

Consulting Engineers

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 symulacją pożaru i ewakuacji
Obiekt:	Pawilon D-1 Akademii Górniczo – Hutniczej im. Stanisława Staszica
Adres:	ul. Reymonta w Krakowie

Wyniki symulacja pożaru i ewakuacji

Branża:	Ochrona przeciwpożarowa
----------------	--------------------------------

Egz. nr

Opracował:

mgr inż. Mateusz Fliszkiewicz

Podpis:

Mateusz Fliszkiewicz
Fliszkiewicz
mgr inż. pożarnictwa

Spis treści

1. Dane ogólne	3
1.1. Przedmiot opracowania	3
1.2. Podstawa opracowania	3
1.3. Zawartość opracowania	3
2. Cel i zakres opracowania	4
3. Opis analizowanego obiektu	4
4. Analizowane scenariusze ewakuacji oraz rozwoju pożaru	5
5. Przewidywany czas ewakuacji użytkowników obiektu	6
5.1. Założenia do symulacji oraz analizowane scenariusze ewakuacji	6
5.2. Charakterystyka użytego oprogramowania do modelowania ewakuacji	7
5.2.1. Opis modelu	7
5.2.2. Tryb symulacji	8
5.2.3. Ograniczenia	8
5.3. Wyniki symulacji	8
6. Symulacje CFD	13
6.1. Charakterystyka użytego programu CFD	13
6.1.1. Nazwa programu, wersja, producent	13
6.1.2. Rodzaj i gęstość siatki obliczeniowej	13
6.1.3. Model turbulencji	13
6.1.4. Model spalania	14
6.1.5. Model promieniowania	14
6.2. Niepewności obliczeniowe i zastosowane współczynniki bezpieczeństwa	14
6.3. Warunki początkowe i brzegowe	15
6.3.1. Początkowa temperatura wewnętrzna i zewnętrzna	15
6.3.2. Materiały elementów budowlanych	15
6.3.3. Materiał palny	15
6.3.4. Zastosowane schematy i ustawienia numeryczne	15
6.3.5. Czas symulacji	16
6.4. Analizowane parametry pożaru	16
6.5. Analizowane scenariusze pożarowe	16
7. Wyniki symulacji CFD	19
7.1. Sprawdzenie warunków ewakuacji	19
7.1.1. Zasięg widzialności w czasie ewakuacji	19
7.1.2. Temperatura na wysokości 1.8 m w czasie ewakuacji	21
8. Wnioski	22
9. Bibliografia	23

1. DANE OGÓLNE

1.1. PRZEDMIOT OPRACOWANIA

Niniejsze opracowanie stanowi analizę rozwoju pożaru oraz czasu ewakuacji z budynku dydaktycznego – Pawilon D-1 Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica zlokalizowanego przy ul. Reymonta w Krakowie.

1.2. PODSTAWA OPRACOWANIA

Podstawą opracowania są:

- a) Zlecenie inwestora
- b) Inwentaryzacja architektoniczna
- c) Plan pomieszczeń z podaną przez służby inwestora liczbą użytkowników
- d) Obowiązujące przepisy przeciwpożarowe i techniczno-budowlane
- e) Obowiązujące normy
- f) Ekspertyza techniczna dla pawilonu dydaktycznego D-1 AGH im. Stanisława Staszica w Krakowie zlokalizowanego na działce nr 19/47 obręb 12 przy ul. Reymonta w Krakowie, W. Cholewa, M. P. Szymanowski, Kraków czerwiec 2020 r.

1.3. ZAWARTOŚĆ OPRACOWANIA

Opracowanie zawiera część opisową przedstawiającą ogólną charakterystykę analizowanego budynku oraz obliczenia czasu ewakuacji ludzi. Kolejne rozdziały dokumentu przedstawiają opis programu wykorzystanego do wykonania obliczeń numerycznych, wyniki oraz wnioski i zalecenia dodatkowe z przeprowadzonej analizy.

2. CEL I ZAKRES OPRACOWANIA

Celem opracowania jest wyznaczenie wymaganego czasu pełnej (bezpiecznej) ewakuacji ludzi z budynku dydaktycznego D-1 Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica. Analizie podlega czas ewakuacji wszystkich osób znajdujących się w rozpatrywanym obiekcie dla przypadku ewakuacji jednoczesnej. W celu wyznaczenia wymaganego czasu ewakuacji wykorzystano symulacje komputerowe wykonane w programie Pathfinder. Zadaniem wykonywanych symulacji jest minimalizacja czasu ewakuacji przy jednoczesnym obserwowaniu tworzących się zatorów (kolejek) na poszczególnych drogach ewakuacyjnych, które mogą być szczególnie niebezpieczne ze względu na możliwość powstania zjawiska paniki. Dodatkowo do symulacji ewakuacji wykonano symulacje rozwoju pożaru w celu oszacowania skuteczności technicznych systemów zabezpieczeń przeciwpożarowych zastosowanych w budynku.

Wszystkie analizy zostały wykonane przy założeniu, że budynek zostanie doprowadzony do stanu opisanego w ekspertyzie technicznej.

3. OPIS ANALIZOWANEGO OBIEKTU

Analizowany obiekt jest budynkiem średniowysokim, o wysokości 21,88m w części wyższej oraz około 12,60m w części niższej, zaliczanym do kategorii zagrożenia ludzi ZL III. W budynku znajdują się sale wykładowe, pomieszczenia administracyjne i biurowe oraz pomieszczenia socjalne, gospodarcze i sanitarne. Na każdej z 5 kondygnacji nadziemnych oraz kondygnacji podziemnej przewidywana jest następująca liczba użytkowników (zgodnie z poniższą tabelą):

Kondygnacja	Przewidywana liczba osób
-1	166
parter	235
1	296
2	61
3	105
4	55
Razem	921

Zgodnie ze wskazaniem ekspertyzy technicznej budynek zostanie wyposażony między innymi w następujące instalacje przeciwpożarowe: System Sygnalizacji Pożarowej, instalację służącą do usuwania dymu z klatek schodowych, instalację wodociągową przeciwpożarową z hydrantami 25, awaryjne oświetlenie ewakuacyjne.

Do dyspozycji użytkowników obiektu przewidziano 3 wyjścia ewakuacyjne zlokalizowane na parterze budynku. Ewakuacja z kondygnacji -1, 1 oraz 2 możliwa jest przy użyciu dwóch obudowanych klatek schodowych, natomiast z kondygnacji 3 oraz 4 (części wyższej) za pomocą jednej klatki schodowej. Kondygnacja 5 nie jest przeznaczona na pobyt ludzi. Na każdej kondygnacji na korytarzach o długości pow. 50 m zastosowano drzwi dymoszczelne.

4. ANALIZOWANE SCENARIUSZE EWAKUACJI ORAZ ROZWOJU POŻARU

Analizie poddano scenariusz ewakuacji, zakładający ewakuację jednoczesną. Ewakuacja jednoczesna zakłada, iż w przypadku powstania zagrożenia pożarowego na dowolnej kondygnacji w rozpatrywanym budynku, alarm pożarowy zostaje rozgłoszony jednocześnie w całym obiekcie. Takie rozwiązanie techniczne powoduje, iż wszystkie osoby znajdujące się w budynku informowane są o zagrożeniu równocześnie (przy użyciu Systemu Sygnalizacji Pożarowej) i mogą rozpocząć proces ewakuacji.

Niezależnie od symulacji ewakuacji analizowano rozwój pożaru, szybkość rozprzestrzeniania się dymu oraz ciepła w budynku przy założeniu normatywnego rozwoju pożaru oraz dostępnych technicznych zabezpieczeniach przeciwpożarowych. Zadaniem symulacji CFD jest wykazanie, czy pomimo rozwoju pożaru istniały będą warunki do bezpiecznej ewakuacji. W tym celu przeprowadzono symulację dla jednego z pomieszczeń dydaktycznych (sala 1.7) przy założeniu, że drzwi do tego pomieszczenia pozostaną otwarte przez czas ewakuacji z tego pomieszczenia. Analizowano przypadek, gdy wszystkie drzwi pomieszczeń prowadzących bezpośrednio na poziomie drogi ewakuacyjnej wyposażone zostaną w samozamykacze. Rozwiązanie to powoduje, że pierwszej fazie rozwoju pożaru zadymienie ograniczone zostanie do pomieszczenia objętego pożarem (poza czasem opuszczania tego pomieszczenia przez osoby znajdujące się w pomieszczeniu – w tym czasie zadymienie będzie wydostawać się na poziome drogi ewakuacyjne).

5. PRZEWIDYWANY CZAS EWAKUACJI UŻYTKOWNIKÓW OBIEKTU

5.1. ZAŁOŻENIA DO SYMULACJI ORAZ ANALIZOWANE SCENARIUSZE EWAKUACJI

Przewidywany czas ewakuacji użytkowników obiektu został obliczony na podstawie przeprowadzonych symulacji w programie Pathfinder wersja 2015.1.0520x64.

Zgodnie z normą PD 7974-6 dostępny bezpieczny czas ewakuacji (z ang. ASET – Available Safe Escape Time), to wyliczony czas dostępny pomiędzy zainicjowaniem pożaru, a czasem, w którym tolerowane, graniczne kryteria bytowe nie są przekroczone w określonej przestrzeni w budynku. Wymagany bezpieczny czas ewakuacji (z ang. RSET – Required Safe Escape Time), to wyliczony czas dostępny pomiędzy zainicjowaniem pożaru a czasem, w którym użytkownicy, w określonych przestrzeniach w budynku, są w stanie osiągnąć bezpieczne miejsce.

Analizie poddano ewakuację jednoczesną w całym budynku. Ewakuacja jednoczesna zakłada, że w przypadku powstania zagrożenia pożarowego na dowolnej kondygnacji w rozpatrywanym budynku, alarm pożarowy zostaje rozgłoszony jednocześnie w całym obiekcie.

Zgodnie z powyższym w analizowanym obiekcie przeprowadzono symulacje dla scenariusza ewakuacji jednoczesnej.

W przypadku pierwszego scenariusza analizowano całkowity czas ewakuacji oraz natężenie na głównych drogach ewakuacyjnych – przede wszystkim w obudowanych klatkach schodowych.

Założono, że osoby będące w budynku rozpoczną ewakuację po 50 sekundach – jest to moment rozpoczęcia pożaru (spalania płomieniowego oraz generowania dymu) w symulacjach komputerowych CFD. Następne etapy ewakuacji zależą od czasu rozgłoszenia alarmu przez SSP, czasu reakcji oraz czasu przejścia.

Wszystkie osoby znajdujące się w budynku zostaną powiadomione o powstaniu zagrożenia przez System Sygnalizacji Pożarowej.

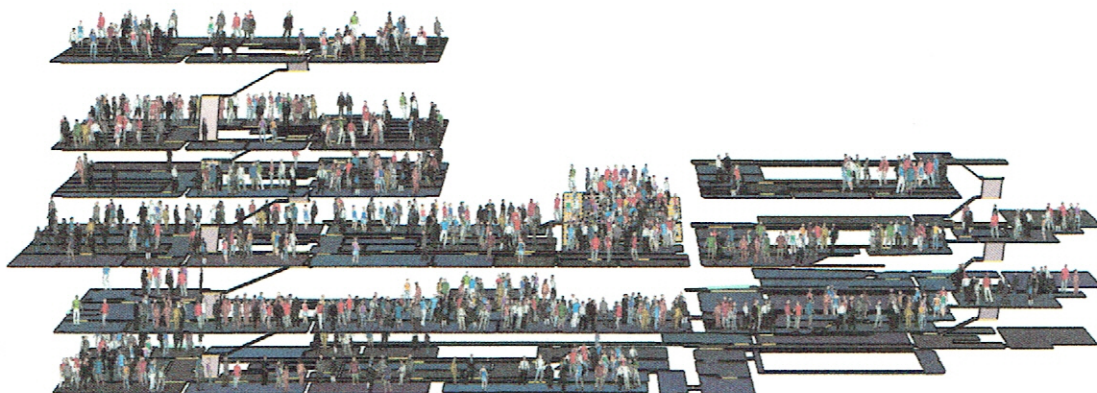
W analizie numerycznej przyjęto, że w budynku znajdować się będzie populacja w skład, której wchodzić będzie 50% kobiet, 50% mężczyzn. W symulacji przyjęto następujące cechy jednostek:

Tabela 3. Właściwości fizyczne jednostek przyjętych do symulacji

Typ jednostki	Szerokość ramion [m]	Prędkość przemieszczania [m/s]
Mężczyzna	0,540±0,040	1,35±0,40
Kobieta	0,510±0,040	1,15±0,40

Założono, że ww. cechy zostaną przypisane zgodnie z rozkładem normalnym tak, aby co najmniej 5% populacji posiadało wartości graniczne. Pozostałe ustawienia cech jednostek zostały ustawione domyślnie.

Rozmieszczenie jednostek w budynku wygenerowane zostało losowo. Poniżej przedstawiono model poszczególnych kondygnacji wykorzystany w symulacji komputerowej.



Rysunek 1. Model budynku przyjęty do symulacji komputerowej

5.2. CHARAKTERYSTYKA UŻYTEGO OPROGRAMOWANIA DO MODELOWANIA EWAKUACJI

5.2.1. OPIS MODELU

Zdefiniowana przez program Pathfinder geometria nawigacyjna skonstruowana jest z sieci trójkątów budujących model odwzorowujący prawdziwy obiekt. Model może zostać stworzony ręcznie lub automatycznie przy wykorzystaniu skryptów importujących pliki z innych programów (np. DXF lub FDS).

Ściany i inne nieprzekraczalne strefy reprezentowane są jako wycięcia w siatce nawigacyjnej. Obiekty te nie są pomijane w obliczeniach symulacji, jednakże stają się niedostępne dla poruszających się jednostek.

Drzwi oraz wyjścia ewakuacyjne reprezentowane są jako specjalne granice siatek nawigacyjnych. We wszystkich symulacjach drzwi zapewniają mechanizm łączenia pokoi oraz śledzenia przepływu ludzi. Dodatkowo w tych miejscach rejestrowane są parametry poruszania się ludzi. W zależności od ustawień symulacji, drzwi ewakuacyjne mogą wyraźnie regulować przepływ ludzi lub może odbywać się to automatycznie w zależności od gęstości jednostek.

Schody również reprezentowane są jako specjalne granice siatek nawigacyjnych. Prędkość poruszania się ludzi jest wtedy ograniczona przez współczynnik zależący od parametrów związanych z budową schodów. Domyślnie każde schody definiują dwoje drzwi. Funkcja tych drzwi jest identyczna jak pozostałych drzwi w modelu, jednakże jest ściśle kontrolowana poprzez edytor klatki schodowej w interfejsie użytkownika, tak aby kontrolować błędy wynikające z geometrycznej rozbieżności pomiędzy schodami i łączącymi drzwiami.

Jednostki ewakuowane modelowane są jako pionowe walce na siatce obliczeniowej. Przemieszczają się przy użyciu tzw. techniki „agent-based” nazwanej odwróconym układem sterowania. Obliczenia poruszania się każdej z jednostek odbywają się niezależnie i mogą być odniesione do szeregu różnych parametrów (maks. prędkość, wybór wyjścia, model 3D itp.).

5.2.2. TRYB SYMULACJI

Pathfinder umożliwia modelowanie przemieszczania się jednostek po zdefiniowanej siatce w dwóch trybach. W trybie „sterowniczym”, drzwi nie wpływają na limit przepustowości ludzi, ale ludzie wykorzystują system sterowniczy do utrzymywania rozsądnego dystansu względem siebie. W trybie SFPE, osoby nie mogą omijać się wzajemnie prowadząc do przenikania się, ale drzwi wpływają na przepływ ludzi, natomiast prędkość kontrolowana jest przez zagęszczenie.

Możliwe jest dowolne przełączanie się pomiędzy tymi dwoma trybami prowadzenia symulacji w interfejsie programu i porównywanie wyników symulacji.

5.2.3. OGRANICZENIA

Pathfinder nie łączy interpretacji z wynikami symulacji rozwoju pożaru i transportu dymu i ciepła oraz nie umożliwia modelowania bardziej złożonych zachowań takich jak np. zachowania grupowe. Dynamiczna geometria jest wspierana tylko częściowo tj. istnieje możliwość dynamicznego wykorzystania wind. Brak jest natomiast możliwości zintegrowania dynamicznej geometrii, tj. zamykanie/otwieranie drzwi czy elementów ruchomych. Windy są aktywne wyłącznie w warunkach ewakuacji. Nie istnieje możliwość ogólnego modelowania systemu wind w trybie normalnego użytkowania.

5.3. WYNIKI SYMULACJI

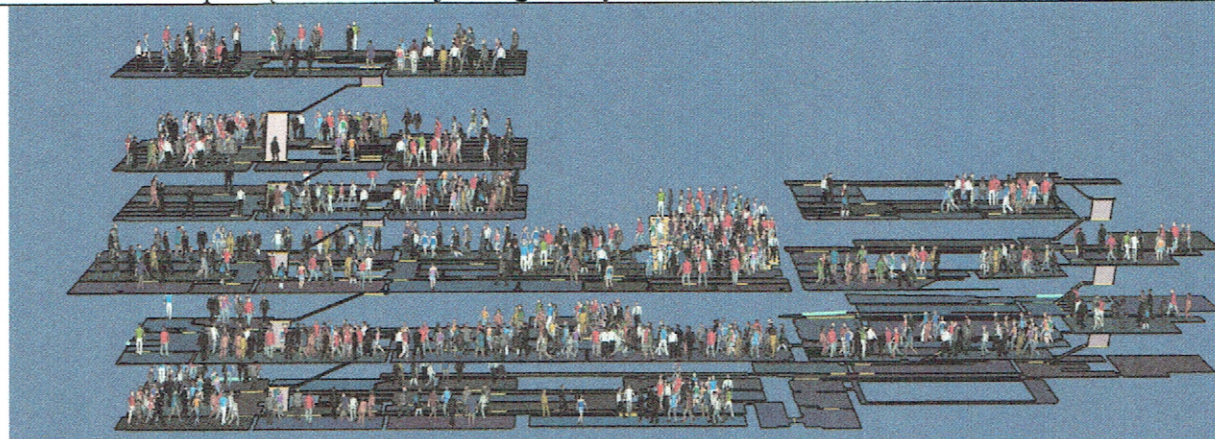
Otrzymane wyniki zostały zaprezentowane w formie wykresów, które przedstawiają zależność pomiędzy czasem, a ilością pozostających/ewakuowanych osób z całego budynku. Ponadto za pomocą zrzutów obrazu z programu Pathfinder zaprezentowano rozkład strumieni ewakuacyjnych.

W analizowanym przypadku ewakuacji równoczesnej, czas ewakuacji wyniósł 12 minut 15 sekund. Ze względu na przewidywaną liczbę użytkowników oraz relatywnie małą ilość dostępnych dróg ewakuacji zaobserwowano tworzenie się dużych kolejek zarówno na klatkach schodowych jak i przy wejściach ewakuacyjnych prowadzących na te klatki schodowe.

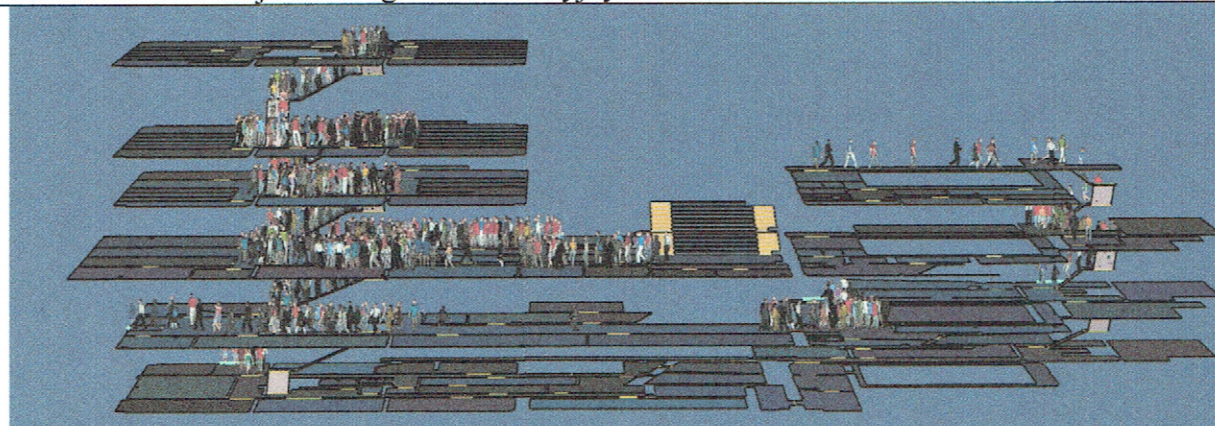
Poniżej przedstawiono rozkład strumieni ewakuacji w czasie:

Scenariusz 1 – pożar na piętrze 1, w Sali wykładowej 1.7 - jednoczesna ewakuacja całego budynku:

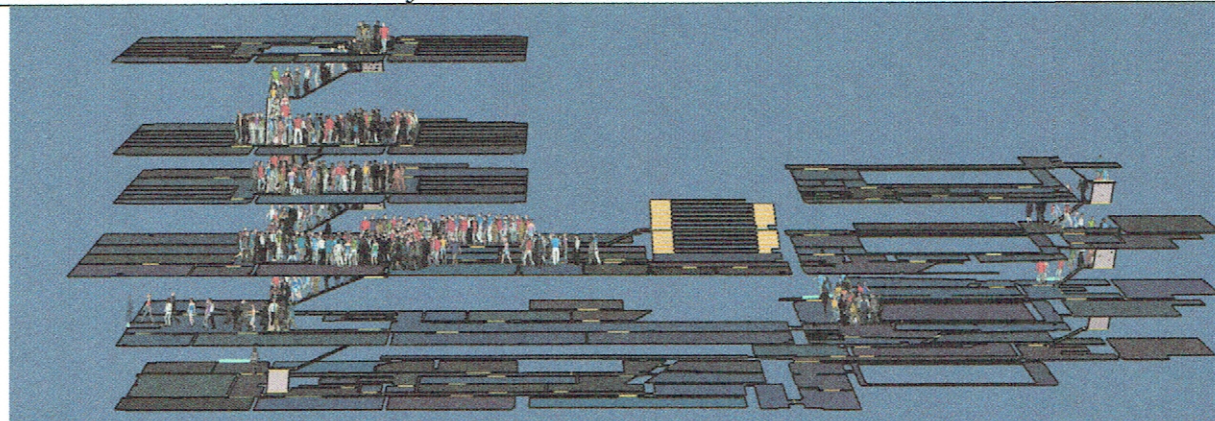
Scenariusz 1 – początek ewakuacji całego budynku – 50 s



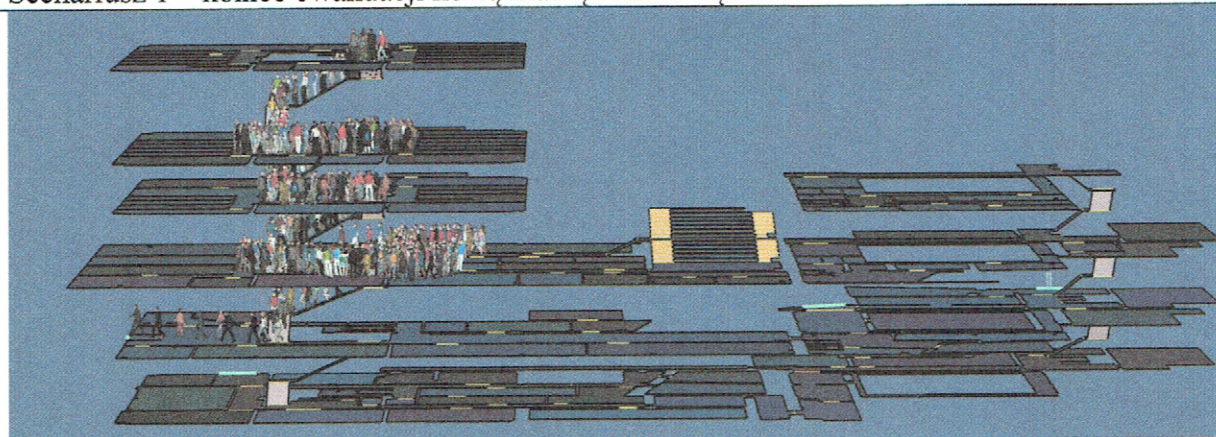
Scenariusz 1 – kolejki na drogach ewakuacyjnych – 120 s



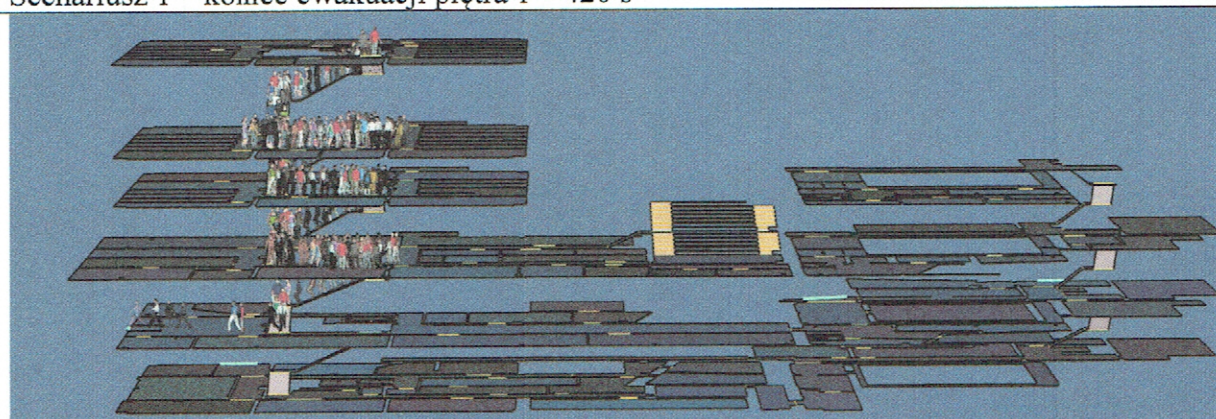
Scenariusz 1 – koniec ewakuacji Sali 1.7 – 150 s



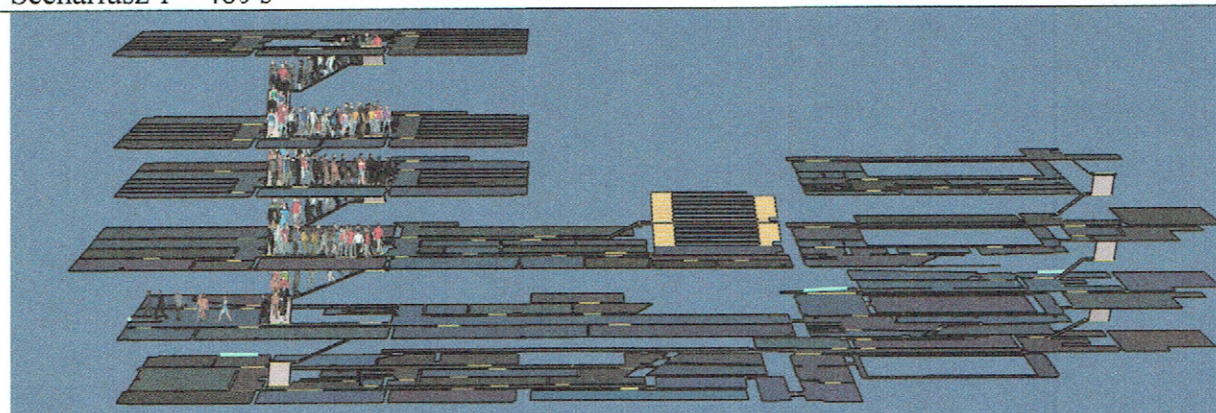
Scenariusz 1 – koniec ewakuacji nową klatką schodową –191 s



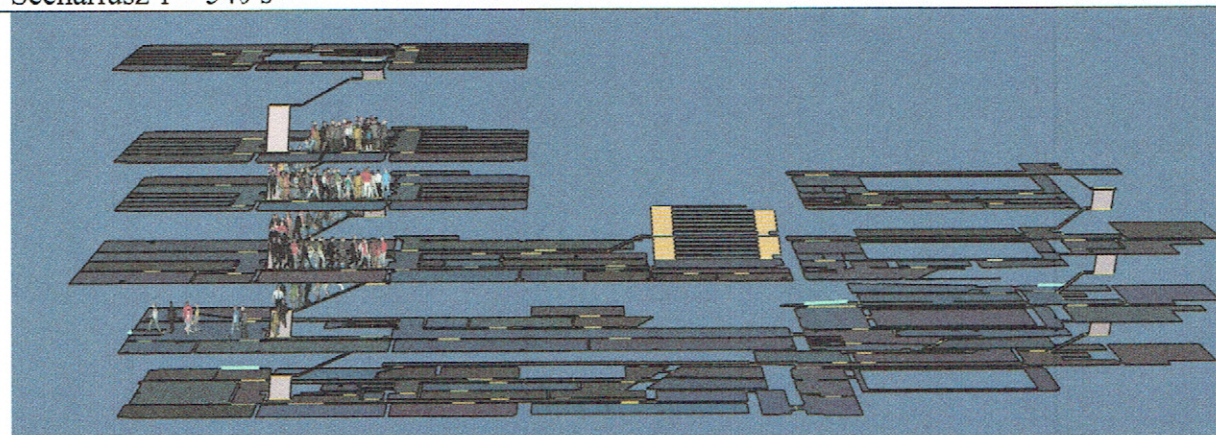
Scenariusz 1 – koniec ewakuacji piętra 1 – 420 s



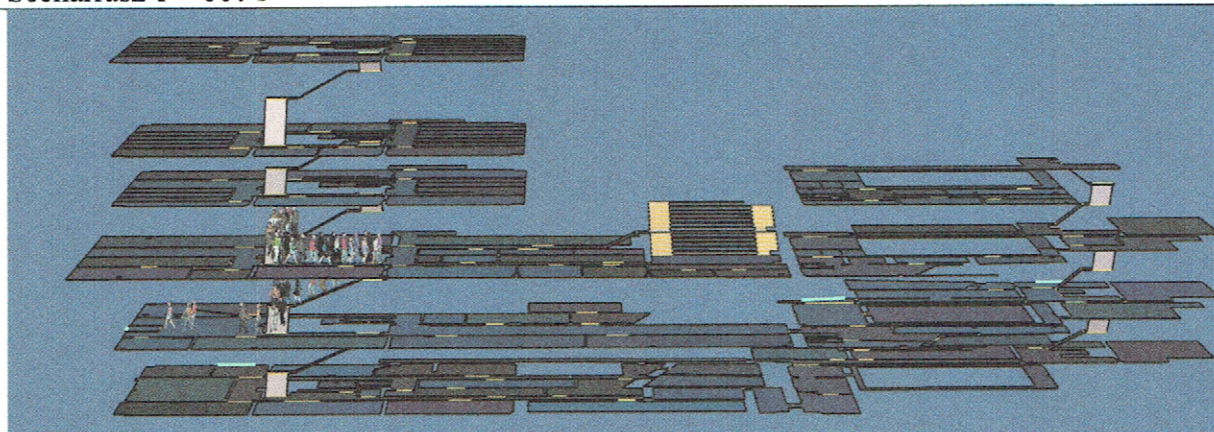
Scenariusz 1 – 480 s



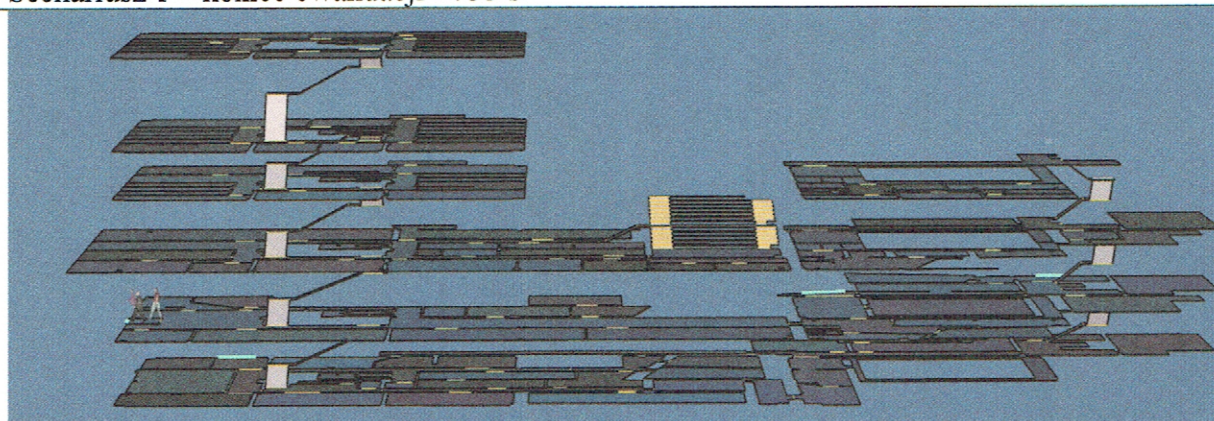
Scenariusz 1 – 540 s



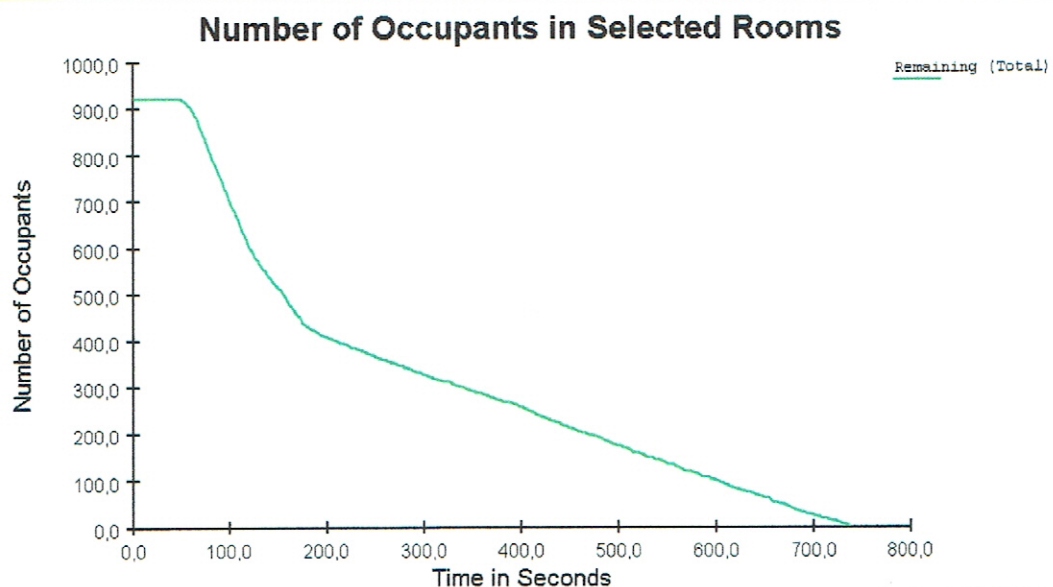
Scenariusz 1 – 660 s



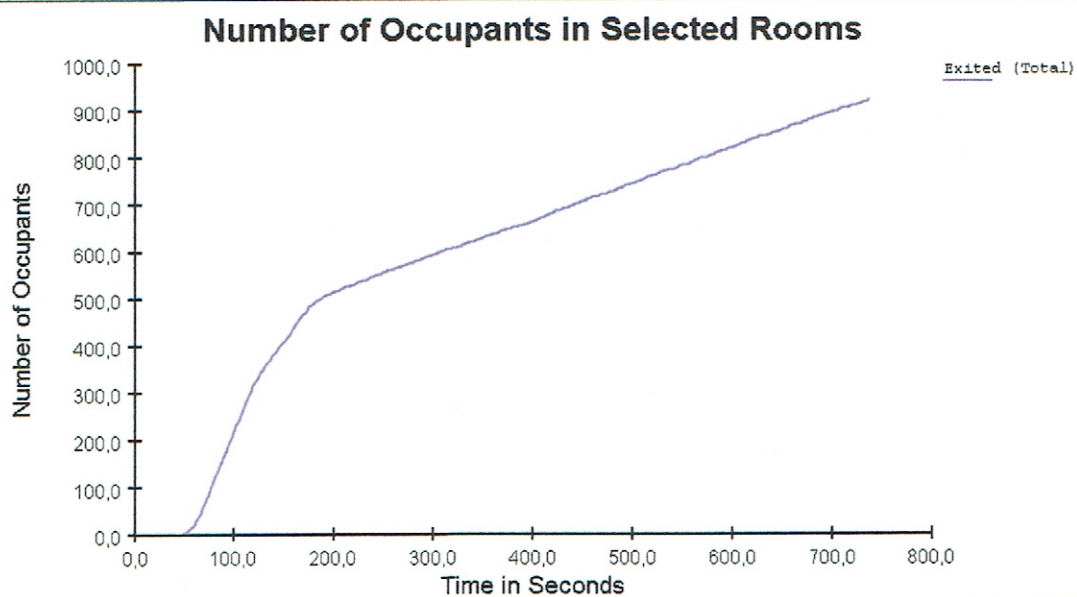
Scenariusz 1 – koniec ewakuacji - 735 s



Wykres ilości osób wewnątrz budynku w zależności od czasu



Wykres ilości osób ewakuowanych z budynku w zależności od czasu



6. SYMULACJE CFD

6.1. CHARAKTERYSTYKA UŻYTEGO PROGRAMU CFD

6.1.1. NAZWA PROGRAMU, WERSJA, PRODUCENT

Do przeprowadzenia szczegółowej analizy oraz otrzymania wyników zawartych w raporcie wykorzystany został program Fire Dynamics Simulator wersja 5.5.0, 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.

6.1.2. RODZAJ I GĘSTOŚĆ SIATKI OBLICZENIOWEJ

Użyto siatki regularnej sześcienniej o boku 20 cm. 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].

6.1.3. MODEL TURBULENCJI

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

6.1.4. MODEL SPALANIA

Użyto modelu Mixture Fraction. Model ten przyjmuje następujące uproszczenia:

- 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),
- spalenie następuje natychmiast po zmieszaniu,
- spalenie jest jednoetapowe i całkowite,
- 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.

6.1.5. 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%, co odpowiada spalaniu większości tworzyw sztucznych.

6.2. NIEPEWNOŚCI OBLICZENIOWE I ZASTOSOWANE WSPÓLCZYNNIKI BEZPIECZEŃSTWA

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

Tabela 4. 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

6.3. WARUNKI POZĄTKOWE I BRZEGOWE

6.3.1. POZĄTKOWA TEMPERATURA WEWNĘTRZNA I ZEWNĘTRZNA

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

6.3.2. MATERIAŁY ELEMENTÓW BUDOWLANYCH

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

Tabela 5. 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

6.3.3. MATERIAŁ PALNY

Jako materiał palny przyjęto poliestr. Właściwości palne wg [7] zebrano w tabeli 6.

Tabela 6. Właściwości materiału spalanego użyte w symulacji.

Źródło: [7].

Ciepło spalania [kJ/kg]	32500
Ułamek masowy dymu	0,09
Ułamek masowy tlenu węgla	0,07
Stosunek atomów węgla:wodoru:tlenu	1:1,4:0,22
Masowy współczynnik ekstynkcji K_m [m ² /kg]	8700

6.3.4. ZASTOSOWANE SCHEMATY I USTAWIENIA NUMERYCZNE

W symulacji użyto domyślnych ustawień programu z wyjątkiem sposobu obliczania kroku czasowego. Krok czasowy jest obliczany z zachowaniem kryterium CFL, tzn:

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

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_∞ :

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

6.3.5. CZAS SYMULACJI

Jako czas symulacji przyjęto czas ewakuacji osób z kondygnacji objętej pożarem, tj. ok. 300 sekund. Krok czasowy jest ustalany automatycznie na podstawie liczby CFL, przy użyciu schematu L_∞ .

6.4. ANALIZOWANE PARAMETRY POŻARU

Podczas analizy numerycznej sprawdzeniu podlegają następujące parametry:

- a) temperatura powietrza powyżej 60 st. C na wysokości równej 1,8 m od poziomu drogi ewakuacyjnej,
- b) zasięg widzialności mniejszy niż 10 m na wysokości 1,8 m od poziomu drogi ewakuacyjnej,

We wszystkich przypadkach zastosowano współczynnik niepewności zgodny z tabelą 4.

Dane wyjściowe zostały odczytane poprzez zdefiniowane punkty pomiarowe oraz wizualizację w programie SmokeView.

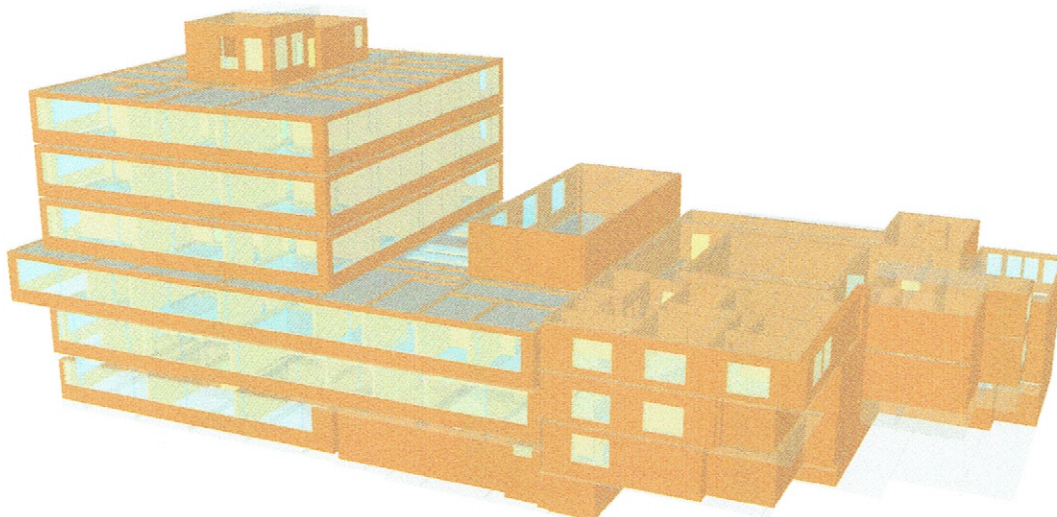
6.5. ANALIZOWANE SCENARIUSZE POŻAROWE

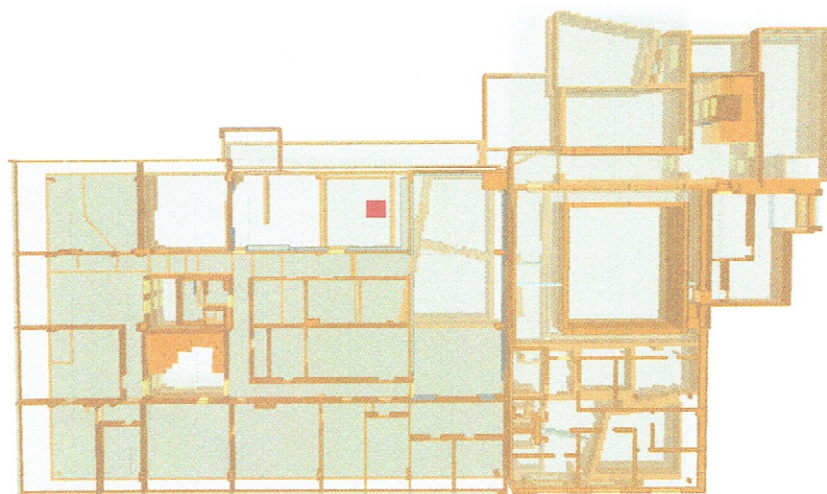
W analizowanym obiekcie wykonano jeden scenariusz rozwoju pożaru w celu sprawdzenie warunków bezpiecznej ewakuacji. Przedstawiono wyniki zasięgu widoczności oraz temperatury na drogach ewakuacyjnych dla jednego z pomieszczeń dydaktycznych (sala 1.7) przy założeniu, że drzwi do tego pomieszczenia pozostaną otwarte przez czas ewakuacji z tego pomieszczenia. Analizowano przypadek, gdy wszystkie drzwi pomieszczeń prowadzących bezpośrednio na poziomie drogi ewakuacyjne wyposażone zostaną w samozamykacze. Rozwiązanie to powoduje, że pierwszej fazie rozwoju.

Wszystkie scenariusze zakładają szybkość rozwoju zgodnie z zależnością αt^2 , gdzie $\alpha = 0,01172$ (rozwój średni). Założono stałą gęstość Założoną krzywą mocy pożaru przedstawia poniższy wykres.



Scenariusz nr 1: pożar w pomieszczeniu 1.7 – drzwi do pomieszczenia wyposażone w samozamykacz.





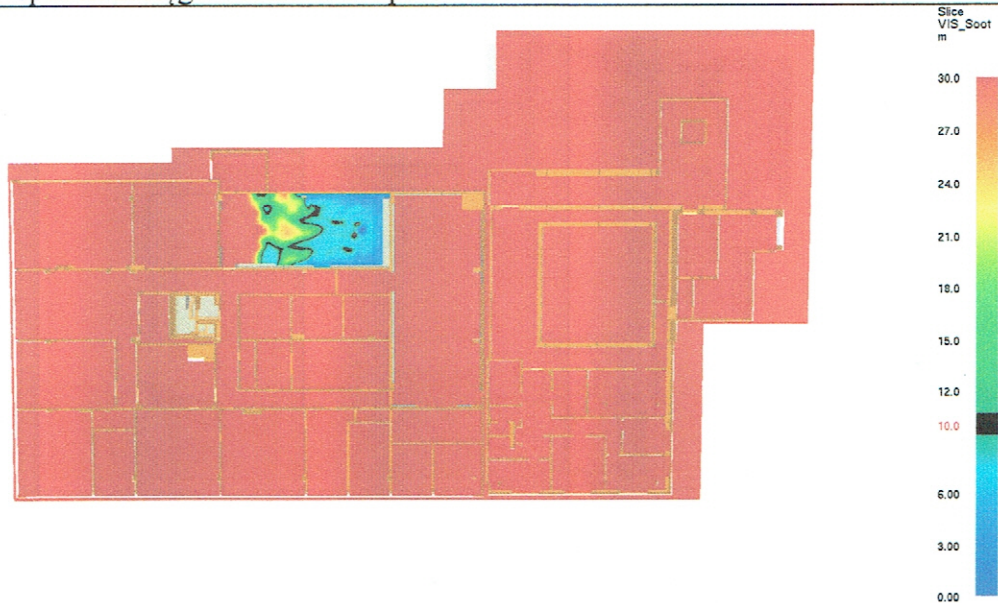
7. WYNIKI SYMULACJI CFD

7.1. SPRAWDZENIE WARUNKÓW EWAKUACJI

7.1.1. ZASIĘG WIDZIALNOŚCI W CZASIE EWAKUACJI

Scenariusz nr 1

Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 60 sekundach



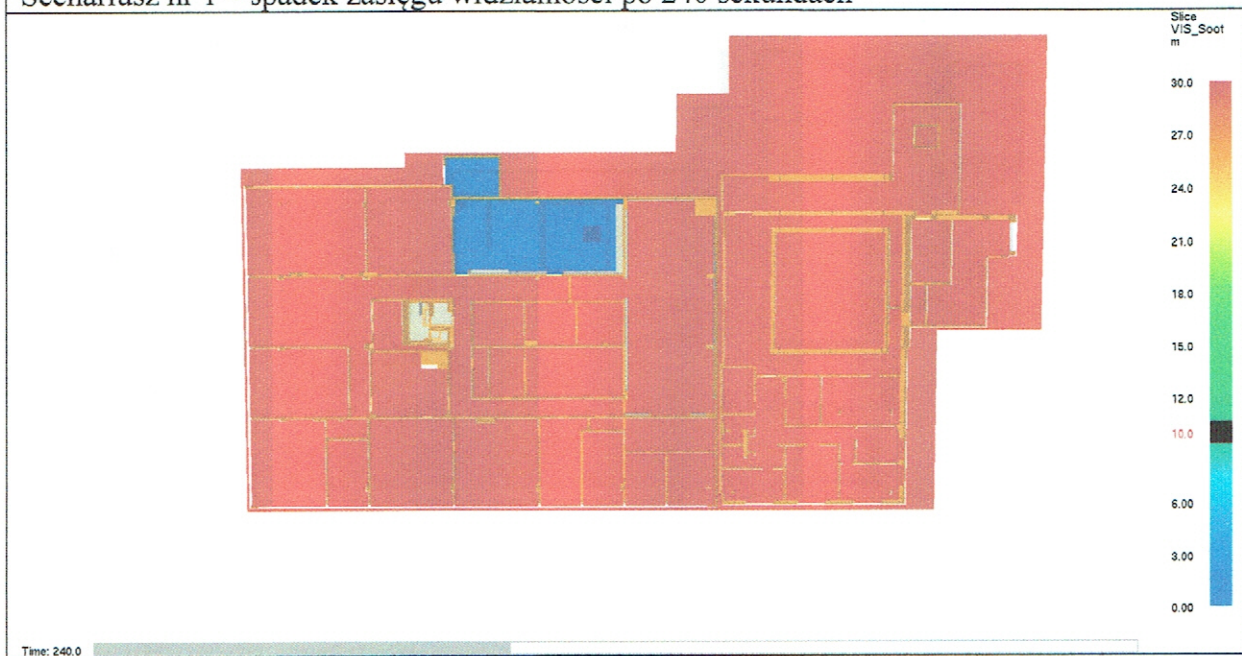
Time: 60.0

Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 100 sekundach



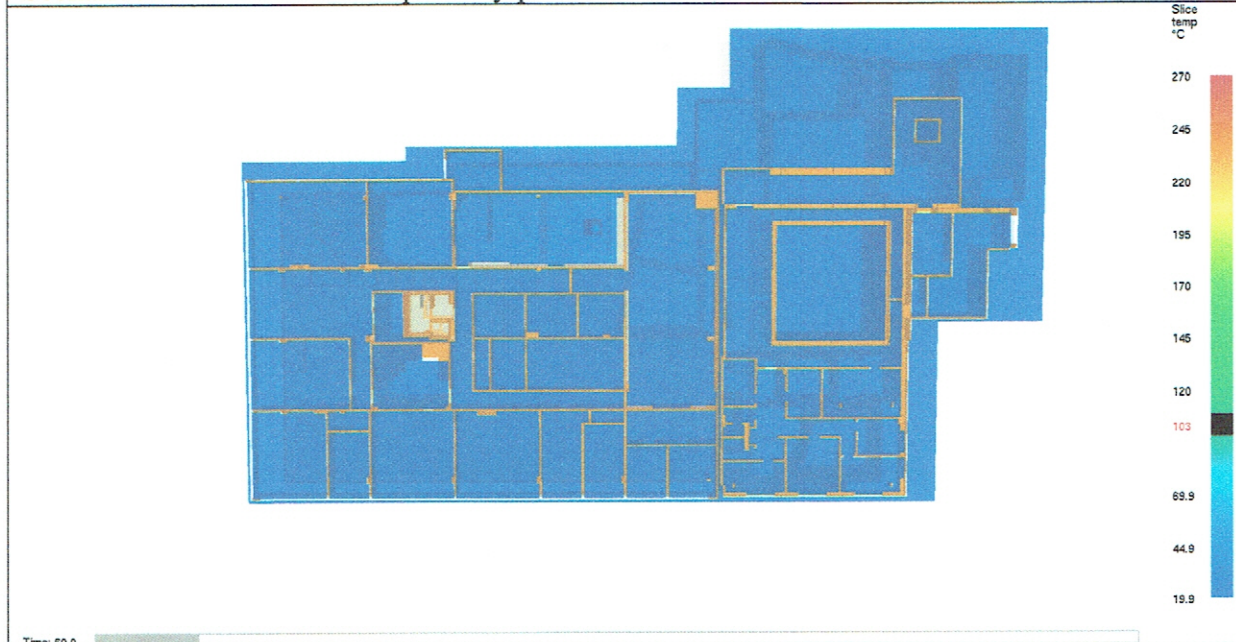
Time: 100.0

Scenariusz nr 1 – spadek zasięgu widzialności po 240 sekundach

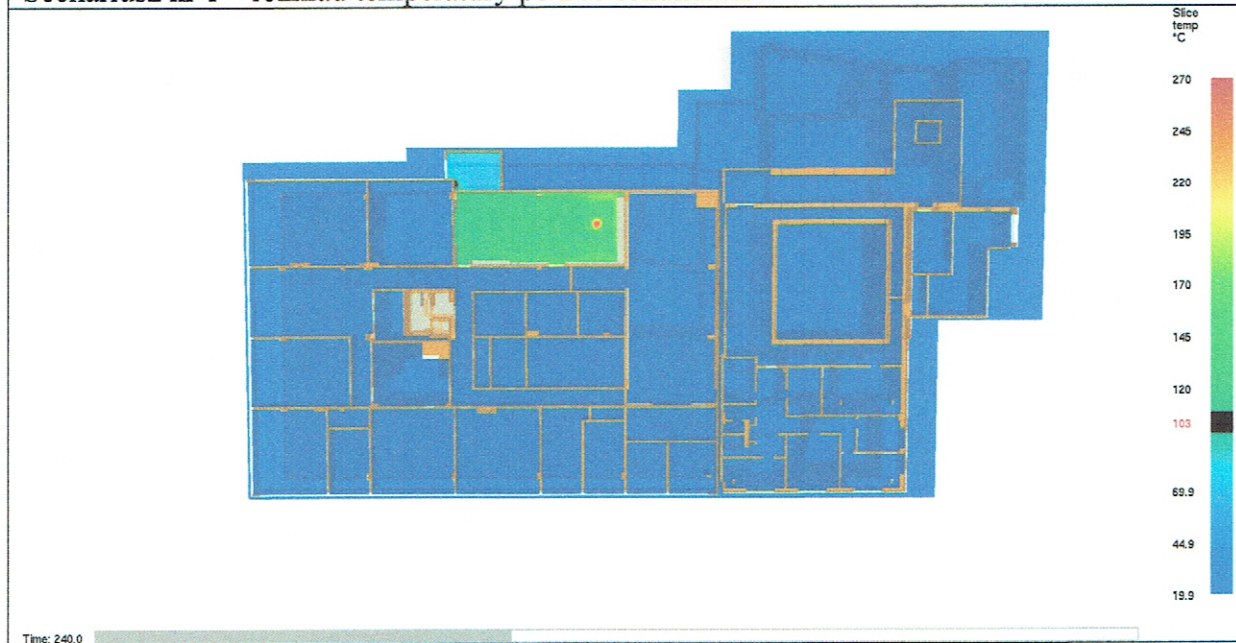


7.1.2. TEMPERATURA NA WYSOKOŚCI 1.8 M W CZASIE EWAKUACJI

Scenariusz nr 1 – rozkład temperatury po 60 sekundach



Scenariusz nr 1 – rozkład temperatury po 240 sekundach



8. WNIOSKI

Analizując wyniki symulacji komputerowych można sformułować następujące wnioski:

1. Całkowity czas ewakuacji z budynku nie powinien przekroczyć 12 min.15 s – przy założeniu maksymalnej ilości użytkowników w budynku, co jest przypadkiem najbardziej niekorzystnym.
2. Zaleca się, aby drzwi z pomieszczeń prowadzących na poziome drogi ewakuacyjne wyposażać w samozamykacze. Rozwiązanie to częściowo utrudnia przedostawanie się dymu na te drogi ewakuacyjne, co znacznie poprawi warunki ewakuacji ludzi z kondygnacji objętej pożarem. Trzeba zauważyć, że obydwa analizowane w symulacjach CFD parametry tj. zasięg widzialności oraz rozkład temperatury nie zostają przekroczone w sposób uniemożliwiający bezpieczną ewakuację (przy zastosowaniu samozamykaczy). Pozostawienie otwartych drzwi pomieszczenia objętego pożarem może skutkować powstaniem znacznego zadymienia, które skutecznie utrudni wykorzystanie zarówno poziomych jak i pionowych dróg ewakuacyjnych. Finalnie może to powodować powstanie zjawiska paniki w tych obszarach, co będzie normalną reakcją osób na tak duże zagrożenie życia.
3. Zaproponowane rozwiązania techniczno-budowlane w ekspertyzie technicznej są wystarczające, aby zapewnić bezpieczne warunki ewakuacji.
4. W przypadku pożarów w aulach / większych salach dydaktycznych dym nie powinien rozprzestrzenić się na dostępne drogi ewakuacyjne (przy założeniu, że drzwi wejściowe wyposażone będą w samozamykacze).

9. 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, 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] PD 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. z 2019r., poz. 1065)