

Maria HURNIK, Stanisław MIERZWIŃSKI, Zbigniew POPIOLEK
Politechnika Śląska

PROBLEM ODTWARZANIA PRZEPIYWÓW POWIETRZA W MODELACH FIZYKALNYCH WENTYLOWANYCH POMIESZCZEŃ

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki eksperymentalnych badań pola średniej prędkości w trzech modelach o różnej skali tego samego wentylowanego pomieszczenia. Analizie poddano mapy pola średniej prędkości. Pomiaru wykazały dużą zależność rozkładu średniej prędkości od sposobu generowania warunków brzegowych

PROBLEM OF AIR FLOW PATTERN REPRODUCTION IN SCALE MODELS OF VENTILATED ROOMS

Summary. The paper presents the results of experimental tests of the air mean velocity field in three different size models of the same ventilated room. The field maps of the air velocity mean value were analysed. The measurements proved that the mean velocity distribution depended on how the boundary conditions were generated.

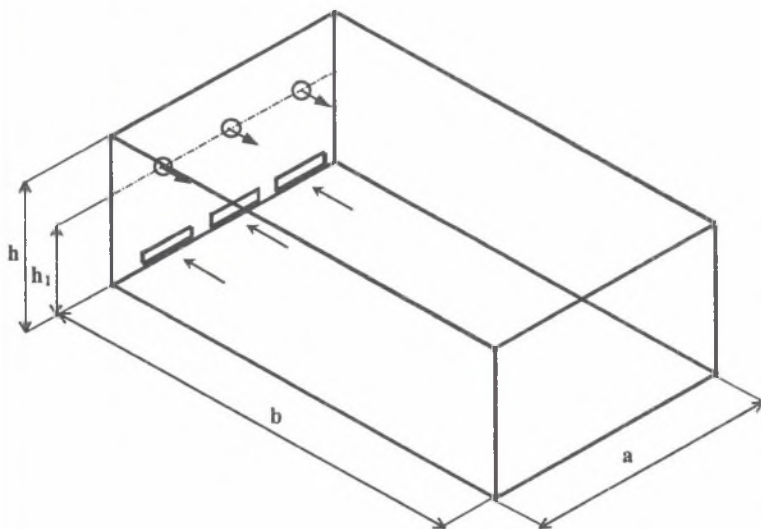
1. Wprowadzenie

Ekspertyment fizykalnego modelowania umożliwia analizę projektowych koncepcji wentylacji poprzez odtwarzanie i obserwację procesów dynamicznych i cieplnych w modelach wentylowanych pomieszczeń. Modelowanie fizykalne w przypadkach wielu złożonych obiektów jest dogodnym narzędziem badawczym, może także korzystnie współdziałać z modelowaniem numerycznym (CFD) turbulentnych przepływów wentylacyjnych. Dotrzymanie warunków podobieństwa uważa się za możliwe do spełnienia, gdy w obiekcie i modelu przepływy są w pełni burzliwe. Ponadto o poprawności eksperymentu modelowania decyduje staranny dobór metod pomiaru oraz identyfikacji parametrów przepływu powietrza.

W ramach badań związanych z doskonaleniem zasad modelowania eksperymentalnej analizie poddano metodę pomiaru prędkości średniej oraz zaproponowano sposób graficznej prezentacji pól prędkości. Uzyskane mapy stanowią dogodny materiał do analizy procesów wentylacji. Na ich podstawie zaobserwowano dużą wrażliwość obrazu pola średniej prędkości na sposób generowania warunków brzegowych.

2. Opis stanowiska pomiarowego

Badania przeprowadzono w trzech modelach wycinkowych hali sportowej, wykonanych w skali 1:10, 1:5 i 1:1,75 (rys.1). Modele wyposażono w instalację nawiewną i wywiewną. Nawiew realizowano poprzez nawiewniki kołowe. Natężenie przepływu oraz średnią prędkość nawiewu nastawiano opierając się na pomiarze nadciśnienia przed nawiewnikiem. Ilość powietrza nawiewanego i usuwanego bilansowano utrzymując różnicę ciśnień statycznych powietrza w modelu i otoczeniu $\Delta p = 0.00$ Pa. Pomiary prędkości przeprowadzano w płaszczyźnie przekroju poprzecznego hali, w osi środkowego nawiewnika, w punktach według przyjętej siatki pomiarowej. Do pomiaru prędkości stosowano 8-kanałowy termooanemometr wielokierunkowy. Modele wyposażono w mechanizmy trawersujące czujniki termooanemometru.



Rys.1. Widok i zasadnicze wymiary modelu
Fig.1. The view and the basic dimensions of the model

Tabela 1

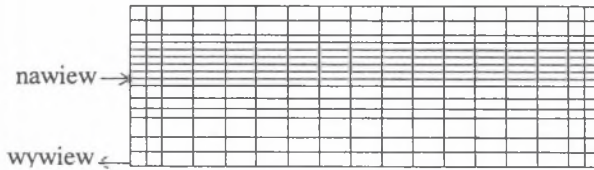
Wymiary modeli

Wymiary wg rys. [mm]	Model A skala 1:10	Model B skala 1:5	Model C skala 1:1.75
Długość a	900	1800	5140
Szerokość b	1500	3000	8570
Wysokość h	550	1100	3150
Wysokość umieszczenia nawiewników h_1	298,5	597	1720
Średnica nawiewnika kołowego ϕ	18,4	37,5	105.8
Wymiary szczeliny odciągowej	254x5,0	508x10	1450x28.5

3. Metodyka badań

Pomiary prędkości średniej turbulentnego przepływu powietrza wymagają określenia niezbędnego czasu uśredniania. Przy przyjętej metodologii badań wybór czasu uśredniania związany jest z wymaganą dokładnością pomiaru. Analizując określone eksperymentalnie błędy estymacji wartości średniej prędkości przyjęto czas uśredniania 10 minut, przy którym błąd estymacji nie przekracza 5% [3].

Wyniki pomiarów prędkości powietrza w badanym przekroju modelu przedstawiano w postaci map izolinii stałej prędkości (izotachy w/w_0). Umożliwia to porównywanie pól prędkości przy różnych warunkach brzegowych, między sobą, a także z obliczonymi przy wykorzystaniu metod numerycznych. Zastosowanie wielokanałowego systemu pomiaru prędkości umożliwiło przyjęcie gęstej siatki pomiarowej. Skonstruowano układ przesuwny umożliwiający jednoczesny pomiar prędkości na różnych wysokościach. Dysponując ośmioma czujnikami dokonywano pomiaru prędkości na 14 wysokościach przy dwóch różnych ustawieniach czujników. Na wysokości 2.33 m oraz 3 m (oś strugi) pomiar przeprowadzano dwukrotnie w celu sprawdzenia powtarzalności uzyskiwanych wyników. Rys.2 przedstawia siatkę pomiarową, przyjętą do badań pól średnich prędkości.



Rys.2. Schemat siatki pomiarowej przyjętej do badań pól średnich prędkości
 Fig.2. Scheme of the grid used in the tests of mean velocity field

Do przedstawienia wyników w postaci map pól znormalizowanej prędkości zastosowano komputerowy program graficzny. Metodę tworzenia map oraz zastosowaną aproksymację wyników eksperymentalnych opisano w [3].

4. Analiza wpływu warunków brzegowych na obraz pola prędkości

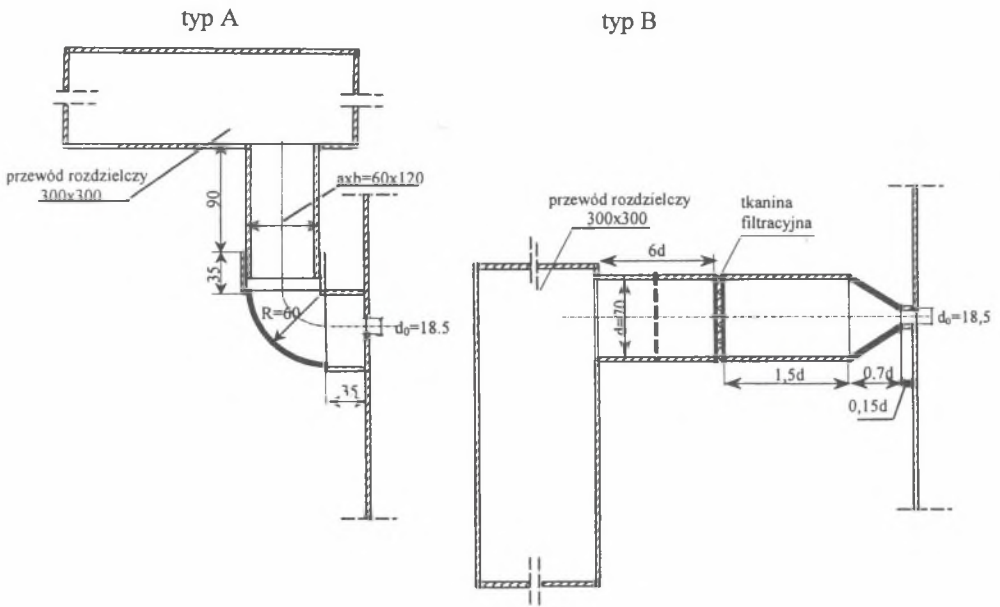
Analiza porównawcza map pól średniej prędkości utworzonych według przyjętej metodyki badań wykazała dużą wrażliwość tworzącego się rozkładu średniej prędkości na sposób generowania warunków brzegowych.

Zastosowanie różnych typów 'podejść' do nawiewników

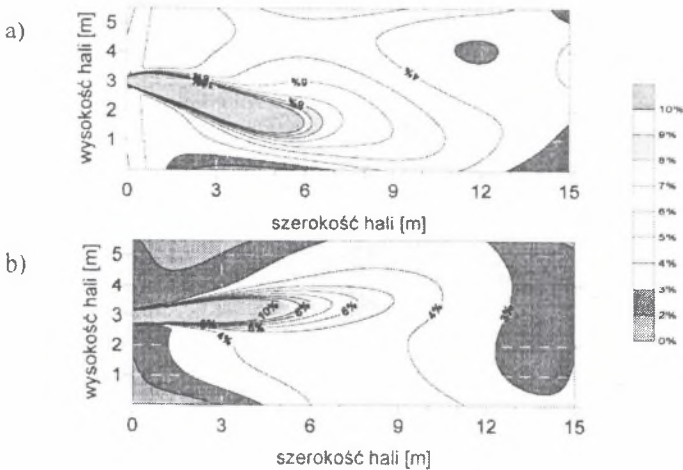
W modelu A pomimo zastosowania izotermicznego nawiewu horyzontalnego otrzymano obraz strugi opadającej. Sugerowało to przyjęcie wadliwej konstrukcji 'podejść' do nawiewników, czego skutkiem było występowanie składowej pionowej prędkości w otworach nawiewnych. Po zmianie konstrukcji 'podejść' struga rozwijała się w kierunku horyzontalnym, zgodnie z przyjętymi założeniami (rys.4.) We wszystkich modelach zastosowano 'podejścia' typu B.

Wpływ nieizotermiczności strugi nawiewanej

W modelu w skali 1:5, przy małych prędkościach nawiewu otrzymano obraz strugi ugiętej ku górze. Przyczyną ugięcia strugi było podgrzanie powietrza nawiewanego w wentylatorze, w którym mały wydatek powietrza uzyskano poprzez silne dławienie.

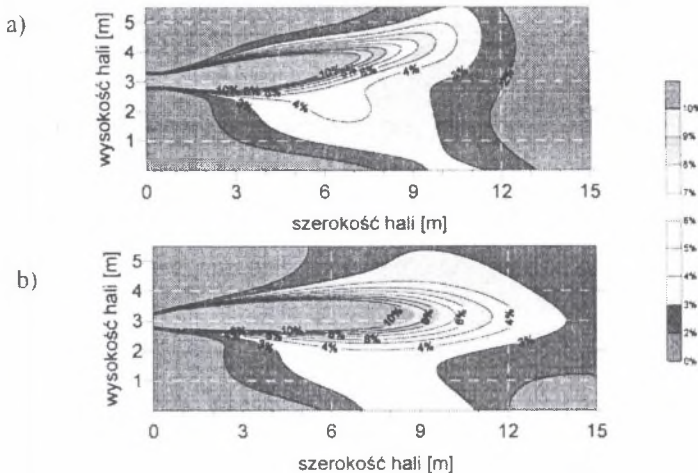


Rys.3. Różne 'podejścia' do nawiewników
 Fig.3. Various supply systems



Rys.4. Porównanie map pól średniej prędkości przy różnych 'podejściach' do nawiewników:
 a) – podejście typu A, b) – podejście typu B (model A, prędkość nawiewu $w_0=3$ m/s)
 Fig. 4. Comparison of maps of the mean velocity fields with various supply systems:
 a)– the supply system – type A, b) – the supply system – type B (model A, $W_0=3$ m/s)

Wyznaczona na podstawie pomiaru odchylenia osi strugi liczba Archimedes'a wynosi $Ar=0.001$, co odpowiada nadwyżce temperatury w otworze nawiewnym $\Delta T = 8$ K. Zmiana wentylatora oraz przyjęcie regulacji poprzez zmianę prędkości obrotowej wirnika wentylatora pozwoliło wyeliminować przyczynę ugięcia strugi (rys.5).

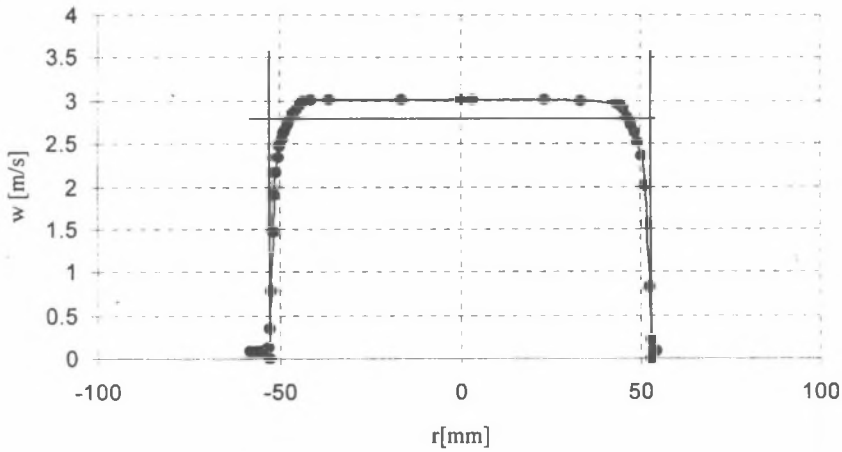


Rys.5. Porównanie map pól średniej prędkości przy nawiewie: a) - nieizotermicznym, b) - izotermicznym. (model B, $w_0=1.5$ m/s)

Fig.5. Comparison of maps of the mean velocity fields with various supply systems: a) - the supply system – type A, b) - the supply system – type B (model A, $-W_0=3$ m/s)

Wpływ wielkości modelu na rozkład prędkości w otworze nawiewnym

Mapy otrzymane w wyniku pomiarów przeprowadzonych w modelach A, B i C przy jednakowych prędkościach nawiewu nieznacznie różniły się zasięgiem poszczególnych izotach. W celu wyeliminowania zaobserwowanych różnic sprawdzono poprawność przyjętej metody wyznaczania prędkości odniesienia, czyli średniej prędkości nawiewu (w_0). W otworach nawiewnych modeli A, B i C przeprowadzono pomiary prędkości osiowej (w_m) w funkcji ciśnienia statycznego oraz dla kilku wybranych prędkości nawiewu zmierzono rozkłady prędkości w płaszczyźnie otworu nawiewnego. Do pomiaru prędkości stosowano anemometr z gorącym drutem. Przykładowy rozkład prędkości w otworze nawiewnym przedstawiono na rys.6.



Rys.6. Rozkład prędkości w otworze nawiewnym (model C, $w_m = 3$ m/s)

Fig.6. Velocity distribution in the supply opening (model C, $w_m = 3$ m/s)

Dla badanych modeli nasadek nawiewnych wyznaczono zależności:

$$w_m = f\left(\frac{P_s}{\rho}\right) \quad (1)$$

Dla trzech natężeń wypływu powietrza w każdym modelu obliczono w_0 :

$$w_0 = \frac{1}{\Pi r^2} \int_0^r w 2\Pi r dr \quad (2)$$

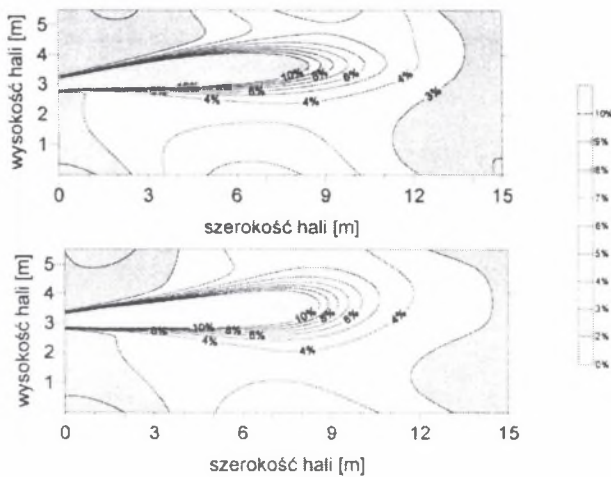
Na podstawie (1) i (2) określono wartości współczynnika korygującego C jako:

$$C = \frac{w_m}{w_0} \quad (3)$$

Współczynnik C przyjmuje wartości od 0.83 do 0.95. Najmniejsze wartości uzyskano w modelu A, co świadczy o większym udziale warstwy przyściennej w powierzchni otworu nawiewnego. Dla badanych modeli nasadek określono wartości średnie współczynników C , które uwzględniono przy wyznaczaniu prędkości średniej jako prędkości odniesienia przy tworzeniu map.

Obraz pól średniej prędkości przy zachowaniu podobieństwa warunków brzegowych

Zgodnie z zasadami przybliżonego modelowania [1, 2] oraz przy zastosowaniu jednakowych konstrukcji 'podejść' we wszystkich modelach i wyeliminowaniu nieizotermiczności nawiewu przeprowadzono badania pól średniej prędkości w zakresie liczb Reynoldsa od 2000 do 100 000. Mapy pól normalizowanej średniej prędkości uzyskane na podstawie pomiarów przy różnych prędkościach nawiewu i różnej skali modelu wykazują podobieństwo w całym obszarze modelowanego przepływu (rys.7).



Rys.7. Mapy pól średnich prędkości dla dwóch serii pomiarowych wykonanych w różnych modelach (modele B i C, $w_0=6$ m/s)

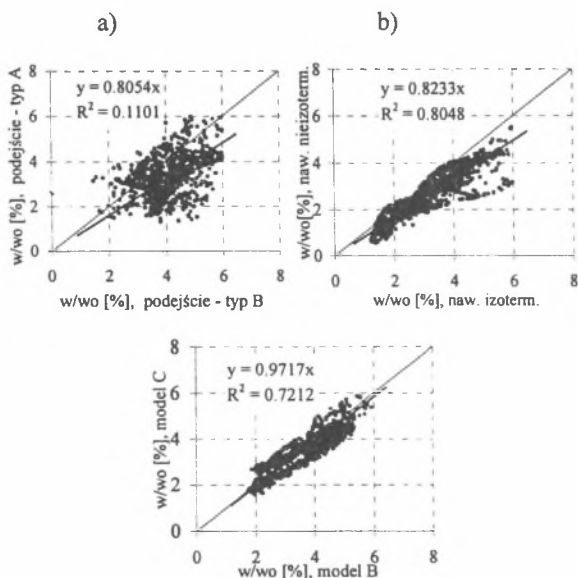
Fig.7. Comparison of results of two measurement series carried out in different models (models: B and C, $W_0=6$ m/s)

Dla porównywanych przypadków określono ilościową współzależność znormalizowanych średnich prędkości. Obliczono współczynniki regresji i korelacji (rys.8). W analizie pominięto obszar wysoko gradientowy w pobliżu otworów nawiewnych.

4. Wnioski

1. Przyczyną znacznych zniekształceń obrazu pola średniej prędkości może być niewłaściwe odtwarzanie warunków brzegowych w modelach, tj.:
 - pojawienie się nieizotermiczności strugi (na wskutek podgrzania powietrza w wentylatorze),

niedokładne odtworzenie kierunku i rozkładu prędkości w otworach nawiewnych (zastosowanie różnych typów 'podejść' do nawiewników).



Rys.8. Wykresy zbieżności porównywanych serii pomiarowych:

- a) różne 'podejścia' do nawiewników ,
- b) nawiew izotermiczny i nieizotermiczny,
- c) serie wykonane przy zachowaniu podobieństwa warunków brzegowych

Fig. 8. Convergence diagrams of the measurement series compared:

- a) different supply systems,
- b) isothermal and non-isothermal supplies,
- c) series with boundary conditions similarity provided

2. Badania prowadzone zgodnie z zasadami przybliżonego modelowania przy właściwym symulowaniu warunków brzegowych pozwalają uzyskać zadowalające podobieństwo rozkładów średniej prędkości w całym obszarze modelowanego przepływu.

LITERATURA

1. Mierzwiński S., Popiołek Z., Lipska B.: Eksperymentalna weryfikacja i doskonalenie metod matematycznego i fizycznego modelowania przepływu powietrza wentylacyjnego w dużych pomieszczeniach. Raport końcowy Projektu Badawczego nr 7 T07G 001 09, Politechnika Śląska, Gliwice 1998.

2. Zhang J.S., Christianson L.L., Zhang B.: Predicting Room Ventilation Flow with Reduced Scale Models. Proc. Roomvent '92, vol.1, p.p.502-522. 1992.
3. Hurnik M., Mierzwiński S., Popiołek Z.: Eksperymentalne badania pola prędkości przepływu powietrza przy fizykalnym modelowaniu wentylacji, V Ogólnopolskie Sympozjum Zastosowanie Mechaniki Płynów w Inżynierii Środowiska, Gliwice-Wisła 1997.

Recenzent: Prof. dr inż. Gerard Jan Besler

Abstract

Scale model experiments give possibilities for analyses of the design conceptions of ventilation especially of air distribution in large enclosures. When simulating aerodynamic and thermal processes in scale models of room ventilation, the flow patterns are visualised and the air flow temperature and velocity are measured. The paper presents the results of experimental tests of the air mean velocity field in three different size models of the same ventilated room. The field maps of the air velocity mean value were analysed. The measurements proved that the mean velocity distribution depended on how the boundary conditions were generated.