

Dr hab. inż. Łukasz Bartela, prof. PŚ
Politechnika Śląska
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Katedra Maszyn i Urządzeń Energetycznych
Ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice
lukasz.bartela@polsl.pl

Gliwice, 15.04.2024

Recenzja pracy doktorskiej mgra inż. Adama Dorsza

pt. Wykorzystanie metod obliczeniowej mechaniki płynów do oceny możliwości ewakuacji podczas pożaru, implementacja do procesu projektowego

Recenzja wykonana została na zlecenie prof. dr hab. inż. Tomasza Wiśniewskiego, Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka w Politechnice Warszawskiej. Promotorem pracy doktorskiej jest dr hab. inż. Artur Rusowicz, prof. PW.

1. Zasadność podjęcia tematu

Podstawową rolą nauki jest identyfikacja oraz wskazywanie ludzkości sposobów radzenia sobie z zagrożeniami jakie niesie rozwój cywilizacyjny. Działania podejmowane przez naukowców są wspierane obecnie narzędziami informatycznymi, co pozwala na podejmowanie się w sposób kompleksowy zadań wielowymiarowych, w których liczby czynników determinujących optymalne rozwiązania przekraczają praktyczne zdolności analityczne człowieka. Do takiej grupy narzędzi należą narzędzia numeryczne umożliwiające prowadzenie symulacji przepływów płynów, łącznie z zachodzącymi zjawiskami konwersji i przepływów energii z ich środowiskiem. Ograniczeniami w prowadzeniu takich symulacji, w rozumieniu dokładności z jakimi odwzorowują one rzeczywistość, mogą być: ograniczenia sprzętowe, zdolności identyfikacyjne zjawisk, umiejętność matematycznego opisu zjawisk, czas wymagany dla budowy modeli oraz prowadzenia obliczeń oraz zdolność do interpretacji rezultatów.

Wśród działań użytecznych podejmowanych przez naukę, tymi najbardziej godnymi uwagi są te działania, które umożliwiają wspieranie projektowania rozwiązań technicznych zwiększających bezpieczeństwo ludzi, a przez to też ratujących ich życie. Do grupy takich działań zalicza się działanie podjęte przez Pana mgra inż. Adama Dorsza w ramach swojej pracy doktorskiej.

Doktorant podjął się przeprowadzenia analiz numerycznych ukierunkowanych na ocenę warunków ewakuacji na podstawie stopnia widzialności w środowisku postępującego pożaru. W tym celu Doktorant wykorzystał komercyjne oprogramowanie specjalistyczne, podejmując się trudu identyfikacji podstawowych czynników determinujących zagrożenie oraz

proponując metody dla ilościowej oraz jakościowej oceny zagrożenia. Doktorat jako główny cel swojej pracy wskazał wdrożenie opracowanych metod u partnera doktoratu, co też dobrze wpisuje się w charakter doktoratu wdrożeniowego. Doktorat poprzez tematykę oraz charakter przeprowadzonych prac naukowo-badawczych dobrze wpisuje się w dyscyplinę naukową - inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

2. Charakterystyka pracy

Rozprawa doktorska składa się z 11 rozdziałów, a w tym wstępu oraz podsumowania. Prace uzupełniają zamieszczone przed jej częścią zasadniczą: streszczenia w języku polskim i angielskim oraz spis treści. Po części zasadniczej pracy znajduje się bibliografia, która odnosi się do 107 pozycji, z czego żadna nie stanowi efektu publikacyjnego Doktoranta, wykaz skrótów oraz symboli, spis tabel oraz spis rysunków.

We wstępie do pracy (Rozdział 1, Sekcja 1.1) Doktorant zapoznaje czytelnika z motywacją podjęcia się prac badawczych. Motywacja ta wyrasta przede wszystkim z rodzącej się potrzeby wdrażania rozwiązań inżynierskich wymaganych dla wspierania działań przeciwpożarowych, co skutkowało ograniczeniem liczby ofiar śmiertelnych. Doktorant wsparł wskazaną motywację statystykami oraz opisami przykładowych pożarów, do jakich dochodziło w ostatnich kilku dekadach w Polsce i na świecie. W sekcji 1.2 Doktorant wskazuje cel główny pracy. Jest nim według wskazania wdrożenie u partnera doktoratu, którym jest Akademia Pożarnicza, metod obliczeniowej mechaniki płynów do oceny warunków ewakuacji na podstawie kryterium widzialności, co służyć ma w ramach rzeczywistego procesu projektowego systemów wentylacji pożarowej. W pracy Doktorant wskazuje również 5 celów pomocniczych. Według recenzenta pierwszy wskazany cel pomocniczy stanowi cel główny. W Rozdziale pierwszym Doktorant dodatkowo przybliża zakres pracy oraz jej strukturę.

W Rozdziale 2 identyfikacji poddano warunki jakie odpowiadają za bezpieczną ewakuację. W rozdziale pojawia się kluczowa dla analiz relacja łącząca dostępny czas ewakuacji oraz wymagany czas ewakuacji. Doktorant zestawia w rozdziale parametry ograniczające możliwość ewakuacji w trakcie pożaru. Są to widzialność, temperatura oraz toksyczność. Choć sam tytuł pracy nie formułuje wyższego znaczenia dla któregokolwiek z parametrów w kontekście prowadzonych analiz, to Doktorant w swoich działaniach podjął się wyłącznie oceny warunków ewakuacji w aspekcie widzialności. Trudno z treści pracy wywnioskować, czy wynika to z faktu, że parametr ten ma kluczowe znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa, czy też z faktu, iż takie sprofilowanie działań było kluczowe z punktu widzenia potrzeb rynkowych. Stawiam więc pytania: 1) który z wymienionych parametrów jest kluczowy z punktu widzenia bezpieczeństwa oraz, co za tym idzie, z punktu widzenia wdrażanych rozwiązań inżynierskich w zakresie zapewniania bezpieczeństwa?; 2) czy

Doktorant podejmował się analiz z wykorzystaniem CFD dla symulowania warunków temperaturowych oraz toksycznych w środowisku rozprzestrzeniającego się pożaru?

Rozdział 3 porusza zagadnienia związane z technicznymi aspektami modelowania pożarów. Choć tytuł rozdziału wskazuje, że to modelowanie ma być ukierunkowane na potrzeby wentylacji pożarowych (w domyśle chodzi tutaj zapewne o ich projektowanie), to w prowadzonych analizach, dla których rezultaty zestawiane są w dalszej części pracy, Doktorant nie proponuje wytycznych w tym zakresie oraz rozwiązań technicznych, jakie byłyby optymalne z punktu widzenia bezpieczeństwa w nawiązaniu do uzyskiwanych rezultatów prowadzonych symulacji. W rozdziale Doktorant przedstawia wybiórczo założenia towarzyszące ocenie warunków środowiskowych, bazujące na modelach algebraicznych oraz na, będących ich rozwinięciem, modelach strefowych. Stanowi to tło dla omawianych w Sekcji 3.3 modeli opartych na metodach numerycznych do rozwiązywania zagadnień przepływu płynów, a więc kluczowych dla dysertacji metodach numerycznej mechaniki płynów, oznaczanych powszechnie jako CFD (ang. *Computational Fluid Dynamics*). W sekcji Doktorant zestawia oprogramowanie specjalistyczne dla modelowania zjawisk pożarowych, nie nawiązując jednak do programów popularnych, jak np. Ansys Fluent, w których modelowanie zjawisk związanych z przepływami z uwzględnieniem zjawisk turbulencji, przewodzenia ciepła, czy też spalania, wydaje się w pełni odzwierciedlać wymagania dla prowadzenia symulacji warunków towarzyszących pożarom. Czy znane są Doktorantowi implementacje popularnych programów, które szeroko są wykorzystywane przykładowo w branży energetycznej, dla problematyki właściwej dla jego działań badawczych? W dalszej części rozdziału Doktorant w sposób zwięzły przedstawia funkcjonalność oraz podstawowe funkcje wykorzystywane przez solver obliczeniowy *Fire Dynamic Simulator*, który w ramach doktoratu stanowił dla niego podstawowe narzędzie do prowadzenia analiz. Wybór narzędzia nie był wynikiem głębszej analizy jego funkcjonalności, mocnych i słabych stron, ale wyłącznie jego dyspozycyjności, którą posiada partner doktoratu. W świetle swoich doświadczeń, jakie są rekomendacje Doktoranta w zakresie narzędzi służących do prowadzenia symulacji i analiz warunków pożarowych?

W Rozdziale 4 Doktorant identyfikuje oraz charakteryzuje dwa podejścia do procesów projektowania systemów bezpieczeństwa pożarowego. Pierwszym z nich jest podejście zapewniające spełnienie wymagań formalno-nakazowych, przedstawionych przez prawodawcę, a drugim jest podejście funkcjonalne, w którym, jak pisze Doktorant, zachodzi konieczność zamodelowania pożaru oraz jego skutków tak, aby mogła zostać przeprowadzona analiza inżynierska skuteczności działania danego systemu, spełniająca wymagania funkcjonalne w rozważanym obiekcie. Takie sklasyfikowanie dwóch podejść rodzi podejrzenie, że wykorzystanie jednego z wymienionych podejść nie musi spełniać wymagań stawianych podejściu drugiemu. Czy tak jest rzeczywiście? Potrzeba spełnienia równocześnie

wymogów wskazanych w rozdziale 4 oddzielnie dla dwóch podejść wydaje się logicznie obligatoryjne.

Rozdział 5 koncentruje się na infrastrukturze narzędziowej, mającej służyć osiągnięciu wskazanych celów doktoratu. Z uwagi na czasochłonność oraz energochłonność procesów obliczeniowych wykorzystujących metody obliczeniowej mechaniki płynów Doktorant słusznie przeprowadza analizę dla różnych strategii obliczeniowych. W rozdziale zestawione są wyniki szerokich analiz dla wcześniej zdefiniowanych strategii zakładających wykorzystanie zastanej u partnera doktoratu infrastruktury sprzętowej. Finalne wskazanie optymalnej strategii jest poparty odpowiednią argumentacją.

W Rozdziale 6 Doktorant wprowadza czytelnika w podstawy określania przedmiotowej dla pracy widzialności, która jest jednym z kluczowych parametrów w kontekście bezpieczeństwa poruszania się osób ewakuowanych w czasie trwania pożaru. W Sekcji 6.1 Doktorant zestawia szereg wielkości fizycznych, które wpływają na widzialność. Wydaje się, iż w przypadku wielu wielkości sposób modelowania ich wpływu na widzialność jest bagatelizowany lub istotnie upraszczany. Przykładem może być tutaj masa wywiązywanego w procesie spalania dymu. Masa dymu, rozumiana przez Recenzenta jako masa części lotnej uwalnianej do otoczenia gazowego spalanego materiału palnego wraz z porywanymi cząstkami stałymi (sadza) jest istotnie uzależniona, nawet dla danego materiału, od warunków spalania, a w szczególności od temperatury i dostępności utleniacza. Jak dla potrzeb prowadzenia analiz określany jest współczynnik dymotwórczości materiału palnego (Y_s), który wykorzystywany jest w zal. (35)? Czy wartość współczynnika jest stała dla danego materiału niezależnie od warunków otoczenia, w którym materiał podlega utlenianiu? Nie jest to dobrze wyjaśnione w treści dysertacji.

W Rozdziale 7 Doktorant prezentuje uzyskane rezultaty modelowania matematycznego dla referencyjnej przestrzeni stanowiącej przestrzeń właściwą dla garażu podziemnego o znanej geometrii oraz znanych lokalizacjach: punktu wyciągowego wentylacji pożarowej, wentylatorów strumieniowych, punktów kompensacji naturalnych oraz wyjść ewakuacyjnych. Dla potrzeb analiz Doktorant uzmiennia tzw. parametry wejściowe, które według niego w znaczący sposób wpływają na warunki widzialności. Na wstępie jednak, w Sekcji 7.1, Doktorant poddaje dyskusji dwa standardy przebiegu krzywych rozwoju pożaru, które stanowią funkcje przejścia mocy pożaru (intensywności wywiązywania się ciepła) w czasie właściwym dla rozprzestrzeniania się pożaru samochodów osobowych. Przebiegi krzywych właściwych dla dwóch wybranych standardów bardzo się od siebie różnią, co też podkreśla Doktorant. Jak Doktorant tłumaczy tak duże różnice w wartościach mocy pożaru na różnych ich etapach? Czy w literaturze przedmiotu jest prowadzona dyskusja na temat przedmiotowych standardów, być może także wsparta prowadzonymi analizami CFD? Analizy, dla których rezultaty Doktorant zestawia w Rozdziale 7, są ukierunkowane dla

wykazania wpływu na warunki widzialności kilku parametrów, takich jak ciepło spalania, współczynnik dymotwórczości oraz lokalizacja pożaru. Wyniki analiz są dobrze prezentowane oraz dyskutowane przez Doktoranta. Pewien dyskomfort poznawczy budzi jednak aspekt metodologiczny odnoszący się do określania masy produkowanego dymu w funkcji czasu rozwoju pożaru (rys. 16). Jak należy rozumieć wartość ciepła spalania i jak ona była określana w trakcie prowadzonych analiz obliczeniowych? Czy stanowi ona wartość średnią dla spalanych w trakcie pożaru materiałów? Materiały poza ciepłem spalania, w aspekcie ważnym dla dynamiki wywiązywania się podczas ich spalania dymu, stanowiącego również nośnik dla wywiązywanych cząstek stałych, charakteryzują się również szybkością spalania, która niekoniecznie jest liniowo skorelowana z ich ciepłem spalania. Szybkość spalania, która jest istotna np. dla charakteru spalania determinującego stopień wywiązywania się sadzy (istotnej z punktu widzenia badanej widzialności), zależeć będzie np. od formy i porowatości materiałów, jak również dostępności do utleniacza (λ). W przekonaniu Recenzenta, nawet jeśli przyjąć średnią i stałą wartość ciepła spalania materiałów, to dla urealniania prowadzonych analiz pojawia się potrzeba uzależniania wartości współczynnika dymotwórczości od lokalizacji pożaru w pomieszczeniu oraz od etapu pożaru, który wydaje się determinować temperaturę spalanych materiałów, czy też dostępność utleniacza w pomieszczeniu, w którym ma miejsce pożar. W Sekcji 7.3 Doktorant odnosi się do zal. (41), której w doktoracie nie ma. W tym miejscu zapewne chodzi o zal. (35).

W Rozdziale 8 Doktorant prezentuje wyniki kolejnych analiz, ale tym razem koncentrujących się na wpływie na warunki zadymienia, a więc i widzialności, takich parametrów jak współczynnik C , będący zgodnie z opisem zależności (38) stałą charakteryzującą obserwowany obiekt przez warstwę dymu (niestety w doktoracie brakuje definicji, czy też interpretacji dla tej wielkości), jak również wysokości płaszczyzny na wysokości obserwacji. Pod koniec rozdziału Doktorant omawia kryterium akceptacji zasięgu widzialności.

Tytuł Rozdziału 9 nie jest najkorzystniej sformułowany („Ocena wyników podczas interpretacji wyników”). Ważną częścią tego rozdziału jest zaproponowanie przez Doktoranta dwóch metod oceny spełnienia kryterium akceptacji widzialności w oparciu uzyskiwane rozkłady zadymienia. W rozdziale opisano metodę wirtualnych dróg optycznych oraz metodę urzeczywistnionych dróg optycznych. Z wykorzystaniem tych metod Doktorant poddał ocenie zasięg widzialności dla różnych scenariuszy rozmieszczenia punktów początkowych ewakuacji oraz różnych przejść ewakuacyjnych. W rozdziale Doktorant zestawia wyniki analiz oraz formułuje w oparciu o nie wnioski dotyczące poziomu akceptowalności widzialności. Zestawione wyniki, uzyskane z wykorzystaniem wybranych metod, mogą prowadzić do odmiennych konkluzji dot. stopnia widzialności, choć też, co jest cenne, każda z metod nie pozostawia nieścisłości odnośnie interpretacji.

- na stronie 40, w drugim akapicie jest „... wręcz nie możliwe...”, a powinno być „... wręcz niemożliwe ...”;
- na stronie 42, w pierwszym akapicie występuje jest „... metod obliczeniowej płynów...”, a powinno być „... metod obliczeniowych mechaniki płynów ...”;
- na stronie 46, w Tabeli 2 jest wartość 1 zamiast 100;
- na stronie 74 jest „Prawo zkałada ...”, a powinno być „Prawo zakłada”;
- na stronie 74 jest „elektromagnrrrtycznego”, a powinno być „elektromagnetycznego”.

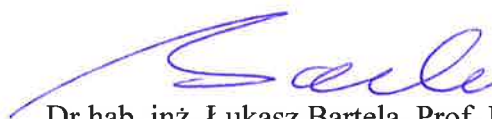
4. Podsumowanie

Po zapoznaniu się z dysertacją przygotowaną przez Pana mgra inż. Adama Dorsza stwierdzam, iż badania przeprowadzone przez niego oraz sformułowane w oparciu o nie wnioski oraz wytyczne w istotny sposób rozwijają tematykę związaną z projektowaniem zabezpieczeń pożarowych, a w szczególności systemów wentylacji pożarowej. Sformułowane wytyczne, szczególnie w zakresie prowadzenia analiz numerycznych w oparciu o metody numerycznej mechaniki płynów, stanowią przyczynę do lepszej organizacji procesów projektowania w ramach biur projektowych, jak również prowadzenia procesów weryfikacji w ramach instytucji powołanych dla sprawowania kontroli bezpieczeństwa pożarowego.

Doktorant dla osiągnięcia postawionych w pracy celów przeprowadził wielowariantowe analizy w oparciu o wypracowaną metodologię. Z całą pewnością doktorat byłby bardziej kompletny, gdyby wypracowane podejście metodologiczne poddane zostało weryfikacji w oparciu o przeprowadzone eksperymenty lub chociaż wyniki analiz numerycznych zaczerpnięte z literatury przedmiotu.

Z treści rozprawy wnioskuję, iż Doktorant posiada wiedzę teoretyczną w obszarze mechaniki płynów oraz dobrze ugruntowaną wiedzę z zakresu formalnych wytycznych dla projektowania systemów bezpieczeństwa pożarowego. Nie jest znana mi niestety działalność publikacyjna doktoranta.

Pragnę podkreślić, iż sformułowane przeze mnie uwagi krytyczne odnoszące się do rozprawy nie mają wpływu na pozytywną jej ocenę. Będąca przedmiotem oceny rozprawa doktorska mgra inż. Adama Dorsza pt. *Wykorzystanie metod obliczeniowej mechaniki płynów do oceny możliwości ewakuacji podczas pożaru, implementacja do procesu projektowego* spełnia wymogi określone w Ustawie o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki. W związku z powyższym stawiam wniosek o skierowanie rozprawy doktorskiej do publicznej obrony.



Dr hab. inż. Łukasz Bartela, Prof. PŚ
Katedra Maszyn i Urządzeń Energetycznych
Politechnika Śląska