

Warszawa, dnia 17.03.2024 r.

dr hab. inż. arch. Adam BARYŁKA, prof. uczelni
Wojskowa Akademia Techniczna
im. Jarosława Dąbrowskiego
Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji
ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2
00-908 Warszawa 46

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr. inż. Adama Dorosza
pt. **„Wykorzystanie metod obliczeniowej mechaniki płynów do oceny możliwości ewakuacji podczas pożaru, implementacja do procesu projektowego”**.

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzję opracowano w na podstawie decyzji Rady Naukowej Dyscypliny „Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka” z dnia 16 stycznia 2024 r. Politechniki Warszawskiej przesłanej przez Przewodniczącego ww. Rady Naukowej prof. dr. hab. inż. Tomasza Wiśniewskiego w dniu 02 lutego 2024 r., w której wyznaczono mnie jako recenzenta. rozprawy doktorskiej mgr. inż. Adama Dorosza.

2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr. inż. Adama Dorosza pt.: **„Wykorzystanie metod obliczeniowej mechaniki płynów do oceny możliwości ewakuacji podczas pożaru, implementacja do procesu projektowego”**. Pracę przygotowano w Politechnice Warszawskiej pod kierunkiem dr hab. inż. Artura Rusowicza prof. uczelni.

3. Układ i treść rozprawy

Praca doktorska licząca 207 stron składa się ze: streszczenia, spisu treści, wstępu, 9. rozdziałów, podsumowania, wykazu 107. pozycji literaturowych, wykazu ważniejszych skrótów, symboli i oznaczeń, spisu 57. tabel oraz spisu 75. rysunków.

We wstępie przedstawiono cztery zagadnienia dotyczące: wprowadzenia i motywacji, określenia celu, zakresu oraz układu pracy doktorskiej.

W pracy przedstawiono zagadnienie oceny bezpieczeństwa ewakuacji osób z przestrzeni zagrożonych, wewnątrz budynków (zamkniętych obiektów budowlanych), w odniesieniu do warunków środowiskowych panujących podczas pożaru w tych przestrzeniach oraz sposobów ich modelowania. Autor poddał dyskusji krytyczne warunki środowiskowe utrudniające bądź uniemożliwiające bezpieczną ewakuację ze względu na ograniczenie zasięgu widzialności.

Zasadniczym celem pracy doktorskiej jest wdrożenie metod obliczeniowej mechaniki płynów (Computational Fluid Dynamics - określanej w skrócie symbolem CFD) do oceny warunków ewakuacji na podstawie kryterium widzialności podczas rzeczywistego procesu projektowego systemów wentylacji pożarowej.

Autor wykorzystał światowe osiągnięcia nauki dynamizujące rozwój w dziedzinie inżynierii bezpieczeństwa pożarowego wdrażające projektowanie systemów podnoszących bezpieczeństwo ewakuacji podczas pożarów w oparciu o cele funkcjonalne umożliwiające stosowanie różnych narzędzi do modelowania pożarów, tak aby odzwierciedlały one warunki środowiskowe panujące podczas pożaru. Takie podejście oparte o cele funkcjonalne dopuszcza rozwiązania inżynierskie na równi z rozwiązanymi nakazowymi zapisanymi w przepisach.

W swojej pracy Autor wdrożył metodę modelowania pożarów wykorzystującą obliczeniową mechanikę płynów, do odwzorowania warunków środowiskowych panujących podczas pożaru do rzeczywistego procesu projektowego systemów wentylacji pożarowej wewnątrz budynków, poprawiających bezpieczeństwo ewakuacji podczas pożaru. Zakres modelowania został ograniczony do, najszybciej przekraczanego, kryterium warunkującego bezpieczeństwo ewakuacji, jakim jest zasięg widzialności osób ewakuujących się z zagrożonej zamkniętej przestrzeni budynku.

Autor pracy uznał, że najpowszechniejszymi narzędziami analitycznymi wpisującymi się w wymagania funkcjonalne podczas projektowania obiektów budowlanych są modele deterministyczne oraz modele wykorzystujące analizę ryzyka, które umożliwiają wykorzystanie obliczeniowej mechaniki płynów CFD do analiz fizyki zjawisk pożarowych oraz do odwzorowania warunków środowiskowych panujących w budynku podczas pożaru. Osiągnięcie wymienionego celu wymagało zdefiniowania przez Autora pracy pięciu celów pomocniczych obejmujących zagadnienia:

- 1) opisanie i zastąpienie analitycznego podejścia projektowanego systemów wentylacji pożarowej metodami odzwierciedlającymi rzeczywiste zagrożenia;
- 2) wdrożenia i optymalizacji procesu przygotowania analiz numerycznych CFD.

W punkcie nr 2 pt. „Bezpieczeństwo ewakuacji” Autor rozprawy zasygnalizował dwa zagadnienia dotyczące bezpiecznej ewakuacji z budynków dotyczące: **warunków bezpiecznej ewakuacji** oraz **systemów poprawiających warunki bezpiecznej ewakuacji**. Autor słusznie przyjął, że zapewnienie odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa ewakuacji z budynku jest podstawowym czynnikiem warunkującym ocalenie zdrowia i życia ludzi użytkujących budynek podczas zdarzenia pożarowego wewnątrz budynku, z którego jest konieczna ich ucieczka. Rozwiązanie wymienionego problemu wymagało określenia:

- wymaganego maksymalnego czasu bezpiecznej ewakuacji z danej przestrzeni, wynikającego z przepisów (których spełnianie jest wystarczające, aby zapewnić odpowiedni poziom bezpieczeństwa określających: maksymalną liczbę osób mogących

przebywać jednocześnie w budynku, minimalną liczbę wyjść ewakuacyjnych, minimalną szerokość drzwi i przejść ewakuacyjnych, maksymalną długość drogi ewakuacyjnej, zasady zarządzania, i utrzymywania dróg oraz przejść ewakuacyjnych) lub

- dostępnego czasu bezpiecznej ewakuacji, który wymaga wyznaczenia, w jakim zakresie warunki panujące w rozważanej przestrzeni pogarszają się na skutek spadku widoczności, wzrostu emisji dymu i toksycznych produktów spalania oraz powstającego ciepła do poziomu uniemożliwiającego bezpieczne poruszanie się ludzi. Dodatkowym parametrem rozważanym w określaniu czasu bezpiecznej ewakuacji jest utrata stateczności konstrukcji budynku na skutek pożaru. Istotną rolę podczas określenia dostępnego czasu bezpiecznej ewakuacji pełni odpowiedni scenariusz pożarowy, dla którego są weryfikowane parametry ograniczające bezpieczną ewakuację, którego dobór powinien być poprzedzony ilościową analizą ryzyka jego wystąpienia i skutków, jakie za sobą niesie.

Niewątpliwie dla bezpieczeństwa ewakuacji w konkretnym obiekcie budowlanym korzystniejsze jest określenie dostępnego czasu bezpiecznej ewakuacji wymagającego wyznaczenia, w jakim zakresie warunki panujące w rozważanej przestrzeni pogarszają się na skutek spadku widoczności, wzrostu emisji dymu i toksycznych produktów spalania oraz powstającego ciepła do poziomu uniemożliwiającego bezpieczne poruszanie się ludzi. Dodatkowym parametrem rozważanym w określaniu czasu bezpiecznej ewakuacji jest utrata stateczności konstrukcji budynku na skutek pożaru. Autor rozprawy uznał, że istotną rolę podczas określenia dostępnego czasu bezpiecznej ewakuacji pełni odpowiedni scenariusz pożarowy, dla którego są weryfikowane parametry ograniczające bezpieczną ewakuację, którego dobór powinien być poprzedzony ilościową analizą ryzyka jego wystąpienia i skutków, jakie za sobą niesie. W skład dostępnego czasu bezpiecznej ewakuacji wchodzi czas niezbędny na: detekcję pożaru, alarmowanie, podjęcie przez użytkownika decyzji o faktycznej ewakuacji oraz czas przemieszczania się po poziomych i pionowych przejściach ewakuacyjnych, a także czas niezbędny na przedostanie się przez otwory drzwiowe lub inne przegrody na przejściu.

Na przebieg ewakuacji z budynku istotny wpływ mają zastosowane w budynku **spôsoby poprawy warunków ewakuacji odnoszące się do umożliwienia jej krótszego przebiegu** (oddziałujące na skrócenie czasu ewakuacji, takie jak systemy detekcji pożaru i alarmowania o jego zaistnieniu, oświetlenie i znakowanie dróg ewakuacyjnych) lub **systemy poprawiające warunki środowiskowe panujące podczas pożaru na przejściach i drogach ewakuacyjnych - wydłużających czas bezpiecznej ewakuacji w rozważanej przestrzeni** (systemy gaśnicze oraz systemy wentylacji pożarowej).

W punkcie nr 3 pt. „Modelowanie pożaru na potrzeby wentylacji pożarowej” Autor rozprawy omówił trzy modele (algebraiczne, strefowe i polowe CFD) stosowane przy projektowaniu systemów wentylacji pożarowej w budynkach. Szczególną uwagę Autor pracy poświęcił aplikacji metod obliczeniowej mechaniki płynów CFD do zastosowań związanych z odwzorowaniem zjawisk pożarowych, których istotą jest wykorzystanie metod numerycznych do rozwiązywania układu równań różniczkowych cząstkowych wyrażających zasady zachowania masy, pędu i energii. Analiza CFD polega na rozwiązaniu układu równań różniczkowych opisujących przepływ masy i energii w badanym układzie, podzielonym na skończoną liczbę niewielkich objętości, w dokładnie opisanych występujących po sobie

krokach czasowych. Rozwiązanie równań stanowią wartości ciśnienia, temperatury, gęstości, prędkości przepływu, stężenia dymu, itp., znane dla każdej objętości w badanym układzie w każdym momencie trwania analizy. Dzięki temu analizy CFD są bardzo dobrym narzędziem w rękach inżyniera, pozwalając szybko ocenić warunki środowiskowe panujące w dowolnym miejscu budynku.

Autor bardziej szczegółowo omówił zasady przeprowadzania symulacji CFD przy wykorzystaniu programów obliczeniowych przeznaczonych do prowadzenia obliczeń CFD. Z pięciu przytoczonych najpopularniejszych programów obliczeniowych Autor pracy skoncentrował uwagę na wykorzystaniu opracowanego przez amerykański instytut naukowo-badawczy NIST (National Institute of Standards and Technology - NIST) - oprogramowania Fire Dynamic Simulator, będącego ogólnodostępnym, otwartym i darmowym modelem CFD na potrzeby inżynierii bezpieczeństwa pożarowego. Stanowi ono wiodące oprogramowanie do obliczeń CFD w inżynierii bezpieczeństwa pożarowego wykorzystywane w codziennej pracy przez partnera Autora rozprawy doktorskiej. W ciągu ostatnich kilku lat, wraz ze wzrostem możliwości obliczeniowych komputerów osobistych a także dzięki większej dostępności specjalistycznego oprogramowania, modelowanie pożarów z użyciem modeli CFD stało się przydatnym narzędziem w inżynierii bezpieczeństwa pożarowego. Metoda ta jest szczególnie pomocna przy weryfikacji rozwiązań projektowych dotyczących systemów oddymiania dla dużych i skomplikowanych obiektów budowlanych użyteczności publicznej tj. obiektów transportu publicznego, obiektów sportowych, obiektów handlowych, budynków wysokich, wysokościowych, itd.

W punkcie nr 4 pt. „Wykorzystanie CFD w procesie projektowym” Autor rozprawy zasygnalizował, że analizy numeryczne z wykorzystaniem metody CFD znakomicie nadają się do oceny bezpieczeństwa pożarowego budynku w kontekście rozprzestrzeniania się w nim ciepła i dymu i są aktualnie powszechnie wykorzystywane w obszarze wentylacji pożarowej stanowiąc doskonałe narzędzie wspierające projektanta. Pomimo tego, że często niemożliwym wydaje się przeprowadzenie procesu projektowego bez ich wykorzystania, to często wykorzystaniu CFD towarzyszą nieuzasadnione: niechęć lub wątpliwość – zazwyczaj związane z brakiem zaufania projektantów do podwykonawców symulacji, błędnego zrozumienia roli poszczególnych uczestników procesu czy ograniczeń finansowych (związanych z wysokimi kosztami obliczeń) i czasowych (związanych z czasem niezbędnym do ich przeprowadzenia).

W punkcie nr 5 pt. „Prowadzenie obliczeń” Autor rozprawy przedstawił podstawowe informacje dotyczące dwóch sposobów prowadzenia obliczeń CFD odbywającego się za pomocą solvera obliczeniowego Fire Dynamic Simulator (FDS) w wersji 6. Autor omówił zagadnienie skalowania obliczeń umożliwiające ich przeprowadzanie w możliwie najkrótszym czasie, infrastrukturę obliczeniową, w której opracowano porównawczy model obliczeniowy umożliwiający porównanie różnych sposobów prowadzenia obliczeń, stan początkowy i zapotrzebowanie infrastruktury obliczeniowej, budowę klastra obliczeniowego, uniwersalny porównawczy model obliczeniowy pozwalający na przeprowadzanie analizy porównawczej czasu obliczeniowego dla różnych strategii obliczeniowych oraz omówił zaproponowane cztery grupy strategii obliczeniowych poprzedzonych analizą wrażliwości obejmującą analizę powtarzalności czasów obliczeń i rozbieżności w otrzymywanych wynikach, które stanowiący analizę błędów otrzymywanych wyników.

W punkcie nr 6 pt. „Widzialność” Autor rozprawy przedstawił rozważania dotyczące widzialności jako jednego z najbardziej istotnych czynników wpływających na ograniczenie możliwości przemieszczania się użytkowników budynków do wyjść ewakuacyjnych lub bezpiecznej przestrzeni. Pojawienie się zadymienia w przestrzeniach zamkniętych stanowi pierwszy czynnik zagrożenia identyfikowany przez użytkowników budynków, często na długo przed pojawieniem się skutków termicznych pożaru. Przyczynia się ono do poczucia niebezpieczeństwa i sprzyja powstawaniu paniki, która może negatywnie oddziaływać na wydolność organizmu ludzkiego utrudniającego ewakuację. Narastające zadymienie, powodujące trudności lub w późniejszym czasie rozwoju pożaru uniemożliwiające nawet odnalezienie przez użytkowników budynku bezpiecznej drogi ewakuacji przyczynia się do wydłużenia czasu ucieczki z przestrzeni zagrożonej. Zadymienie oraz toksyczne produkty powstające w procesie spalania są przyczyną śmiertelnych wypadków w ponad 85% przypadków.

Stąd Autor rozprawy słusznie uznał, że poznanie istoty spadku widzialności i sposobu jego modelowania mogą przyczynić się do zmniejszenia liczby tragicznych wypadków podczas pożarów w pomieszczeniach zamkniętych. Stanowiło to ważną inspirację Autora do zajęcia się tym zagadnieniem w rozprawie doktorskiej. W zakresie tego zagadnienia Autor rozprawy omówił podstawy modelowania algebraicznego widzialności, mając na uwadze, że:

- dym wygenerowany przez materiały palne w kontekście ograniczenia widzialności można opisać za pomocą takich parametrów (jak gęstość optyczna dymu, współczynnik osłabienia kontrastu i wielkości pochodnych) odnoszących się do maksymalnej odległości z jakiej istnieje możliwość zobaczenia danego przedmiotu;
- zasięg widzialności w dymie jest pochodną własności optycznych dymu, rodzaju światła wysyłanego (własnego i odbitego) przez obserwowany obiekt, sposobu oświetlenia ośrodka przez zewnętrzne źródła światła oraz kontrastu początkowego obiektu;
- oko ludzkie może dostrzec dany przedmiot, jeżeli jego kontrast w stosunku do otoczenia jest większy niż próg kontrastu lub próg czułości kontrastowej oka.

W zakresie omawiania tego zagadnienia Autor rozprawy przedstawił również teoretyczne podstawy modelowania widzialności z wykorzystaniem obliczeniowej mechaniki płynów CFD uwzględniającej dym i jego stężenie jako składnik modelowania widzialności. Autor przyjął, że w przypadku modelowania zasięgu widzialności w dymie należy mieć na uwadze ograniczenia związane z zastosowaniem modelu matematycznego do odwzorowania złożonego procesu, jakim jest przechodzenie wiązki światła przez dym. Autor sprecyzował osiem najważniejszych założeń modelowych w powyższym zakresie.

W punkcie nr 7 pt. „Ocena zasięgu widzialności przy wykorzystaniu CFD. Dane wejściowe ” Autor rozprawy przedstawił wpływ poszczególnych parametrów wejściowych analizy na wyniki rozkładu widzialności dla przykładzie przestrzeni zamkniętej, jaką był garaż podziemny dla 81 samochodów o powierzchni około 2183 m² o wysokości od 2,5 – 3,6 m zlokalizowany pod budynkiem mieszkalnym wielorodzinnym. W garażu zaprojektowano strumieniowy system wentylacji pożarowej wspomagany przez tzw. punkt kompensacyjny, otwartą bramę garażową oraz sześć wentylatorów strumieniowych. W przeważającej części

garażu zapewniona jest możliwość ewakuacji w dwóch kierunkach prowadzących do trzech wejść. Po założeniu czasu całkowitej ewakuacji użytkowników z pomieszczenia garażu wykonano obliczenia czasu ewakuacji dla sześciu wyznaczonych lokalizacji początkowych. W ramach modelowania rozwoju pożaru samochodów osobowych w ww. garażu podziemnym oszacowano:

- **Moc pożaru** na podstawie krzywych rozwoju pożaru samochodów oraz określono graficzny rozkład (rys. 16) widzialności na wysokości 1,80 m nad posadzką, na podstawie standardu angielskiej normy BS 7346-7:2013 *Komponenty systemów oddymiania i usuwania ciepła. Część 4: Zalecenia funkcjonalne i metody obliczeniowe dla systemów oddymiania i usuwania ciepła opartych na stabilnych pożarach projektowych. Wytyczne postępowania*. (krzywa 1) z lewej strony oraz według normy NEN 6098:2010 *Systemy kontroli dymu dla mechanicznie wentylowanych parkingów krytych* odpowiednio dla pięciu chwil czasowych (60s, 120s, 180s, 240s, 300s) od inicjacji pożaru oraz określono stopień ograniczenia zasięgu widzialności na całej powierzchni przejść ewakuacyjnych.
- **Wpływ ciepła spalania** na wyniki zasięgów widzialności, który uzyskano na podstawie analizy 9. przypadków, dla których współczynnik dymotwórczości nie zmieniał się oraz moc pożaru rozwijana była zgodnie z krzywą 1 podaną w normie NEN 6098:2012 oraz Wytycznymi ITB 493/2015 *Systemy wentylacji pożarowej garaży. Projektowanie, ocena, odbiór*. Z przeprowadzonych analiz wynika, że znaczące różnice w masie wygenerowanego dymu podczas modelowego pożaru przyczyniają się do zmiany zasięgu widzialności w garażu. Przedstawiono graficzne rozkłady (rys. 17-21) zasięgu widzialności na wysokości 1,8 m nad posadzką dla modelowego pożaru na podstawie standardu (NEN 6098 i ITB 493/2015) dla różnych 10. wartości ciepła spalania i dla pięciu charakterystycznych chwil czasowych 60, 120, 180, 240 i 300 s.
- **Wpływ współczynnika dymotwórczości** na wyniki zasięgów widzialności, który uzyskano na podstawie analizy 10. przypadków, dla których ciepło spalania nie zmieniał się, moc pożaru rozwijana była zgodnie z krzywą 1 podaną w normie NEN 6098:2012 Wytycznymi ITB 493/2015 oraz współczynnik dymotwórczości był niezmienny. Z przeprowadzonych analiz wynika, że różnice w lokalizacji modelowego pożaru przyczyniają się do zmiany zasięgu widzialności w garażu. Przedstawiono graficzne rozkłady (rys. 23-27) zasięgu widzialności na wysokości 1,8 m nad posadzką dla modelowego pożaru na podstawie standardu (NEN 6098 i ITB 493/2015) dla różnych 10. wartości współczynnika dymotwórczości i dla pięciu charakterystycznych chwil czasowych 60, 120, 180, 240 i 300 s.
- **Wpływ lokalizacji modelowego pożaru** na wyniki zasięgów widzialności, który uzyskano na podstawie analizy 9. przypadków, dla których ciepło spalania materiału palnego nie zmieniał się, a moc pożaru rozwijana była zgodnie z krzywą 1 podaną w normie NEN 6098:2012 oraz Wytycznymi ITB 493/2015. Z przeprowadzonych analiz wynika, że różnice w lokalizacji modelowego pożaru przyczyniają się do zmiany zasięgu widzialności w garażu. Przedstawiono graficzne rozkłady (rys. 30-34) zasięgu widzialności na wysokości 1,8 m nad posadzką dla modelowego pożaru na podstawie standardu (NEN

6098 i ITB 493/2015) dla różnych 9. lokalizacji pożaru i dla pięciu charakterystycznych chwil czasowych 60, 120, 180, 240 i 300 s.

W punkcie nr 8 pt. „Ocena zasięgu widzialności przy wykorzystaniu CFD - interpretacja”

Autor rozprawy wskazuje, że zastosowanie modeli obliczeniowych zaimplementowanych do metod obliczeniowej mechaniki płynów prowadzi do przedstawienia wyników, najczęściej w postaci rozkładów zasięgów widzialności lub gęstości optycznej. Otrzymane wyniki przedstawiają sposób, w jaki sposób wiązka światła zmienia swoje natężenie przechodząc przez dym jako ośrodek pochłaniająco-absorbująco-rozpraszający. W celu prawidłowej interpretacji otrzymanych wyników niezbędne jest wskazanie jak powinna być wartość widzialności (gęstości optycznej), aby osoby ewakuujące się z rozważanej przestrzeni mogły dostrzec wyjście ewakuacyjne (znaki ewakuacyjne) świadczące o ich lokalizacji.

Przytoczone przez Autora rozprawy wyniki badań w zakresie zasięgu widoczności podane w literaturze wskazują na znaczące różnice, które są uwarunkowane różnymi przyczynami. Istotne różnice w zakresie wartości dopuszczalnych zasięgów widoczności są podawane w przepisach różnych krajów. W krajowych realiach (por. wytyczne ITB z 2015 r.) najpowszechniejszą używaną wartością jest dopuszczalny zasięg widzialności wynoszący 10 m. Autor wskazuje również zróżnicowania w zakresie przyjmowanej wysokości, na jakiej ma być oceniany zasięg widzialności. Najczęstszym sposobem oceny zasięgu widzialności w procesie analiz CFD jest jej przedstawianie za pomocą rozkładów zasięgów widzialności, na zdefiniowanej płaszczyźnie (na zadanej wysokości od posadzki) oraz akceptowalnym zasięgiem widzialności, najczęściej wynoszącym odpowiednio 1,8 m nad posadzką oraz zasięgiem widzialności wynoszącym 10 m.

Autor rozprawy w ramach własnych badań przy wykorzystaniu CFD przedstawił graficzne rozkłady zasięgu widzialności dla modelowego pożaru na podstawie standardu (NEN 6098 i ITB 493/2015):

- (rys. 35-39) na wysokości 1,8 m nad posadzką dla 10. różnych wartości współczynnika C i dla pięciu charakterystycznych chwil czasowych 60, 120, 180, 240 i 300 s.
- (rys. 40-44) dla 6. różnych wysokości płaszczyzny wynikowej nad posadzką i dla pięciu charakterystycznych chwil czasowych 60, 120, 180, 240 i 300 s. Autor porównał wyniki otrzymane dla analizowanego garażu dla różnych zasięgów widzialności jako kryterium oceny, począwszy od 4 m skończywszy na 13 m. Różnice w przyjętym zakresie widzialności przyczyniają się do zmiany oceny akceptowalnych warunków widzialności w garażu.
- (rys. 45-49) na wysokości 1,8 m nad posadzką dla 10. różnych wartości akceptowalnego zasięgu widzialności i dla pięciu charakterystycznych chwil czasowych 60, 120, 180, 240 i 300 s. Dobór wartości kryterium akceptacji zasięgu widzialności w dymie wpływa na ocenę warunków zadymienia panujących na przejściach ewakuacyjnych zarówno w zakresie jakościowym, jaki i ilościowym.

W punkcie nr 9 pt. „Ocena wyników podczas interpretacji wyników” Autor rozprawy stwierdził, że najbardziej upowszechniony sposób przedstawiania wyników otrzymanych po przeprowadzeniu obliczeń CFD odnosi się do przedstawienia pól widzialności lub gęstości

optycznej dymu w rozważanej przestrzeni zamkniętej. Autor uznał, że jest to szybki i użyteczny sposób przedstawiania wyników umożliwiający dalszą ocenę. Zakłada się w nim, że określona wartość zasięgu widzialności lub gęstości optycznej dymu jest uznawana za krytyczną i po jej przekroczeniu ewakuacja zostaje ograniczona lub uniemożliwiona. Autor uznaje za kryteria akceptacyjne dokonanie interpretacji na podstawie tak postawionych kryteriów rzeczywistości opartych na porównaniu odpowiednich stężeń dymu, które następuje uznaniowo (na podstawie norm, wytycznych czy innych regulacji). W ocenie Autora rozprawy pewne wątpliwość budzi sposób wyciągania dalszych wniosków dotyczących możliwości ewakuacji czy widzialności.

W punkcie nr 10 pt. „Wytyczne CFD, współpraca z APOŻ.” Autor rozprawy zwraca uwagę, że symulacje pożarów przy użyciu metody CFD są przydatnym narzędziem coraz powszechniej stosowanym przy opracowywaniu strategii bezpieczeństwa pożarowego budynków, przy projektowaniu systemów oddymiania, a ze względu na złożoność metody CFD, istotne jest aby symulacje takie wykonywane były przez osoby o odpowiednim doświadczeniu, przy zachowaniu zasad „dobrej praktyki”. W przypadku programu FDS pojawia się bowiem możliwość przeszacowania lub niedoszacowania otrzymanych wyników, ze względu na zagrożenie bezpieczeństwa pożarowego danego obiektu, mogące prowadzić do znacząco odmiennych interpretacji poziomu zagrożenia generowanego przez modelowy pożar. Stąd w wielu publikacjach dotyczących symulacji pożarowych metodą CFD jest podkreślana potrzeba rzetelnej dyskusji założeń projektowych i, co jest zazwyczaj nieuniknione, przyjętych uproszczeń oraz prawidłowej prezentacji uzyskanych wyników.

Z uwagi na to, że wykorzystanie metod obliczeniowej mechaniki płynów do odwzorowania warunków środowiskowych panujących podczas pożaru przynosi istotne korzyści umożliwiające wielokryterialną ocenę funkcjonowania systemów wentylacji pożarowej z uwagi na potrzeby wszystkich uczestników procesu budowlanego inwestycyjnego począwszy od projektantów, poprzez inwestorów, wykonawców, rzeczoznawców ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych oraz inspektorów straży pożarnej dopuszczających obiekty do użytku. Z powyższego powodu zaszła potrzeba opracowania wytycznych zawierających wszystkie niezbędne informacje umożliwiające budowę modelu CFD oraz ocenę otrzymanych wyników przez różnych uczestników ww. procesu.

Mają one na celu opracowanie zasad, które byłyby pomocne w usystematyzowaniu zarówno wykonania symulacji CFD, jak i ich oceny przez organy dokonujące odbioru obiektów. Ww. wytyczne opracował Autor rozprawy w Akademii Pożarniczej. Zawierają one najważniejsze aspekty związane z wykorzystaniem analiz CFD na potrzeby skuteczności pracy systemów wentylacji pożarowej, począwszy od zdefiniowania scenariuszy projektowych, poprzez wartości wejściowe do modelu symulacyjnego, skończywszy na definicji miary kryteriów oceny. Wytyczne składają się z 6. głównych rozdziałów odnoszących się do wprowadzenia i celu wytycznych, modelu pożaru, obiektu i działania systemu, kryteriów oceny, analizy wyników oraz przykładu obliczeniowego. Autor na str. 184 sygnalizuje, że ww. wytyczne zostaną zamieszczone na stronie internetowej Akademii Pożarniczej i będą dostępne dla osób zainteresowanych na początku 2024 r. Niestety podczas opracowywania mniejszej recenzji ww. wytyczne na przełomie marca i kwietnia 2024 r. nie zostały jeszcze upublicznione.

W punkcie nr 11 pt. „Podsumowanie” Autor rozprawy podkreślił, że zrealizował główny cel rozprawy doktorskiej, polegający na uczestnictwie we wdrożeniu obliczeniowej mechaniki płynów CFD do oceny warunków ewakuacji na podstawie kryterium widzialności podczas rzeczywistego procesu projektowego systemów wentylacji pożarowej. Autor rozprawy:

- przedstawił sposób projektowania systemów wentylacji pożarowej w oparciu o metody analityczne jak i cele funkcjonalne, wdrożył infrastrukturę klastrową oraz strategię prowadzenie obliczeń numerycznych zwiększających ich efektywność mogących dostosować się do cyklu projektowego systemów wentylacji pożarowej;
- wykonał analizę porównawczą wpływu najważniejszych parametrów wejściowych oraz kryteriów oceny na interpretacje wyników, która pozwoliła na wykazanie ich istotności. Te informacje stanowią wskazówki do oceny jakości poczynionych założeń podczas modelowania zasięgu widzialności (przy wykorzystaniu solvera FDS);
- zdefiniował problem niejednoznaczności interpretacji płaszczyzn wynikowych zasięgów widzialności wraz z propozycją modelu oceny pozbawionego tego problemu, który wykorzystuje stopień zaciemnienia wiązki światła przechodzącej przez warstwę dymu na zadanej drodze optycznej.

Niezwykle ważnym faktem był udział Autora rozprawy w opracowaniu ogólnopolskich wytycznych do przygotowania analiz numerycznych CFD systemów wentylacji pożarowej garaży podziemnych, zwiększających świadomość wszystkich uczestników procesu projektowego oraz pomagających ujednoczyć sposób oceny analiz wykorzystujących metody CFD w skali kraju przez organy odbiorowe Państwowej Straży Pożarnej.

4. Uwagi krytyczne

- 1) W streszczeniu pracy Autor rozprawy odwołuje się kolejno do rozdziałów: od rozdziału 1. do rozdziału 15. natomiast ani w spisie treści ani w treści pracy nie ujęto tekstu w podziale na wymienione rozdziały, a tylko w podziale na ponumerowane punkty: od punktu 1. do punktu 15. Uznanie punktów: 12. Bibliografia, 13. Wykaz ważniejszych skrótów, symboli i oznaczeń, 14. Spis tabel oraz 15. Spis ilustracji - trudno jest uznać za rozdziały rozprawy doktorskiej.
- 2) Autor zestawiał w bibliografii 107 pozycji literaturowych bez zachowania kolejności alfabetycznej, przyjmując kolejność powoływania się na pozycje bibliograficzne.
- 3) Autor w bibliografii pominął ważne publikacje polskie dotyczące symulacji CFD, takie jak: *Badanie skuteczności projektowanych instalacji wentylacji oddymiającej, przy wykorzystaniu symulacji CFD* (autorstwa zespołu pracowników naukowych Katedry Techniki Pożarniczej, SGSP), *Wymagany i dostępny czas bezpiecznej ewakuacji – metodyka obliczeniowa* (Autor R. Małolepszy), *Zalecenia dotyczące prawidłowego stosowania modelu CFD w symulacjach pożarowych dla programu Fire Dynamics Simulator* (autorzy: P. Smardz , J. Paliszek-Saładyga, *Wykorzystanie programu*

komputerowego FDS do modelowania pożaru w tunelu kablowym (Autorzy R. Chybowski, M. Konecki, N. Tuśnio).

- 4) Autor nie odniósł się do symulacji CFD oferowanych w naszym kraju przez liczne firmy, takie jak: np. SMAY, INBEPO, SFT, SAN-KLIM, FLOWTEK, PYRODEFENSE ENGINEERING, AERECO, CMF plus, Inżynierska Agencja Pożarnicza, itp.
- 5) Autor nie wykazał żadnych publikacji autorskich czy współautorskich. Jedynym, ale niezwykle ważnym dokonaniem Autora wykazanym w rozprawie doktorskiej, jest Jego udział w opracowaniu Wytycznych ogólnokrajowych do opracowywania analiz numerycznych CFD systemów wentylacji pożarowej w garażach podziemnych umożliwiających spójny proces ich oceny na terenie całego kraju przez organy Państwowej Straży Pożarnej.
- 6) Autor w wielu miejscach recenzowanej rozprawy podaje informację o swojej współpracy z partnerem w ramach programu „doktorat wdrożeniowy” oraz Akademią Pożarniczą. Niestety z ww. informacji nie można zorientować się jaki podmiot był Jego partnerem podczas opracowywania rozprawy doktorskiej. Np. na str. 192 Autor rozprawy pisze o „zakresie prac, jakie wykonano podczas współpracy pomiędzy doktorantem, partnerem, a Akademią Pożarniczą”.
- 7) Autor na stronie 181 podaje, że recenzowana rozprawa została zrealizowana w ramach programu „doktorat wdrożeniowy”, którego przedmiotem (zgodnie z informacją zawartą na stronie internetowej Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego) jest tworzenie warunków do rozwoju współpracy podmiotów systemu szkolnictwa wyższego i nauki z otoczeniem społeczno-gospodarczym, prowadzonej w ramach szkół doktorskich i polegającej na kształceniu doktorantów we współpracy z zatrudniającymi ich przedsiębiorcami albo innymi podmiotami, której efektem jest wdrażanie w tych podmiotach wyników prowadzonej przez doktorantów działalności naukowej. W rozprawie nie zawarto jednak informacji w zakresie terminu i miejsca otwarcia przewodu doktorskiego, podmiotu który był partnerem ww. doktoratu oraz informacji o osobie która była promotorem pomocniczym, a także okresu w którym była opracowywana rozprawa doktorska.
- 8) W punkcie 3.1 Modele algebraiczne (str. 25) Autor powołuje się na uchylone z dniem 08.06.2022 r. Obwieszczenie Ministra Infrastruktury (powinno być Inwestycji i Rozwoju z dnia 8 kwietnia 2019 r. *w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*. W czasie opracowywania pracy doktorskiej obowiązywał jednolity tekst Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. *w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* wprowadzony Obwieszczeniem Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 15 kwietnia 2022 r. *w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* (Dz. U. z 2022 r. poz. 1225), które w październiku 2023 r. zostało zmienione Rozporządzeniem Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 27 października 2023 r. *zmieniającym rozporządzenie*

w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. z 2023 r. poz. 2442). Zmiany te weszły w życie w dniu 01.04.2024 r. **Wymienione zmiany te nie objęły przywołanego w pracy doktorskiej przepisu § 270 ust. 1 pkt 1 ww. rozporządzenia.** Jednak uwzględniając powyższe zmiany należy zauważyć, że metryczka przywoływanego na stronach 25 oraz stronie 186 poz. [48] Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie powinna mieć następującą postać: (Dz. U. z 2022 r. poz. 1225 t. j., zm. 2023, poz. 2442).

- 9) Autor pracy powołuje się na § 2 ust. 1 pkt 10 Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. z 2010 r. nr 109 poz. 719). W czasie opracowywania pracy doktorskiej obowiązywał tekst jednolity ww. rozporządzenia wprowadzony Obwieszczeniem Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 21 marca 2023 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. z 2023 r. poz. 822). **Zmiany te nie objęły przywołanego w pracy doktorskiej przepisu § 2 ust. 1 pkt 10 ww. rozporządzenia.** Stąd metryczki przywoływanego na stronie 25 oraz stronie 186 poz. [49] Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów powinny mieć następującą postać: (Dz. U. z 2023 r. poz. 822 t. j.).

5. Problemy do wyjaśnienia przez Autora pracy

Zachodzi potrzeba wyjaśnienia przez Autora recenzowanej pracy doktorskiej nw. zagadnień:

- 1) Jaki podmiot był partnerem Doktoranta?
- 2) Kto był opiekunem pomocniczym Doktoranta?
- 3) W przypadku stref, w których przewiduje się ewakuację maksymalnej projektowanej ilości ludzi, na wymagany bezpieczny czas ewakuacji składają się czasy: detekcji, alarmowania, wstępnych reakcji pierwszych osób, które zauważyły zagrożenie, przejścia oraz kolejki przez wyjścia ewakuacyjne. Jaki, w ww. przypadku, czas symulacji, w którym są oceniane warunki ewakuacji należy wprowadzić do programu CFD?

6. Ocena rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska mgr. inż. Adama Dorosza pt.: „**Wykorzystanie metod obliczeniowej mechaniki płynów do oceny możliwości ewakuacji podczas pożaru, implementacja do procesu projektowego**” dotyczy istotnego zagadnienia bezpieczeństwa pożarowego budynków, stanowiącego jedno z sześciu wzajemnie powiązanych wymagań podstawowych, które dyrektywa 89/106/EWG dotycząca wyrobów budowlanych (DWB) postawiła obiektom budowlanym, ujednolicając ważne zagadnienia dotyczące bezpieczeństwa

tych obiektów w całej UE. W załączniku do ww. dyrektywy określono ogólne wymagania w zakresie projektowania i wykonywania obiektów budowlanych z uwagi na bezpieczeństwo pożarowe, eksponując konieczność zapewnienia, w przypadku pożaru, odpowiedniej nośności konstrukcji przez założony okres czasu, ograniczenia powstawania i rozprzestrzeniania się ognia i dymu w obiektach, rozprzestrzeniania się ognia na sąsiednie obiekty, zapewnienia możliwości opuszczenia obiektu przez ich użytkowników lub ich uratowania w inny sposób, a także uwzględnienia bezpieczeństwa ekip ratowniczych.

Wymienione podejście do bezpieczeństwa pożarowego utrzymano w załączniku do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. ustanawiającego zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylającego dyrektywę 89/106/EWG.

Szczegółowe rozwinięcie tych wymagań, w odniesieniu do obiektów, ich części i elementów konstrukcyjnych oraz materiałów budowlanych zawarto w Dokumencie interpretacyjnym do Dyrektywy 89/106/EWG: Wymaganie podstawowe nr 2 „Bezpieczeństwo pożarowe”, wykorzystanym przy opracowaniu:

- przepisów ustawy *Prawo budowlane*;
- aktów wykonawczych do ww. ustawy, w tym warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane i ich usytuowanie;
- Eurokodów (norm projektowania konstrukcji), zawierających pakiet ośmiu norm określających oddziaływanie na konstrukcje w warunkach pożaru oraz reguły ogólne dotyczące projektowania różnych konstrukcji (betonowych, stalowych, stalowo-betonowych, drewnianych) obiektów budowlanych pod względem pożarowym;
- norm dotyczących ochrony przeciwpożarowej, w tym norm:
 - PN-EN 12101-6:2022-09 „Systemy kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła - Część 6: Wymagania techniczne dotyczące systemów ciśnieniowych - Zestawy urządzeń” oraz
 - PN-EN 12101-13:2022-9 “Systemy kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła - Część 13: Systemy różnicowania ciśnień (SRC) - Projektowanie i metody obliczeniowe, instalowanie, badania okresowe i konserwacja”.

Prawo budowlane i jego przepisy wykonawcze mają przede wszystkim charakter nakazowy, określając sposób wykonania poszczególnych części instalacji wentylacji pożarowej w budynkach, stawiane im kryteria, sposób oceny i wartości graniczne. Pomimo istnienia wymienionych uregulowań występuje ciągła potrzeba prowadzenia badań ukierunkowanych na poszukiwanie i doskonalenie rozwiązań technicznych zapewniających jak najlepsze spełnienie wymagań w zakresie zagadnień bezpieczeństwa pożarowego budynków.

Działaniom tym sprzyją zmiany w zakresie inżynierii bezpieczeństwa pożarowego w skali globalnej polegające na wdrażaniu projektowania systemów podnoszących bezpieczeństwo podczas pożarów w oparciu o cele funkcjonalne. Wiąże się to ze stosowaniem różnego rodzaju narzędzi inżynierskich do modelowania pożarów, tak aby odzwierciedlić warunki środowiskowe panujące podczas pożaru, spośród których najbardziej zaawansowanym narzędziem modelowym do odwzorowania warunków środowiskowych podczas pożaru jest wykorzystanie obliczeniowej mechaniki płynów, dzięki której możliwe jest uwzględnienie bardzo dużej liczby parametrów wejściowych, rozważanych zjawisk

fizycznych, geometrii obiektu czy technik numerycznych, ale także uzyskanie wszechstronnych wyników podlegających dalszej analizie.

Analizy numeryczne przepływu dymu i ciepła umożliwiają symulacje CFD, pozwalające ocenić poprawność funkcjonowania instalacji wentylacji pożarowej jeszcze na etapie jej opracowywania projektowego, umożliwiając porównanie różnych projektów i rozwiązań systemowych, sprawdzenie dotychczas zaproponowanych rozwiązań oraz ułatwiając optymalizację koncepcji i wybór najlepszych rozwiązań systemowych.

Wykonanie symulacji CFD na etapie projektowania obiektu pozwala ograniczyć ewentualne błędy projektowe, które bez takiej analizy mogłyby być wykryte dopiero po wykonaniu instalacji, a ich naprawa wiązała by się z dużymi nakładami pracy oraz kosztami, a czasami wręcz byłaby niemożliwa.

Zakres symulacji dostosowany jest do potrzeb oraz specyfiki danego obiektu, które ze względu na stopień złożoności wymagają odpowiednich kwalifikacji wykonujących je osób, dużego nakładu pracy oraz znacznych mocy obliczeniowych.

Bardzo dobrym przykładem takich działań jest rozprawa doktorska mgr. inż. Adama Dorosza pt.: „**Wykorzystanie metod obliczeniowej mechaniki płynów do oceny możliwości ewakuacji podczas pożaru, implementacja do procesu projektowego**”, której efektem są rozwiązania poprawiające warunki ewakuacji ludzi z budynków w czasie pożaru w zakresie drogi ewakuacyjnej. Metody numeryczne wykorzystujące obliczeniową mechanikę płynów CFD są nieodłącznym elementem większości projektów systemów wentylacji pożarowej. Stwarzają one szansę optymalnego rozwiązania systemu wentylacji pożarowej w projektowanym budynku, czy eliminację błędów i niedoskonałości pierwotnego projektu, powstałego w oparciu o samą wiedzę techniczną.

Z uwagi na zalety analiz CFD, które pozwalają na uzyskanie oszczędności na etapie projektowania i wykonawstwa, umożliwiając zoptymalizowanie rozwiązań instalacyjnych i ich poprawne wykonanie – są one w naszym kraju oferowane przez liczne firmy, np. SMAY, INBEPO, SFT, SAN-KLIM, FLOWTEK, PYRODEFENSE ENGINEERING, AERECO, CMF plus, Inżynierska Agencja Pożarnicza, itp.

Zrozumienie analiz CFD, procesów mających miejsce w trakcie analizy czy wpływu założeń na ich wynik jest kluczem, do przełamania ograniczonego zaufania, jakim niektórzy projektanci darzą wykonawców analiz CFD, a przez to krokiem do budowania lepszych systemów chroniących życie i zdrowie użytkowników budynków. W dzisiejszym budownictwie mamy bardzo często do czynienia ze skomplikowanymi budynkami i obiektami budowlanymi, takich jak: galerie handlowe, garaże zamknięte wymagające oddymiania, budynki atrialne, obiekty budownictwa komunikacyjnego i podziemnego, obiekty przemysłowe oraz coraz częściej spotykamy obiekty wykraczające poza typowe ramy kształtem, wielkością, aranżacją czy zastosowanymi rozwiązaniami technicznymi.

Dla takich obiektów jedyną drogą wiarygodnej weryfikacji działania systemu wentylacji pożarowej są analizy CFD. W większości projektów symulacje CFD pełnią funkcję potwierdzenia skuteczności przyjętego rozwiązania. Ww. symulacje zastosowane w odpowiednio wczesnej fazie projektu pozwalają podjąć świadomie najtrudniejsze decyzje projektowe, zweryfikować wymagane parametry systemu, czy wręcz stworzyć zupełnie nowe rozwiązania techniczne oszczędzające czas, pieniądze i przestrzeń w obiektach budowlanych. Optymalizacja, czy precyzyjne przestrzenne rozmieszczenie elementów instalacji pożarowej w ww. obiektach jest możliwe dopiero z wykorzystaniem narzędzi numerycznych. W inżynierii

bezpieczeństwa pożarowego symulacje CFD są stosowane m.in. do: prognozowania warunków podczas ewakuacji w przypadku pożaru (głównie temperatury oraz widzialności), weryfikacji – na etapie projektowym – poprawności przyjętego rozwiązania w zakresie oddymiania budynku oraz prognozowania temperatur w przestrzeni objętej pożarem, na potrzeby analizy zachowania się elementów konstrukcji.

Istotnym osiągnięciem Autora rozprawy jest wdrożenie wykorzystania metod obliczeniowej mechaniki płynów CFD do rzeczywistego procesu projektowego systemów wentylacji pożarowej na szeroką skalę, oraz przyczynienie się do zwiększenia świadomości i dalszego rozwoju inżynierii bezpieczeństwa pożarowego wykorzystującego metody obliczeniowej mechaniki płynów CFD do zapewnienia wyższego poziomu bezpieczeństwa użytkowników budynków.

7. Podsumowanie

Oceniana praca doktorska mgr. inż. Adama Dorosza wnosi wkład naukowy do doskonalenia rozwiązań technicznych w obszarze bezpieczeństwa pożarowego budynków polegający na wdrożeniu metod obliczeniowej mechaniki płynów do oceny warunków ewakuacji na podstawie kryterium widzialności podczas rzeczywistego procesu projektowego systemów poprawiających bezpieczeństwo ewakuacji, jakimi są systemy wentylacji pożarowej.

Symulacje CFD znajdują zastosowanie w tych przypadkach, gdzie geometria i ilość zjawisk sprzężonych jest na tyle skomplikowana, że nie jest możliwe posłużenie się przepisami, normami lub standardową praktyką inżynierską. Analizy numeryczne pozwalają na zoptymalizowanie projektu na wczesnym etapie, lub znaleźć problemy, które są niemożliwe do wykrycia bez użycia CFD – a których rozwiązywanie na późniejszym etapie powodowałoby niepotrzebne nakłady finansowe.

Do najważniejszych osiągnięć Autora uzyskanych, w ramach udziału w przeprowadzonych badaniach, należy:

- 1) Wykazanie na rzeczywistym przykładzie projektowym wpływu najważniejszych parametrów wprowadzanych na etapie pre-procesingu jak i parametrów definiowanych podczas post-procesingu przy wykorzystaniu solvera obliczeniowej mechaniki płynów, programu komputerowego FDS (należącego do najbardziej popularnych programów CFD, przeznaczonego do potrzeb modelowania pożarów, który powstał i jest rozwijany w National Institute of Standards and Technology – USA) na finalnie otrzymywany zasięg widzialności.
- 2) Wykorzystanie metod obliczeniowych mechaniki płynów do oceny możliwości ewakuacji podczas pożaru CFD opisanych w rozprawie doktorskiej, które umożliwiają doskonalenie rozwiązań systemów wentylacji pożarowej w procesie ich projektowania w budynkach, a także stanowią cenne uzupełnienie istniejących standardów projektowania takich systemów.
- 3) Udział Autora rozprawy w opracowaniu ogólnopolskich wytycznych do przygotowania analiz numerycznych CFD systemów wentylacji pożarowej garaży podziemnych, zwiększających świadomość wszystkich uczestników procesu projektowego oraz

pomagających ujednoczyć sposób oceny analiz wykorzystujących metody CFD w skali kraju przez organy odbiorowe Państwowej Straży Pożarnej.

8. Wnioski końcowe

Recenzowana rozprawa doktorska mgr. inż. Adama Dorosza wnosi istotny wkład do dyscypliny „*Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka*”. Na podkreślenie zasługuje aspekt praktyczny pracy, może bowiem ona być wykorzystywana w procesie projektowania systemów wentylacji pożarowej.

Doktorant wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w ww. dyscyplinie naukowej, umiejętnością prowadzenia pracy naukowej i wykorzystania odpowiednich metod naukowych i techniki badawczej.

Wskazane wyżej uwagi krytyczne w zakresie formy edytorskiej nie umniejszają wartości recenzowanej rozprawy doktorskiej.

Podsumowując, uważam, że przedłożona przez Doktoranta mgr. inż. Adama Dorosza rozprawa doktorska pt. „*Wykorzystanie metod obliczeniowej mechaniki płynów do oceny możliwości ewakuacji podczas pożaru, implementacja do procesu projektowego*” spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim określone w Ustawie z dnia 20.07.2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U z 2023 r. poz. 742 t. j. z późn. zmianami).

Składam wniosek o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Adam Baryłka

