

Częstochowa, 24.05.2011 r.

**Dr hab. inż. Robert Sekret, Prof. nzw. PCz.**  
Politechnika Częstochowska  
Wydział Inżynierii i Ochrony Środowiska  
ul. Dąbrowskiego 71, 42-200 Częstochowa  
Tel./Fax: 34 3250 933  
Tel. kom.: 664 758 109



**Szanowny Pan**  
**Dr hab. inż. Janusz Kotowicz, Prof. nzw. PŚI**  
Dziekan Wydziału  
Inżynierii Środowiska i Energetyki  
Politechniki Śląskiej  
ul. Konarskiego 18  
44-100 Gliwice

## **Recenzja**

### **Rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Bulińskiej**

#### **1. Wprowadzenie**

Recenzja niniejsza napisana została w odpowiedzi na pismo Pana Dziekana Prof. Janusza Kotowicza Nr RIE-BD/4/563/2010/2011 z dnia 29 kwietnia 2011 roku.

#### **2. Zakres rozprawy**

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Anny Bulińskiej nosi tytuł „Analiza wykorzystania generowanego metabolicznie ditlenku węgla jako znacznika gazowego do określenia wymiany powietrza w pomieszczeniach”. Zawiera 107 stron tekstu (nie licząc spisu treści, wykazu oznaczeń i piśmiennictwa), 62 rysunki oraz 26 tablic. Oparto ją

o 108 pozycji bibliograficznych. Rozprawa została podzielona na 6 głównych części i uzupełniona wykazem ważniejszych oznaczeń oraz piśmiennictwem.

Pierwszy rozdział rozprawy to wstęp dotyczący problematyki wentylacji budynków w świetle budowy nowych energooszczędnych obiektów, czy termomodernizacji już istniejących. Autorka podkreśla w tej części rozprawy, że obserwowana ograniczona wymiana powietrza, a przez to wzrost stężenia zanieczyszczeń powietrza w pomieszczeniach, staje się przyczyną pogorszenia warunków mikrośrodowiska wewnętrznego budynków, z efektem w postaci m.in. pojawiających się coraz częściej objawów chorobowych ludzi. Wprowadzając energooszczędne rozwiązania w budownictwie zapomniano, jak wskazuje Doktorantka, że dążenie do zwiększania efektywności energetycznej budynku nie może odbywać się kosztem zdrowia ludzi. Autorka wykazała również w tej części pracy, że jednym z elementów poprawy skuteczności wentylacji jest wprowadzanie nowych rozwiązań na etapie projektowania wentylacji naturalnej. Dla osiągnięcia tego celu potrzebne są metody pomiarowe pozwalające na szybką i nie skomplikowaną ocenę intensywności wymiany i przepływów powietrza w budynkach już istniejących, tj. w trakcie ich eksploatacji. W dalszej części rozdziału pierwszej Autorka przedstawiła istniejący stan wiedzy z zakresu badań przepływów i wymiany powietrza w budynku. W rozdziale pierwszym Doktorantka przedstawiła również cel i zakres pracy. Autorka założyła, że celem pracy będzie opracowanie metody i algorytmu określania międzystrefowych przepływów powietrza w oparciu o pomiary generowanego metabolicznie ditlenku węgla. W związku z tak przyjętym celem pracy Doktorantka zaplanowała 6 etapów badań. Obejmują one budowę modelu matematycznego i programu komputerowego do wyznaczania międzystrefowych przepływów powietrza, weryfikację opracowanego modelu, pomiary stężenia ditlenku węgla w wybranych budynkach mieszkalnych, obliczenie intensywności wentylacji z wykorzystaniem wyników pomiarów, opracowanie modelu numerycznego CFD dla symulacji rozprzestrzeniania się wydychanego przez ludzi ditlenku węgla w pomieszczeniu oraz określenie reprezentatywnych miejsc pomiaru jego stężenia. Zakres pracy, podany na końcu rozdziału pierwszego, precyzuje co uważane będzie za osiągnięcie założonego celu.

W rozdziale drugim Doktorantka zwróciła uwagę na mechanizmy wentylacji naturalnej, uregulowania normatywnej wymaganej intensywności wentylacji. Przedstawia metodykę badań wymiany powietrza w budynkach z wentylacją naturalną z wykorzystaniem gazów znacznikowych. Wyróżniała w niej metodykę badań i wytyczne ich realizacji. W tej

części pracy Autorka zawarła także problematykę wykorzystania metabolicznego ditlenku węgla jako gazu znacznikowego.

Rozdział trzeci rozprawy poświęcony został pomiarom stężenia metabolicznego ditlenku węgla w wybranych obiektach. Przeprowadzone pomiary w pomieszczeniach budynku jednorodzinnego oraz budynku pięciokondygnacyjnego wielorodzinnego wykorzystano do walidacji numerycznego modelu rozprzestrzeniania się wydychanego CO<sub>2</sub> w pomieszczeniu oraz intensywności wentylacji pomieszczeń. Autorka w rozdziale trzecim opisała metodykę pomiarów, przyrządy pomiarowe zastosowane w badaniach oraz uzyskane wyniki badań w przyjętym zakresie badań tej części pracy.

W czwartym rozdziale przedstawionej rozprawy doktorskiej Doktorantka przedstawiła model matematyczny i program komputerowy do określania międzystrefowych przepływów powietrza w budynku, empiryczną weryfikację opracowanego modelu oraz ocenę dokładności rozwiązania zadania odwrotnego. Przy opracowywaniu modelu matematycznego jako dane do obliczeń wykorzystwała czasowe przebiegi stężenia ditlenku węgla w strefach, emisję ditlenku węgla od ludzi przebywających w pomieszczeniach oraz objętość stref. Założeniem modelu jest, że jedynym źródłem ditlenku węgla w pomieszczeniu jest człowiek. W rozdziale czwartym Autorka przeprowadziła także ocenę intensywności wentylacji w badanych budynkach mieszkalnych. W końcowej części tego rozdziału zawarto wnioski szczegółowe.

Rozdział piąty rozprawy poświęcony został analizie numerycznej rozprzestrzeniania się wydychanego przez ludzi ditlenku węgla w pomieszczeniu. W tej części rozprawy zawarto budowę modelu, założenia do obliczeń, warunki brzegowe i początkowe oraz opisano metodę rozwiązywania. Obliczenia numeryczne wykonano z wykorzystaniem dwuwymiarowego i trzywymiarowego modelu pomieszczenia. Doktorantka wykorzystując opracowany model numeryczny i wyniki pomiarów stężenia ditlenku węgla w rozdziale piątym przeprowadziła wielowariantowe obliczenia numeryczne, których wyniki porównała z danymi eksperymentalnymi. Dokonała analizy wpływu wielkości elementów siatki numerycznej, emisji CO<sub>2</sub> od człowieka, przyjętego modelu oddychania, gorącej powierzchni grzejnika oraz dokładności odwzorowania otworu nawiewnego na rozprzestrzenianie się ditlenku węgla w pomieszczeniu. Doktorantka opracowany model numeryczny w rozdziale piątym wykorzystwała także do określenia reprezentatywnych obszarów dla pomiaru stężenia

ditlenku węgla w pomieszczeniu. W końcowej części tego rozdziału zawarto wnioski szczegółowe.

W ostatnim szóstym rozdziale rozprawy doktorskiej Doktorantka przedstawia podsumowanie pracy i wnioski końcowe.

### 3. Ocena pracy

Obecny kierunek radykalnego obniżania energochłonności w sektorze budownictwa, tj. wzrostu efektywności energetycznej w oparciu o Dyrektywę PEiR 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków wymusza konieczność intensywnej termomodernizacji budynków już istniejących (często również budynków, które były poddane procesom termomodernizacji w ostatnich latach) oraz rozwoju nowych standardów energetycznych dla budynków nowych o skrajnie niskim zapotrzebowaniu na energię. Należy tutaj zwrócić uwagę na fakt, że w przypadku budynków nowych konieczne będzie rozważenie alternatywnych rozwiązań, takich jak zdecentralizowane systemy dostaw energii, czy systemy centralnego ogrzewania i chłodzenia. Oceniając obecną realizację procesów termomodernizacji budynków, jak również stan wiedzy w tym zakresie można stwierdzić, że głównym kryterium wyboru rozwiązań jest osiągnięcie jak najwyższego efektu energetycznego przy najniższych kosztach inwestycyjnych. Zapomina się, że rolą systemu budowlano-instalacyjnego jest nie tylko zapewnienie w pomieszczeniach odpowiedniego komfortu cieplnego, uwzględniając tutaj jak najniższe koszty eksploatacyjne, ale także wymaganej w zależności od przeznaczenia pomieszczenia jakości powietrza wewnętrznego. Ma to szczególne znaczenie w przypadku stosowania wentylacji naturalnej. Dlatego też, biorąc pod uwagę powyższą sytuację podjęcie przez Doktorantkę w rozprawie zadania analizy określenia wymiany powietrza w pomieszczeniach przy wykorzystaniu generowanego metabolicznie ditlenku węgla jako znacznika gazowego świadczy o znajomości współczesnych zagadnień inżynierii środowiska oraz trafności wyboru tematyki naukowo-badawczej.

Wprowadzenie do pracy oraz opis istniejącego stanu wiedzy Doktorantka przedstawiła interesująco. Autorka bardzo precyzyjnie określiła motywację do podjęcia się tematu badań i trafnie przedstawiła jakim wyzwaniom musimy sprostać

w zakresie jakości środowiska wewnętrznego w najbliższej przyszłości. Należy stwierdzić, że Doktorantka rzeczowo i czytelnie przedstawiła studium literatury przedmiotu badań. Na stronach 16 i 17 podaje się cel i zakres pracy. Spójne podsumowanie przeglądu literaturowego pozwoliło na jasne sformułowanie celu rozprawy. Można podkreślić, że Autorka podjęła się interesującego z punktu widzenia naukowego i aplikacyjnego zadania, tj. opracowania metody i algorytmu określania międzystrefowych przepływów powietrza w oparciu o pomiary generowanego metabolicznie ditlenku węgla. Przedstawiony zakres pracy szczegółowo informuje o kolejnych etapach realizacji założonego celu pracy.

Rozdział drugi pracy, który traktować należy jako wprowadzenie do badań wymiany powietrza w budynkach metodą gazów znacznikowych, stanowi dobry fundament do zaproponowanej w dalszej części rozprawy metody organizacji i realizacji badań. Wybór przez Autorkę ditlenku węgla, jako gazu znacznikowego, jest dobrym rozwiązaniem ze względu na fakt, że spełnia on większość wymagań, jakie stawiane są gazom znacznikowym. Z drugiej strony poprzez wykorzystanie ditlenku węgla generowanego metabolicznie uzyskujemy kolejną bardzo interesującą informację dotyczącą zmian jakości powietrza wewnętrznego, np. w budynkach z wentylacją naturalną poddawanych kompleksowym procesom termomodernizacji.

Wybór przez Autorkę rozprawy obiektów badań, tj. dwóch reprezentatywnych mieszkań do przeprowadzenia pomiarów należy uznać za trafny i w pełni uzasadniony, głównie ze względu na ich znaczną powtarzalność w sektorze budownictwa mieszkaniowego i budownictwa jednorodzinne. Poprawnym jest także wybór miejsc rozmieszczenia czujników CO<sub>2</sub> wewnątrz pomieszczeń. W tej części rozprawy na podkreślenie zasługuje także sposób organizacji, przeprowadzenia badań oraz właściwa prezentacja uzyskanych wyników. Wskazuje to na nabycie przez Doktorantkę umiejętności doboru odpowiednich metod badawczych. Sformułowany model matematyczny wymiany powietrza, zweryfikowany empirycznie oraz opracowany program komputerowy należy uznać za wartościowe narzędzia z punktu widzenia aplikacyjnego. Są one w pełni przydatne do oceny intensywności wymiany powietrza w mieszkaniach w czasie ich eksploatacji. Na uwagę zasługuje także przedstawiona w pracy analiza numeryczna rozprzestrzeniania się ditlenku węgla w pomieszczeniu. Stanowi ona ilościowe i jakościowe uzupełnienie oceny przepływu wydychanego przez ludzi ditlenku węgla. Przyjęte założenia do analizy numerycznej nie

budzą zastrzeżeń. Wartość uzyskanych wyników przez Doktorantkę jest tym większa, że obliczenia wykonano również w trójwymiarowej geometrii pomieszczenia, co pozwala na obraz zjawiska rozprzestrzeniania się CO<sub>2</sub> w pomieszczeniu, często trudno uchwytne w czasie pomiarów. Uzyskane wyniki z analizy numerycznej dobrze korespondują z wartościami zmierzonymi ditlenku węgla. Należy więc stwierdzić, że wybór przez Doktorantkę zarówno metodyki pomiarów, jak również założeń do numerycznego modelowania jest trafny. Nie mam zastrzeżeń do przedstawionych wyników z analizy numerycznej oraz wniosków końcowych ocenianej rozprawy. Są one czytelne i przekonywujące oraz odnoszą się do przyjętego celu pracy, zaproponowanego zakresu oraz kierunków przyszłych badań.

Za istotne osiągnięcia rozprawy uważam:

- Opracowanie metody określania intensywności wymiany powietrza w pomieszczeniach z wykorzystaniem generowanego metabolicznie ditlenku węgla, która może być wykorzystana w trakcie normalnej ich eksploatacji.
- Określenie reprezentatywnych miejsc pomiaru stężenia ditlenku węgla w pomieszczeniach dla potrzeb obliczeń wymiany powietrza.
- Ocenę intensywności wentylacji i jakości powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach budynków poddanych procesowi termomodernizacji.
- Wysoką zgodność zmierzonych i obliczonych numerycznie czasowych rozkładów stężenia ditlenku węgla w badanych pomieszczeniach.

Dodatkowo na podkreślenie zasługuje staranne opracowanie edycyjne i graficzne rozprawy doktorskiej.

Poza poznaniu się materiałem rozprawy nasuwa się również kilka uwag do dyskusji:

1. Czy masa ciała i poziom aktywności metabolicznej, aktywność człowieka w pomieszczeniu oraz poziom temperatury wewnętrznej ma znaczący wpływ na dokładność opracowanej metody? Jeżeli tak to, w jaki sposób należałoby wartości tych charakterystycznych wielkości uwzględnić w ocenie wyników badań?
2. Czy rodzaj systemu ogrzewania będzie miał istotny wpływ na dokładność oceny wymiany powietrza przy zaproponowanej metodzie?

3. Czy w świetle uzyskanych wyników badań można sformułować wytyczne dla lokalizacji czujników pomiaru stężenia ditlenku węgla w przypadku pomieszczeń o wysokości powyżej 2,5 m?

#### 4. Wniosek końcowy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie bardzo ważnego problemu naukowego, jakim jest określanie wymiany powietrza w pomieszczeniach, zwłaszcza dla potrzeb budownictwa energooszczędnego i niskoenergetycznego. Jej poziom merytoryczny spełnia wymagania stawiane przez obowiązującą ustawę o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Wobec powyższego wnioskuje o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

***Uważam, że oceniana praca doktorska mgr inż. Anny Bulińskiej pt. „Analiza wykorzystania generowanego metabolicznie ditlenku węgla jako znacznika gazowego do określenia wymiany powietrza w pomieszczeniach” zasługuje na wyróżnienie.***

