



Dr hab. inż. Anna Bogdan, prof. PW

Warszawa, dn. 23.05.2016r.

ul. Nowowiejska 20

00-653 Warszawa

t: +48 22 234 51 37

f: +48 22 234 78 87

e: anna.bogdan@is.pw.edu.pl

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Agnieszki Palmowskiej
pt. „Modelowanie rozdziału powietrza wentylacyjnego w hali krytego lodowiska”

1. Wstęp

Podstawą przygotowania recenzji jest pismo Prof. dr hab. inż. Krzysztofa Barbusińskiego, Prodziekana do. Organizacji i Rozwoju Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej (pismo znak RIE-BD/4/235/2015/2016 z dnia 23.03.2016r.).

Rozprawa doktorska została przygotowana pod opieką naukową dr hab. inż. Barbary Lipskiej, prof. PŚ. Rozprawa składa się z 148 stron, na których zamieszczono: wstęp, spis ważniejszych oznaczeń i indeksów, 7 rozdziałów głównych, podsumowanie, wnioski oraz bibliografię. Bibliografia składa się z 69 pozycji, przy czym pozycji naukowych jest 43 (w tym 3 autorstwa Doktorantki), pozostałe pozycje są to instrukcje, normy, poradniki oraz adresy stron internetowych.

Zgodnie z wymaganiami ustawy o stopniach naukowych (Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. Dz. U. nr 65, poz. 595, z późn. zm.) rozprawa doktorska „powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego (...) oraz wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej (...) oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej”. Z tej przyczyny w recenzji skupiono się na ocenie następujących aspektów rozprawy: znaczenia podjętej tematyki, oryginalności rozwiązania problemu naukowego, wartości naukowej oraz charakterystyki formalnej rozprawy.

1. Znaczenie podjętej tematyki rozprawy

Celem nadrzędnym badań opisanych w rozprawie było opracowanie modelu numerycznego przepływu powietrza, wilgoci i ciepła w hali krytego lodowiska a także przeprowadzenie dodatkowych obliczeń wskazujących możliwości poprawy warunków środowiska wewnętrznego w ww. obiekcie.

Wybór tematu badawczego wpisuje się w aktualne trendy badań naukowych, których celem jest oszczędność zużycia energii przy zachowaniu najwyższych standardów odnośnie środowiska wewnętrznego w budynkach. Zastosowanie metod numerycznych jest rozwiązaniem umożliwiającym uzyskanie wysokiej dokładności, a przez to wiarygodnych wyników prognozujących parametry środowiska wewnętrznego, co przy jednoczesnej analizie zużycia energii dla danego wariantu stwarza możliwość optymalizacji rozwiązań wentylacji i klimatyzacji budynków. Problemem przy stosowaniu metod CFD jest opracowanie dokładnego modelu wstępnego, który będzie mógł stanowić bazę do dalszych obliczeń. Modele tego rodzaju z jednej strony powinny uwzględniać jak najwięcej szczegółów charakterystycznych dla danego obiektu, jak również procesów fizycznych zachodzących w obiekcie i jego otoczeniu, z drugiej strony ze względu na czasochłonność kolejnych iteracji obliczeń numerycznych oraz możliwości sprzętowe należy dążyć do uproszczania konstrukcji modelu. Z powyższych przyczyn kluczowymi elementami przy opracowywaniu modeli bazowych jest wypracowanie kompromisu między szczegółowością a prostotą wprowadzonych informacji, który to kompromis pozwoli uzyskać wyniki obliczeń maksymalnie zbliżone do rzeczywistych warunków występujących w danym obiekcie. Jednocześnie należy zauważyć, że opracowywany i zwalidowany model bazowy jest aplikowalny wyłącznie dla danego obiektu, jednakże rozwiązania zastosowane w danym modelu (np. wskazanie modeli promieniowania lub turbulencji, które będą umożliwiały uzyskanie dokładnych wyników obliczeń) są informacjami wartościowymi również dla innych badaczy specjalizujących się w prowadzeniu obliczeń numerycznych.

W przedstawionej rozprawie Doktorantka przeprowadziła cały cykl badawczy, na który składało się: opracowanie modelu bazowego przepływów powietrza i analiz cieplno-wilgotnościowych hali krytego lodowiska, wytypowanie modelu promieniowania do uwzględnienia w modelu bazowym, wprowadzenie modelu zmiany wilgotności powietrza w wyniku emisji z powierzchni lodowiska oraz przeprowadzenie walidacji modelu bazowego. Dopiero po zakończeniu tych prac przeprowadzono analizę możliwości zastosowania innych rozwiązań wpływających na parametry środowiska wewnętrznego.

Na podstawie przedstawionych informacji uznaję wybór tematu i celu rozprawy za właściwy i zgodny z obecnymi trendami i badaniami w tym zakresie. Praca nad modelem bazowym dostarczyła wielu cennych wniosków i sugestii, które mogą być zastosowane przez innych badaczy, jak również w dalszej analizie różnych rozwiązań, które mogą być zastosowane przy wentylacji i klimatyzacji hal lodowiska, wskazała praktyczne drogi, którymi mogą podążać projektanci i właściciele tego rodzaju obiektów.

2. Oryginalność rozwiązania problemu naukowego

Do oryginalnych osiągnięć przedstawionej rozprawy zaliczam przede wszystkim przygotowanie walidowanego modelu bazowego do zastosowania w analizie wpływu poszczególnych elementów na środowisko wewnętrzne w salach krytych lodowisk. Przy pracach nad tym modelem Doktorantka rozwiązała pomniejsze zadania, np. dobór parametrów brzegowych, wybór modelu promieniowania, kwestia wilgotności względnej nad powierzchnią lodu itp. Wnioski uzyskane z tych badań wypełniają „lukę w wiedzy” na temat modelowania tego rodzaju obiektów, jak również mogą być przydatne dla innych badaczy prowadzących tego rodzaju obliczenia.

3. Wartość naukowa rozprawy

Autorka postawiła sobie za cel opracowanie modelu bazowego przepływów powietrza i warunków cieplno-wilgotnościowych w hali krytego lodowiska, a w dalszym etapie, na bazie opracowanego modelu, przeprowadziła analizy wpływu różnych zmian w instalacji na parametry środowiska wewnętrznego.

Jak wskazałam wcześniej praca nad modelem CFD wymaga kompromisu pomiędzy dokładnością odwzorowania występujących procesów a czasem trwania obliczeń i możliwościami sprzętowymi, a w konsekwencji również nad wykorzystaniem uzyskanych wyników. Przy tworzeniu modelu bazowego Doktorantka zbadala i uwzględniała wiele parametrów składających się na warunków brzegowe modelu, natomiast w pracy zabrakło jeszcze kilku pytań, na które Doktorantka powinna odpowiedzieć:

- Nie znalazłam w pracy żadnych analiz uzasadniających zastosowanie danej siatki dyskretyzacji (gęstość siatki, warstwy przy kluczowych elementach itp.). Jednym z elementów kluczowych dla dokładności uzyskanych wyników jest właśnie prawidłowo przyjęta siatka, natomiast w pracy tylko wskazano, jaką zastosowano bez głębszych analiz tego tematu.
- W jednym zdaniu wskazano również przyjęty model turbulencji STT, a jako wytyczne do takiego rozwiązania wskazano wyniki pracy dyplomowej. Również przyjęty model turbulencji ma znaczny wpływ na dokładność wyników, zatem w mojej opinii warto było również ten aspekt badań pogłębić lub też przytoczyć szerzej zasadność zastosowania STT.
- Nie przeprowadzono badań weryfikacyjnych przy uwzględnieniu obecności osób zarówno na tafli lodu, jak i na widowni, natomiast w dalszych analizach (rozdział 8) symulacje udziału widowni i zawodników są uwzględnione. Udział ludzi wpływa zarówno na ruch powietrza w hali, jak i na zyski ciepła i wilgoci, stąd uważam, że warto było również przeprowadzić weryfikację tych wariantów.
- Wyniki badań weryfikacyjnych można uznać za satysfakcjonującej, jednakże najlepszym ich potwierdzeniem byłoby przeprowadzenie analiz statystycznych. W pracy w rozdziale 8 pojawiają się zdania wskazujące, że takie analizy były prowadzone, jednakże brakuje informacji jakie to były analizy, jakie przyjęto metody, jakie testy itp. Ponieważ rozbieżności w wynikach obliczeń i pomiarach rzeczywistych wynoszą ponad 80% i wiązały się np. z „przesunięciem

porównywanych punktów”, warto było jeszcze popracować nad modelem lub przeprowadzić jeszcze raz pomiary weryfikujące dokładnie pod tym kątem. W hali podczas pomiarów mogła występować infiltracja, która nie została ujęta w modelu, a wpływała na uzyskane wyniki prędkości powietrza.

- Analizy porównawcze różnych wariantów wentylacji i klimatyzacji w hali wskazały, które rozwiązania kreowały najlepsze warunki środowiska wewnętrznego w hali. Zabrakło jednak choć niewielkiego komentarza dotyczącego kwestii energetycznych – jak zaproponowane zmiany wpływają na zużycie energii podczas eksploatacji obiektu.

Jednocześnie pragnę podkreślić, że powyższe uwagi nie rzutują na moją ogólną pozytywną ocenę prac zrealizowanych przez Doktorantkę.

4. Ocena strony formalnej rozprawy

Trzon rozprawy stanowi 7 rozdziałów podzielonych na 3 części: (1) przygotowanie i walidacja modelu bazowego, (2) analiza wpływu przyjętych rozwiązań wpływających na warunki przepływu powietrza oraz cieplno-wilgotnościowe w obiekcie, (3) wstęp, wnioski, podsumowanie.

Pierwszy rozdział pracy stanowi wprowadzenie do tematyki rozprawy zrealizowane poprzez przegląd literatury dotyczącej konstrukcji budynków przeznaczanych na lodowisko, informacji o wentylacji i klimatyzacji hal lodowisk, modelowania numerycznego środowiska wewnętrznego w tego rodzaju obiektach. Przytoczono interesujące i poprawne informacje, brakuje jednakże podsumowanie przeprowadzonych studiów literaturowych. Doktorantka powinna wskazać „lukę w wiedzy”, którą zaobserwowała podczas studiów literaturowych i którą postawiła wypełnić poprzez realizację swojej pracy doktorskiej. Zabrakło również w tym momencie przeglądu stosowanych metod i programów do prowadzenia analiz numerycznych oraz sprawdzenia, które z tych rozwiązań pasowało do analizy środowiska w hali lodowiska (ze względu na możliwości obliczeniowe) i uzasadnienia dla wyboru programu stosowanego w dalszych badaniach (ANSYS CFX).

W drugim rozdziale przedstawiono cel pracy oraz wskazano zadania cząstkowe, jakie przyjęto w realizacji kolejnych prac.

W trzecim rozdziale przedstawiono przyjętą metodykę badawczą, którą zastosowano do opracowania modelu bazowego. Przedstawiono informacje o samym obiekcie, jednakże w tym punkcie powinno znaleźć się również więcej informacji o własnościach cieplnych budynku, np. współczynnikach przenikania przegród, mocy zastosowane oświetlenia, orientację obiektu itp. W rozdziale tym również wskazano metodykę badawczą zastosowaną przy pomiarach parametrów środowiska wewnętrznego, których wyniki zostały następnie wykorzystane podczas weryfikacji modelu bazowego. Przeprowadzono pomiary ciągłe (temperatura i wilgotność względna powietrza w hali i powietrza nawiewanego oraz parametry powietrza zewnętrznego) oraz lokalne (strumienie objętości powietrza nawiewanego, temperatura i wilgotność względna i prędkości powietrza nad lodem, temperatura powierzchni lodu). W tym momencie chciałabym zwrócić uwagę na stosowane przez Doktorantkę określenia „prędkość” i

„szybkość” powietrza. Czasem wyniki badań określanych jako „prędkość powietrza” były następnie analizowane jako „szybkość powietrza”.

Opis metody prowadzenia badań jest bardzo szczegółowy, przejrzysty i uzupełniony wieloma zdjęciami i schematami ułatwiającymi orientację w temacie. W rozdziale tym przedstawiono również informacje nt. wybranego programu do prowadzenia obliczeń numerycznych. Przedstawiono m.in., jakie modele promieniowania są w programie wprowadzone, zaznaczę jednak, że zamiast wyłącznie opisywać różnice między tymi modelami warto było również podać równania dla każdego modelu.

W rozdziale piątym przedstawiono wyniki badań prowadzonych w celu określenia warunków brzegowych, które zostały wprowadzone następnie w modelu bazowym. Określono parametry tafli lodu, powietrza zewnętrznego, powietrza nawiewanego, wizualizację przepływów powietrza w hali, parametry powietrza wewnętrznego. Pomimo dużej liczby danych informacje przedstawione w rozdziale są przejrzyste i czytelne.

Rozdział szósty poświęcono przedstawieniu prac zrealizowanych w celu przygotowania modelu bazowego. W pierwszym etapie wykonano model w małej skali, następnie w skali rzeczywistej. Przeprowadzono analizy porównawcze do określenia modelu promieniowania oraz warunków brzegowych w otworze wywiewnym. Przedstawiono dokładnie cały tok postępowania, uzupełniając materiał odpowiednimi rysunkami, wykresami i tabelami ułatwiającymi analizę metod wybranych zastosowanych przy przygotowywaniu modelu bazowego.

W rozdziale siódmym przedstawiono wyniki walidacji modelu bazowego, przedstawiono wiele wykresów i rysunków umożliwiających samodzielną ocenę przeprowadzonych badań jakościowych i ilościowych. Mimo natłoku danych materiał ten jest bardzo czytelny.

Rozdział ósmy zawiera informacje nt. rozwiązań wentylacji i klimatyzacji, jakie mogą być zastosowane w badanej hali lodowiska w celu poprawy warunków środowiska wewnętrznego. W tych modelach wprowadzono obecność ludzi na lodowisku i na widowni. Do obliczeń wybrano następujące warianty: rzeczywiste uwzględnienie użytkowników obiektu, zastosowanie osuszacza wolnostojącego i w centrali, rozdzielenie rozdziału powietrza z 10% powietrza osuszanego, zintegrowanie rozdziału powietrza i osuszania, zwiększenie strumienia objętości powietrza osuszanego itp. Przedstawiono informacje zarówno o wprowadzonych modyfikacjach w modelu bazowym dla każdego wariantu, jak również wyniki przeprowadzonych obliczeń.

W rozdziale dziewiątym przedstawiono wnioski z przeprowadzonych analiz i podsumowanie całej rozprawy. Zabrakło jednakże informacji o możliwościach dalszego rozwijania modelu, metodach jego innego wykorzystania oraz szerszych wniosków wynikających z pracy nad samym modelem bazowym.

W pracy pojawiają się błędy gramatyczne i drobne błędy ortograficzne, jednakże nie rzutują one na ocenę pracy. Podsumowując formalną stronę rozprawy uważam, że praca została zrealizowana rzetelnie, tj. przyjęta struktura pracy jest prawidłowa i zgodna z cyklem prowadzonych badań; układ pracy jest przejrzysty i uporządkowany, rysunki i tabele są opisane i przytoczone prawidłowo.

5. Wnioski końcowe

Podsumowując przedstawione powyżej uwagi krytyczne lub dyskusyjne stwierdzam, że nie wpływają one na moją pozytywną ocenę rozprawy doktorskiej mgr inż. Agnieszki Palmowskiej, przygotowanej pod opieką dr hab. inż. Barbary Lipskiej, prof. PŚ. W mojej opinii przedstawiona rozprawa doktorska jest wartościowym wkładem teoretycznym w prowadzenie badań numerycznych, jak również w praktykę projektowania i utrzymania hal krytych lodowisk.

Uważam, że Doktorantka zrealizowała postawiony cel, wykazała się odpowiednim poziomem wiedzy teoretycznej, samodzielnością prowadzenia pracy naukowej i oryginalnością w rozwiązaniu problemu naukowego. W związku powyższym rozprawa została przygotowana zgodnie z wymaganiami przedstawionymi w „Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” (DzU 2003, nr 65., poz. 595 z późniejszymi zmianami). Wniosuję o dopuszczenie mgr inż. Agnieszki Palmowskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Anna Bogdan

