

Ewa MEDYŃSKA

Wacław NAWROCKI

Zbigniew TRZECIAKIEWICZ

Instytut Ogrzewnictwa, Wentylacji

i Ochrony Powietrza

Politechnika Śląska

EKSPERYMENT PLANOWANY W BADANIACH ROZDZIAŁU POWIETRZA
WENTYLACYJNEGO

Streszczenie. W celu określenia rozkładu prędkości w pomieszczeniu wentylowanym w zależności od rozstawu nawiewników i prędkości nawiewanego powietrza i kierunku nawiewanych strug przeprowadzono badania modelowe w modelu fizykalnym. Plan eksperymentów ustalono zgodnie z wymaganiami metody eksperymentu planowanego. Ocenę przydatności zastosowanej metody przeprowadzono porównując wyniki badań modelowych z wartościami obliczonymi z zależności funkcyjnych wynikających z przyjętego planu eksperymentu dwupoziomowego całkowitego i pięciopoziomowego całkowitego.

1. WPROWADZENIE

Sposób rozproszczenia powietrza w pomieszczeniu wentylowanym decyduje o rozkładzie temperatury, prędkości i koncentracji zanieczyszczeń w strefie przebywania ludzi.

Istotną rolę we właściwym rozdziale powietrza wentylacyjnego, szczególnie w obiektach przemysłowych, odgrywają kształt i wielkość pomieszczenia, rozmieszczenie otworów nawiewanych, energia kinetyczna nawiewanych strug powietrza, a także energia zakłócających strug konwekcyjnych przy chłodnych powierzchniach przegród pomieszczenia. Poprawne rozwiązanie rozdziału powietrza wymaga powiązania wpływu możliwie wszystkich czynników decydujących o parametrach powietrza w strefie przebywania ludzi.

Za jeden z właściwych sposobów rozwiązania tego zagadnienia należy uznać badania z wykorzystaniem techniki fizykalnego modelowania.

Badania modelowe, w przypadku kompleksowej analizy czynników kształtujących warunki w strefie przebywania ludzi, są żmudne i czasochłonne.

Rezygnując z dogłębnego poznania zależności i zjawisk fizycznych występujących w pomieszczeniu wentylowanym można stworzyć opis matematyczny analizowanego procesu poprzez odpowiednio zaprogramowany eksperyment. Eksperyment taki, rozumiany jako seria odpowiednich doświadczeń, pozwala

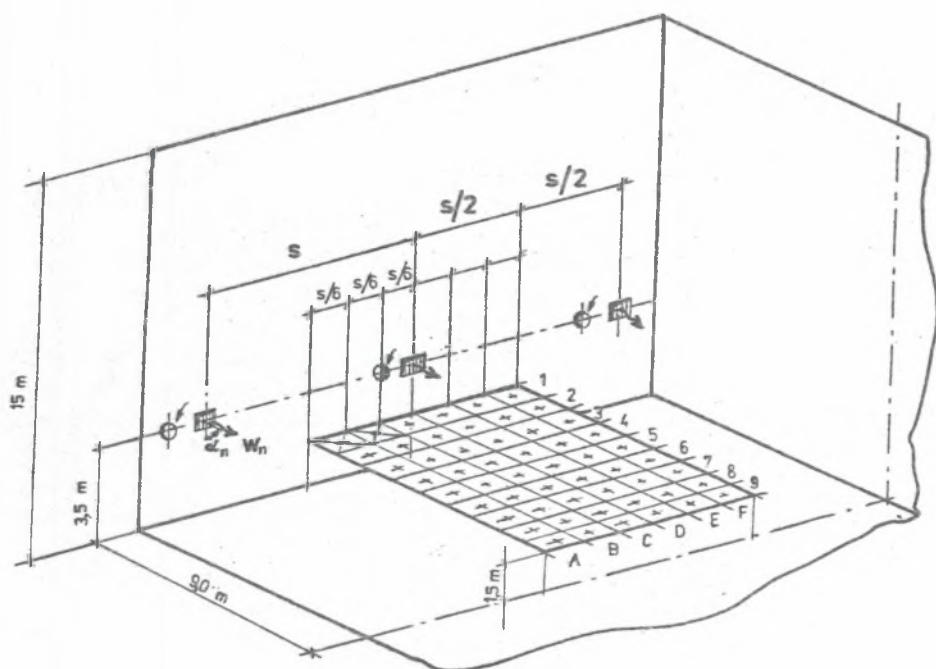
na podstawie stosunkowo niewielkiej ich liczby określić model matematyczny badanego procesu. Mając także na uwadze niewątpliwe korzyści wynikające z zastosowania eksperymentu planowanego zamiast tradycyjnego, a polegające na:

- skróceniu czasu badań przez znaczne zmniejszenie doświadczeń,
- uzyskaniu opisu matematycznego badanego procesu,
- dobrej jakości identyfikacji analizowanego procesu,

zdecydowano się przeprowadzić badania i analizy zmierzające do oceny przydatności takiej techniki eksperymentu w badaniach rozdziału powietrza, tym bardziej że w literaturze krajowej i zagranicznej brak informacji o zastosowaniu eksperymentu planowanego w tego rodzaju badaniach.

2. ZAŁOŻENIA I ZAKRES BADAŃ

Analizę procesu rozdziału powietrza przeprowadzono w modelu fizycznym. Badano zmienność prędkości średniej $w_{\text{śr}}$ w strefie przebywania ludzi w zależności od zmiennego rozstawu s otworów nawiewnych, prędkości na-



Rys. 1. Usytuowanie otworów nawiewnych i wywiewnych oraz punktów pomiarowych w strefie przebywania ludzi

Fig. 1. Location of supply and outlet openings and of measurement points in the occupied zone

wiewania strug w_n i kąta ich wypływu α_n w stosunku do płaszczyzny podłogi (rys. 1). Badanie prowadzono w modelu w skali 1:7,5 dla hali o wysokości 15 m, szerokości nawy 18 m i przy usytuowaniu nawiewników na wysokości 3,5 m.

Identyfikację analizowanego procesu, a więc zależności:

$$w_{o\dot{s}r} = f(s, w_n, \alpha_n)$$

przeprowadzono opierając się na planie eksperymentu [1],[2]:

- pięciopoziomowego kompozycyjnego,
- dwupoziomowego całkowitego,

przyjmując odpowiednio dla poszczególnych typów eksperymentów następujące zakresy zmian wielkości uznanych za zmienne niezależne, tj.:

dla zmiennej niezależnej x_1 odpowiadającej
rozstawowi nawiewników s ; m

$$s \in \langle 2,50; 6,37 \rangle$$

$$s \in \langle 2,84; 6,03 \rangle$$

dla zmiennej niezależnej x_2 odpowiadającej
prędkości nawiewania w_n ; m/s

$$w_n \in \langle 2,50; 12,50 \rangle$$

$$w_n \in \langle 3,39; 11,61 \rangle$$

dla zmiennej niezależnej x_3 odpowiadającej
kierunkowi nawiewania α_n ;

$$\alpha_n \in \langle 0; 40 \rangle$$

$$\alpha_n \in \langle 3,55; 36,45 \rangle$$

Plan eksperymentu dla wartości zmiennych uogólnionych modelem liniowo-kwadratowym w postaci:

$$\hat{y} = k_0 x_0 + k_1 x_1 + k_2 x_2 + k_3 x_3 + k_{11} x_1^2 + k_{22} x_2^2 + k_{33} x_3^2 + k_{12} x_1 x_2 + k_{13} x_1 x_3 + k_{23} x_2 x_3$$

podano w tablicy 1. W tablicy 2 zamieszczono plan eksperymentu dwupoziomowego całkowitego opisanego modelem liniowym:

$$\hat{y} = k_0 + k_1 x_1 + k_2 x_2 + k_3 x_3$$

Liczbę doświadczeń N dla poszczególnych rodzajów eksperymentów w zależności od liczby zmiennych niezależnych z określają zależności:

$$N = 2^z + 2z + 1$$

$$N = 2^z$$

odpowiednio dla eksperymentu pięciopoziomowego kompozycyjnego i dwupoziomowego całkowitego.

Tablica 1

Plan eksperymentu pięciopoziomowego kompozycyjnego

Doświadczenia	Zmienne niezależne			Zmienna zależna
	x_1	x_2	x_3	
n				y
1	-	-	-	y_1
2	+	-	-	y_2
3	-	+	-	y_3
4	+	+	-	y_4
5	-	-	+	y_5
6	-	-	+	y_6
7	-	-	+	y_7
8	+	+	+	y_8
9	-a	0	0	y_9
10	+a	0	0	y_{10}
11	0	-a	0	y_{11}
12	0	+a	0	y_{12}
13	0	0	-a	y_{13}
14	0	0	+a	y_{14}
15	0	0	0	y_{15}

Tablica 2

Plan eksperymentu dwupoziomowego całkowitego

Doświadczenia	Zmienne niezależne			Zmienna zależna
	x_1	x_2	x_3	
n				y
1	-	-	-	y_1
2	+	-	-	y_2
3	-	+	-	y_3
4	+	+	-	y_4
5	-	-	+	y_5
6	+	-	+	y_6
7	-	+	+	y_7
8	+	+	+	y_8

Dla każdego ustalonego planem eksperymentu doświadczenia wykonano pomiary prędkości w strefie przebywania ludzi na poziomie 1,5 m. Pomiary prowadzono w przestrzeni przyjętej jako umownie obsługiwanej przez jeden nawiewnik, a więc ograniczonej płaszczyznami pionowymi położonymi w środku między danym a sąsiadującymi nawiewnikami oraz płaszczyzną pionową przechodzącą przez środek hali. W płaszczyźnie poziomej na wysokości 1,5 m zlokalizowano 54 punkty pomiarowe, a ich rozmieszczenie pozwalało przypisać każdemu punktowi taką samą wagę powierzchni (rys. 1). Zmierzone w tych punktach prędkości służyły do obliczenia prędkości średniej charakteryzującej strefę przebywania ludzi.

3. WYNIKI BADAŃ

Obliczone na podstawie wyników pomiarów z każdego planowanego doświadczenia wartości prędkości średniej w strefie przebywania ludzi zestawiono w tabelicy 3 i 4 kolumna 5.

Tabela 3

Wyniki pomiarów i obliczeń
dla eksperymentu pięciopoziomowego kompozycyjnego

Doświadczenie	Wartości zmiennych niezależnych			Prędkość średnia w strefie pracy		$w_{i\dot{s}r} - w_{i\dot{s}r}^*$
	s, m	w_n , m/s	α_n o	zmierzona $w_{i\dot{s}r}$, m/s	obliczona $w_{i\dot{s}r}^*$, m/s	
1	2	3	4	5	6	7
1	2,84	3,40	3,5	0,06	0,07	0,01
2	5,03	3,40	3,5	0,10	0,15	0,05
3	2,84	11,60	3,5	0,26	0,29	0,03
4	6,03	11,60	3,5	0,47	0,39	0,08
5	2,84	3,40	36,5	0,05	0,14	0,09
6	6,03	3,40	36,5	0,08	0,05	0,03
7	2,84	11,60	36,5	0,36	0,31	0,05
8	6,03	11,60	36,5	0,24	0,24	0,0
9	2,50	7,50	20,0	0,24	0,18	0,05
10	6,37	7,50	20,0	0,13	0,18	0,05
11	4,44	2,50	20,0	0,03	0,00	0,03
12	4,44	12,50	20,0	0,22	0,24	0,02
13	4,44	7,50	0	0,19	0,18	0,01
14	4,44	7,50	40,0	0,14	0,13	0,01
15	4,44	7,50	20,0	0,08	0,10	0,02

Tablica 4

Wyniki pomiarów i obliczeń
dla eksperymentu dwupoziomowego całkowitego

Doświadczenie	Wartości zmiennych niezależnych			Prędkość średnia w strefie pracy		$w_{i\dot{s}r} - w_{i\dot{s}r}^*$
	s, m	w_n , m/s	α_n , °	zmierzona $w_{i\dot{s}r}$, m/s	obliczona $w_{i\dot{s}r}^*$, m/s	
1	2	3	4	5	6	7
1	2,84	3,39	3,55	0,06	0,07	0,01
2	6,03	3,39	3,55	0,10	0,11	0,01
3	2,84	11,61	3,55	0,26	0,33	0,07
4	6,03	11,61	3,55	0,47	0,37	0,10
5	2,84	3,39	36,45	0,05	0,03	0,02
6	6,03	3,39	36,45	0,06	0,07	0,01
7	2,84	11,61	36,45	0,36	0,29	0,07
8	6,03	11,61	36,45	0,24	0,33	0,09

Wyznaczone w dalszej kolejności prędkości średnie były podstawą określenia współczynników funkcji regresji dla zastosowanych eksperymentów.

Ostatecznie, funkcja regresji dla eksperymentu pięciopoziomowego kompozycyjnego przyjmuje postać:

$$w_{i\dot{s}r} = 0,2859 - 0,1544 s + 0,0155 w_n + 0,0015 \alpha_n + 0,0209 s^2 + \\ + 0,0007 w_n^2 + 0,0001 \alpha_n^2 + 0,0004 s \cdot w_n - 0,0016 s \alpha_n - \\ - 0,0002 w_n \alpha_n$$

dla eksperymentu dwupoziomowego całkowitego:

$$w_{i\dot{s}r} = -0,0660 + 0,0126 s + 0,0316 w_n + 0,0012 \alpha_n$$

W tablicy 3 i 4 (kolumna 6) podano także dla porównania obliczone wartości prędkości średniej w strefie przebywania ludzi wyznaczone funkcje regresji, a w kolumnie 7 zamieszczono bezwzględną wartość różnicy pomiędzy prędkością zmierzoną a obliczoną.

Dla wszystkich doświadczeń wartość różnicy prędkości jest mniejsza lub równa odchyleniu standardowemu wynoszącemu $\sim 0,08$ m/s i jest jednocześnie bliska dokładności, z jaką możliwe było eksperymentalne wyznaczenie prędkości. Zastosowany bowiem w badaniach elektryczny anemometr laboratoryjny posiadał rozróżnialność prędkości wynoszącą 0,05 m/s dla prędkości mniejszych od 10 m/s.

W celu oceny modelu liniowego opisującego badany proces przeprowadzono ponowne badania w modelu fizycznym dla wartości zmiennych niezależnych

odpowiadających punktowi centralnemu. Rozstaw nawiewników, prędkość nawiewania powietrza i kierunek nawiewania odpowiadający temu punktowi pokrywają się z eksperymentem 15 wg tablicy 1.

W wyniku przeprowadzonych badań określono wartość prędkości średniej w strefie przebywania ludzi i porównano ją z prędkością obliczoną z zależności funkcyjnej wyznaczonej drogą eksperymentu dwupoziomowego pełnego. Tak obliczona wartość prędkości średniej wynosi 0,251 m/s przy prędkości 0,09 m/s wyznaczonej drogą badań w modelu.

Wynik obliczeń i badań różni się znacznie, mimo że wariancja wyznaczenia prędkości średniej z zależności funkcyjnej dla eksperymentu dwupoziomowego wynosi 0,0058.

Dużą rozbieżność pomiędzy wartościami obliczonymi z wartością prędkości wyznaczoną drogą badań wskazuje, że w przypadku analizowanego procesu przy przyjętych przedziałach zmian wielkości uznanych za zmienne niezależne model liniowy jest mniej dokładny.

4. PODSUMOWANIE

Przedstawione wyniki badań i obliczeń wskazują na przydatność metody eksperymentu planowanego w badaniach rozdziału powietrza wentylacyjnego. Ponadto model liniowo-kwadratowy zapewnia lepszą identyfikację analizowanego procesu od modelu liniowego.

Zwiększenie zbieżności wyników badań i obliczeń zgodnie z modelem liniowym jest możliwe w przypadku zawężenia przedziału zmian wielkości uznanych ze zmienne niezależne.

LITERATURA

- [1] Mańczak K.: Technika planowania eksperymentu. WNT, Warszawa 1976. Wyd. I.
- [2] Kasprzyński B.: Planowanie eksperymentów. WNT, Warszawa 1974.

ПЛАНИРОВАННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ИССЛЕДОВАНИЯХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ВОЗДУХА

Резюме

Были проведены модельные испытания в физической модели, с целью определить распределение скоростей в вентилированном помещении в зависимости от расстановки вентиляторов, скорости приточного воздуха и напоявления приточной струи. План опытов был установлен согласно требованиям метода планированного эксперимента. Оценку пригодности примененного метода проведено,

сравнивая результаты модельных исследований со значениями рассчитываемыми из функциональных зависимостей вытекающих из принятого плана полного эксперимента на двух уровнях и полного эксперимента на пяти уровнях.

EXPERIMENT DESIGN IN THE RESEARCH OF VENTILATION AIR DISTRIBUTION

S u m m a r y

Some tests in a physical model were carried out in order to determine velocity distribution in a ventilated room depending on spacing between the diffusers, supply air velocity and the direction of supplied jets. The experiments were planned according to the experiment design method. The applicability of the method was estimated by comparison of the model tests results with the values calculated from the functions resulting from the assumed two- and five-level experiments.