

Gliwice, 25 maja 2011

Dr hab.inż. Barbara Lipska prof. nadzw.w Pol.Śl.
Katedra Ogrzewnictwa, Wentylacji i Techniki Odpylania
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Politechnika Śląska



RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Bulińskiej
pt.: **Analiza wykorzystania generowanego metabolicznie ditlenku węgla jako znacznika gazowego do określania wymiany powietrza w pomieszczeniach**

Podstawą opracowania niniejszej recenzji była uchwała Rady Wydziału Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej z dnia 29.04.2011, pismo Dziekana Wydziału Pana dra hab. inż. Janusza Kotowicza prof. Pol.Śl. z dnia 29.04.2011 oraz dostarczony egzemplarz rozprawy doktorskiej.

Celowość podjęcia tematu

Odpowiednia wymiana powietrza w mieszkaniach jest konieczna dla zapewnienia przebywającym w nich ludziom warunków higienicznych i komfortu cieplnego. Należy jednak zdać sobie sprawę, że działanie wentylacji wiąże się z potrzebą dostarczenia w okresie zimowym i przejściowym energii cieplnej do ogrzania powietrza napływającego z zewnątrz do pomieszczeń. Wartości strumienia objętości powietrza wentylacyjnego mają więc wpływ na wartości sezonowego zapotrzebowania na ciepło. Są zatem jednym z elementów, będących przedmiotem audytu energetycznego budynku.

Opracowanie oceny energetycznej istniejącego obiektu wymaga identyfikacji zachodzących w nim przepływów powietrza. Najlepiej było by, gdyby zostały one zbadane eksperymentalnie. Potrzeba takich badań zachodzi również wtedy, gdy pojawiają się wątpliwości co do zapewnienia odpowiednich warunków higienicznych dla przebywających w mieszkaniach ludzi. Jednak bezpośredni, jednoczesny pomiar strumieni objętości powietrza przepływającego pomiędzy wieloma strefami budynku mieszkalnego, jest bardzo trudny do realizacji.

Pani mgr inż. Anna Bulińska podjęła się w ramach swojej pracy opracowania pośredniej metody identyfikacji międzystrefowych przepływów powietrza przy wykorzystaniu wyników pomiarów rozkładów czasowych ditlenku węgla wytwarzanego przez człowieka. Zajęcie się tym tematem w świetle przedstawionych powyżej wyjaśnień uważam za jak najbardziej celowe i aktualne.

Ocena merytoryczna pracy

Praca zawiera 115 stron i jest podzielona na 6 rozdziałów. Bibliografia, w której zamieszczono na kolejnych 8 stronach 108 pozycji literaturowych, cytowanych w tekście pracy, w tym 6 publikacji własnych autorki, jest wystarczająco obszerna i trafna.

W rozdziale 1 uzasadniono potrzebę podjęcia zadania badawczego, przedstawiono aktualny stan wiedzy w zakresie modelowania przepływów wentylacyjnych i metod pomiarowych stosowanych w tym zakresie. Przy opisie tego stanu zbyt mało miejsca poświęcono istniejącym metodom i programom obliczania przepływów wielostrefowych.

Następnie scharakteryzowano zadanie badawcze, którym było opracowanie metody i algorytmu określania międzystrefowych przepływów powietrza przy wykorzystaniu wyników pomiarów generowanego metabolicznie ditlenku węgla.

W rozdziale 2 skupiono się na metodyce badań wymiany powietrza w budynkach z wentylacją naturalną. Dużą część tego rozdziału poświęcono metodzie gazów znacznikowych, która nie była potem bezpośrednio wykorzystywana w pracy.

Oryginalnym wkładem autorki są, zaprezentowane w rozdziale 3, metodyka i wyniki pomiarów stężenia metabolicznego ditlenku węgla w wybranych pomieszczeniach dwóch rzeczywistych mieszkań, położonych w budynkach jedno- i wielorodzinnym. Pomiarów te przeprowadzone były na potrzeby walidacji obliczeń numerycznych, przedstawionych w rozdziale 5 oraz dla oceny intensywności wymiany powietrza w mieszkaniach, opisanej w rozdziale 4. W metodyce pomiarów budzi zastrzeżenia jedynie fakt ich przeprowadzania bez wcześniejszej oceny reprezentatywności wyboru miejsc lokalizacji czujników pomiarowych.

Rozdział 4, jeden z dwóch najistotniejszych w pracy, zawiera informacje na temat opracowanego przez autorkę matematycznego modelu międzystrefowego przepływu powietrza z wykorzystaniem wyników wcześniejszych pomiarów. Szkoda, że opis tego modelu nie został uzupełniony wyjaśnieniami, na czym polega jego nowatorstwo, co na pewno przyczyniłoby się do wzbogacenia pracy. Do weryfikacji eksperymentalnej modelu i oceny dokładności rozwiązania również wykorzystano wyniki pomiarów. Przedstawione w tym rozdziale zastosowanie algorytmu optymalizacyjnego Levenberga-Marquardta do rozwiązania zadania odwrotnego świadczy o dobrym przygotowaniu matematycznym doktorantki. Obliczenia przeprowadzone za pomocą programu komputerowego, opracowanego na podstawie modelu, pozwoliły autorce wyciągnąć wnioski o zbyt małej wymianie powietrza w badanych mieszkaniach.

Niewątpliwie oryginalnym osiągnięciem pani mgr inż. Anny Bulińskiej jest wykorzystanie prognozowania numerycznego CFD do stworzenia metody poszukiwania obszarów reprezentatywnych do pomiaru stężenia ditlenku węgla w pomieszczeniu, przedstawione w rozdziale 5. Był to jeden z najistotniejszych celów pracy postawionych przez autorkę. Obliczenia numeryczne zostały przeprowadzone za pomocą programu komputerowego Fluent, jednego z czołowych na świecie. Właściwe badania zostały poprzedzone analizą wpływu różnych czynników na dokładność odwzorowania numerycznego rozkładów stężenia CO₂. Na szczególną uwagę zasługują tutaj testy mające na celu wybór odpowiedniej siatki dyskretyzacji oraz obliczenia przeprowadzone dla różnych modeli przebiegu oddychania. Jednak niepotrzebnie w podsumowaniu rozdziału umniejszono rangę opracowanej metody przez wskazanie na nieuniwersalność jej wyników. Moim zdaniem metoda jest uniwersalna, choć rzeczywiście wymaga każdorazowego modelowania numerycznego badanego pomieszczenia, czego wcale nie uważam za jej wadę.

Z przedstawionych w rozdziale 6 wniosków końcowych z pracy najcenniejsze są te, które dotyczą zastosowania metabolicznego ditlenku węgla do oceny wymiany powietrza w badanych mieszkaniach. Autorka nakreśliła w tym rozdziale także propozycje dalszych prac nad analizowanym zagadnieniem.

Uwagi ogólne

1. Wątpliwości budzi kolejność realizacji etapów w ramach postawionego zadania, także kolejność ich zamieszczenia w pracy. Chodzi tu przede wszystkim o identyfikację obszarów reprezentatywnych dla pomiaru stężenia ditlenku węgla.. Nie jest pewne, czy relacjonowane w rozdz.3 pomiary stężenia CO₂ zostały przeprowadzone w miejscach reprezentatywnych. Dlatego powinny być one poprzedzone choćby wstępnymi

badaniami numerycznymi nad wyborem miejsca pomiaru. Także zakończenie pracy rozdziałem dotyczącym metody poszukiwania reprezentatywnych obszarów sprawia wrażenie niedosytu (niesłuszne z punktu widzenia całości zawartości rozprawy).

2. W pracy nie ustosunkowano się do istniejących metod i programów komputerowych do obliczania jednostrefowych i międzystrefowych przepływów powietrza, wspomnianych jedynie przez autorkę w rozdziale 1.2. Nie odpowiedziano na pytania, czym różni się od nich opracowany przez doktorantkę model, czy były możliwości ich wykorzystania w pracy i dlaczego zachodziła potrzeba opracowania własnej metody.
3. Dlaczego nie zastosowano w pracy jednej z metod obliczeń przepływu powietrza w warunkach jednostrefowych, szczegółowo opisanych w rozdziale 2.2? Istniałaby wtedy możliwość porównania wyników obliczeń tą metodą z prognozami CFD lub nawet wykorzystania obliczonego numerycznie czasowego rozkładu stężenia CO₂ do obliczeń tą metodą, co w pełni było by zgodne z tematem rozprawy i na pewno by ją wzbogaciło.
4. Czy przeprowadzono próby modelowania dla innych niż $k-\varepsilon$ RNG modeli turbulencji? Skąd wynikała pewność, że był to najodpowiedniejszy model dla takich obliczeń?
5. Przy prezentacji wyników obliczeń numerycznych w rozdz. 5.3.4 niesłusznie postawiono w jednym szeregu analizę wpływu różnych parametrów na rozprzestrzenianie się ditlenku węgla w pomieszczeniu. Część z tych parametrów związanych jest ze sposobem prowadzenia obliczeń i ich doskonaleniem, część natomiast to warunki brzegowe zadawane w modelu, których zmiana wpływa w sposób oczywisty na zmianę stężenia CO₂.

Uwagi szczegółowe

Uwagi merytoryczne

Str.19: Podany podział wentylacji naturalnej jest absolutnie niekompletny.

Str. 32: Brak informacji o metodyce pomiarów prędkości powietrza w szczelinie pod drzwiami, jest to ważne ze względu na późniejsze wykorzystywanie wyników tych pomiarów w istotnych analizach.

Str. 34: Nie jest jasne, czy mieszkanie na parterze w dwukondygnacyjnym budynku jednorodzinnym było odrębne, czy było swobodnie połączone z górną kondygnacją.

Str. 44 i dalsze: Czy słusznym jest, że opracowany model abstrahuje zupełnie od rozkładu ciśnienia panującego w obiekcie wielostrefowym?

Str. 48: Informacje o przeprowadzonych obliczeniach dla modelu jednostrefowego są zbyt skąpe, układ tabeli 4.1 nie jest całkiem jasny.

Str. 52: Strumień objętości powietrza usuwany z mieszkania byłby poprawnie policzony wg PN-83/B-03430 tylko wtedy, gdy mielibyśmy do czynienia z kuchnią wyposażoną w kuchnię elektryczną. Brak jest informacji na ten temat w pracy.

Str.52 i 120-121: Pozycje literaturowe [74] i [75] powinny być potraktowane łącznie.

Str. 60: Trudno opracowany model oddychającego człowieka, który stanowi *de facto* wykorzystanie sposobu zadawania warunków brzegowych w modelu, stawiać na równi z podanymi w trzech pierwszych punktach równaniami modelu.

Str. 62: Modele naprężeń Reynoldsa nie są modelami lepkości turbulentnej.

Str. 65: Nie jest jasne, jakie kryterium zbieżności przyjęto w metodzie rozwiązywania układu równań modelu.

Str. 66: Przyjęty na rys.5.2 wymiar pionowy modelu człowieka wydaje się zbyt mały, na jakiej podstawie go przyjęto?

Str. 83: W tytule (lub wstępie) do rozdziału 5.3.4.1 nie zasygnalizowano, że zawiera on również istotną walidację modelu numerycznego.

Str. 87-88: Na rys. 5.21 i 5.22 przedstawiono wyniki pomiarów przebiegów stężeń, czy są to te same wykresy, mimo innej formy, bo na rys.5.21 są większe wahania wartości?

Str. 88: Czy okres początkowy pomiarów, budzący różne wątpliwości, nie lepiej było by wyeliminować z analizy?

Str. 89: Skąd wynika pewność, że obliczeniowe stężenia CO₂ są niedoszacowane z powodu za małego założonego udziału masowego CO₂? A może jest też inna przyczyna, pochodzenia numerycznego?

Str. 94: Sformułowanie: „powietrze wydychane przez człowieka charakteryzuje silny strumień konwekcyjny” jest błędne.

Str.100 i dalsze: Sposób przeprowadzenia identyfikacji reprezentatywnych obszarów jest uproszczony. Myślę, że mogłaby tu znaleźć zastosowanie metoda opisana przez Kopra i innych w artykule zamieszczonym w ACEE Journal (nr3/2010).

Str.106: Sposób tworzenia wykresu na rys. 5.38 nie jest wystarczająco dokładnie wyjaśniony w tekście

Błędy nomenklaturowe:

Str.21 i dalsze: Używanie pojęcia „ilość powietrza” zamiast „strumień objętości powietrza” lub „strumień masy powietrza” jest niepoprawne.

Str. 19: Użycie nazwy „wentylacja waporowa” w odniesieniu do wentylacji grawitacyjnej jest niewłaściwe, gdyż nazwa ta jest zarezerwowana dla innego rodzaju wentylacji.

Str.19 i dalsze: Równoległe używanie angielskiego nazewnictwa dla znanych i powszechnie stosowanych nazw polskich uważam za zbędne.

Str. 32 i dalsze: Co dokładnie jest rozumiane pod pojęciem „intensywności wentylacji”?

Str. 60: Pojęcie „średnich wartości zmiennych zależnych” nie jest jednoznaczne i należałoby go zastąpić pojęciem „uśrednionych w czasie wartości zmiennych niezależnych”

Str.62: Jaki rodzaj uśrednienia stosowano (w czasie czy w przestrzeni)?

Str.62: Założenie nazywane w pracy „szeroko stosowanym” jest znane pod nazwą „hipotezy Boussinesqa”.

Str. 65: Schemat dyskretyzacji członu konwekcyjnego jest zapewne „drugiego rzędu”, a nie „drugorzędny”.

Str. 68: Niepoprawne jest sformułowanie „założono adiabatyczna przegrodę dla ścian”.

Str. 68: Podano nazwy warunków brzegowych stosowane w programie Fluent bez ich wyjaśnienia, co czyni dalsze rozważania w rozdziale nie całkiem zrozumiałe.

Str. 70: W tabeli 5.3 nazwa „wielkość” powinny być chyba zastąpiona przez wysokość.

Str. 94 i inne: Nazwa „struga” została niesłusznie zastąpiona przez „strumień”

Błędy redakcyjne

Str.20: Na rys.2.1 chyba zamieniono podpisy pod szkicami układów przewodów wentylacyjnych w budynkach mieszkalnych.

Str.21: Brak jest w tekście powołania na tablicę 2.1.

Str.22 i dalsze: Niepotrzebne jest powtarzanie opisu oznaczeń, które znajdują się w Wykazie oznaczeń. Opis ten jest to zresztą robiony niekonsekwentnie.

Str.26 i dalsze: Niektóre oznaczenia używane są do opisu więcej niż jednej wielkości fizycznej np. M – masa molowa i aktywność metaboliczna, V_i - objętość strefy pomiarowej i objętość elementu siatki

Str. 27: Pojawiła się niekonsekwencja w oznaczeniu masy ciała we wzorze (2.10) i opisie pod nim.

Str.44: - Niefortunne i mylące jest przyjęcie oznaczenia V_{ei} dla emisji gazu znacznikowego

Str.79-80: Siatki dyskretyzacji na rys.5.14 i 5.16 są słabo widoczne.

Uwagi na temat błędów interpunkcyjnych oraz innych drobnych błędów językowych i redakcyjnych przekazałam osobiście autorce.

Podsumowanie

Mimo zgłoszonych uwag uważam, że postawione przed doktorantką zadanie badawcze zostało przez nią zrealizowane w stopniu bardzo dobrym. Została opracowana i zastosowana praktycznie metoda obliczania wymiany powietrza pomiędzy pomieszczeniami z wykorzystaniem pomiarów rozkładu czasowego stężenia generowanego metabolicznie ditlenku węgla, która może znaleźć zastosowanie do eksperymentalnej identyfikacji zużycia energii w budynkach mieszkalnych, a także to oceny stanu przewietrzalności tych obiektów.

Pani mgr inż. Anna Bulińska wykazała się wszechstronnością przy realizacji pracy, tzn. umiejętnością posługiwania się techniką pomiarową oraz obliczeniową CFD, a także wykorzystania aparatu matematycznego informatycznego przy opracowywaniu oryginalnego programu komputerowego. Doceniam w pełni wysiłek doktorantki przy realizacji postawionego przed nią zadania.

Uważam, że recenzowana praca w pełni spełnia wymagania stawianym rozprawom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie pani mgr inż. Anny Bulińskiej do publicznej obrony tej rozprawy.

