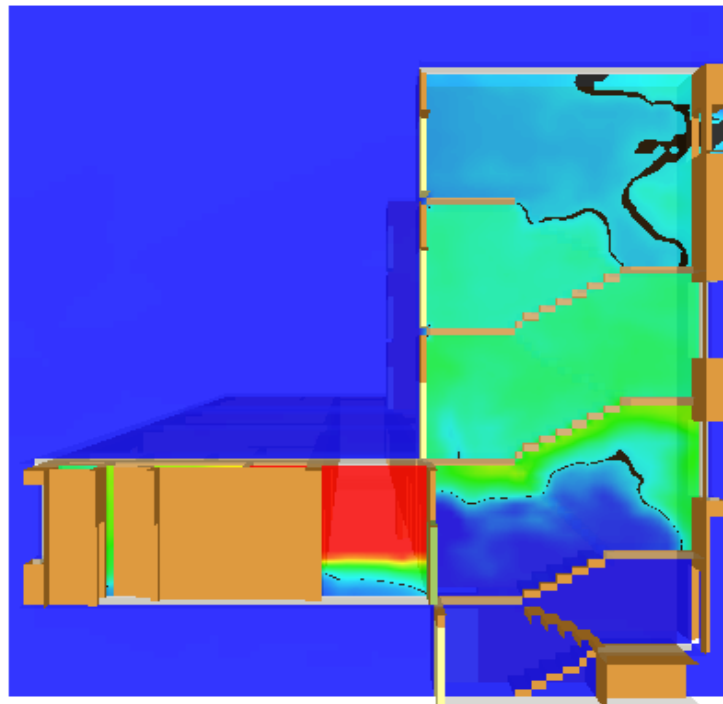
mesh: 1

Frame: 100

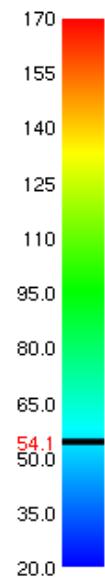
Time: 1000.0

Scenariusz nr 1 – temperatura po 1500 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Slice temp
C



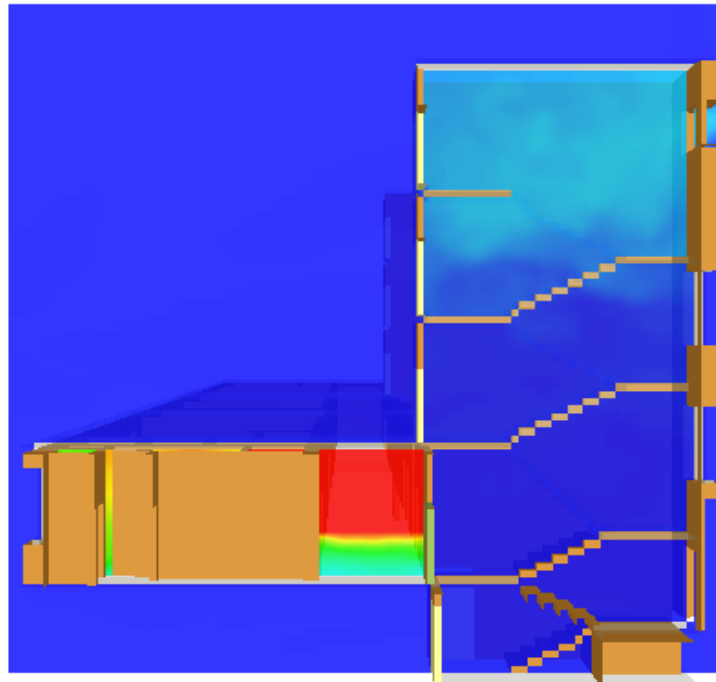
mesh: 1

Frame: 150

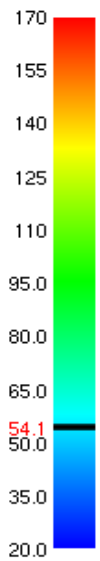
Time: 1500.0

Scenariusz nr 1 – temperatura po 1540 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Slice temp
C



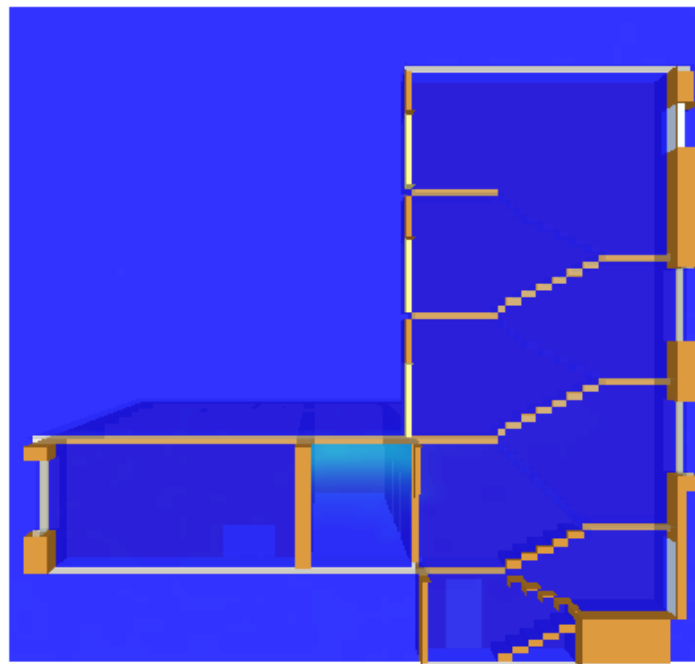
mesh: 1

Frame: 154

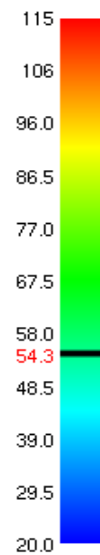
Time: 1540.0

Scenariusz nr 1 – temperatura po 300 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Slice temp
C



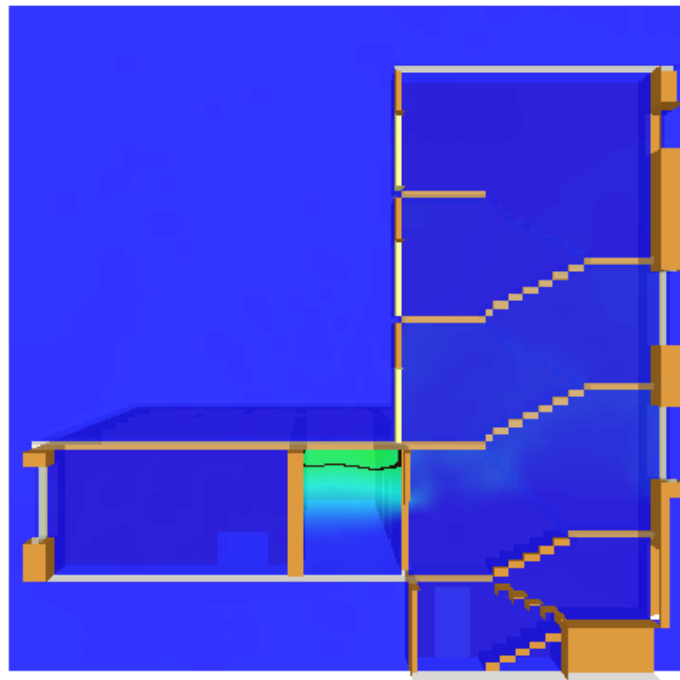
mesh: 1

Frame: 30

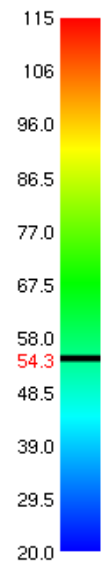
Time: 300.0

Scenariusz nr 1 – temperatura po 500 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Slice temp
°C



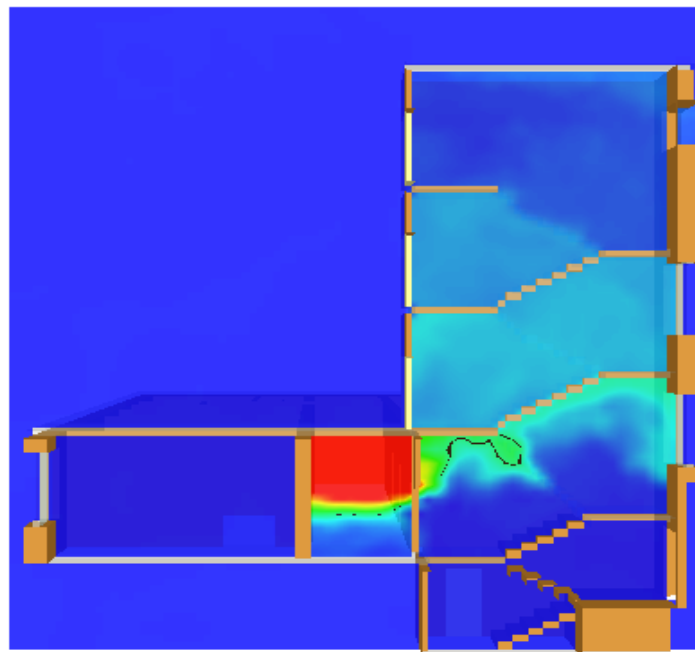
mesh: 1

Frame: 50
Time: 500.0

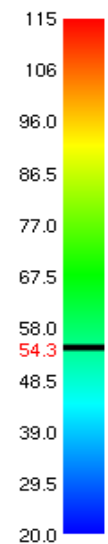


Scenariusz nr 1 – temperatura po 1000 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Slice temp
°C



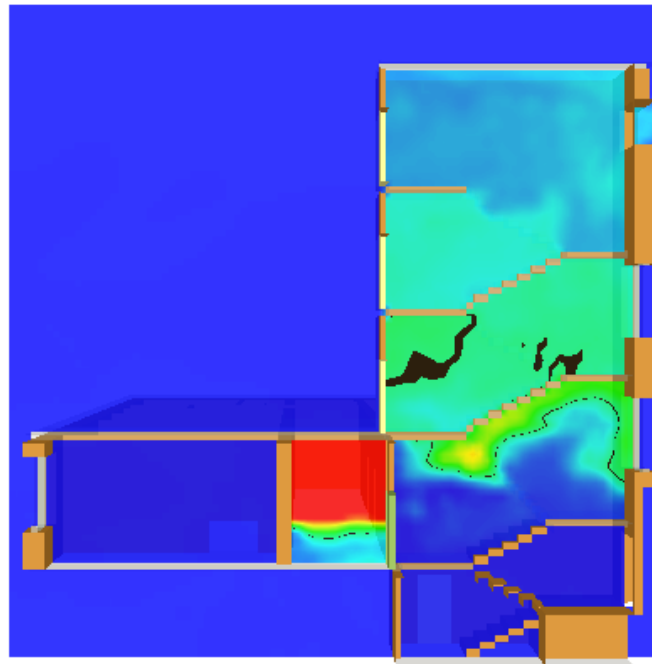
mesh: 1

Frame: 100
Time: 1000.0

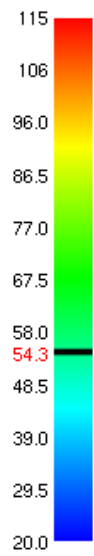


Scenariusz nr 1 – temperatura po 1500 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Slice temp C



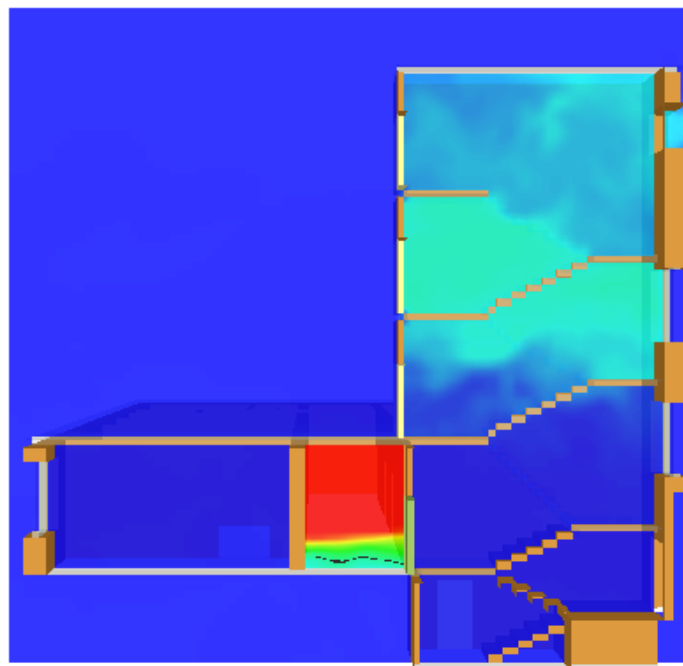
mesh: 1

Frame: 150
Time: 1500.0

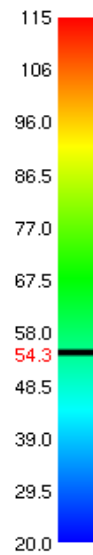


Scenariusz nr 1 – temperatura po 1520 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Slice temp C



mesh: 1

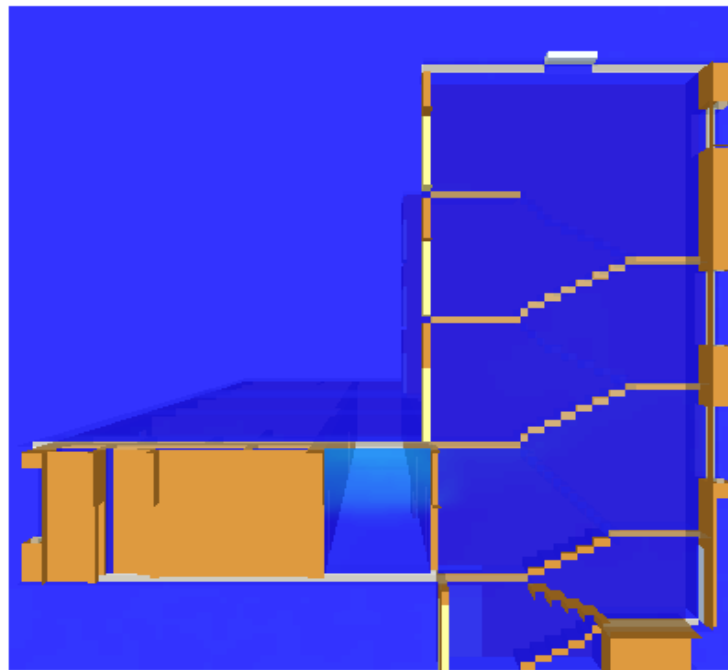
Frame: 152
Time: 1520.0



4.5. TEMPERATURA W PRZEKROJU PIONOWYM POPROWADZONYM PRZEZ KLATKĘ – SCENARIUSZ NR 2 (ZGODNIE Z PN)

Scenariusz nr 2 – temperatura po 300 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010

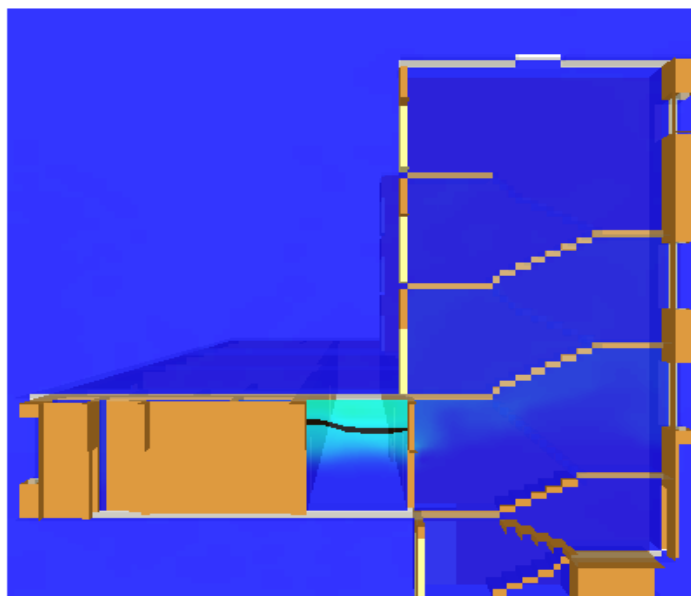


Frame: 30

Time: 300.0

Scenariusz nr 2 – temperatura po 500 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010

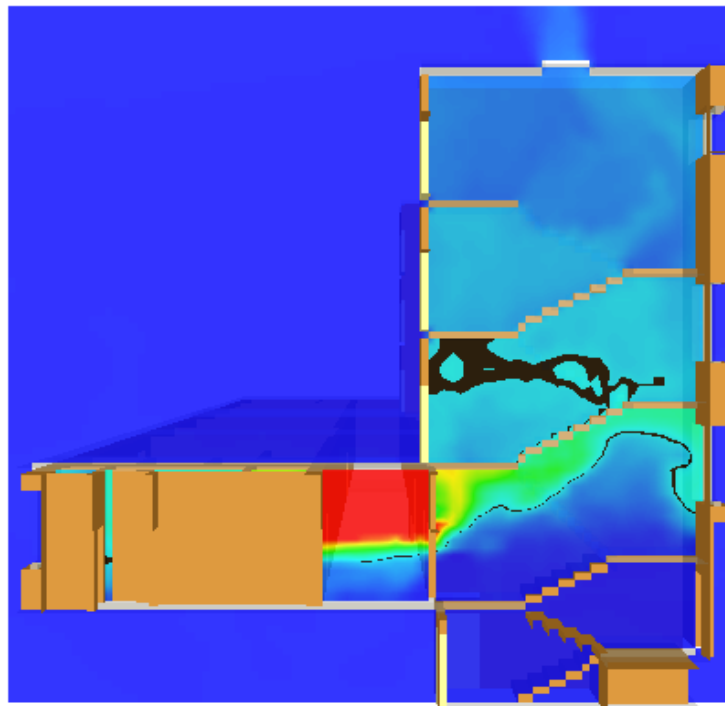


Frame: 50

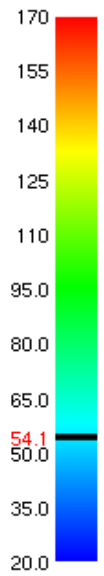
Time: 500.0

Scenariusz nr 2 – temperatura po 1000 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Slice temp
C



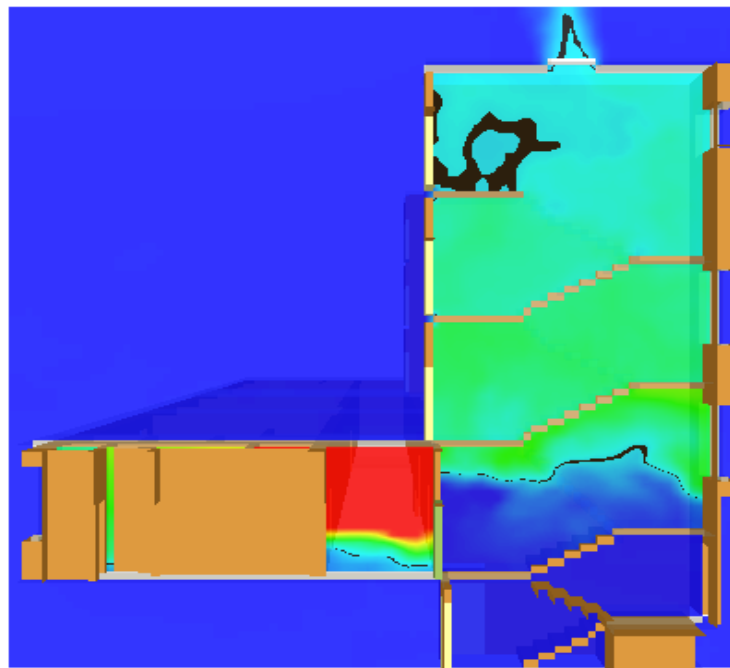
mesh: 1

Frame: 100
Time: 1000.0

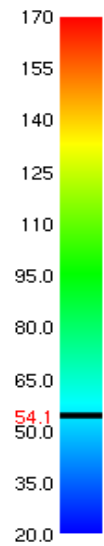


Scenariusz nr 2 – temperatura po 1500 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Slice temp
C



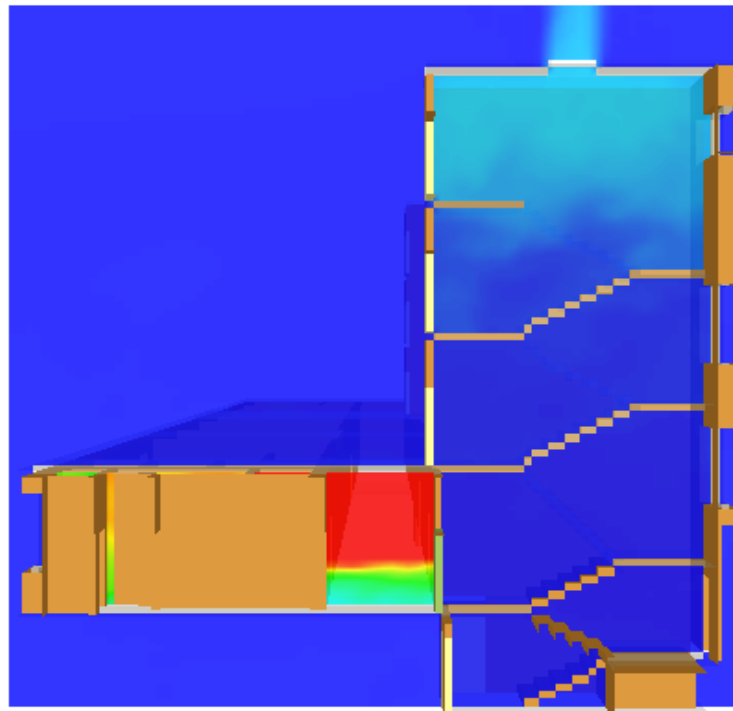
mesh: 1

Frame: 150
Time: 1500.0

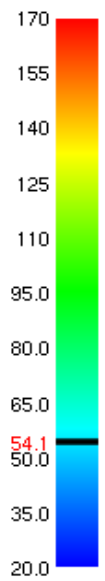


Scenariusz nr 2 – temperatura po 1550 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Slice temp
C



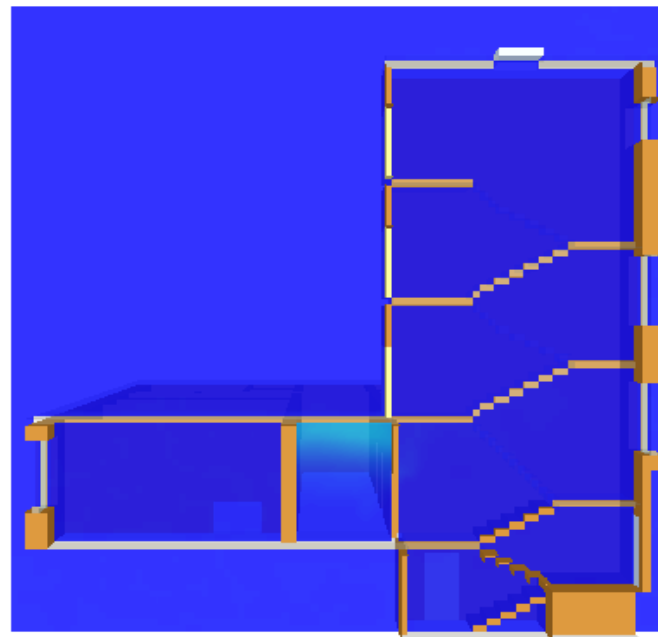
mesh: 1

Frame: 155

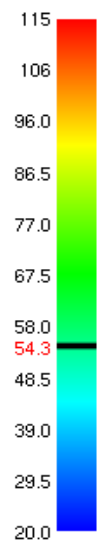
Time: 1550.0

Scenariusz nr 2 – temperatura po 300 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Slice temp
C



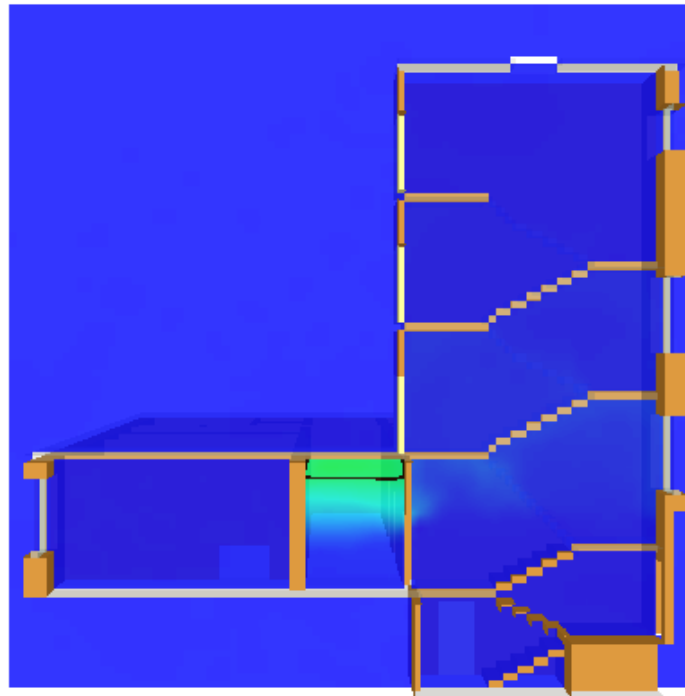
mesh: 1

Frame: 30

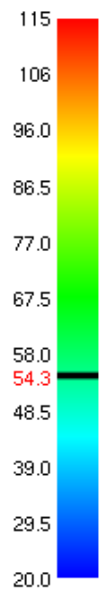
Time: 300.0

Scenariusz nr 2 – temperatura po 500 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Slice
temp
C



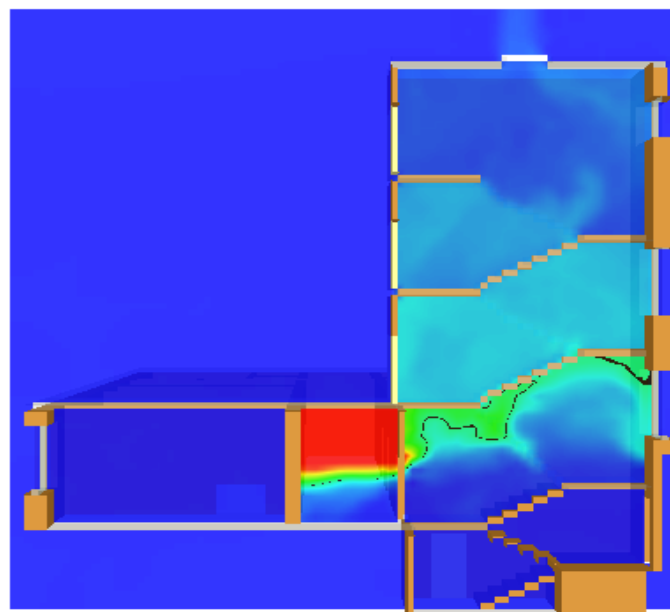
mesh: 1

Frame: 50
Time: 500.0

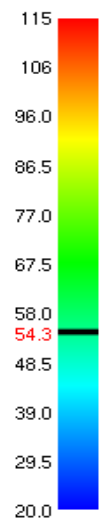


Scenariusz nr 2 – temperatura po 1000 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Slice
temp
C



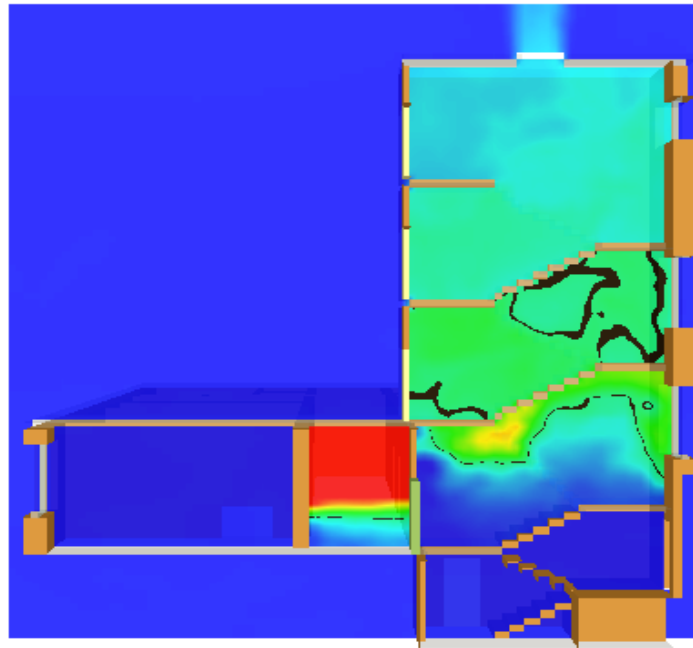
mesh: 1

Frame: 100
Time: 1000.0

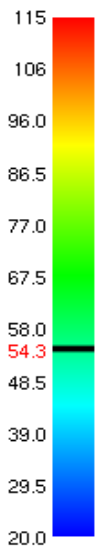


Scenariusz nr 2 – temperatura po 1500 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Slice temp
C



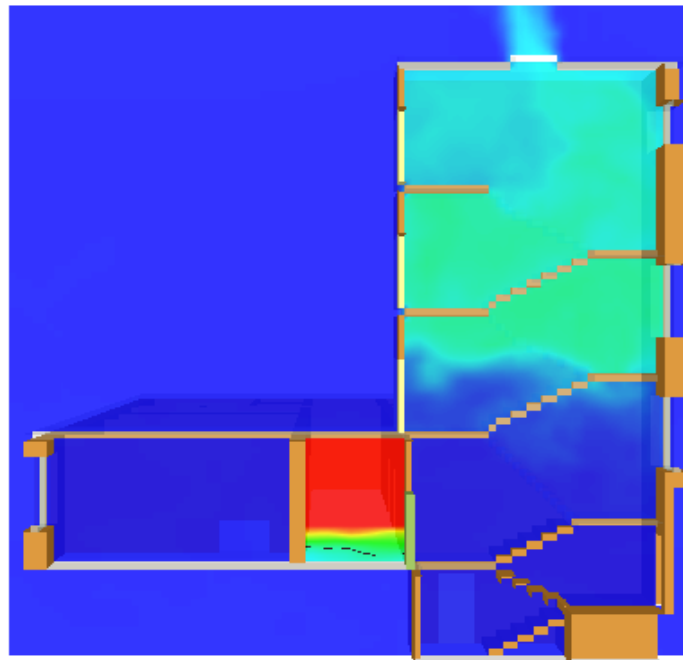
mesh: 1

Frame: 150
Time: 1500.0

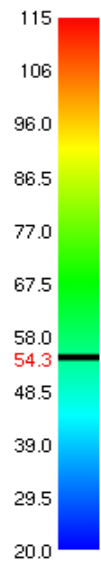


Scenariusz nr 2 – temperatura po 1520 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Slice temp
C



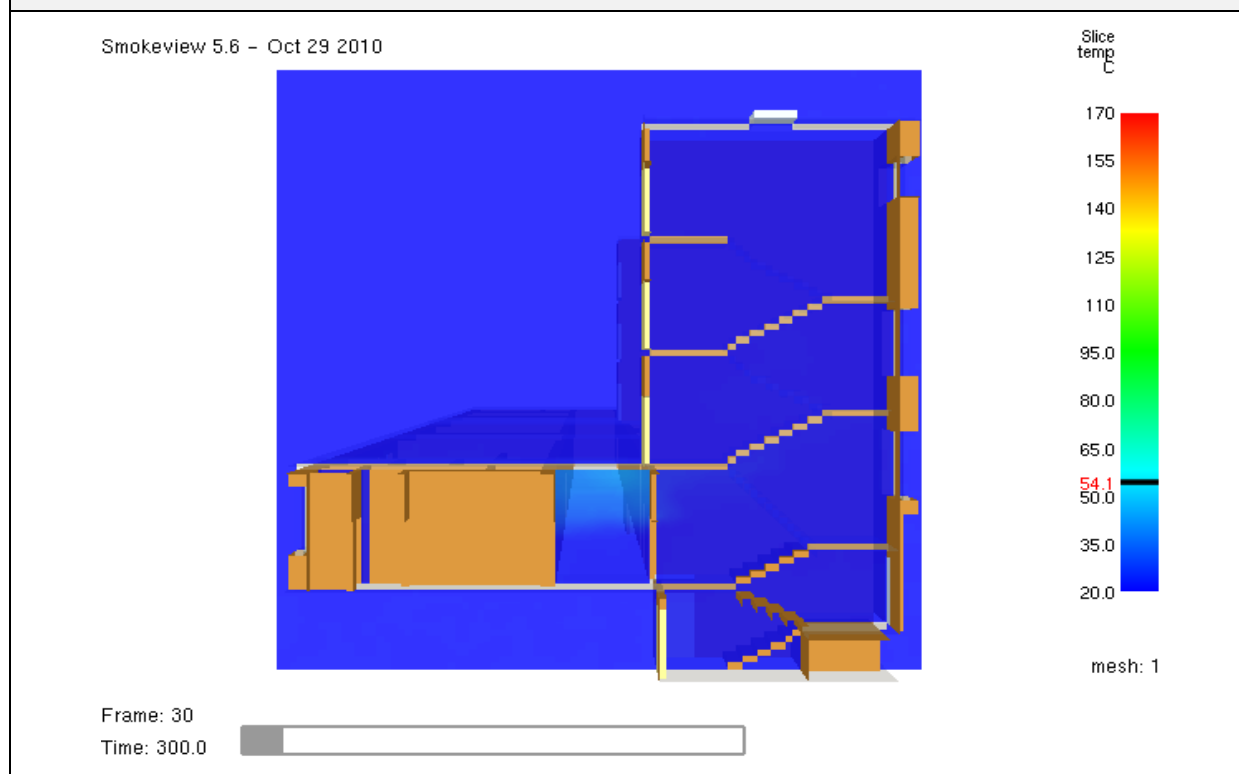
mesh: 1

Frame: 152
Time: 1520.0

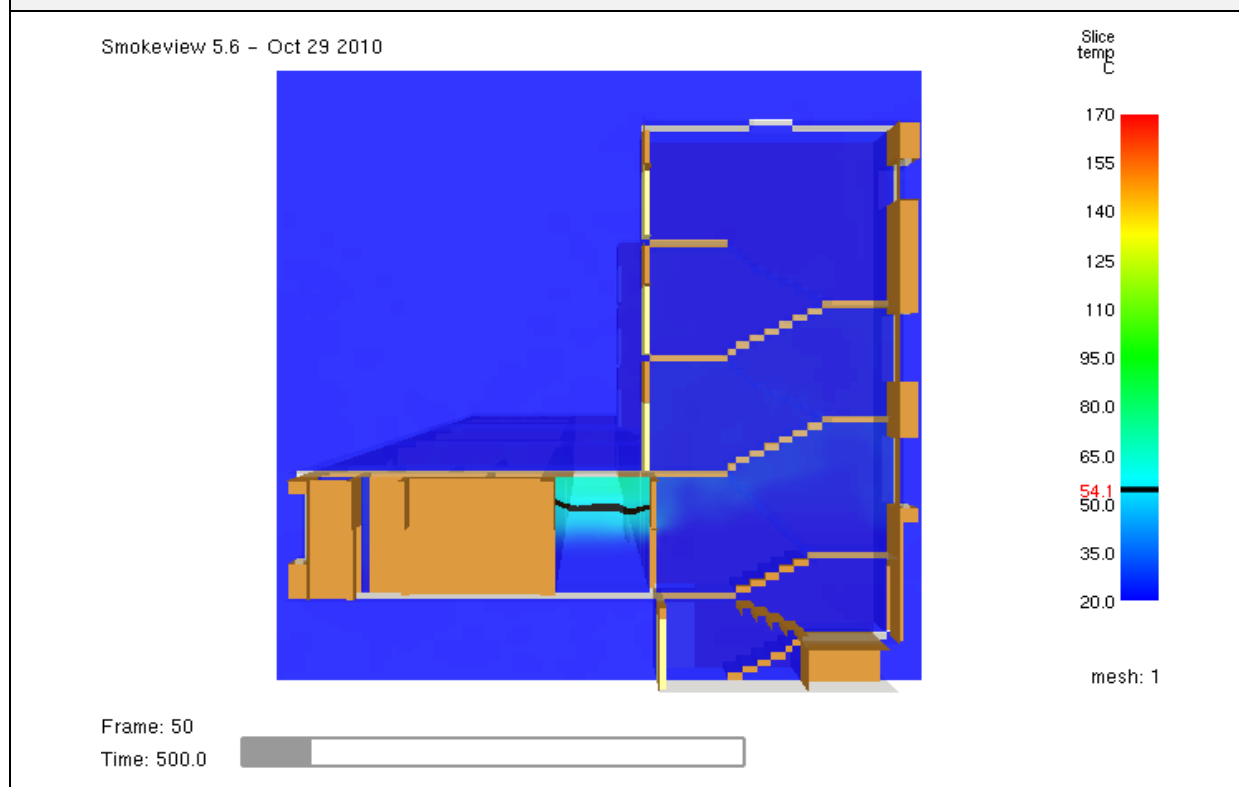


4.6. TEMPERATURA W PRZEKROJU PIONOWYM POPROWADZONYM PRZEZ KLATKĘ – SCENARIUSZ NR 3 (ZGODNIE Z VDS)

Scenariusz nr 3 – temperatura po 300 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

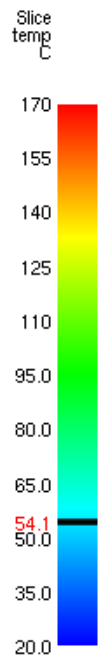
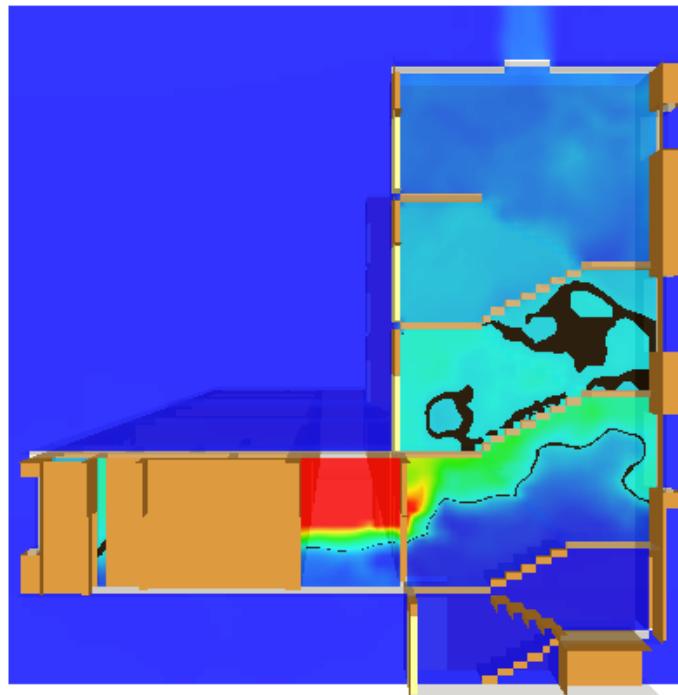


Scenariusz nr 3 – temperatura po 500 sekundach (przekrój pionowy przez K1)



Scenariusz nr 3 – temperatura po 1000 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



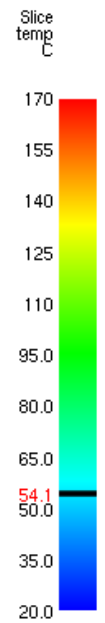
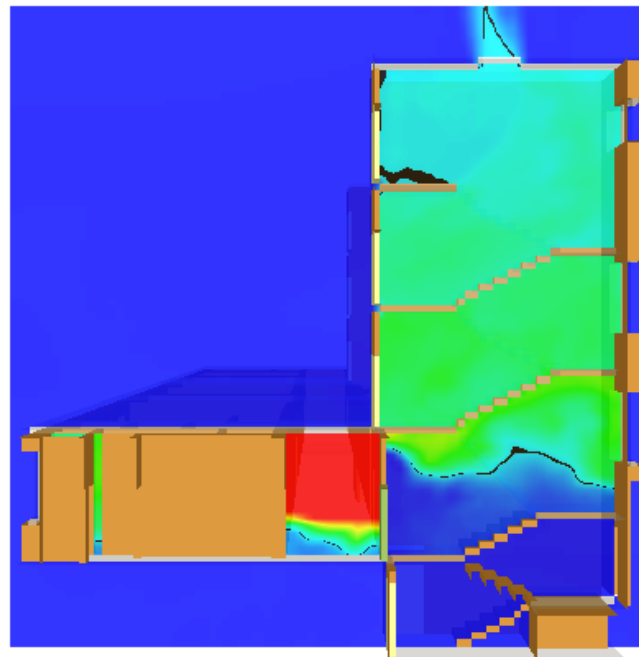
mesh: 1

Frame: 100

Time: 1000.0

Scenariusz nr 3 – temperatura po 1500 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



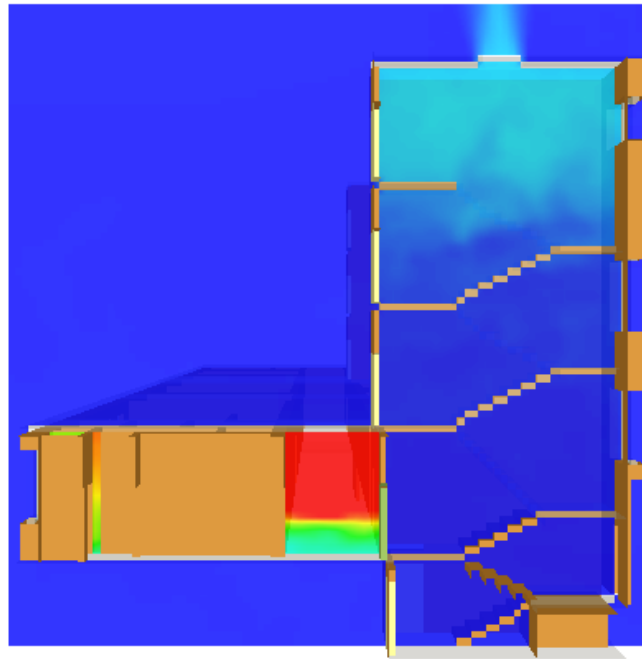
mesh: 1

Frame: 150

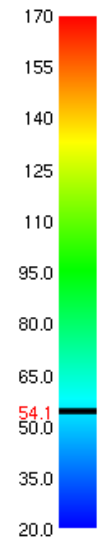
Time: 1500.0

Scenariusz nr 3 – temperatura po 1550 sekundach (przekrój pionowy przez K1)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Slice temp
C



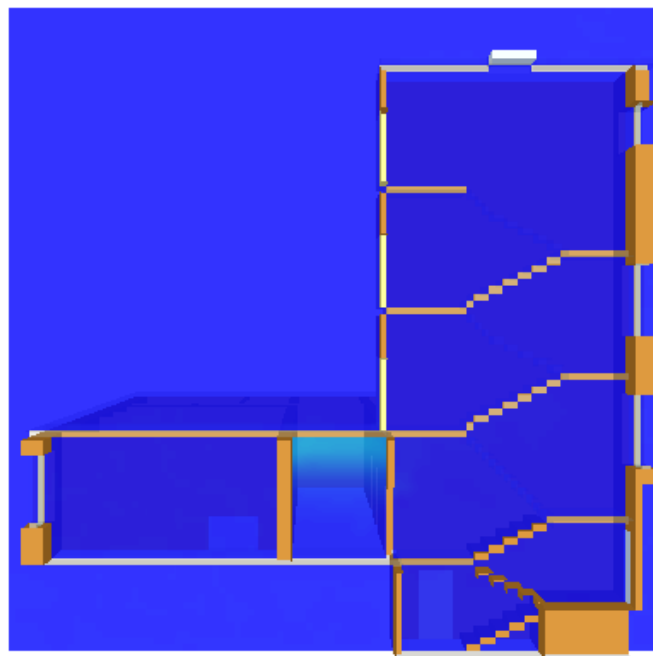
mesh: 1

Frame: 155
Time: 1550.0

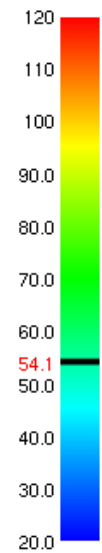


Scenariusz nr 3 – temperatura po 300 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Slice temp
C



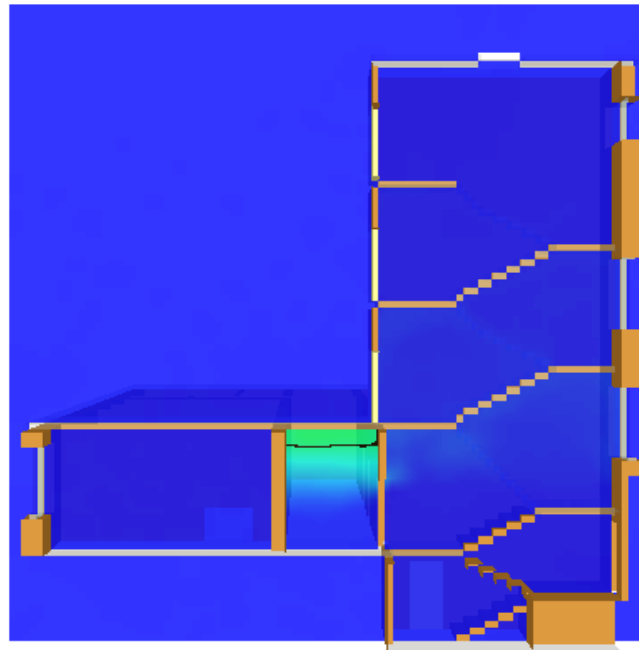
mesh: 1

Frame: 30
Time: 300.0

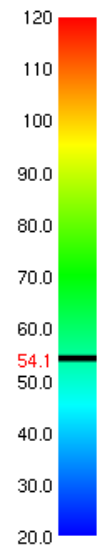


Scenariusz nr 3 – temperatura po 500 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Slice temp
C



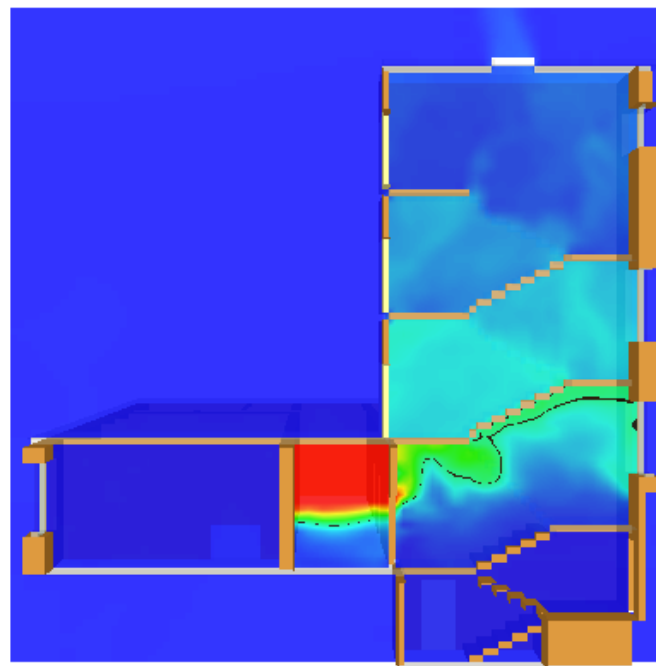
mesh: 1

Frame: 50
Time: 500.0

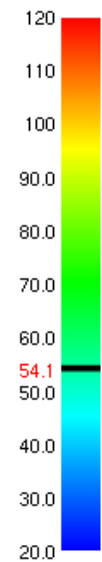


Scenariusz nr 3 – temperatura po 1000 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Slice temp
C



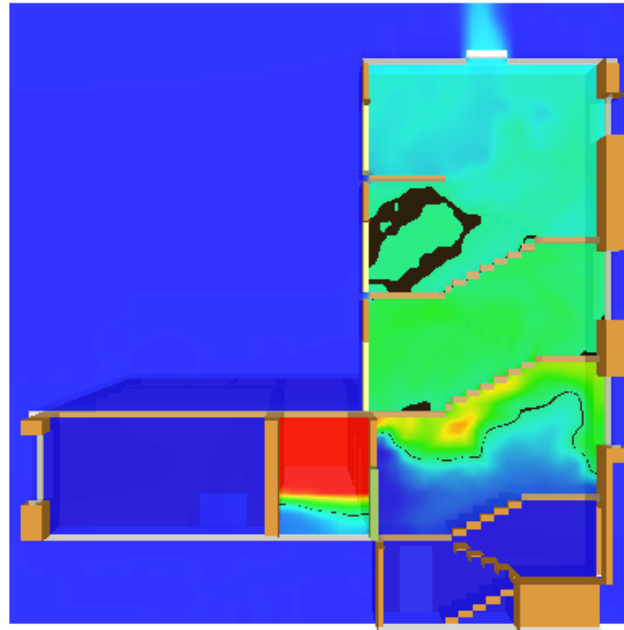
mesh: 1

Frame: 100
Time: 1000.0

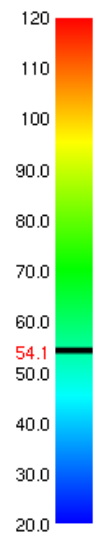


Scenariusz nr 3 – temperatura po 1500 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Slice temp
C



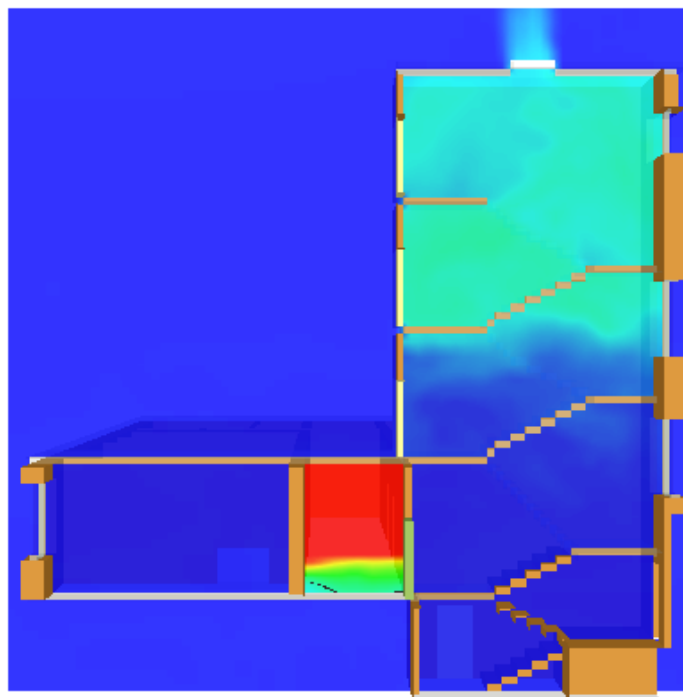
mesh: 1

Frame: 150

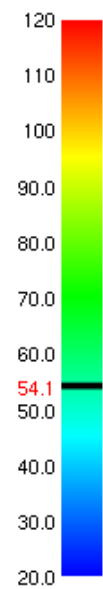
Time: 1500.0

Scenariusz nr 3 – temperatura po 1530 sekundach (przekrój pionowy przez K2)

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Slice temp
C



mesh: 1

Frame: 153

Time: 1530.0

5. WNIOSKI

W przedmiotowym opracowaniu analizowano warunki ewakuacji, jakie zapewnią będą klatki schodowe wyposażone w systemy do usuwania dymu, zlokalizowane w budynku użyteczności publicznej w Szczecinie, na ul. Żołnierskiej 49. W celach porównawczych przeprowadzono dodatkowe symulacje CFD dla tychże klatek w dwóch wariantach – wyposażenia w instalację oddymiania według normatywów PN [12] oraz VdS [14].

Przedmiotowe klatki schodowe są obudowane oraz zostaną zamknięte drzwiami dymoszczelnymi z samozamykaczami. Ponadto drzwiami dymoszczelnymi zostaną podzielone poziome drogi ewakuacyjne (korytarze). W związku z powyższym, należy przypuszczać, że przy prawidłowo działających drzwiach, dym na klatki będzie się wydostawał tylko do momentu zakończenia ewakuacji. W powyższych symulacjach założono, iż drzwi na klatki schodowe, jak również drzwi dymoszczelne na korytarzu, są nieustannie otwarte przez 25 minut, czyli wymagany czas bezpiecznej ewakuacji oszacowany zgodnie z brytyjskim standardem [8].

Analizując zasięg widzialności należy stwierdzić, że w trakcie trwania ewakuacji (tj. do czasu 1500 s) we wszystkich scenariuszach wyniki są zbliżone: po czasie 500 s jedynie na poziomie 3 piętra zasięg widzialności przekracza 10 m, zaś po upływie 1000 i 1500 s zarówno klatka schodowa K1, jak i K2, na wszystkich kondygnacjach nadziemnych cechują się widzialnością poniżej krytycznej. Od czasu 1500 s analizowana była szybkość oczyszczania klatek schodowych z gazów pożarowych, co ma bezpośredni wpływ na warunki prowadzenia działań przez ekipy ratownicze. W tym przypadku wyniki również przedstawiały się podobnie. Czas, po którym zasięg widzialności pozwalał na wykorzystanie klatek schodowych na całej wysokości wyniósł dla scenariusza nr 1 - 1690 s (K1) i 1770 s (K2), scenariusza nr 2 - 1680 s (K1) i 1780 s (K2), scenariusza nr 3 - 1710 s (K1) i 1750 s (K2). Ostatnim elementem rozpatrywanym w aspekcie zasięgu widzialności był czas, po którym dym pożarowy został całkowicie usunięty z klatek schodowych przez instalację oddymiania. W tym przypadku pojawiły się istotne różnice, gdyż przedmiotowy czas wyniósł 2320 s (K1) i 2680 s (K2) w scenariuszu nr 1, natomiast w pozostałych scenariuszach była to wartość 1750 s (K1) i 1870 s (K2) dla scenariusza nr 2 i 1770 s (K1) oraz 1860 s (K2) w przypadku scenariusza nr 3. Jednocześnie należy dodać, iż zaleganie niewielkiej warstwy dymu pod stropem na najwyższej kondygnacji klatek schodowych w scenariuszu nr 1 nie wpłynęło na pogorszenie warunków ewakuacji. Powyższy fakt nie przełożył się na przekroczenie parametrów krytycznych (spadek widzialności, wzrost temperatury) istotnych z punktu widzenia ewakuacji.

Drugim parametrem analizowanym w przedmiotowym opracowaniu była temperatura. Jako wartość krytyczną, pozwalającą jeszcze na bezpieczną ewakuację, przyjęto wartość 60 st. C. Do czasu 500 s nie odnotowano przekroczenia temperatury krytycznej na klatkach schodowych. Po upływie czasu 1000 s temperatura została przekroczona na parterze oraz piętrach 1 i 2 klatki K1, zaś po czasie 1500 s piętra 1,2,3 w przypadku klatki K1, jak również kondygnacje 1 i 2 klatki K2 cechowały się temperaturą powyżej krytycznej. Po czasie ewakuacji, w warunkach oczyszczania klatki schodowej z dymu, nie stwierdza się istotnych różnic w rozkładzie temperatur w poszczególnych scenariuszach pożarowych.

Spadek temperatury poniżej krytycznej na całej wysokości klatki schodowej odnotowano po czasie 1540 s (K1) i 1520 s (K2) w scenariuszu nr 1, 1550 s (K1) i 1520 s (K2) w scenariuszu nr 2 oraz 1550 s (K1) i 1530 s (K2) w scenariuszu nr 3.

Podsumowując należy stwierdzić, iż system do usuwania dymu przewidywany do zastosowania na przedmiotowych klatkach schodowych K1 i K2 zapewnia poziom bezpieczeństwa zbliżony do prezentowanego w normatywach PN i VdS.

6. BIBLIOGRAFIA

[1] Health and Safety Laboratory: Gobeau N., Ledin H.S., Lea C.J. Guidance for HSE Inspectors: Smoke movement in complex enclosed spaces - Assessment of Computational Fluid Dynamics. HSL, 2002.

[2] K. McGrattan, S. Hostikka, J. Floyd, R. McDermott. NIST Special Publication 1019-5. Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide. 2010.

[3] K. McGrattan, R. McDermott, S. Hostikka, J. Floyd,. NIST Special Publication 1018-5. Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide. Volume 3: Validation. 2010.

[4] Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej, Biuro Rozpoznawania Zagrożeń. Procedury organizacyjno-techniczne w sprawie spełnienia wymagań w zakresie bezpieczeństwa pożarowego w inny sposób niż określono to w przepisach techniczno-budowlanych. 10.2008.

[5] NUREG 1824, United States Nuclear Regulatory Commission. Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant applications, Volume 6 Fire Dynamics Simulator. 2007.

[6] PN-EN ISO 6946. Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.

[7] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Third Edition. 2002.

[8] Published Document PD 7974-6:2004. The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings. Part 6: Human factors: Life safety strategies-Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6).

[9] Foster J. A., Roberts G. V.: Research Report Number 61/1994: „Measurements of the Firefighting Environment”.

[10] BS 7346-4:2003 Components for smoke and heat control systems – Part 4: Functional recommendations and calculation methods for smoke and heat exhaust ventilation systems, employing steady-state design fires – Code of practice.

[11] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz.U. Nr 75, poz. 690) z późn. zm.

[12] Polska Norma - PN-B-02877-4 Ochrona przeciwpożarowa budynków. Instalacje grawitacyjne do odprowadzania dymu i ciepła Zasady projektowania.

[13] NFPA 72: National Fire Alarm and Signaling Code. 2013 Edition.

[14] Wytyczne VdS 221:2001-08(01) Urządzenia do oddymiania klatek schodowych. Projektowanie i instalowanie.