

st. kpt. dr inż. Piotr TOFIŁO
dr hab. Marek KONECKI, prof. SGSP
bryg. dr inż. Jerzy GAŁAJ
bryg. dr inż. Waldemar JASKÓŁOWSKI
st. kpt. dr inż. Norbert TUŚNIO
st. kpt. mgr inż. Marcin CISEK
Szkoła Główna Służby Pożarniczej

System eksperckiej oceny zagrożeń i ryzyka pożarowego w budynkach

Omówienie
LEAD

Referat zawiera opis aktualnie rozwijanego w SGSP systemu eksperckiego oceny zagrożeń i ryzyka pożarowego w budynkach. Konieczność powstania takiego systemu jest podyktowana potrzebami wyposażenia środowiska projektantów, specjalistów oraz organów weryfikujących w zrozumiałe i łatwo dostępne narzędzie, które będzie rozwijane w miarę potrzeb tak by wspomagać i usprawniać krajowy proces projektowo-budowlany w zakresie inżynierii bezpieczeństwa pożarowego. System oferuje następujące moduły parametryczno-obliczeniowe: geometria obiektu, moc pożaru, kolumna konwekcyjna, dymotwórczość, detekcja, wentylacja, ewakuacja, interwencja, konstrukcja, kryteria wrażliwość, ryzyko.

Słowa kluczowe: ocena zagrożeń, ryzyko, wentylacja, ewakuacja, interwencja.

1. Wprowadzenie

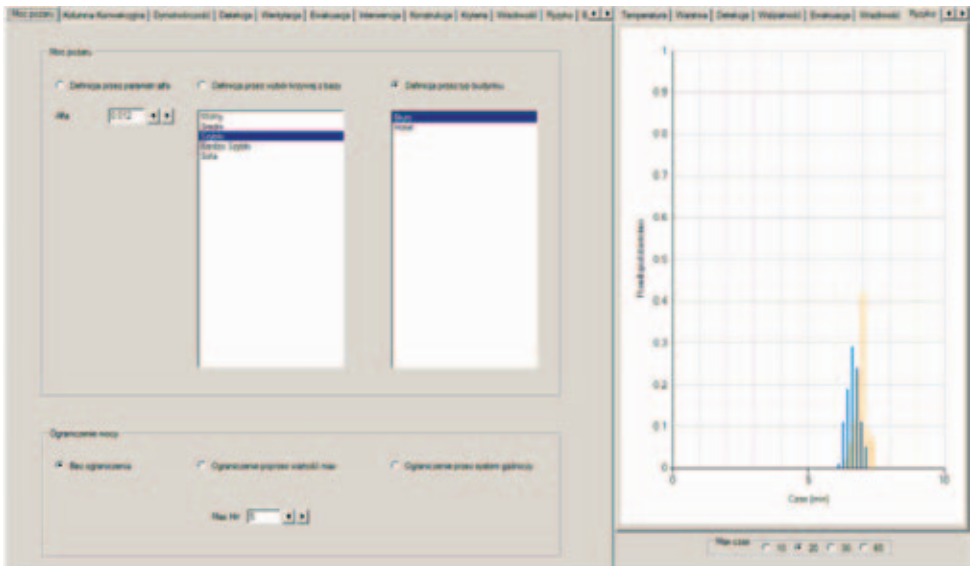
W inżynierii bezpieczeństwa pożarowego budynków mamy do czynienia obecnie z gwałtownym wzrostem zastosowań nowoczesnych metod obliczeniowych. Jest to związane z coraz większym otwarciem się naszego kraju na filozofię „performance based design”, czyli projektowania zorientowanego na osiągnięcie celów funkcjonalnych lub też jak to się często również określa, projektowanie zgodnie z zasadami wiedzy technicznej.

Dziedzina inżynierii bezpieczeństwa pożarowego to dziedzina stosunkowo młoda i nie posiada jeszcze utartych schematów i szeroko uzgodnionych rozwiązań standardowych. Oczywiście istnieją standardy takie jak NFPA czy BS, które zawierają duże ilości usystematyzowanej wiedzy jak, np. zasady obliczania określonych parametrów zagrożenia pożarowego w różnych konfiguracjach obiektu, niemniej jednak zasady te są niejednokrotnie zbyt sztywne, a przez to niewystar-

czające. Dlatego też rośnie wykorzystanie bardziej złożonych metod, które mają postać zestawów równań, korelacji inżynierskich oraz modeli komputerowych o różnym stopniu złożoności. Liczba dostępnych modeli komputerowych staje się na tyle znacząca, że dużym problemem jest kwestia weryfikacji obliczeń wykonanych za ich pomocą. Dostęp do najlepszych i najbardziej złożonych programów jest często ograniczony dużym ich kosztem. Kolejnym znaczącym czynnikiem jest problem danych wejściowych przyjmowanych do obliczeń. Dane te są często pobierane z różnych źródeł, które nierzadko nie mają wystarczającej wiarygodności. Czynniki te powodują, że weryfikacja wymaga dużego doświadczenia, wiedzy, znajomości narzędzi, norm i standardów zagranicznych, literatury branżowej i często również języków obcych. Niestety dostęp do tych materiałów i zdobycie doświadczenia umiejętności jest często trudne.

W obecnej sytuacji stopniowo wyłania się potrzeba tworzenia ogólnodostępnych systemów eksperckich, które pozwalałyby na wielopłaszczyznową analizę problemów związanych z bezpieczeństwem pożarowym. Dotychczas narzędzia służące do analiz związanych z bezpieczeństwem pożarowym były tworzone głównie za granicami kraju.

W niniejszym referacie omówiono wizję i prototyp systemu eksperckiego stworzonego w kraju. Jest on skierowany do osób zainteresowanych dokonaniem obliczeń związanych z rozwojem pożaru w budynkach, ewakuacją osób, interwencją służb i zachowaniem konstrukcji. System będzie oferował łatwy dostęp do danych wejściowych dostosowanych do różnych typów budynków. Będzie on oferował podejście deterministyczne jak i te oparte o kryteria probabilistyki i ryzyka.



Rys. 1. Ogólny widok systemu. Po lewej stronie część parametrów wejściowych i analiz, po prawej część wizualizacyjna. Zmiany tablic dokonuje się z użyciem zakładek

Zaletami takiego podejścia do kwestii inżynierii bezpieczeństwa pożarowego w procesie projektowo-weryfikacyjnym jest potencjalnie większe ujednoczenie poziomu analiz i ekspertyz, umożliwienie sprawniejszej ich weryfikacji oraz stworzenie modeli referencyjnych, które będą traktowane przez właściwe organy za akceptowalne jako minimum w analogiczny sposób jak funkcjonują obecnie przepisy nakazowe.

Tworzony system będzie częściowo lub w całości zaimplementowany na internetowej platformie tworzonej w SGSP w ramach projektu finansowanego przez NCBiR.

2. Moduły obliczeniowe systemu

W chwili obecnej system obejmuje następujące moduły, które są pokrótce omówione poniżej.

2.1. Geometria problemu (obiektu)

Jest to moduł, w którym użytkownik ustala zakres problemu pod względem możliwego sposobu rozwoju pożaru oraz jego wpływu na ewakuację osób z budynku. W największej liczbie rzeczywistych problemów rozwiązywanych przez inżynierów, sytuacja sprowadza się do rozwoju pożaru w pojedynczej przestrzeni czy też pomieszczeniu lub maksymalnie dwóch pomieszczeniach, które są kluczowe dla analizy. Problemem może być jeszcze jedno pomieszczenie, ale tylko w zakresie ewakuacji. Takie uproszczone podejście pozwala na analizę dużej ilości sytuacji rzeczywistych, a należy podkreślić, że celem systemu nie jest powielanie możliwości innych, bardziej rozbudowanych programów.

Użytkownik po dokonaniu doboru wariantu geometrycznego (jedno lub dwa pomieszczenia) ma możliwość wyboru parametrów geometrycznych pomieszczeń tj. wysokości i powierzchni rzutu. W przyszłości będzie dodana możliwość definiowania przestrzeni o zmiennej powierzchni przekroju.

2.2. Moc pożaru (HRR)

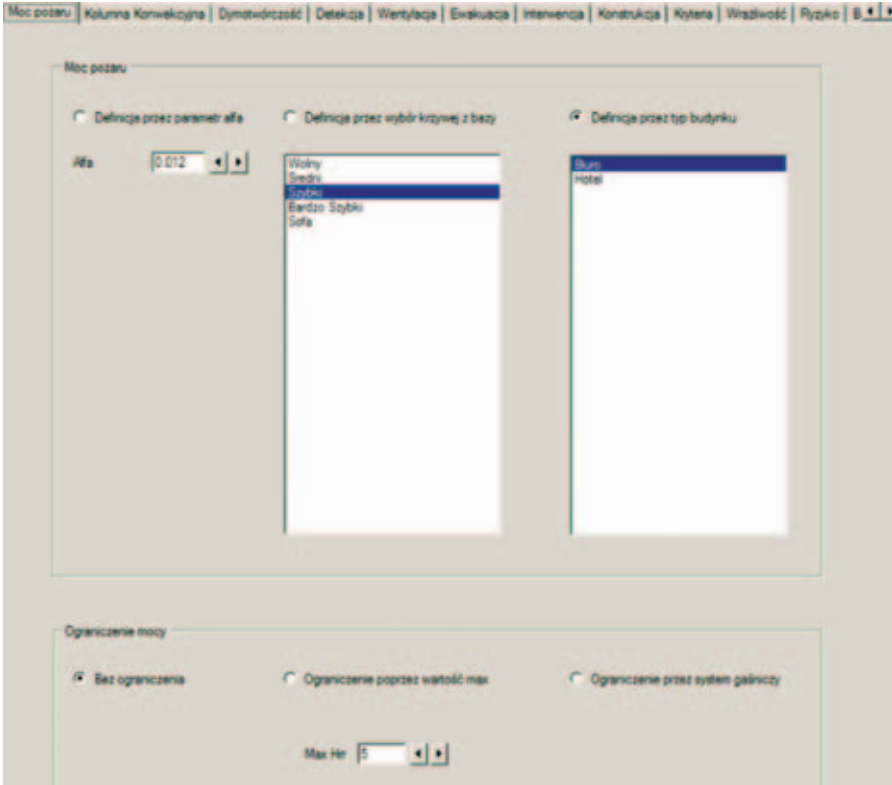
Moduł ten służy do zdefiniowania krzywej rozwoju pożaru. W tym celu użytkownik może wykorzystać:

- a) wybrany współczynnik alfa,
- b) jedną z dostępnych krzywych z bazy danych systemu; krzywe te są krzywymi standardowymi lub krzywymi wynikającymi z badań eksperymentalnych,
- c) współczynnik alfa lub krzywą skojarzoną z wybranym typem pomieszczenia (strefy pożarowej, budynku).

Możliwość skojarzenia współczynników i krzywych daje możliwość sztywnego przypisania parametrów pożaru danemu typowi pomieszczeń, co zapobiega wykorzystaniu przez niedoświadczonych użytkowników zbyt optymistycznych wartości kluczowych parametrów opisujących zagrożenie pożarowe. Jednocześnie

nie umożliwia to szybszą weryfikację założeń analizy przeprowadzonej przez użytkownika.

Rozwój pożaru pod względem ilości generowanego ciepła może być ograniczony przez geometrię pomieszczenia lub przez zadziałanie systemów gaśniczych. Użytkownik może wykorzystać w tym celu sztywne ograniczenie mocy pożaru przez zastosowanie wartości maksymalnej lub poprzez wykorzystanie modułu detekcji, dzięki któremu może zostać ustalony moment zadziałania tryskacza, co z kolei definiuje maksymalną moc pożaru.



Rys. 2. Moduł mocy pożaru

2.3. Kolumna konwekcyjna

Różne konfiguracje geometryczne pomieszczeń wymagają zastosowania różnych wariantów obliczeń związanych z kolumną konwekcyjną i ilością dymu wpływającego do warstwy gorącej. Użytkownik ma do dyspozycji kolumny:

- osiowo-symetryczną (2 warianty w zależności od wysokości warstwy dymu),
- balkonową (w wariacie z kurtynami lub bez),
- okienną.

Użytkownik powinien wybrać rodzaj kolumny stosownie do rozpatrywanego problemu.

Oprócz typu kolumny, użytkownik może zdefiniować, wysokość podstawy paliwa oraz parametry określające straty ciepła związane z promieniowaniem strefy płomieni oraz przekazywaniem ciepła do przegród budowlanych.

2.4. Dymotwórczość

Parametry spalanego paliwa mają wpływ na skład produktów spalania i zawartość cząstek sadzy w warstwie dymu, co w konsekwencji wpływa między innymi na zasięg widoczności, detekcję dymu oraz kwestię toksyczności środowiska. Kluczowe parametry, które są w tej chwili brane pod uwagę, to:

- a) ciepło spalania,
- b) wydajność spalania,
- c) masowa produkcja dymu,
- d) masowa gęstość optyczna dymu.

Podobnie, jak w przypadku mocy pożaru, użytkownik może:

- a) zdefiniować parametry paliwa samodzielnie,
- b) wybrać materiał z bazy danych,
- c) wybrać typ pomieszczenia/budynku z bazy danych.

Wybór typu budynku jest ponownie opcją, która zwalnia użytkownika z podejmowania decyzji, co do szczegółowych parametrów spalanych materiałów.

2.5. Detekcja

Detekcja pożaru może być realizowana poprzez wykorzystanie detektorów ciepła (czujki ciepła, tryskacze) oraz detektorów dymu (czujki punktowe i liniowe). Użytkownik może wykorzystać czas detekcji wyliczony w tym module jako informacja wejściowa w innych modułach.

2.6. Wentylacja

Systemy wentylacji pożarowej mają duży wpływ na środowisko pożaru, szczególnie na temperaturę warstwy dymu oraz jej wysokość. Użytkownik ma możliwość wyboru typu systemu spośród wentylacji grawitacyjnej i mechanicznej lub też zdecydować o zupełnym braku wentylacji. W takiej sytuacji użytkownik może sprawdzić czy wentylacja jest konieczna.

Definiując parametry systemu wentylacji grawitacyjnej, użytkownik może zdecydować o powierzchni klap i otworów wlotowych powietrza kompensacyjnego oraz o współczynnikach aerodynamicznych obydwu typów otworów. W przypadku wentylacji mechanicznej doborowi podlega intensywność wyciągu dymu w m^3/s oraz parametry decydujące o tym czy nie zachodzi tzw. *plugholing*, czyli wyciąg powietrza chłodniejszego.

2.7. Ewakuacja

Moduł ewakuacji zawiera wszelkie parametry decydujące o czasie WCBE. I tak są to czasy detekcji, alarmowania, reakcji ludzi oraz szerokości wyjść ewa-

kuacyjnych i długości przejść ewakuacyjnych. Czasy reakcji i rozpoznania mogą być wprowadzone ręcznie lub pośrednio poprzez wybór typu budynku oraz jego kategorii systemu zarządzania, alarmowania i złożoności.

Ponownie system pomaga w ten sposób użytkownikowi uniknąć niepewności związanej z nieznaną wartością normowych lub literaturowych.

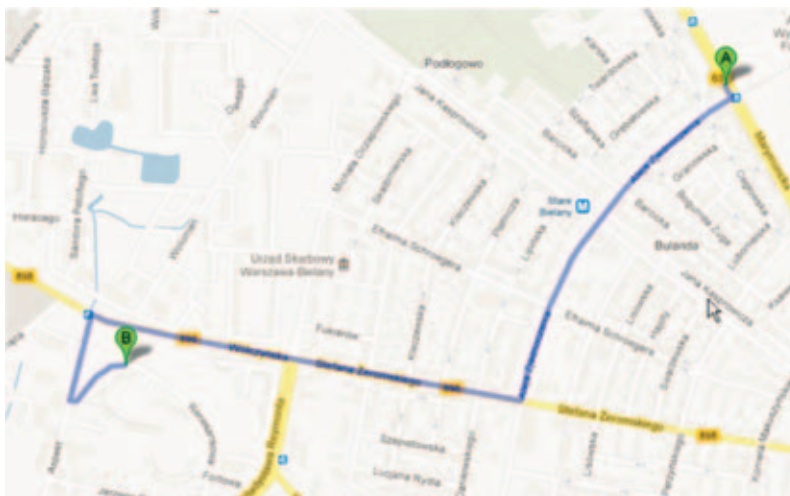
Rys. 3. Moduł ewakuacji

2.8. Interwencja

Szybki czas rozpoczęcia działań gaśniczych jest pozytywnym czynnikiem wpływającym potencjalnie na rozwój pożaru i zachowanie konstrukcji budynku, zaś wiedza na temat prawdopodobnego czasu interwencji straży pożarnej jest istotną informacją, która niekiedy może wpłynąć na wynik analizy poziomu bezpieczeństwa. Dlatego też użytkownik ma możliwość szybkiego ustalenia prognozowanego czasu dojazdu i rozpoczęcia działań przez zastępy Państwowej Straży Pożarnej. Wykorzystywana jest do tego baza współrzędnych geograficznych wszystkich jednostek PSP w kraju, oraz algorytm wyliczania czasu przejazdu z punktu A do punktu B udostępniony przez firmę Google.

Użytkownik może szybko wytyczyć na mapie wizualizację trasy dojazdu zastępu z najbliższej jednostki do miejsca pożaru.

Rys. 4. Moduł interwencji



Rys. 5. Wytyczona trasa dojazdu zastępów straży do obiektu

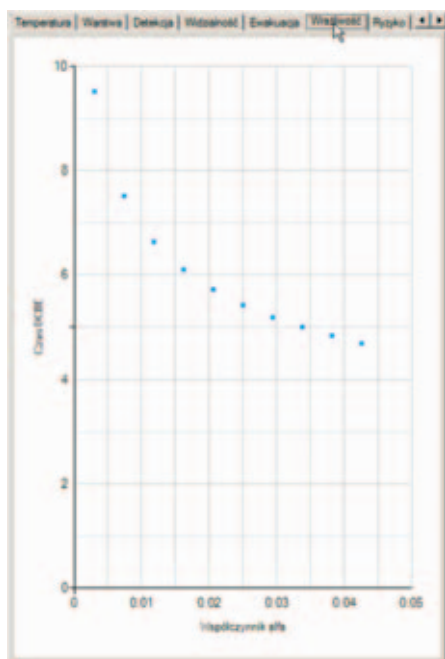
2.9. Kryteria

Moduł kryteriów służy do określenia kryterium lub zestawu kryteriów, które brane są pod uwagę przy ustalaniu Dostępnego Czasu Bezpiecznej Ewakuacji. Użytkownik może ustalić jako kryterium, np. wysokość warstwy dymu, jej temperaturę, zasięg widzialności lub krytyczny poziom toksyczności. Być może lista ta będzie rozszerzona o stężenie tlenu węgla.

2.10. Wrażliwość



Rys. 6. Moduł wrażliwości



Rys. 7. Wykres wrażliwości – zakres zmienności czasu DCBE w funkcji określonego zakresu parametru alfa

Moduł wrażliwości jest przewidziany jako narzędzie pomocnicze, dzięki któremu użytkownik może zbadać wpływ zmienności określonego parametru wejściowego na rozkład wartości parametrów wyjściowych, głównie Dostępnego Czasu Bezpiecznej Ewakuacji. Dzięki temu użytkownik ma możliwość identyfikacji parametrów o największej wadze i wpływie na wynik końcowy. Znaczenie tego modułu jest więc w dużej mierze informacyjne i edukacyjne.

2.11. Ryzyko

Moduł ryzyka pozwala na analizę probabilistyczną, w której użytkownik definiuje rozkłady statystyczne głównych parametrów wejściowych, a system wykorzystuje metodę Monte Carlo do obliczenia rozkładów statystycznych czasów DCBE i WCBE, co może być wykorzystane jako bardziej właściwy sposób przeprowadzania analiz z zakresu inżynierii bezpieczeństwa

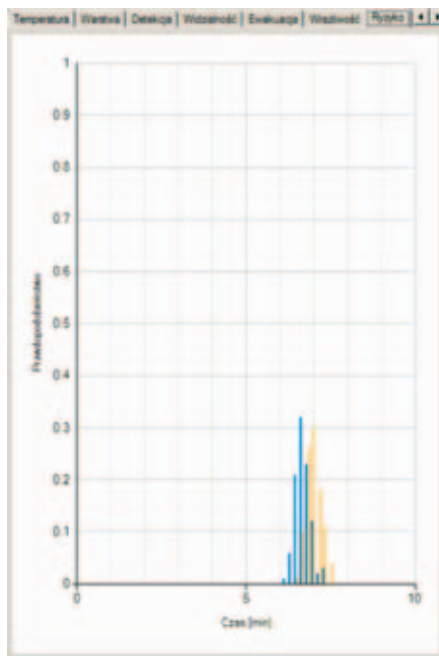
pożarowego w sytuacji niepewności co do parametrów wejściowych. Metoda Monte Carlo polega na przeprowadzeniu dużej liczby, np. 1000 symulacji czyli przebiegów algorytmu obliczeniowego, gdzie do każdego przebiegu losowane są parametry wejściowe zgodnie z rozkładami zdefiniowanymi przez użytkownika.

Wynik pracy tego modułu jest prezentowany w postaci wykresu słupkowego reprezentującego rozkłady obydwu analizowanych czasów (rys. 8). Ich wzajemna pozycja lub stopień przenikania się jest miarą i wskaźnikiem ryzyka.

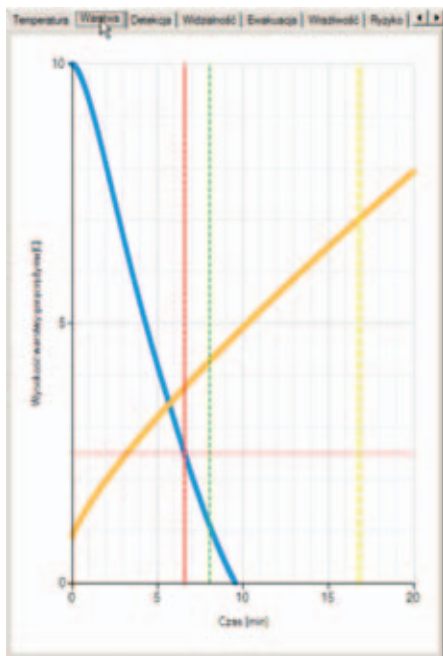
3. Wizualizacja wyników

Wyniki pracy systemu prezentowane są w sposób interaktywny za pomocą grupy wykresów ukazujących przebiegi kluczowych wielkości oraz dodatkowo rozkłady statystyczne związane z analizą ryzyka oraz analizą wrażliwości.

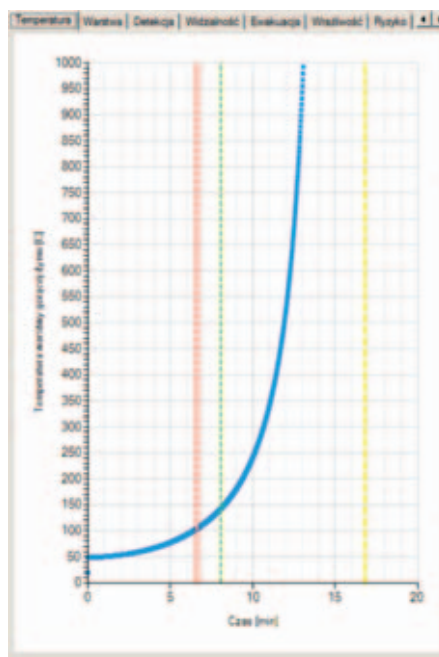
Przykładowe wykresy 9, 10, 11 pochodzą z modułu danych wyjściowych. Widoczne na wykresach linie pionowe i poziome oznaczają:



Rys. 8. Wizualizacja pracy modułu ryzyka – wykres rozkładów prawdopodobieństwa wystąpienia określonych czasów DCBE i WCBE

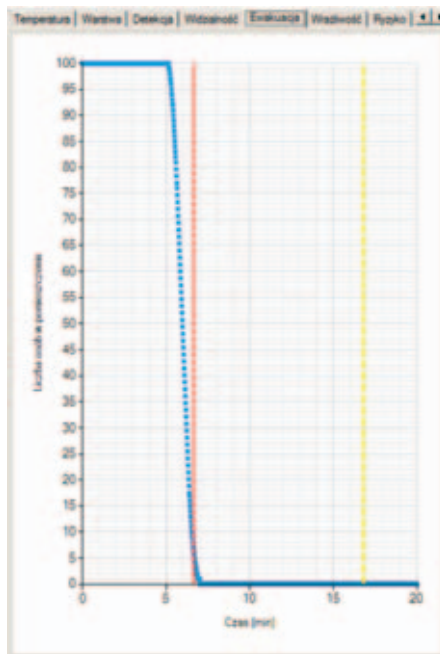


Rys. 9. Wykres wysokości podstawy warstwy dymu



Rys. 10. Wykres temperatury warstwy dymu

- a) wartości kryteriów (np. wysokość warstwy, temperatura) oraz wyliczone czasy wystąpienia warunków, w których wartości te są przekroczone,
- b) czasy DCBE i WCBE,
- c) czas interwencji straży.



Rys. 11. Wykres reprezentujący przebieg ewakuacji

4. Baza danych parametrycznych

Wzrost	Waga	Średnia	Średnia	Średnia	Średnia
0	0	0	0	0	0
30	2,7	30	10,8	30	42,3
60	10,8	60	43,2	60	169,2
90	24,3	90	97,2	90	380,7
120	43,2	120	172,8	120	676,8
150	67,5	150	270	150	1057,5

Jednostka	Adres	N	E
JPG Katowice	19-700 Katowice ul. Wesoła 2	19.589342	51.2871529
JPG Częstochowa	16-200 Częstochowa ul. Piusa XII 26	16.648219	50.732948
JPG Gliwice	67-200 Gliwice ul. Skarżyskiego 55	16.057972	51.8635114
JPG Góra	56-200 Góra ul. Kilińskiego 4	16.5425792	51.867142
JPG Jelenia Góra	58-400 Jelenia Góra ul. Kilińskiego 6	16.1981864	51.0472925
JPG Jelenia Góra	56-500 Jelenia Góra ul. Sobolew 6	16.6599967	50.8704394
JPG Jelenia Góra	56-600 Jelenia Góra ul. Sudecka 2	16.7367028	50.9611105

Rys. 12. Ogólny widok bazy danych

Baza danych zawiera zbiór parametrów, które mogą być wykorzystane w obliczeniach. Są to:

- a) dane charakterystycznych dla danego typu pomieszczeń i budynków współczynników alfa, typowych materiałów palnych i charakterystyki osób,
- b) dane termofizyczne dotyczące materiałów palnych,
- c) krzywe eksperymentalne rozwoju pożaru,
- d) dane geograficzne jednostek straży pożarnej.

Literatura

- [1] BS 7974 BS 7974:2001 Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Code of practice.
- [2] CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6) – Technical Reference Guide, NIST Special Publication 1026.

Piotr TOFIŁO

Marek KONECKI

Jerzy GAŁAJ

Waldemar JASKÓŁOWSKI

Norbert TUŚNIO

Marcin CISEK

The System of Expertise Evaluation of Fire Threat and Fire Risk in Buildings

The article describes the system of expertise evaluation of fire threat and fire risk in buildings. The system is presently being developed in the Main School of Fire Service. In order to equip the groups of designers, specialists and verification bodies with understandable and easy available tools, it is necessary to build such a system. It will be developed according to the needs, to support and improve the state designing and constructing process in the area of fire safety engineering.

The system offers the following parametric and analytical modules: premises geometry, fire strength, convection column, smoke generation, detection, ventilation, evacuation, intervention, construction, sensitivity criteria, risk.

Keywords: threat assesment, risk, ventilation, evacuation, intervention.