

dr inż. **Dorota Brzezińska**¹

Przyjęty/Accepted/Принят: 06.05.2016;

Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 30.05.2016;

Opublikowany/Published/Опубликована: 30.06.2016;

Powstanie i rozwój inżynierii bezpieczeństwa pożarowego w Polsce

Origins and Development of Fire Safety Engineering in Poland

Происхождение и развитие инженерии пожарной безопасности в Польше

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest próba odpowiedzi na pytania: Jak powstała inżynieria bezpieczeństwa pożarowego na świecie? Czy w Polsce możemy już mówić o inżynierii pożarowej jako oficjalnym podejściu projektowym i jednocześnie dziedzinie nauki? Jakie są procedury postępowania przy projektowaniu zabezpieczeń przeciwpożarowych w oparciu o wyznaczone cele funkcjonalne i czym się różnią od tradycyjnego podejścia nakazowego? Kto powinien mieć uprawnienia do stosowania w procesie projektowym narzędzi inżynierii bezpieczeństwa pożarowego i jakie narzędzia są do tego najważniejsze?

Wprowadzenie: W ostatnich latach na całym świecie zauważono narastający problem braku wystarczających kwalifikacji wśród osób zajmujących się inżynierią bezpieczeństwa pożarowego. Zaledwie nieliczne kraje (takie jak m.in. USA, Wielka Brytania, Nowa Zelandia, Włochy) prowadzą dydaktykę w tym zakresie na uczelniach wyższych. Rozwój tej dziedziny nauki jest bardzo dynamiczny. Wciąż powstają kolejne wytyczne i przepisy regulujące zasady stosowania narzędzi inżynierii pożarowej. W Polsce już od około 14 lat praktykowane jest projektowanie wentylacji pożarowej w oparciu o sformułowane dla niej cele funkcjonalne i powoli metoda ta rozszerza się na inne systemy zabezpieczeń. Od kilku lat oczekują na wdrożenie nowoczesne dwustopniowe przepisy techniczno-budowlane. Przy projektowaniu powszechnie stosowane są symulacje komputerowe CFD i są one traktowane jako jedyne narzędzie inżynierskie. Brak wystarczającej wiedzy wśród części osób, które wykonują symulacje oraz nieweryfikowanie uzyskiwanych wyników poprzez przeprowadzenie niezależnych obliczeń innymi metodami, powodują, iż jakość analiz i realizowanych na ich podstawie projektów jest często niezadowalająca. W najbliższym czasie planowane jest wydanie wytycznych do wykonywania symulacji CFD, co powinno poprawić obecną sytuację. Coraz szerzej prowadzona jest także dydaktyka w zakresie inżynierii bezpieczeństwa pożarowego.

Metodologia: Artykuł opracowano w oparciu o najnowszą literaturę przedmiotu oraz doświadczenie własne autorki, poparte wieloletnią praktyką wykonywania w Polsce analiz zabezpieczeń przeciwpożarowych z wykorzystaniem metod inżynierskich oraz uczestnictwem w licznych konferencjach międzynarodowych oraz przeprowadzonymi testami i badaniami.

Wnioski: Ocena zaprezentowanych w artykule danych na temat aktualnego poziomu rozwoju inżynierii bezpieczeństwa pożarowego pozwala na stwierdzenie, że Polska jest w tej dziedzinie na etapie podobnym do większości krajów europejskich, a intensywnie działając na polu naukowo-dydaktycznym ma szansę dogonić światowych liderów.

Słowa kluczowe: inżynieria bezpieczeństwa pożarowego, cele funkcjonalne, CFD, ochrona przeciwpożarowa, symulacje komputerowe

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

ABSTRACT

Aim: The aim of the article is an attempt to answer the questions: How did fire safety engineering start in the world? Can we already talk in Poland about fire engineering design as an official approach and field of science? What are the procedures for designing performance-based fire protection and how they differ from the traditional prescriptive-based? Who should have permission to execute performance-based designs and what tools are most appropriate for it?

Introduction: In the recent years growing problem of insufficient qualifications among those involved in fire safety engineering was noted around the world. Only a few countries (such as USA, United Kingdom, New Zealand, Italy) have teaching courses in higher education. The development of this science is very dynamic and new guidelines and regulations on the use of tools of fire engineering constantly arise. In Poland for almost 14 years fire ventilation projects, based on performance-based methods are executed and slowly this method extends to other security systems. For several years, a modern two-stage code is waiting for implementation. When designing computer simulations CFD are commonly used and are treated as a unique engineering tool. Lack of sufficient knowledge of persons performing simulation and verification of the results by performing independent calculations by other methods, make the quality of the analyzes and projects based on them often unsatisfactory. In the nearest future a guidebook to perform CFD simulations is to be issued, which will hopefully improve the situation. Education in the field of fire safety engineering is still improving.

Analyzed issues: The article was developed based on literature of the subject and the author's own experience, supported by many years of performance-based fire protection analysis in Poland, participation in numerous international conferences and conducted tests and studies.

Summary: Evaluation of data presented in the article about the current level of development of fire safety engineering allows to say that

¹ Politechnika Łódzka / Lodz University of Technology; dorota.brzezinska@p.lodz.pl;

knowledge in this field in Poland is at a stage similar to other European countries, and still improving, thus we have a chance to catch up with the world leaders.

Keywords: fire safety engineering, performance-based methods, CFD, fire protection, computer simulations

Type of article: review article

АННОТАЦИЯ

Цель: Цель данной статьи состоит в том, чтобы попытаться ответить на вопросы: Как появилась инженерия пожарной безопасности в мире? Можем ли сказать, что в Польше функционирует инженерия пожарной безопасности в качестве официального подхода к проектированию и одновременно как область науки? Каковы процедуры при проектировании систем противопожарной защиты на основе функциональных целей и как они отличаются от традиционного директивного подхода? Кто должен иметь право использовать инструменты инженерии пожарной безопасности в процессе проектирования и какие инструменты для этого наиболее подходящие?

Введение: В последние годы во всем мире наблюдается растущая проблема недостаточного уровня квалификации среди людей, занимающихся инженерией пожарной безопасности. Только некоторые страны (например США, Великобритания, Новая Зеландия, Италия) проводят обучение в этой области в высших учебных заведениях. Развитие этой области очень динамично, постоянно вводятся новые требования и правила, регулирующие принципы использования инструментов инженерии пожарной безопасности. Несколько лет ожидают внедрения современные двухступенчатые технические и строительные правила. При проектировании обычно используется компьютерное моделирование вычислительной гидродинамики (CFD) и оно рассматривается в качестве единственного инженерного инструмента. Отсутствие необходимого уровня знаний со стороны лиц, осуществляющих моделирование и проверки полученных результатов с использованием независимых расчетов различными методами, приводят к тому, что качество анализов и реализуемых на их основе проектов часто есть неудовлетворительное. В ближайшее время планируется опубликовать руководство для проведения моделирования CFD, которое, как мы надеемся, будет способствовать улучшению этой ситуации. Все чаще проводятся также обучения в области инженерии пожарной безопасности.

Методология: Статья была разработана на основе новейшей тематической литературы и собственного опыта автора, включающего многолетнюю практику по проведении анализов систем пожарной защиты в Польше с использованием инженерных методов, а также участие во многих международных конференциях и проведение опытов и исследований.

Выводы: Оценка представленных в статье данных о текущем уровне развития инженерии пожарной безопасности приводит к выводу, что Польша находится в этой области на похожем уровне, что и большинство европейских стран, а принятие активных исследовательско-дидактических действий даст нам шансы догнать мировых лидеров.

Ключевые слова: инженерия пожарной безопасности, функциональные цели, CFD, противопожарная охрана, компьютерное моделирование

Вид статьи: обзорная статья

1. Wprowadzenie

Inżynierskie podejście do projektowania zabezpieczeń przeciwpożarowych polega na analizie reprezentatywnych scenariuszy pożarowych i ilościowej ocenie różnych rozwiązań techniczno-organizacyjnych, z wykorzystaniem narzędzi i metod inżynierskich i w odniesieniu do wcześniej sformułowanych celów. Definicja ta identyfikuje trzy składowe inżynierskiego projektowania w ochronie przeciwpożarowej, którymi są:

1. Opis oczekiwanego poziomu bezpieczeństwa w analizowanym obiekcie w przypadku wystąpienia pożaru;
2. Identyfikacja założeń projektowych w zakresie parametrów analizowanego obiektu, pożarów projektowych, warunków ewakuacji;
3. Analizy inżynierskie proponowanych rozwiązań i ocena, które z nich zapewniają oczekiwany poziom bezpieczeństwa [1-2].

W większości przypadków analiza inżynierska wykracza poza zakres prostej oceny oddziaływania pożaru na użytkowników i konstrukcję obiektu. Wymaga ona wnikliwego uwzględnienia zasad rozwoju pożaru czy psychologii ludzi. Niniejszy artykuł omawia podstawowe zasady projektowania systemów przeciwpożarowych w budynkach w oparciu o metody inżynierskie bezpieczeństwa pożarowego. Jest on otwarciem utworzonego z początkiem 2016 roku w kwartalniku „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza” działu, w całości poświęconego inżynierskiemu bezpieczeństwu pożarowemu i zaproszeniem do nadsyłania kolejnych artykułów związanych z tą tematyką.

2. Inżynieria bezpieczeństwa pożarowego oparta o cele funkcjonalne

W ramach realizacji projektu opartego o zasady inżynierskie bezpieczeństwa pożarowego, w efekcie przeprowadzonej analizy inżynierskiej, zmierza się do uzyskania poziomu bezpieczeństwa budynku, który będzie odpowiadał co najmniej poziomowi wymaganemu przez lokalne przepisy nakazowe. Należy jednak mieć na uwadze, że poziom ten nie jest nigdy ilościowo jednoznacznie zdefiniowany. Podobnie jak nie jest określona wielkość pożaru, jaki w danym budynku wystąpi i na jakiego oddziaływanie budynek należy przygotować. Przyjęty w ten sposób standard ochrony przeciwpożarowej zapewnia zazwyczaj skuteczną ochronę dla większości typowych i najczęściej występujących zdarzeń pożarowych, jednak zawsze pozostaje niewielkie prawdopodobieństwo wystąpienia pożaru, którego parametry nie były przewidywane.

Inżynieria pożarowa powstała na początku lat 70. w Stanach Zjednoczonych, gdzie po raz pierwszy oficjalnie sformułowane zostały cele ochrony przeciwpożarowej budynków przez U. S. General Services Administration. W kolejnych latach podejście to zaczęło się rozpowszechniać na świecie poprzez wydawane w różnych krajach standardy, wytyczne i przepisy, takie jak:

- 1985, Wielka Brytania – przepisy oparte o cele funkcjonalne (The performance-based British Regulations);
- 1988, USA – pierwsza edycja Poradnika Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego SFPE (SFPE Handbook of Fire Protection Engineering);

- 1992, Nowa Zelandia – przepisy oparte o cele funkcjonalne (The performance-based New Zealand building code);
- 1994, Nowa Zelandia – przewodnik projektowy inżynierii bezpieczeństwa pożarowego (New Zealand Fire Engineering Design Guide);
- 1995, Australia – przepisy i przewodnik projektowy inżynierii bezpieczeństwa pożarowego (The Performance Building Code of Australia and the Australian Fire Engineering Guidelines);
- 1995, Finlandia – wymagania z zakresu celów funkcjonalnych w ochronie przeciwpożarowej oraz wymagań technicznych do ich weryfikacji za pomocą obliczeń (Performance Requirements for Fire Safety and Technical Guide for Verification by Calculation by the Nordic Committee on Building Regulations);
- 2000, USA – poszerzenie możliwości stosowania zasad projektowania w oparciu o cele funkcjonalne w NFPA 101 (NFPA 101, Life Safety Code);
- 2000, USA – publikacja Poradnika inżynierii bezpieczeństwa pożarowego opartej o cele funkcjonalne (SFPE Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection Analysis and Design of Buildings);
- 2000, Japonia – publikacja przepisów opartych o cele funkcjonalne (Japanese performance based Building Standard Law);
- 2001, USA – standard International Code Council dla budynków (ICC Performance Code for Buildings and Facilities);
- 2003, USA – poszerzenie możliwości stosowania zasad projektowania w oparciu o cele funkcjonalne w NFPA 5000 (NFPA 5000, Building Construction and Safety Code) [1].

Wymienione wyżej publikacje należą jedynie do oficjalnych dokumentów, jakie ukazywały się na świecie w początkowych latach wprowadzania zasad inżynierii pożarowej. W rzeczywistości jej stosowanie było znacznie szerzej praktykowane, gdyż projektowanie w oparciu o cele funkcjonalne znajdowało zastosowanie przez długi czas jako metoda równoważna lub alternatywna dla przepisów nakazowych, w których wprowadzano jedynie dopuszczenie do jej stosowania. Taka zasada istnieje do dnia dzisiejszego w Polsce. Ponieważ jednak kryteria wspomnianej „równoważności” nie były nigdzie ujednolicone, projektanci dobierali je w sposób uznaniowy. W efekcie zostały one ujęte w wielu krajach w wyszczególnionych powyżej wytycznych i przepisach.

W Polsce wiedza na temat inżynierii pożarowej i opartych o cele funkcjonalne technik projektowania zaczęła rozpowszechniać się około roku 2000 i była wówczas wykorzystywana przede wszystkim w zakresie systemów wentylacji pożarowej. W 2009 roku, po nowelizacji rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [3] nastąpił przełom w zakresie stosowania metod inżynierskich w ochronie przeciwpożarowej. Przyczyną był nowy zapis w § 270 ust. 1 rozporządzenia [3] mówiący, iż instalacja wentylacji oddymiającej ma zapewniać usuwanie dymu z taką intensywnością, aby w czasie potrzebnym do ewakuacji ludzi na chronionych przejściach i drogach ewakuacyjnych nie wystąpiło przekroczenie poziomu zadymienia lub temperatury w stopniu uniemożliwiającym bezpieczną ewakuację. Zaistniała zatem potrzeba wyznaczania w projektowanych budynkach przewidywanego czasu ewakuacji ludzi oraz warunków rozwoju pożaru i jego parametrów na drogach ewakuacyjnych. Do dziś projekty systemów wentylacji pożarowej są najczęstszym przypadkiem stosowania metod inżynierskich.

3. Projektowanie zabezpieczeń przeciwpożarowych w oparciu o cele funkcjonalne

Projektowanie systemów ochrony przeciwpożarowej w oparciu o cele funkcjonalne powszechnie stosowane jest w trzech sytuacjach – w uzupełnieniu do przepisów nakazowych, jako realizacja przepisów opartych o cele funkcjonalne lub jako analizy niezależne, wykonywane bez powiązania z przepisami krajowymi. W Polsce funkcjonuje przede wszystkim przypadek pierwszy, gdyż nie istnieją na razie przepisy oparte o cele funkcjonalne, a metody inżynierskie w ochronie przeciwpożarowej wykorzystywane są jako uzupełnienie przepisów nakazowych. Ma to miejsce w najczęściej w dwóch sytuacjach:

- a) kiedy przepisy nie określają w sposób jednoznaczny parametrów danego elementu budowlanego bądź instalacji, a jedynie wytyczają cel, jaki należy za jego pomocą osiągnąć (np. we wspomnianym wcześniej przypadku związanym z wentylacją oddymiającą, która zgodnie z rozporządzeniem ministra infrastruktury [2] powinna zapewnić usuwanie dymu z intensywnością, która pozwoli zapobiec zadymieniu lub wzrostowi temperatury na chronionych przejściach i drogach ewakuacyjnych w czasie potrzebnym do ewakuacji ludzi).
- b) kiedy nie jest możliwe zastosowanie rozwiązań wymaganych bezpośrednio przez przepisy i zastosowane zostają rozwiązania alternatywne, takie jak:
 - odstępstwo od wymagań obowiązujących przepisów, w przypadku budynków nowych na zasadach zgodnych z art. 9 ust. 1 Ustawy z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane,
 - rozwiązania zastępcze, związane z przebudową, nadbudową lub zmianą sposobu użytkowania budynków istniejących oraz w przypadku stwierdzenia w istniejących budynkach zagrożenia życia ludzi,
 - rozwiązania zamiennie, w przypadku braku możliwości realizacji wymagań przepisów przeciwpożarowych.

Wymienione wyżej pojęcia rozwiązań zamiennych i zastępczych zdefiniowane zostały w procedurach Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej (KG PSP) [4] jako:

- rozwiązania zastępcze – rozwiązania spełniające wymagania w zakresie bezpieczeństwa pożarowego w inny sposób niż określono w przepisach techniczno-budowlanych zapewniający akceptowalny poziom bezpieczeństwa ludzi i mienia;
- rozwiązania zamiennie – rozwiązania spełniające wymagania w zakresie bezpieczeństwa pożarowego w inny sposób niż określono w przepisach przeciwpożarowych, zapewniający nie pogorszenie warunków ochrony przeciwpożarowej.

3.1. Wady i zalety projektowania w oparciu o cele funkcjonalne

Inżynierskie podejście do projektowania zabezpieczeń przeciwpożarowych w oparciu o cele funkcjonalne posiada cały szereg zalet, ale ma również swoje wady.

Podstawową zaletą, dzięki której następuje ciągły rozwój tych metod, jest możliwość indywidualnego podejścia do każdego obiektu i zoptymalizowania zastosowanych w nim rozwiązań z zakresu ochrony przeciwpożarowej. Ponadto podczas projektowania w oparciu o cele funkcjonalne projektant bardziej wnikliwie analizuje i poznaje rzeczywiste zagrożenia, jakie mogą wystąpić w budynku w przypadku pożaru.

Wadą podejścia inżynierskiego są jednak wyższe wymagania w zakresie doświadczenia i umiejętności analitycznych osób wykonujących projekty niż w przypadku stosowania metod nakazowych, które w praktyce wymagają jedynie umiejętności prawidłowego określania poszczególnych parametrów obiektu i odczytania w przepisach odpowiednich dla niego wymagań. Trudniejsza jest także weryfikacja projektów opartych o cele funkcjonalne, która wymaga posiadania głębokiej wiedzy inżynierskiej również przez osoby sprawujące nadzór nad projektami i realizacją budynków. Oznacza to, iż w miarę rozwoju metod inżynierskich w ochronie przeciwpożarowej konieczny jest wzrost edukacji w tym zakresie, o czym będzie mowa w dalszej części artykułu. Kolejną wadą jest fakt, iż metody inżynierskie są bardziej czułe na wszelkie zmiany, jakie pojawiają się w obiekcie, gdyż uwzględniają znacznie więcej jego szczegółów. Przykładem mogą być zmiany architektoniczne, które często mają wpływ na instalację oddymiającą. Oczywiście również przepisy nakazowe przewidują korekty wymagań przeciwpożarowych dla budynku w sytuacji dużych zmian jego parametrów czy przeznaczenia, jednak ze względu na ich budowę, opartą o przedziałowość poszczególnych pa-

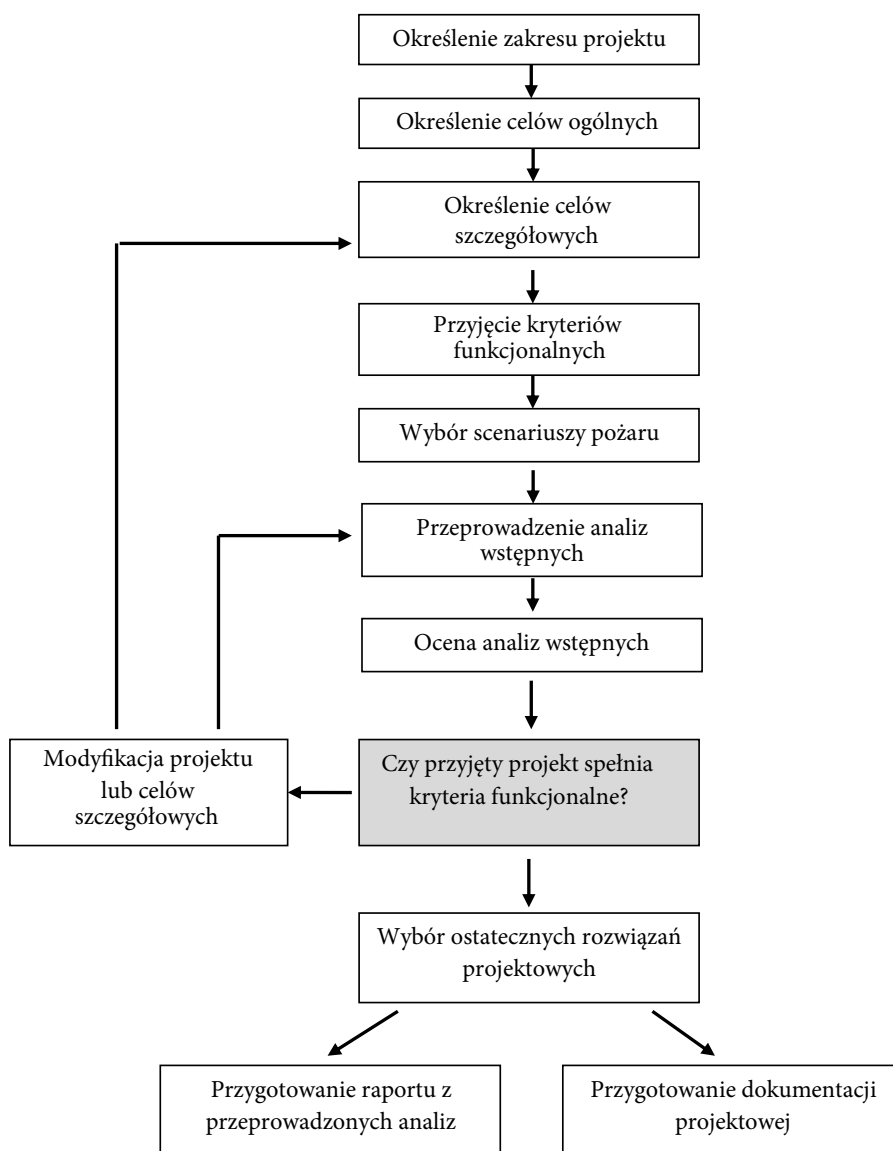
rametrów, są one mniej wrażliwe na niewielkie modyfikacje projektu [1].

3.2. Etapy projektowania w oparciu o cele funkcjonalne

Proces projektowy oparty o cele funkcjonalne powinien rozpocząć się już w początkowej fazie powstawania inwestycji. Wczesne rozpoczęcie działań przez inżyniera pożarowego umożliwia:

- większy poziom elastyczności w projekcie,
- możliwość zastosowania innowacyjnych rozwiązań konstrukcyjnych, architektonicznych i wykończeniowych,
- uzyskanie wysokiego poziomu bezpieczeństwa pożarowego,
- maksymalną optymalizację kosztów w stosunku do jakości rozwiązań.

Ogólny przebieg procesu projektowego opartego o cele funkcjonalne jest wieloetapowy, co przedstawia schemat na ryc. 1 [1-2].



Ryc. 1. Schemat przebiegu procesu projektowego opartego o cele funkcjonalne [1-2]

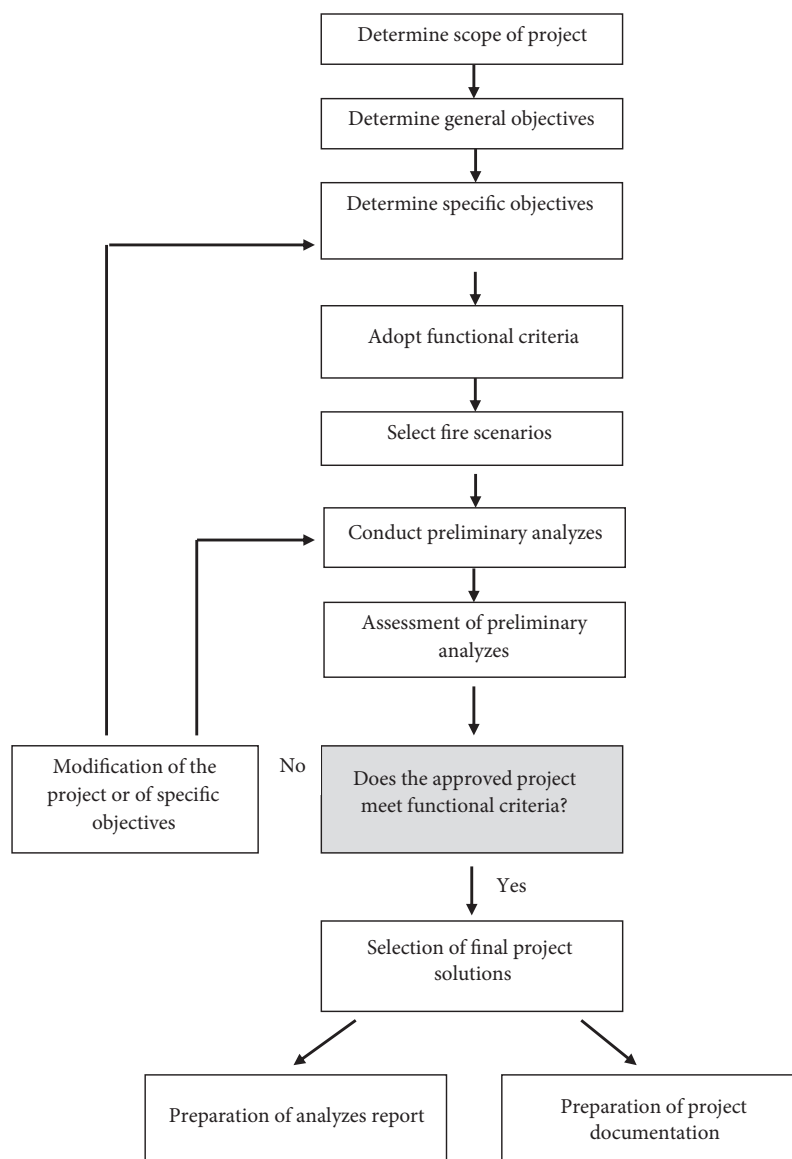


Fig. 1. Flow chart of the designing process based on functional goals [1-2]

Charakterystyczną cechą projektu opartego o cele funkcjonalne jest fakt, iż w jego efekcie może powstać nieskończona liczba różnych rozwiązań, które zapewnią osiągnięcie wymaganego poziomu bezpieczeństwa pożarowego obiektu. Dlatego tak ważne jest, aby jego rozpoczęcie nastąpiło w początkowym stadium projektowania, kiedy możliwe jest wypracowanie optymalnych rozwiązań, zarówno ze strony architekta, jak i konstruktora, czy projektantów branżowych. Poniżej przedstawiono kolejne etapy procesu projektowego opartego o cele funkcjonalne.

Określenie zakresu projektowego, będące pierwszym krokiem tego procesu, polega na zidentyfikowaniu i stworzeniu dokumentacji w zakresie takich elementów jak:

- nakreślenie pierwszych szkiców konstrukcji planowanego obiektu oraz wyspecyfikowanie oczekiwań inwestora,
- określenie przeznaczenia i funkcji budynku,
- charakterystyka budynku i jego użytkowników,
- wybór uczestników projektu,
- wybór standardów w oparciu o które realizowany będzie projekt,

W praktyce, w metodzie inżyneryjnej, etap ten jest bar-

dzo podobny jak przy realizacji projektu opartego o metodę nakazową, jednak w tym przypadku następuje wyłonienie elementów, które nie będą realizowane zgodnie z wymaganiami obowiązujących przepisów i wymagają zastosowania metod opartych o cele funkcjonalne.

Kolejnym etapem jest **określenie ogólnych celów** ochrony przeciwpożarowej realizowanego projektu. Zgodnie z definicją pod pojęciem celu ogólnego projektu rozumie się opis i oczekiwaną miarę ilościową funkcjonalności, do której porównywana ma być wartość poszczególnych parametrów projektowych [2]. Cele te powinny być sformułowane w sposób jasny, zrozumiały dla całego zespołu projektowego, tak aby wszyscy jego członkowie przestrzegali ustalonych dla budynku wymagań z zakresu ochrony przeciwpożarowej. Generalnie, celami ogólnymi, są cztery podstawowe elementy, wymienione poniżej, których hierarchia może być różna w zależności od rodzaju budynku i jego przeznaczenia:

- bezpieczeństwo życia ludzi,
- ochrona mienia,
- utrzymanie ciągłości produkcji,
- ochrona środowiska.

Trzecim krokiem jest **opracowanie celów szczegółowych**, które polega na doszczegółowieniu celów ogólnych, przede wszystkim, poprzez określenie ich ilościowych kryteriów oceny. Mogą one obejmować wyznaczenie dopuszczalnych poziomów strat, tolerowanego poziomu ryzyka, maksymalnych czasów przestoju zakładu. W aspekcie bezpieczeństwa ludzi można także określić maksymalne tolerowane obrażenia osób. W dalszej kolejności postępowania następuje **przyjęcie kryteriów funkcjonalnych**, czyli ustalenie wartości granicznych parametrów pożaru, które zapewnią realizację wcześniej sformułowanych celów szczegółowych. Kryteria te mogą określać na przykład dopuszczalną temperaturę na drogach ewakuacyjnych w warstwie podstropowej czy na powierzchni urządzeń, graniczną wartość stężenia dymu oraz promieniowania cieplnego. Odrębnie specyfikuje się kryteria dotyczące bezpieczeństwa życia ludzi i warunków ich ewakuacji, a odrębnie pozostałe, które mogą zapobiegać rozprzestrzenianiu się pożaru, uszkodzeniom konstrukcji obiektu, znajdujących się w nim urządzeń bądź minimalizować skutki oddziaływania pożaru na środowisko. Ze względu na różnorodność obiektów i rozwiązań projektowych, kryteria funkcjonalne nie zostały dotychczas ujednolicone i każdorazowo należy ich poszukiwać w dostępnych źródłach literaturowych lub przepisach lokalnych. Przykładowo w Polsce zostały uregulowane w 2011 roku parametry graniczne pożaru zapewniające odpowiednie warunki ewakuacji. Wartości przyjmowane na etapie projektowania zapisano na razie tylko w rozporządzeniu dotyczącym warunków technicznych dla stacji metra [6]. Zgodnie z nim za parametry krytyczne na drogach ewakuacyjnych przyjmuje się:

1. Zadymienie na wysokości $\leq 1,8$ m od posadzki, ograniczające widzialność krawędzi elementów budynku i znaków ewakuacyjnych luminescencyjnych nie więcej niż do 10 m, oraz

2. Temperaturę powietrza na wysokości $\leq 1,8$ m od posadzki nieprzekraczającą 60°C , a w warstwie podsufitowej – na wysokości $> 2,5$ m – 200°C , ze względu na związane z tym promieniowanie cieplne.

Na podstawie omówionych powyżej celów formułowane są wymagania w zakresie ochrony przeciwpożarowej obiektu, tak aby zastosowane rozwiązania zapewniały oczekiwany poziom bezpieczeństwa.

Następnym etapem jest **dobór scenariuszy pożaru**, za pomocą których ustalone dotychczas cele oraz zabezpieczenia pożarowe budynku zostaną zweryfikowane. W ramach scenariuszy pożaru przyjmowane są parametry pożaru obliczeniowego odpowiednie dla danego rodzaju budynku. Analiza rozwoju przyjętego pożaru przeprowadzana jest z uwzględnieniem parametrów elementów konstrukcyjnych, przewidywanej liczby osób i warunków ich ewakuacji, które zostały określone na etapie projektu wstępnego architektury budynku. Scenariusz pożaru składa się zatem z charakterystyki trzech elementów: parametrów analizowanego pożaru oraz charakterystyki budynku i jego użytkowników. *Poradnik Inżynierski Stowarzyszenia Inżynierów Bezpieczeństwa Pożarowego* [2] (ang. Society of Fire Protection Engineers - SFPE) zaleca dwustopniowy proces identyfikacji najbardziej odpowiednich scenariuszy pożaru. W pierwszej kolejności rozważane są wszystkie możliwe scenariusze wystąpienia pożaru. Na ich podstawie wskazywane są scenariusze reprezentatywne, poddawane dalszym analizom i ocenie, czy przy ich wystąpieniu w budynku możliwe jest spełnienie wcześniej sformułowanych celów ogólnych i szczegółowych.

Charakterystyka budynku w scenariuszu pożarowym opisuje jego cechy fizyczne, przeznaczenie, zawartość i otaczające środowisko. Może ona mieć wpływ na warunki ewakuacji ludzi, rozwój pożaru oraz rozprzestrzenianie się dymu. Powinna ona uwzględniać takie informacje jak:

- układ architektoniczny,
- elementy konstrukcyjne,
- systemy przeciwpożarowe,
- instalacje i procesy przebiegające w budynku,
- przewidywaną reakcję służb ochrony budynku,
- czynniki środowiskowe.

Charakterystyka użytkowników budynku musi być zdefiniowana w celu określenia przewidywanego przebiegu ich ewakuacji. Powinna ona uwzględniać takie informacje jak:

- liczba osób i ich rozmieszczenie w poszczególnych częściach budynku,
- stopień czujności (np. osoby mogące spać),
- stopień zaangażowania,
- możliwości fizyczne i umysłowe (np. użytkownicy o ograniczonej zdolności poruszania się),
- znajomość obiektu i pełniona w nim rola,
- stopień przeszkolenia na wypadek pożaru.

Z kolei charakterystyka pożaru przedstawia przewidywany scenariusz jego wystąpienia i rozwoju, obejmując:

- lokalizację pożaru,
- źródła zapłonu,
- szybkość rozwoju pożaru,
- czas trwania pożaru,
- wystąpienie rozgorzenia,
- fazę pełnego rozwoju pożaru,
- fazę zaniku,
- ugaszenie.

W przypadku obiektów, dla których najczęściej przeprowadzane są analizy oparte o cele funkcjonalne (np. galerie handlowe, garaże, hale widowiskowo sportowe, tunele itp.), dostępne źródła literatury podają dane na temat zalecanych parametrów pożarów projektowych. W innych przypadkach inżynier przygotowujący analizę powinien przeprowadzić w budynku szczegółowy przegląd rozmieszczenia materiałów palnych i potencjalnych źródeł zapłonu i na tej podstawie określić przewidywaną lokalizację i parametry rozwoju pożaru projektowego.

Po ustaleniu ostatecznych, reprezentatywnych scenariuszy pożaru, należy przejść do etapu kolejnego, którym są **analizy wstępne**. Mają one na celu sprawdzenie, czy przyjęte w projekcie rozwiązania techniczno-organizacyjne, uwzględnione w reprezentatywnych scenariuszach pożarowych, zapewniają w budynku osiągnięcie wytyczonych celów ochrony pożarowej. **Ocena analiz wstępnych** dokonywana jest poprzez porównanie uzyskanych w nich wyników z przyjętymi kryteriami funkcjonalnymi. W przypadku, kiedy rozwiązania przyjęte w analizowanym projekcie nie spełniają kryteriów funkcjonalnych dla poszczególnych scenariuszy pożarowych, konieczne jest powrót do charakterystyki budynku, pożaru lub użytkowników i ich odpowiednia modyfikacja. Najczęściej modyfikowane są w takiej sytuacji charakterystyczne parametry budynku, choć możliwa jest również korekta charakterystyki użytkowników bądź pożaru. Po wprowadzeniu korekt należy ponownie przeprowadzić analizy wstępne i ich ocenę, aż uzyskane zostanie spełnienie kryteriów funkcjonalnych.

Po spełnieniu kryteriów funkcjonalnych możliwe jest już wskazanie poprawnych rozwiązań projektowych i **wyбір rozwiązań ostatecznych**. Ostatnim etapem jest sporządzenie dokumentacji, w skład której wchodzi **raport z przeprowadzonych analiz** oraz **projekty techniczne** uwzględniające wyłonione na podstawie analiz optymalne rozwiązania. **Raport z przeprowadzonych analiz, stanowiący podstawę do realizacji projektu opartego o cele funkcjonalne, jest bardzo istotnym dokumentem, stanowiącym dowód, iż przyjęte w projekcie rozwiązania spełniają kryteria funkcjonalne.** Zgodnie z *Poradnikiem inżynierskim SFPE* [2] powinien on zawierać:

- oświadczenie o kwalifikacjach zawodowych inżynierów przeprowadzających analizy (poświadczenia dot. wykształcenia, doświadczenia, posiadanych certyfikatów, członkostwa w komitetach technicznych, referencji itp.),
- zakres projektu, szczegółowa charakterystyka analizowanego budynku i jego użytkowników,
- zestawienie przyjętych celów ogólnych i szczegółowych oraz kryteriów funkcjonalnych,
- dobór scenariuszy pożaru,
- ostateczną wersję projektu, jaki został przyjęty do realizacji,
- wyniki analiz wstępnych i ich ocenę wraz z opisem narzędzi wykorzystanych do ich przeprowadzenia,
- istotne elementy i założenia projektu, wskazujące parametry i założenia projektowe, które muszą być utrzymane przez cały cykl życia budynku, tak by przyjęte rozwiązanie projektowe mogło funkcjonować zgodnie z przeznaczeniem,
- literaturę i cytowane publikacje, stanowiące podstawę przyjętych celów, kryteriów funkcjonalnych i scenariuszy pożaru.

3.3 Narzędzia wykorzystywane do projektowania w oparciu o cele funkcjonalne

Do dyspozycji inżynierów bezpieczeństwa pożarowego jest obecnie dostępny szeroki zakres narzędzi analitycznych, które mogą być wykorzystane przy stosowaniu metod opartych o cele funkcjonalne. Dzieli się je na metody oparte o analizę ryzyka i metody deterministyczne [1].

W przypadku stosowania metod opartych o analizę ryzyka określane są wszystkie możliwe scenariusze zdarzeń, jakie mogą wystąpić w budynku, wraz z oszacowaniem prawdopodobieństwa ich wystąpienia i potencjalnymi konsekwencjami. Dla każdego ze scenariuszy wyznaczane jest ryzyko, będące iloczynem prawdopodobieństwa zaistnienia danego zdarzenia i jego konsekwencji. Ryzyko to porównywane jest następnie z ustalonymi wcześniej wartościami granicznymi, najczęściej przedstawionymi w formie macierzy ryzyka. Scenariusze wraz z odpowiadającymi im rozwiązaniami technicznymi, dla których wyznaczone ryzyko jest mniejsze od dopuszczalnego, uznawane są za akceptowalne. Podstawową wadą metod opartych o analizę ryzyka jest jednak brak wystarczającej ilości danych statystycznych na temat niezawodności różnych urządzeń i systemów przeciwpożarowych, które szczególnie w Polsce nie są odpowiednio dokumentowane i archiwizowane. Powszechnym problemem jest również różny poziom usług montażowych świadczonych przez wykonawców systemów przeciwpożarowych oraz często niewłaściwy sposób ich utrzymania i konserwacji przez właścicieli i zarządców budynków. W efekcie metody te w ochronie przeciwpożarowej nie są w Polsce właściwie wcale używane.

W metodach deterministycznych wybrane scenariusze zdarzeń poddawane są analizie ilościowej, której wyniki porównywane są z przyjętymi kryteriami funkcjonalnymi, co pozwala na ich akceptację lub odrzucenie. W metodach tych najczęściej przeprowadzane są symulacje komputerowe CFD (ang. *computational fluid dynamics*), których rozwój w zakresie analiz rozwoju pożaru i rozprzestrzeniania się dymu rozpoczął się już na początku lat osiemdziesiątych. Pierwszymi ośrodkami naukowymi, które się tym zajmowały były The National Bureau of Standards, obecnie znane jako Narodowy Instytut Standardów i Technologii (ang. National Institute of Standards and Technology NIST) w USA oraz Building Research Establishment (BRE) w Wielkiej Brytanii. Opis ruchu płynu w programach CFD wykonuje się przy użyciu cząstkowych równań różniczkowych Naviera-Stokesa (N-S), które wyrażają matematyczne zasady zachowania masy, pędu

i energii. Jednym z najważniejszych elementów składowych tych programów jest zawarty w nich model służący do opisu turbulencji przepływu płynu. Stosowane są przy tym dwa podstawowe modele:

- dwurównaniowy model (k- ϵ) oparty o koncepcję lepkości turbulentnej (RANS), wykorzystywany w programach takich jak Jasmine, Smartfire, Sofie,
- model symulacji wielkich wirów (LES), dzielący wiry na duże – bezpośrednio obliczane za pomocą równań N-S oraz małe – modelowane na podstawie odpowiednich zależności, wykorzystywany w najczęściej obecnie używanym programie FDS. Model LES umożliwia dokładniejszy opis zjawiska turbulencji, wymaga jednak większych mocy obliczeniowych komputerów niż model RANS, co powodowało, że we wczesnych latach rozwoju technik CFD był rzadko stosowany.

Obecnie techniki komputerowe CFD umożliwiają precyzyjną ocenę warunków panujących w przypadku wystąpienia pożaru nawet w obiektach o bardzo skomplikowanej geometrii, z uwzględnieniem zastosowanych w nich systemów ochrony przeciwpożarowej. **Warunkiem wiarygodności otrzymanych rezultatów jest jednak pewność, że symulacje przeprowadzono w sposób prawidłowy.** Oceny prawidłowości wykonania symulacji komputerowych dokonuje się na podstawie analizy następujących kwestii:

- a) czy do przeprowadzonych symulacji wykorzystano właściwy program komputerowy,
- b) czy przyjęto odpowiednie założenia,
- c) czy prawidłowo odczytano i zinterpretowano otrzymane wyniki.

Symulacje komputerowe rozwoju pożaru i rozprzestrzeniania się dymu w obiektach budowlanych wykonywane są obecnie za pomocą dwóch rodzajów programów komputerowych. Do pierwszej grupy należą programy specjalnie stworzone do tego typu analiz, takie jak FDS (NIST), Jasmine (BRE), czy Smartfire (Uniwersytet Greenwich), które od wielu lat są weryfikowane i udoskonalane tak, aby coraz dokładniej opisywały zjawiska pożaru i rozprzestrzeniania się dymu. Do drugiej grupy należą programy utworzone z myślą o symulowaniu wielu zjawisk należących do szeroko pojętej dynamiki płynów, takie jak Fluent, Phoenix czy CFX, posiadające ogólnie znacznie większe możliwości od programów z grupy pierwszej, ale jednocześnie znacznie mniej przystosowane do omawianych tu analiz, a przez to zwiększające prawdopodobieństwo popełnienia błędów przy ich wykonywaniu.

Podstawą do podjęcia decyzji o wyborze programu komputerowego do przeprowadzenia danej analizy jest informacja na temat jego **walidacji** (w tym przypadku - potwierdzenia trafności zastosowanych równań jako modelu matematycznego rozwoju rozpatrywanego rodzaju pożaru i rozprzestrzeniania się dymu [7]) w konkretnym obiekcie. Ocena modelu jest decydująca przy określaniu jego dopuszczalnych zastosowań i ograniczeń. Informacje na temat walidacji poszczególnych programów są dostarczane przez ich twórców w oparciu o porównanie wyników obliczeń przeprowadzonych przy pomocy danego modelu komputerowego z wynikami pomiarów badań w skali rzeczywistej. Te różnice wyników, których nie da się wyjaśnić błędami obliczeniowymi modelu lub niedokładnością pomiarów, muszą być przypisane błędom w założeniach lub uproszczeniom modelu fizycznego. Ze względu na znaczne koszty przeprowadzania badań pożarów obiektów budowlanych w skali rzeczywistej, wystarczającą ilość danych, umożliwiających prawidłową walidację swoich programów są w stanie zgromadzić jedynie największe ośrodki specjalizujące się w tej dziedzinie.

Istotnym elementem wykonywania symulacji komputerowych CFD jest także ich **weryfikacja**, polegająca na sprawdzeniu poprawności rozwiązania zastosowanych w programie

równań. W tym zakresie szczególnie istotnym czynnikiem jest liczba czynnych użytkowników danego oprogramowania, którzy przeprowadzając różnego typu analizy, weryfikują prawidłowość ich działania i przekazują producentom uwagi o wszelkich nieprawidłowościach. Jak wspomniano, obecnie zdecydowanie największą liczbę użytkowników posiada program FDS.

4. Bieżący rozwój inżynierii bezpieczeństwa pożarowego

Jak wspomniano wcześniej, doświadczenie i odpowiednie wykształcenie inżynierów wykonujących analizy z zakresu ochrony przeciwpożarowej w oparciu o cele funkcjonalne jest podstawowym warunkiem wiarygodności i odpowiedniej jakości tych analiz. W Polsce nie funkcjonuje obecnie kierunek kształcenia ściśle przygotowujący do tego zawodu. W krajach, w których metodologia ta pojawiła się znacznie wcześniej, takich jak USA, Wielka Brytania, Nowa Zelandia, Australia, wyższe uczelnie stworzyły już odpowiedni profil studiów. Wciąż jednak istnieją problemy z ujednoczeniem poziomu kształcenia i wyeliminowaniem problemu wykonywania analiz przez osoby niewykwalifikowane. O skali problemu świadczy fakt, iż był on najważniejszym zagadnieniem podczas pierwszej edycji europejskiej konferencji Stowarzyszenia Inżynierów Bezpieczeństwa Pożarowego pod nazwą „1st SFPE Europe Conference on Fire Safety Engineering”, która odbyła się w Kopenhadze w dniach 4-5 czerwca 2015 roku. Działające od 1971 roku Stowarzyszenie Inżynierów Bezpieczeństwa Pożarowego (Society of Fire Protection Engineers – SFPE) ma obecnie ponad 4000 członków na całym świecie, zrzeszonych w 60 oddziałach. Celem SFPE jest stymulowanie postępu nauki i praktyki w inżynierii ochrony przeciwpożarowej i jej pokrewnych dziedzinach, utrzymanie wysokiego standardu etycznego wśród swoich członków oraz wspieranie edukacji z zakresu inżynierii pożarowej. Polski oddział powstał w 2011 roku i prężnie się rozwija.

Konferencję w Kopenhadze otworzył Graham Spinardi z Uniwersytetu w Edynburgu. Podkreślił on, że obecnie brakuje na świecie systemu licencjonowania inżynierów bezpieczeństwa pożarowego, co powoduje, że niejednokrotnie analizy obiektów budowlanych pod względem pożarowym i dobór systemów zabezpieczeń, wykonywane są przez osoby niewystarczająco kompetentne. Temat ten, wraz z kwestią ujednoczenia systemu edukacji w zakresie inżynierii pożarowej, stanowił także przedmiot debaty pomiędzy przedstawicielami europejskich oddziałów SFPE, którzy podjęli wyzwanie uporządkowania tej kwestii. Przedstawiciele różnych krajów omawiali ich aktualny poziom rozwoju inżynierii pożarowej. Dużym zaskoczeniem dla uczestników konferencji okazało się wystąpienie przedstawiciela Włoskiego Ministerstwa Spraw Wewnętrznych – Emanuele Gissi, który omówił tamtejsze, bardzo odważne i nowatorskie dokonania w zakresie wdrażania „inżynierskiego systemu ochrony przeciwpożarowej”. Jak się okazało, w ubiegłym roku we Włoszech, gdzie wcześniej metody inżynierskie były stosowane w nie więcej niż 20% realizowanych projektów, przygotowane zostały nowe przepisy, wręcz zalecające takie podejście. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych, znane jako „Nowy Kodeks Profilaktyki Pożarowej” [8] zostało opublikowane we włoskim dzienniku ustaw w sierpniu ubiegłego roku. Nowy kodeks ma na celu uproszczenie i racjonalizację obecnego zbioru przepisów dotyczących zapobiegania pożarom, poprzez wprowadzenie ujednoczonych i nowoczesnych zapisów w zakresie przepisów ekologicznych i przeciwpożarowych, zgodnych z normami międzynarodowymi. W celu zapewnienia odpowiedniego poziomu realizowanych projektów, włoskie ministerstwo opracowało specjalny program szkoleń

dla funkcjonariuszy straży pożarnej. Wydany też został lokalny *Fire Protection Handbook*, opracowany specjalny interfejs do programu FDS o nazwie „Blender FDS” oraz uruchomiony specjalny kierunek studiów z zakresu inżynierii pożarowej aż na czterech uczelniach. Wydaje się, że przykład Włoch może być doskonałą zachętą dla innych krajów, w tym także dla Polski.

W ramach dyskusji plenarnej na konferencji rozwinęła się także debata na temat sposobu weryfikacji umiejętności inżynierów bezpieczeństwa pożarowego, co stanowi obecnie problem we wszystkich krajach świata. Ogłoszono prośbę o nadsyłanie w tej kwestii wszelkich sugestii i pomysłów do lokalnych oddziałów SFPE, które mają za zadanie ich gromadzenie, a docelowo podjęcie próby stworzenia uregulowań. Poza kwestiami formalno-prawnymi na konferencji zaprezentowano także szereg zagadnień technicznych, które podzielono na sześć bloków tematycznych:

- modelowanie pożarów,
- studia przypadków,
- zdarzenia i testy,
- rozwój zrównoważony,
- ewakuacja z budynków,
- bezpieczeństwo konstrukcji.

Najświeższe doniesienia z Polski dają nadzieję, że również u nas nastąpi postęp w uregulowaniach kwestii projektowania zabezpieczeń przeciwpożarowych w oparciu o metody inżynierskie. Przesłanką ku temu są postanowienia ostatniego walnego zgromadzenia polskiego oddziału SFPE (SIBP), gdzie zapadły decyzje o przystąpieniu jego reprezentantów do kontynuacji rozpoczętego już w 2010 roku projektu stworzenia w Polsce lokalnych wytycznych do stosowania metod inżynierii pożarowej, w szczególności w oparciu o symulacje komputerowe. Obserwacje masowo rozwijającego się w naszym kraju popytu na analizy komputerowe rozwoju pożaru i rozprzestrzeniania się dymu i goniącej go podaży, której potrzeby niejednokrotnie realizowane są przez osoby nieposiadające w tym zakresie odpowiednich kompetencji, powodują, że projekt ten jest bardzo potrzebny.

5. Podsumowanie

Inżynierskie podejście do projektowania zabezpieczeń przeciwpożarowych, zapoczątkowane zostało w latach 70. XX wieku. Polega ono na analizie scenariuszy pożarowych i ilościowej ocenie różnych rozwiązań techniczno-organizacyjnych, z wykorzystaniem narzędzi i metod inżynierskich, reprezentatywnych w odniesieniu do wcześniej sformułowanych celów projektowych. W efekcie przeprowadzonej analizy inżynierskiej zmierza się do uzyskania poziomu bezpieczeństwa budynku co najmniej równego poziomowi wymaganemu przez przepisy nakazowe, korzystając jednocześnie z atutów tej metody, pozwalających na zastosowanie rozwiązań niestandardowych, często bardzo nowatorskich i ciekawych. Charakterystyczną cechą projektu opartego o cele funkcjonalne jest fakt, iż w jego efekcie może powstać nieskończona liczba różnych rozwiązań, które zapewnią osiągnięcie wymaganego poziomu bezpieczeństwa pożarowego obiektu, a do zespołu projektowego należy decyzja, które z nich wybiorą. W Polsce wiedza na temat inżynierii pożarowej i opartych o cele funkcjonalne technik projektowania zaczęła się rozpowszechniać około 2000 roku i do dziś jest intensywnie rozwijana. Obecnie jesteśmy przed kolejnymi etapami pracy, jakimi są:

- ujednoczenie zasad stosowania narzędzi inżynierii pożarowej poprzez wdrożenie lokalnych przepisów i standardów,
- stworzenie bazy dydaktycznej kształcącej przyszłych inżynierów bezpieczeństwa pożarowego,
- stworzenie metod i procedur licencjonowania osób zajmujących się inżynierią pożarową.

Mając nadzieję, że powyższe plany rozwojowe zostaną w najbliższych latach zrealizowane, i że może się do tego przyczynić między innymi wymiana wiedzy i doświadczenia na łamach kwartalnika „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza”, w którym od 2016 r. funkcjonuje specjalny dział poświęcony inżynierii bezpieczeństwa pożarowego, zapraszam do zgłaszania kolejnych artykułów poświęconych tej tematyce.

Wykaz skrótów

BRE - Building Research Establishment,
 CFD - Computational fluid dynamics,
 FDS - Fire Dynamics Simulator,
 KGSPS - Komenda Głównej Państwowej Straży Pożarnej,
 LES - Large eddy simulation,
 NFPA - National Fire Protection Association,
 NIST - National Institute of Standards and Technology,
 RANS - Reynolds-averaged Navier–Stokes,
 SFPE - Society of Fire Protection Engineers,
 SIBP - Stowarzyszenie Inżynierów Bezpieczeństwa Pożarowego (polski oddział SFPE).

Literatura

[1] Hurley M. (ed.), *SFPE Handbook of fire protection engineering. Fifth Edition*, Springer, New York 2016.

- [2] *SFPE Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection, Second Edition*, Natl Fire Protection Assn, Quincy 2007.
- [3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 75, poz. 690 z późn. zm.).
- [4] Procedury organizacyjno-techniczne w sprawie spełnienia wymagań w zakresie bezpieczeństwa pożarowego w inny sposób niż to określono w przepisach techniczno-budowlanych, w przypadkach wskazanych w tych przepisach, oraz stosowania rozwiązań zamiennych, zapewniających nie pogorszenie warunków ochrony przeciwpożarowej, w przypadkach wskazanych w przepisach przeciwpożarowych, Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej, Warszawa 2008.
- [5] Brzezińska D., *Wentylacja pożarowa obiektów budowlanych*, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2015.
- [6] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 17 czerwca 2011 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane metra i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 144, poz. 859).
- [7] Verification & Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications, Volume 7: Fire Dynamics Simulator, US Nuclear Regulatory Commission Office of Nuclear Regulatory Research (RES), May 2007.
- [8] Codice di prevenzione incendi commentato D.M. 3 agosto 2015. Norme tecniche di prevenzione incendi con esempi applicative, 2015.

* * *

dr inż. Dorota Brzezińska jest adiunktem Wydziału Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej. Zajmuje się dydaktyką z zakresu inżynierii pożarowej, systemów wentylacji pożarowej oraz ochrony przeciwpożarowej w budownictwie. Prowadzi również wykłady z zakresu wentylacji pożarowej na studiach podyplomowych Politechniki Warszawskiej oraz Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. W 2009 roku ukończyła studium podyplomowe Modelowanie pożarów wewnętrznych na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego i Systemów Bezpieczeństwa na Uniwersytecie w Lund w Szwecji. Jest autorką ponad 100 publikacji technicznych i konferencyjnych, w tym współautorką *Poradnika oddymiania budynków wysokich i wysokościowych* oraz autorką monografii pt. *Wentylacja pożarowa obiektów budowlanych*. Jej badania koncentrują się na ocenie skuteczności działania systemów wentylacji pożarowej i bytowej w różnego typu obiektach budowlanych oraz poszukiwaniu optymalnych rozwiązań technicznych w tym zakresie. Ma duże doświadczenie w projektowaniu systemów wentylacji pożarowej w obiektach rzeczywistych, dla których jako właściciel firmy GRID, opracowała ponad 250 analiz z wykorzystaniem symulacji CFD. Jest wiceprezesem Polskiego Oddziału Stowarzyszenia Inżynierów Bezpieczeństwa Pożarowego (SFPE) i aktywnym członkiem Polskiego Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Pożarnictwa (SITP).