

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Izabeli Tekielak - Skalki

pt. „Badanie oporów przepływu powietrza w wydzielonych pożarowo klatkach schodowych podczas działania wentylacji pożarowej”

Podstawa formalna opracowania recenzji

Niniejszą recenzję opracowano na zlecenie Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Warszawskiej, na podstawie Uchwały nr 123/2019 Rady Wydziału Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej z dnia 26 września 2019 roku.

Charakterystyka rozprawy

Pożar w przestrzeniach ograniczonych stanowi nadzwyczajne zagrożenie środowiska budowli. Bezpieczeństwo pożarowe budynków, jest realizowane między innymi przy użyciu zabezpieczeń aktywnych, wśród, których ważną rolę odgrywają systemy wentylacji pożarowej. Ich zadaniem jest ograniczenie zadymienia przestrzeni wewnątrz budynku, co umożliwi ewakuację użytkowników, a także prowadzenie działań ratowniczo-gaśniczych. Pożary w budynkach wysokich i wysokościowych stwarzają duże zagrożenie dla użytkowników obiektów jak i dla strażaków. Ochrona pionowych ciągów ewakuacyjnych jest ważna szczególnie. Poprawna praca systemów wentylacji pożarowej klatek schodowych zależy w sposób istotny od strumieni dostarczanego powietrza.

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Izabeli Tekielak - Skalki dotyczy problemów oporów przepływowych powietrza w wydzielonych pożarowo przestrzeniach pionowych budynku (klatkach schodowych), mających silny wpływ na rozkłady ciśnień w tych przestrzeniach.

Do tej pory wykonano stosunkowo niewiele badań w ww. zakresie, w związku z czym, co oczywiste, obszar badawczy jest słabo rozpoznany. Wcześniejsze analizy, prowadzone m. in. przez Tamurę nie uwzględniały wpływu elementów architektonicznych i wysokości kondygnacji klatki schodowej na opory przepływu. Wobec ważności problemów bezpieczeństwa podczas pożarów budynków wysokich i wysokościowych, zidentyfikowany przedmiot badań należy uznać za trafny z uwagi na walory poznawcze, implikujące ważne rozwiązania utylitarne. Temat rozprawy odpowiada tematyce wykonanych badań.

Przedłożona praca dotyczy badań eksperymentalnych w małej skali fizycznej oraz analiz numerycznych procesów przepływowych fazy gazowej w skali 1:10 i 1:1.

Praca składa się łącznie z 10 rozdziałów i 1 załącznika zawierającego tabele danych wartości ciśnienia statycznego odczytane z przekrojów pomiarowych na kolejnych kondygnacjach, dla przyjętych modeli CFD klatki schodowej. Zawiera razem z załącznikiem 169 stron i 86 pozycji bibliograficznych. Strukturę rozprawy należy uznać za prawidłową.

Praca rozpoczyna krótkie Wprowadzenie (rozdział 1) przedstawiające istotę problematyki, kontynuowaną następnie w rozdziale 2. Autorka dokonała w nim przeglądu aktualnego stanu wiedzy, wynikającego z badań innych autorów, a także dotychczasowych prac w których sama brała udział. Obejmuje on zagrożenia związane z pożarem wewnętrznym, charakterystykę przepływów w budynku, czynniki wpływające na rozkłady ciśnień wewnątrz klatek schodowych, systemy wentylacji pożarowej, oddymianie i zapobieganie zadymieniu oraz wpływ oporów przepływu na funkcjonowanie systemów wentylacji pożarowej. Systemy wentylacji pożarowej wykorzystują strumień powietrza dostarczany do klatki schodowej, który generuje podczas przepływu opory wpływające na rozkład ciśnienia w ciągu pionowym budynku. W zakresie systemów zapobiegania zadymieniu, należy zwrócić uwagę na ciekawe zastosowanie aktywnych rozwiązań przepływowych, opisane przez zespół badaczy Politechniki Warszawskiej.

Jak konkluduje Autorka, podsumowując przegląd literaturowy, opory przepływu w klatkach schodowych budynków nie zostały wystarczająco zbadane. Opory tego rodzaju opisuje się w sposób uproszczony, za pomocą pojedynczych wartości współczynników oporów dla danej wysokości klatki schodowej. Brak jest danych, jak powiedziano już wcześniej, dotyczących przepływów w różnych geometriach klatek schodowych, o zmiennych szerokościach schodów i duszy, wysokości pojedynczej kondygnacji, obecności lub braku poręczy.

Na podstawie przeprowadzonego przeglądu stanu wiedzy Autorka w rozdziale 3 formułuje tezę, cytując (str. 66): *Wywołany naturalnymi i mechanicznymi czynnikami przepływ powietrza i dymu w przestrzeni wydzielonej pożarowo klatki schodowej generuje opory, których wielkość jest proporcjonalna do intensywności przepływu i ściśle powiązana z geometrią wewnętrzną tej przestrzeni.*

Korelacja intensywności nawiewu pożarowego z oporami charakterystycznymi dla określonego typu konstrukcyjnego klatki schodowej ma decydujące znaczenie dla faktycznej skuteczności oddymiania lub zabezpieczenia nadciśnieniowego tej przestrzeni, szczególnie dla klatek schodowych o znacznej wysokości.

Wobec sformułowanej tezy, przyjęto cel pracy, dotyczący określenia strat ciśnienia występującego w klatce schodowej w wyniku przepływów fazy gazowej. Zakres dysertacji obejmował badania eksperymentalne w modelu fizycznym 1:10 oraz modelowanie numeryczne przepływów w różnej skali.

Rozdział 5 opisuje zastosowaną metodologię badań w małej skali przy zastosowaniu zasad podobieństwa geometrycznego i dynamicznego oraz ogólną metodykę analiz numerycznych.

Rozdziały 6 i 7 stanowią najważniejszą część pracy. W rozdziale 6 zawarto opis badania modelu klatki schodowej wykonanego w skali 1:10. Odwzorowywał klatkę schodową

o wymiarach 2,50 m x 5,50 m i wysokości 25,0 m, bez poręczy, z poręczami pełnymi oraz z ażurowymi. Ciśnienie mierzono na trzech wysokościach. W pierwszym etapie wykonano badania szczelności modelu, mierząc nadciśnienie w jego wnętrzu oraz strumień powietrza przepływający przez ewentualne nieszczelności, potwierdzając szczelność modelu. Stosowano prędkości przepływu powietrza do 0,6 m/s, określając spadki ciśnienia pomiędzy poszczególnymi płaszczyznami pomiarowymi. Wyznaczono funkcje zależności strat ciśnienia od prędkości przepływu dla wszystkich rodzajów wypełnień klatki schodowej.

Otrzymane wyniki doświadczalne porównano następnie z wynikami obliczeń numerycznych opisanych w rozdziale 7. Wykonano analizy numeryczne przy użyciu programu Ansys Fluent przeznaczonego do symulacji CFD zjawisk cieplno – przepływowych, sprawdzając jaki wpływ na wartość oporów przepływu ma szerokość schodów oraz duszy, przy stałej szerokości klatki schodowej. Następnie prowadzono symulacje CFD dla różnej budowy architektonicznej klatek schodowych. Analiza wyników symulacji komputerowych doprowadziła do określenia analitycznej zależności wartości współczynnika oporów od wymiarów geometrycznych klatki schodowej.

Rozdział 7 kończą wyniki analizy numerycznej wykonane dla modelu klatki schodowej w skali 1:10, dla którego poprzednio wykonano badania eksperymentalne oraz modelowanie numeryczne przepływów w tym modelu w skali 1:1. Dokonano ogólnej oceny poprawności zastosowanej sieci obliczeniowej, jak i porównano wyniki strat ciśnienia przypadających na pojedynczą kondygnację klatki schodowej, otrzymane w symulacjach dla różnych modeli. W rozdziale 8 Autorka opisała praktyczne zastosowanie otrzymanych wyników badań, wykorzystując obliczony analitycznie współczynnik oporów, do określania ciśnienia wewnątrz klatki schodowej. Na końcu pracy zostało przedstawione Podsumowanie i podano wnioski.

Ogólna ocena rozprawy

Przedstawioną do recenzji rozprawę należy ocenić pozytywnie. Doktorantka zajmuje się ważną i aktualną problematyką przepływów powietrza w wydzielonych pionowo pionowych drogach ewakuacyjnych podczas działania wentylacji pożarowej.

Podjęty przez Autorką problem mieści się w głównym nurcie podejmowanych na świecie prac badawczych w zakresie zmniejszania zagrożenia dymem. Jest bardzo istotny z punktu widzenia oceny zagrożenia ludzi, podczas pożaru budynku wysokiego czy wysokościowego.

O posiadaniu przez Doktorantkę ogólnej wiedzy teoretycznej w zakresie obejmującym badania, świadczy zawarty w rozdziale 2 pracy przegląd aktualnego stanu wiedzy, obejmujący główne zagadnienia związane z wentylacją pożarową.

Sformułowaną tezę jak i cel pracy należy uznać jako wynikające z przeprowadzonej analizy stanu wiedzy. Są podane jasno i jednoznacznie, a przyjęty zakres pracy służy do ich realizacji.

Wykonane badania eksperymentalne zostały przeprowadzone poprawnie metodycznie z wykorzystaniem nowoczesnego aparatu naukowego.

Autorka wykazała się znajomością i dobrym opanowaniem bardzo złożonego narzędzia obliczeniowego jakim jest zwalidowany program komputerowy stosujący CFD, Ansys Fluent, wraz z umiejętnością poprawnej interpretacji wyników symulacji. Należy podkreślić bogatą dokumentację szeregu obliczeń numerycznych przeprowadzonych przez Doktorantkę, zawartych w Załączniku pracy. Świadczy to o dobrym opanowaniu metod badawczych i rzetelnym przeprowadzeniu badań.

Za najważniejszy oryginalny element pracy uważam opracowanie autorskiej metody określania wartości współczynnika oporów przepływów w przestrzeniach klatki schodowej, a w szczególności:

- przeprowadzenie syntetycznego przeglądu stanu badań wentylacji pożarowej,
- badania doświadczalne zjawisk przepływowych w modelu klatki schodowej w skali 1:10, z identyfikacją przepływów spiralnych (potwierdzonych numerycznie),
- symulacje numeryczne przepływów w modelu fizycznym w małej skali 1:10 oraz w skali 1:1,
- porównanie wyników badań doświadczalnych i symulacji numerycznych, dla różnych parametrów geometrycznych klatek schodowych.

Zależności opracowane w pracy przez Panią mgr. inż. Izabelę Tekielak – Skalkę do obliczania oporów przepływu powietrza, mogą znaleźć zastosowanie do określania strat ciśnienia, występujących przy przepływie powietrza, niezbędnych do poprawnego projektowania skutecznej wentylacji pożarowej.

Zaprezentowana przez Autorkę praca świadczy o nabyciu przez Nią umiejętności prowadzenia samodzielnych badań naukowych i prawidłowej interpretacji wyników. O umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej świadczy poprawne sformułowanie tezy pracy, którą należy uznać za wykazaną, przy użyciu metod doświadczalnych, analitycznych jak i analiz numerycznych, a cel pracy za zrealizowany .

Uwagi krytyczne i dyskusyjne

- w rozdziale 2.2 omawiającym zagrożenia związane w wystąpieniem pożaru, pominięto najważniejsze: zagrożenie dymem, którego dotyczy praca. Co prawda zawarto wzmiankę na ten temat w rozdziale 2.6, ale pominięto główne zagrożenie dymem na początku pożaru, jakim jest redukcja zasięgu widzialności, która zwykle następuje najwcześniej, prowadząc do paniki, zakłócenia ewakuacji i utrudnia działania ratownicze,
- brak opisów wielkości występujących we wzorach. Zwracam uwagę na ten brak również w kontekście późniejszych publikacji Autorki,
- rozdział 2.5.3, str. 43 i 44, w zakresie opisu przebiegu pożaru przytoczono jedynie późniejszą przeglądową publikację Bengtssona z 2001 roku. Pierwsze naukowe prace dotyczące krzywej temperatura – czas pojawiły się już w latach 50-tych XX wieku. Zdaniem recenzenta należało zacytować którąś z klasycznych prac np. D. Drysdale, An Introduction to Fire Dynamics, New York 1985, Karlsson B, Quintiere J.G., Enclosure Fire Dynamics, CRC Press, 2000 czy G. Cox, Combustion Fundamentals of Fire, Fire Research

Station, UK, 1995. Warto zauważyć (rys. 14), że pionowy rozkład ciśnienia w otworze wentylacyjnym jest funkcją mocy energii cieplnej generowanej wewnątrz pomieszczenia i w zależności od jej szybkości wzrostu zmienia się zwykle bardzo dynamicznie, co powoduje zmiany położenia strefy neutralnej (jej obniżenie) i wartości strumieni gazów wypływających i wpływających do pomieszczenia,

- proszę skomentować sformułowanie ze str. 48 „...ukierunkowany przepływ...wystąpi, gdy w klatce schodowej wystąpi efekt kominowy i/lub temperatura gazów pożarowych będzie wystarczająco wysoka do wystąpienia efektu wporu.....” co oznacza „wystarczająco wysoka” w kontekście np. efektu stratyfikacji dymu,

- rozdział 2.5.2 dotyczący efektu kominowego nie zawiera choć krótkiej wzmianki o efekcie kominowym odwrotnym, mającym wpływ na ruch powietrza i dymu w budynkach wysokich w lecie, chociaż w dalszej części pracy o nim się mówi,

- na str. 69, Autorka pisze o popularności zastosowanego narzędzia obliczeniowego, co ze względów oczywistych nie jest kryterium naukowym. Program Ansys Fluent stał się często używany bo jest dobrze zweryfikowany i zwalidowany w zakresie opisu zjawisk ciepłno – przepływowych w środowisku pożaru, a ponadto stosuje niestrukturalną siatkę obliczeniową co zmniejsza niepewności wyników symulacji,

- Autorka nie przedstawiła niestety choć krótkiej dyskusji dot. niepewności pomiarowych (dawniej błąd pomiaru) np. brak podania niepewności pomiarów w tabeli 22,

- brak danych dotyczących wymiarów komórek siatki obliczeniowej,

- brak krótkiej analizy otrzymanych wyników dot. zjawisk przepływowych w sytuacji generacji dymu w pomieszczeniu ze źródłem ognia. Podczas rzeczywistego pożaru wraz ze zmianą generowanej mocy cieplnej (i temperatury) w pomieszczeniu, zmienia się rozkład ciśnień w otworze wentylacyjnym i ulega zmianie temperatura wpływającego do klatki schodowej dymu i jego strumień masowy. W jakim stopniu, według Pani oceny, wpływający strumień gorącego dymu może zaburzać rozkład ciśnień w części klatki schodowej?

Rozprawa napisana została ogólnie starannie od strony edytorskiej. Doktorantka jednak nie ustrzegła się pewnych błędów jeśli chodzi o styl i precyzję sformułowań:

- w wielu miejscach pracy zamiast „ilość” (np. zdarzeń, pożarów) powinna być „liczba”,

- w kilku miejscach zamiast „wartości parametru” użyto „parametru”,

- kolokwializmy i brak precyzji określeń, np. str. 68 „Z tego powodu ciężko jest jednoznacznie określić..”, str. 78, 2 wiersz od dołu strony „...tempo przepływu..”, rozdział 9, str. 125 „...pewne odzwierciedlenie...pewną dokładnością”,

- rozdział 2.5, „Oba parametry (przepływ i ciśnienie) są powiązane..” przepływ (powietrza i dymu) jest zjawiskiem ruchu płynu, a nie parametrem,

- wzór nr 31 jest błędny, sprzeczny ze wzorem nr 45,

- zdaniem recenzenta w rozdziale 5 i dalszych należało użyć pojęcia „małej skali fizycznej 1:10” oraz badań w „skali pełnej 1:1” zamiast pojęcia badań rzeczywistych, co uczyniłoby treści bardziej przejrzyste,

- niepełne opisy pozycji literaturowych nr 16, 34, 70.

Zdaniem recenzenta, uwagi krytyczne nie obniżają dobrego poziomu merytorycznego i ogólnej wysokiej oceny dysertacji. Uwagi mają charakter porządkowy lub dyskusyjny i mam nadzieję, że przynajmniej w części będą pomocne Doktorantce podczas pisania kolejnych publikacji naukowych.

Podsumowanie i wniosek końcowy

Recenzowana praca doktorska stanowi oryginalne dokonanie naukowe na temat oporów przepływu powietrza w wydzielonych pożarowo klatkach schodowych.

Podsumowując recenzję, należy stwierdzić, że Doktorantka dobrze opanowała metodykę pracy naukowej, techniki pomiarowe i obliczeniowe, wykazała niezbędny zasób wiedzy z przedmiotowego zakresu badań, wykazując tym samym predyspozycje do samodzielnej pracy naukowej. Uzyskane wyniki mogą być wykorzystane w procesie projektowania instalacji wentylacji pożarowej klatek schodowych.

Praca została napisana w sposób zrozumiały, poprawnym językiem z użyciem ogólnie poprawnej terminologii naukowej.

Tematyka pracy jak i wyniki badań przeprowadzonych przez Doktorantkę stanowią, moim zdaniem, istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka. W szczególności w zakresie Inżynierii Środowiska.

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia wymogi zawarte w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, w szczególności:

Rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego o bardzo istotnym znaczeniu praktycznym,

Doktorantka wykazała ogólną wiedzę teoretyczną a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

W związku z powyższym, wnoszę o przyjęcie recenzowanej rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

