

dr hab. inż. Paweł Purgal prof. PŚk  
Wydział Inżynierii Środowiska,  
Geomatyki i Energetyki  
Politechniki Świętokrzyskiej

## RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

### „REGULOWANIE PARAMETRÓW MIKROKLIMATYCZNYCH INDYWIDUALNYM SYSTEMEM NAWIEWNYM”

**Autorem pracy** jest mgr inż. Ewa Zender – Świercz. **Promotorem rozprawy** jest prof. dr hab. Jerzy Zbigniew Piotrowski. Przewód doktorski otwarty został na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Świętokrzyskiej.

**Przedstawiona do recenzji praca** liczy 126 stron, 6 załączników oraz projekt powykonawczy instalacji Indywidualnego Systemu Nawiewnego ( 2 rysunki w załączniku) . Składa się z 6 rozdziałów poprzedzonych wykazem oznaczeń i wstępem, 32 podrozdziałów, wniosków końcowych, bibliografii - 85 pozycji ( w tym 7 aktów prawnych i normalizacyjnych) – 46 w języku polskim i 39 w obcym oraz streszczenia w języku angielskim. W pracy zamieszczono 12 tabel, 71 rysunków w tym 6 fotografii.

Załącznik zawiera wyniki pomiarów wykonanych w badanych obiektach dotyczące: zależności koncentracji ditlenku węgla od średniej temperatury zewnętrznej i od prędkości wiatru przy zmieniającym się kierunku wiatru, zakresu średnich wartości koncentracji ditlenku węgla w zależności od średniej temperatury zewnętrznej z uwzględnieniem prędkości wiatru, szczelności mieszkań wykonanej metodą BlowerDoor oraz wyniki obliczeń teoretycznych odniesione do danych eksperymentalnych.

**Celem naukowym rozprawy doktorskiej** była:

ocena poprawy mikroklimatu w mieszkaniach uzyskana poprzez wyposażenie ich w wentylację z indywidualnym dopływem powietrza (rodzaj instalacji hybrydowej) przy

założeniu niewielkich nakładów inwestycyjnych i nieznacznego zwiększenia kosztów eksploatacji,

opracowanie modelu matematycznego opisującego działanie Indywidualnego Systemu Nawiewnego (ISN) z uwzględnieniem wiatru oraz pracy wentylatora oraz określenie optymalnych warunków pracy ISN.

**Celem praktycznym rozprawy** było wdrożenie autorskiego rozwiązania ISN (Indywidualnego Systemu Nawiewnego) jako instalacji poprawiającej jakość powietrza wewnętrznego.

Oba założone cele udało się Autorce z sukcesem zrealizować.

Postawione w rozdziale drugim **tezy**:

1. ISN spowoduje poprawę jakości powietrza w pomieszczeniach z niewielkim podniesieniem kosztów eksploatacyjnych mieszkań,
2. ISN może być systemem stosowanym powszechnie,
3. możliwe jest opracowanie modelu matematycznego opisującego pracę ISN,
4. przy zastosowaniu ISN ciepło potrzebne do ogrzania powietrza będzie mniejsze dzięki jego odzyskowi podczas przepływu przez garaż oraz pionowe kanały wentylacyjne,

z trudem można uznać za udowodnione, ponieważ w pracy nie znalazłem twardych dowodów w postaci analizy kosztów instalacji i eksploatacji Indywidualnego Systemu Nawiewnego co stawia pod znakiem zapytania pełne udowodnienie tezy nr 1 a także w konsekwencji nr 2.

**Przedmiotem badań** były mieszkania w budynku wielorodzinnym wybudowanym w roku 2000. Obiekt jest ocieplony, lokale wyposażone w szczelną stolarkę okienną i drzwiową. Część mieszkań posiada kuchenki gazowe. Dopływ powietrza do mieszkań objętych badaniami następuje poprzez nieszczelności w wyniku działania wiatru oraz nawiew powietrza w pomieszczeniu przedpokoju realizowany przez system wentylacji mechanicznej wspomagającej wentylację naturalną, której innowacyjny charakter polega na wykorzystaniu istniejących dolnych odcinków kanałów wentylacji grawitacyjnej jako elementu układu nawiewnego.

Wywiew powietrza następuje z pomieszczeń łazienki oraz kuchni, gdzie zlokalizowane są kratki wywiewne instalacji grawitacyjnej.

**Do wykonania pomiarów** wykorzystano monitory jakości powietrza wewnętrznego przeznaczone do pomiaru i rejestracji stężenia ditlenku węgla, wilgotności względnej,

temperatury powietrza i ciśnienia barometrycznego. Wykonano również pomiary szczelności badanych mieszkań metodą BlowerDoor.

Do pomiaru stężenia CO<sub>2</sub> służy dwuwiaźkowy czujnik stężenia analizowanego gazu wykorzystujący zależność tłumienia ściśle określonego pasma promieniowania podczerwonego od stężenia ditlenku węgla.

Do pomiaru temperatury i wilgotności względnej wykorzystany został miniaturowy czujnik półprzewodnikowy.

Kolejnym urządzeniem wykorzystywanym do badania wpływu proponowanego rozwiązania technicznego na mikroklimat wewnątrz był wielofunkcyjny przyrząd pomiarowy wyposażony w sondę termooanemometryczną.

**Poszczególne części rozprawy** napisanej ciekawie, syntetycznie, dobrym językiem dotyczą:

- wstęp jest rodzajem streszczenia podkreślającego znaczenie podjętej tematyki oraz syntetyczną prezentacją osiągniętych przez Autorkę, w wyniku realizacji pracy, rezultatów.

- rozdział pierwszy przedstawia bardzo syntetyczną literaturową prezentację rozumienia pojęć jakość powietrza i komfort termiczny. Do pozycji literaturowych podanych w bibliografii Autorka odwołuje się we wszystkich częściach rozprawy, najczęściej w kolejnej części pracy.

- rozdział drugi został poświęcony omówieniu różnych systemów wentylacji, a także krytycznej analizie metod obliczeń instalacji wentylacyjnych, przy wykorzystaniu licznych odwołań do literatury. Wnioski z tego rozdziału stanowią podstawę do sformułowania przez Autorkę celów i tez rozprawy.

- rozdział trzeci należy uznać za główny rozdział rozprawy. Zawiera rezultaty badania wpływu warunków zewnętrznych oraz wentylacji mechanicznej na jakość powietrza w pomieszczeniach. Podkreślić należy, że dane stanowiące podstawę przeprowadzonych analiz statystycznych zostały zebrane w warunkach rzeczywistych, w mieszkaniach użytkowanych przez lokatorów. Ma to duży walor, gdyż dane odzwierciedlają wpływ wszystkich czynników, jakie oddziałują na jakość powietrza w pomieszczeniu. Jednak w takich warunkach trudniejsze jest udowodnienie istotnego wpływu rozważanych czynników na poziom stężenia ditlenku węgla. Niektóre wyniki niezgodne z oczekiwaniami, nie rzadko przeczące zdrowemu rozsądkowi, wymuszają konieczność dodatkowej weryfikacji a często podjęcia się roli detektywa poszukującego przyczyny nieoczekiwanych odczytów aparatury pomiarowej. Odpowiednio zaplanowany eksperyment,

przeprowadzony w warunkach laboratoryjnych, redukuje wpływ czynników zakłócających, niekontrolowanych podczas badań. Jeżeli jednak na podstawie danych pozyskanych w warunkach rzeczywistych daje się dowiedzieć, że określony czynnik wpływa istotnie na jakość powietrza w pomieszczeniach, to wynik taki uprawnia do uogólnień obarczonych mniejszym ryzykiem błędu. Przeprowadzona przez Autorkę analiza zgromadzonych danych doprowadziła do sformułowania ważnego z praktycznego punktu widzenia wniosku, iż Indywidualny System Nawiewny redukuje średni poziom stężenia ditlenku węgla w mieszkaniach. Zastosowane testy zgodności nie dają podstaw do zakwestionowania hipotezy, że za pomocą rozkładu wykładniczego lub rozkładu logarytmiczno – normalnego można scharakteryzować rozkład koncentracji ditlenku węgla zarówno w warunkach wyłączanego wentylatora Indywidualnego Systemu Nawiewnego, jak i przy włączonym urządzeniu. Potwierdzają to wyniki przedstawione przez Autorkę w Tabelach 10 i 11. Użyty test jest właściwym narzędziem analizy, gdyż autorka dysponowała dwiema próbami powiązanych o stosunkowo dużej liczności (System Indywidualnego Nawiewu był włączany ponad 30-krotnie). Analiza uzupełniająca, dotycząca m.in. badania rozkładu stężenia CO<sub>2</sub> przed i po włączeniu wentylatora, umożliwiła dokonanie pogłębionej oceny stopnia poprawy jakości powietrza w pomieszczeniu na skutek włączenia Systemu Indywidualnego Nawiewu. W rozdziale tym Autorka przedstawiła również rezultaty zastosowania pozyskanych danych do zbadania wpływu temperatury zewnętrznej oraz siły wiatru na koncentrację CO<sub>2</sub> w pomieszczeniu. Ze względu na wspomniane wcześniej uwarunkowania, związane z badaniami prowadzonymi w warunkach rzeczywistych stwierdzenie istotnych, w sensie statystycznym, relacji między rozważanymi zmiennymi jest utrudnione. Mgr inż. Ewa Zender dokonała oceny jakościowej rozważanych zależności. W tym celu wykonała wykresy punktowe, obrazujące charakter zmian średnich stężeń ditlenku węgla w zależności od zmieniających się warunków zewnętrznych. Krzywe wykładnicze, najlepiej odzwierciedlające zależność koncentracji CO<sub>2</sub> od temperatury zewnętrznej, zostały sporządzone dla zaobserwowanych średnich wartości prędkości wiatru oraz jego kierunku. Analiza kilkudziesięciu zamieszczonych w pracy krzywych czyni uprawnioną konkluzję przytoczoną przez Autorkę, że zmiany temperatury zewnętrznej w mniejszym stopniu wpływają na proces wentylacji pomieszczeń niż zmiany prędkości wiatru oraz wzrost temperatury na ogół prowadzi do zmniejszenia koncentracji ditlenku węgla. Doktorantka zamieściła w pracy także krzywe, obrazujące wpływ zmian prędkości i kierunku wiatru na średni

poziom koncentracji CO<sub>2</sub>, sporządzone dla zaobserwowanych średnich wartości temperatury oraz dokonała poprawnej analizy ich przebiegu.

- rozdział czwarty poświęcony jest opracowaniu modelu matematycznego, który umożliwia: obliczanie ilości powietrza przepływającego przez mieszkanie bez konieczności przeprowadzania pomiaru strumieni powietrza napływającego i ~~wypływającego~~ przez otwory wentylacyjne, przeprowadzanie symulacji strumieni powietrza przy różnej temperaturze w poszczególnych pomieszczeniach, zdefiniowanie otworów pracujących jako nawiewne i wywiewne poprzez określenie ciśnienia wewnątrz pomieszczenia i na zewnątrz a także symulację prędkości i kierunku wiatru. Opracowany model matematyczny pozwala uwzględnić każdy otwór budowlany pracujący jako nawiewny bądź wywiewny. Jest to możliwe poprzez wprowadzanie kolejnych równań do układu.

- rozdział piąty zawiera porównanie wyników pomiarów eksperymentalnych i rezultatów obliczeń teoretycznych uzyskanych przy wykorzystaniu opracowanego modelu matematycznego. Wykresy zawarte na rysunku 67 oraz w załączniku 5 ukazują dużą zgodność obliczeń teoretycznych z pomiarami dokonanymi w trakcie badań obiektów rzeczywistych. Podobne potwierdzenie możemy znaleźć analizując wyniki zestawione w Tabeli 11? str. 107 (powinno być 12). Można zatem stwierdzić, że wyniki pomiarów oraz obliczeń teoretycznych pokazują, iż zaprezentowana metoda obliczeń jest wiarygodna. Oznacza to, iż proponowana metoda obliczeń może być stosowana w praktyce. Jej zaletą jest uniwersalność pozwalająca na uwzględnienie różnej liczby otworów nawiewnych i wywiewnych oraz obliczenia wspólne dla wentylacji wywołanej ciśnieniem grawitacyjnym, ciśnieniem wiatru oraz ciśnieniem wytworzonym przez wentylator.

- rozdział szósty przedstawia analizę zużycia ciepła na ogrzanie powietrza wentylacyjnego podczas pracy wentylacji naturalnej oraz po uruchomieniu Indywidualnego Systemu Nawiewnego. Wynikiem tej analizy jest jedyny w rozprawie argument kosztowy (choć z wymiarowaniem w kWh), który może być wykorzystany do udowodnienia tezy nr 1 a pośrednio także tezy nr 2. Autorka przedstawia również sugestie odnośnie znaczenia właściwego usytuowania budynków i czerpni powietrza aby skuteczniej wykorzystywać siły natury (wiatru) dla poprawy jakości powietrza w pomieszczeniach budynków mieszkalnych oraz przedstawia propozycje dalszych badań i eksperymentów zmierzających do uzyskania lepszych, bardziej zrównoważonych i efektywnych, w zakresie poprawy parametrów mikroklimatu, systemów wentylacji.

- wnioski końcowe zawierają podsumowanie i zaakcentowanie najważniejszych rezultatów wykonanej przez Autorkę pracy.

### Zauważone usterki i niejasności

1. str.5 brak określenia (zdefiniowania) współczynników konwersji  $c_{ks}$ , ciągu  $c_{ss}$ , przepływu  $c_{\mu}$ .
2. rys.15 str.35 brak indeksów przy oznaczeniach wysokości, brak oznaczenia płaszczyzny przekroju I – I, brak objaśnień dla punktów 1 i 2.
3. str.37 sądzę, że powinno być wdrożenie a nie jak napisano „...próba wdrożenia...”
4. str.42 i załącznik 6 dlaczego wyniki pomiarów szczelności podano w języku angielskim bez najmniejszego komentarza, oceny i powiązania z badanymi mieszkaniami? v
5. rys.23 do 27, 31 do 47 i w załącznikach 1 do 4 - jak należy rozumieć określenie nadwyżka CO<sub>2</sub> czy jako nadwyżkę nad stężeniem CO<sub>2</sub> w powietrzu zewnętrznym, czy jako nadwyżkę nad stężeniem sugerowanym 1100 ppm? v
6. rys.57 jest tożsamy z rys.58
7. we wzorach (34), (35), (37), (43) użyto indeksu 3 przy literze „h” bez informacji o jaką wysokość chodzi
8. W kontekście tego co Autorka napisała o współczynniku aerodynamicznym na str.31 „...Dane uzyskane podczas badań w tunelu aerodynamicznym są przedstawiane w postaci współczynnika aerodynamicznego...” i „Ze względu na zmienność prędkości wiatru w zależności od ukształtowania terenu, osłonięcia obiektu oraz wysokości we wzorze pojawia się współczynnik aerodynamiczny” v  
( w którym wzorze?) proszę o rozwinięcie przypuszczenia wyrażonego na str.58 w odniesieniu do interpretacji wyników przedstawionych na rys.37 „...Mogło być to wynikiem zasłaniania kratki wentylacyjnych lub zmianami współczynnika aerodynamicznego...” (współczynnika aerodynamicznego – czego?)
9. Pomyłka w numeracji tabel – dwie różne tabele ze str.77 i str.107 oznaczone numerem 11.
10. Pozostaje niedosyt niedokończonego udokumentowania tezy nr 1 w zakresie stwierdzenia nieznaczących kosztów instalacji i eksploatacji opracowanego przez Autorkę Indywidualnego Systemu Nawiewnego, a co za tym idzie uzyskania mocnego argumentu przemawiającego za upowszechnieniem rozwiązania. v

### Podsumowanie i konkluzja

Pani mgr inż. Ewa Zender – Świercz podjęła się trudnego i niewdzięcznego zadania przeprowadzenia eksperymentu i badań na terenie unikany przez prawie wszystkich

badaczy – w prywatnych mieszkaniach. Uzasadnia to niewątpliwe ogromne znaczenie problemu bardzo złej jakości powietrza wewnętrznego w przeważającej większości naszych mieszkań. Tym niemniej należą się specjalne wyrazy uznania za odwagę i włożony trud i poświęcenie. Obecnie, kiedy najważniejszym celem jest oszczędność energii, która zdominowała nawet zdrowy rozsądek, jakość powietrza wewnętrznego, którym oddychamy spychana jest na bardzo odległy plan. Zapominamy, że budynki konstruowane są dla użytkowników w celu zapewnienia im pełnego komfortu a nie w celu oszczędzania energii. Doszło do tego, że miejsca, w których spędzamy większą część naszego życia, które miały być oazą i azylem, stały się zagrożeniem dla naszego zdrowia i przyczyną plagi chorób przewlekłych. Wszystko to na skutek złej jakości powietrza wewnętrznego nawet do 5 razy gorszej niż jakość powietrza zewnętrznego w średniej wielkości aglomeracji miejskiej. Według badań Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) ocena jakości powietrza wewnętrznego w ponad 30% nowych budynków mieszkalnych z systemem wentylacji grawitacyjnej kwalifikuje je do grupy z syndromem chorego budynku.

Opracowany przez Autorkę Indywidualny System Nawiewny to ciekawe, innowacyjne rozwiązanie mogące znaleźć szersze wykorzystanie w istniejących systemach wentylacji budynków wielomieszkaniowych. To również rozwiązanie niezmiernie inspirujące do dalszych poszukiwań i eksperymentów.

Przedstawione przez Autorkę rezultaty badań dokumentują ogrom pracy włożonej przez doktorantkę na etapie akwizycji danych w użytkowanych mieszkaniach oraz przeprowadzonej następnie ich analizy. Forma wizualizacji wstępnie przetworzonych danych, właściwy dobór zastosowanych narzędzi analizy statystycznej danych oraz sposób formułowania wniosków świadczą o dobrym przygotowaniu autorki w zakresie metodologii prowadzonych badań, a także o opanowaniu umiejętności analitycznych, przejawiających się w sprawnym pozyskiwaniu informacji z danych i przekształcaniu tych informacji w użyteczną wiedzę. Ponadto Autorka sformułowała model matematyczny pozwalający uwzględnić w obliczeniach otwory nawiewne i wywiewne zlokalizowane na różnych poziomach, co nie było dotychczas opisane w literaturze. Stosowane do tej pory algorytmy określały średnią wartość ciśnienia wewnętrznego. Opisane wyniki badań doświadczalnych i ich interpretacja wnoszą wkład w badania z zakresu jakości powietrza budynków ze wspomaganą wentylacją naturalną. Rozprawa poszerza wiedzę w zakresie badań jakości powietrza wewnętrznego w budynkach mieszkalnych z wentylacją hybrydową. Autorka swobodnie porusza się po problematyce wykazując

znajomość zagadnienia i światowego dorobku naukowego. Przedstawia ciekawe i oryginalne koncepcje.

*Reasumując, recenzowana praca doktorska jest oryginalnym rozwiązaniem, zaprezentowanego w niej zagadnienia badawczego. Autorka podjęła w niej problem, który ma istotne znaczenie z punktu widzenia poznawczego, gospodarczego i profilaktyki zdrowotnej. Trafnie określiła założenia dotyczące sposobu jego rozwiązania i z sukcesem je zrealizowała. Przeprowadzając swoje wywody wykazała się dobrą znajomością ogólnej wiedzy teoretycznej, a także umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.*

*Stwierdzam, że recenzowana praca spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim i niniejszym wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.*

Paweł Purgal

