ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1985
Seria: INŻYNIERIA ŚRODOWISKA z. 26 Nr kol. 827

Marian NANTKA

WPŁYW DOKŁADNOŚCI CHARAKTERYSTYK AERODYNAMICZNYCH SZCZELIN NA WIARYGODNOŚĆ OBLICZEŃ WYMIANY POWIETRZA W BUDYNKACH MIESZKALNYCH

Streszczenie. W opracowaniu omówiono wyniki badań przepływu powietrza przez szczeliny w aspekcie uzyskania wiarygodności obliczeń ilości powietrza infiltrującego do budynków. Ustalono przyczyny występowania błędów w tego typu analizach oraz przedstawiono metodę badawczą umożliwiającą poprawę ich dokładności.

1. Wprowadzenie

Duża ilość różnorodnych czynników zakłócających i ograniczających wymianę powietrza w budynkach mieszkalnych powoduje, że oceny poprawności działania systemów wentylacyjnych wykonywane są często za pomocą skomplikowanych metod analitycznych. Wiarygodność tak odwzorowywanych procesów wentylacyjnych zależy między innymi od dokładności matematycznego zapisu zjawiska przenikania powietrza przez szczeliny w stolarce budowlanej [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7].

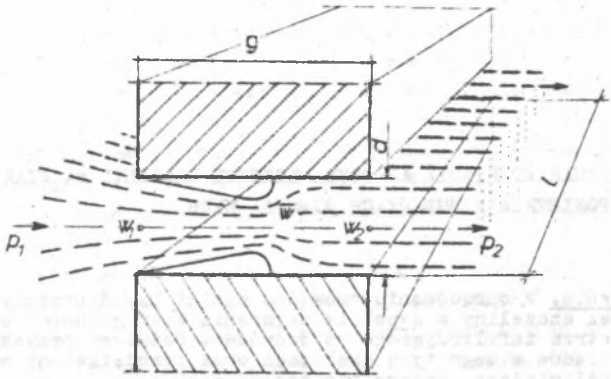
W wyniku przeprowadzonych w obiektach istniejących badań infiltracji powietrza przez okna ustalono występowanie niedopuszczalnych różnic w ilościach powietrza uzyskanych z pomiarów w stosunku do wartości obliczonych za pomocą ogólnie stosowanych zależności teoretycznych. W przypadku badanych 11-kondygnacyjnych budynków różnice te sięgają 100% w odniesieniu do kubatury pojedynczego mieszkania [7], [8], [9], [10].

W niniejszym opracowaniu przedstawiono metodę umożliwiającą dokładną ocenę ilościową omawianych zjawisk. Oparto ją na analizie procesów przepływu powietrza przez szczelin i wyniku badań dla kilku ich typów o konstrukcjach zbliżonych do występujących w oknach i drzwiach. Wykorzystano także pomiary przeprowadzone w budynkach eksploatowanych oraz wyniki podobnych badań publikowanych w literaturze specjalistycznej.

2. Przepływ powietrza przez szczeliny

Przepływ powietrza przez szczelinę wywołany jest różnicą ciśnień po obu jej stronach. Zużywana jest ona na pokonanie oporów przepływu związanych z

tarciem powietrza o materiał szczeliny (p_t) oraz z przyspieszeniem jego ruchu (p_a). Różnicę ciśnień (rys. 1) przedstawić można w postaci:



d – szerokość szczeliny, mm
g – głębokość szczeliny, mm
l – długość szczeliny, mm
$\bar{w}$ – średnia prędkość powietrza, m/s
Δp – podciśnienie ($p_1 - p_2$), N/m^2

Rys. 1. Przepływ powietrza przez szczelinę

$$p_1 - p_2 = \Delta p = p_a + p_t \quad [N/m^2] \tag{1}$$

Straty ciśnienia wywołane wzrostem prędkości powietrza są funkcją kwadratu średniej jej wartości:

$$p_a = \frac{1}{2}\rho(\bar{w})^2 \quad [N/m^2] \tag{2}$$

gdzie:

ρ – gęstość powietrza przepływającego przez szczelinę, kg/m^3,
$\bar{w}$ – średnia prędkość powietrza, m/s.

Opory przepływu powietrza związane z jego tarciem o materiał szczeliny są również zależne od średniej prędkości i wynoszą:

- w zakresie laminarnych przepływów powietrza

$$p_{t_L} = c_1 \bar{w} \quad [N/m^2] \tag{3}$$

- w obszarze ruchu burzliwego

$$p_{t_B} = c_2(\overline{W})^2 \left[N/m^2\right] \tag{4}$$

gdzie:

c_1 - współczynnik określający udział ruchu laminarnego w oporach tarcia, Ns/m^3,

c_2 - jw., lecz dla przepływów burzliwych Ns^2/m^4.

Średnią prędkość powietrza w szczelinie obliczyć można znając jej powierzchnię (A) oraz ilość powietrza przez nią przepływającą ($\dot{V}$):

$$\overline{W} = \frac{\dot{V}}{A} \left[m/s\right] \tag{5}$$

Całkowity spadek ciśnienia występujący przy przepływie powietrza przez szczelinę opisać można równaniem:

$$p_1 - p_2 = \Delta p = \frac{1}{2}\frac{\rho}{(A)^2}(\dot{V})^2 + c_1\frac{1}{A}(\dot{V}) + (1-\alpha)c_2\frac{1}{(A)^2}\dot{V}^2\left[N/m^2\right] \tag{6}$$

gdzie:

α - straty ciśnienia wywołane tarciem powietrza w zakresie przepływów laminarnych, %.

Zależność (6) jest podstawą stosowanych opisów matematycznych przenikania powietrza przez szczeliny. Najczęściej charakterystyki aerodynamiczne budowlanych elementów przepuszczalnych dla powietrza przedstawione są jako zależności ilości powietrza od różnicy ciśnień w postaci:

$$\dot{V} = Z(\Delta p)^{1/n} \left[m^3/s\right] \tag{7}$$

gdzie:

Z - współczynnik proporcjonalności określający ilość powietrza przenikającą przez sumaryczną długość nieszczelności w odniesieniu do jednostki czasu oraz jednostkowej różnicy ciśnień, $m^3s\ (N/m^2)^{1/n}$,

n - wykładnik potęgowy zależny od charakteru ruchu powietrza w szczelinie ($1 < n < 2$).

Wartości współczynnika Z odniesione do 1 m długości szczelin (lub jednostki powietrzne okien, drzwi) charakteryzują je pod względem izolacyjności powietrznej i nazywane są współczynnikami przenikania powietrza. Zawierają one informacje zarówno o konstrukcji szczelin (c_1, c_2 α, A), jak i o warunkach termicznych, w jakich zachodzi proces infiltracji powietrza (ρ).

Jednocześnie wielkości wykładnika przenikania n uzależnione są także od konstrukcji szczelin oraz wymuszającej przepływ powietrza różnicy ciśnień, co związane jest z wpływem tych czynników na rodzaj ruchu powietrza.

W efekcie, analizując równania (6) i (7), stwierdzić można uwikłaną zależność ich elementów składowych, a mianowicie współczynników i wykładników przenikania oraz różnicy ciśnień. W większości opracowań w tym zakresie uważa się za wystarczająco dokładne przyjmowanie wykładników potęgowych n równych 1,5 niezależnie od konstrukcji okien i wartości różnic ciśnień [7], [11], [12], [13].

3. Badania procesu przenikania powietrza

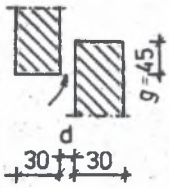
W celu określenia charakteru zależności wykładników potęgowych w charakterystykach aerodynamicznych szczelin przeprowadzono badania zjawisk przepływu powietrza dla kilku ich konstrukcji przedstawionych na rys. 2. Umieszczono je na specjalnie skonstruowanej obudowie, wewnątrz której za pomocą wentylatora o regulowanej wydajności wytwarzano podciśnienie, mierząc jego wartość. Ilość powietrza mierzono za pomocą kryzy kwadrantowej. Widok stanowiska pomiarowego przedstawiono na rys. 3. Zakres mierzonych wydatków powietrza i różnic ciśnień przekraczał wartości występujące w budynkach mieszkalnych. Wynikało to z założonego celu badań, a mianowicie uzyskania pełnej informacji obejmującej zmiany wykładników i współczynników przenikania powietrza dla przepływów laminarnych i burzliwych. Pomiary przeprowadzono w warunkach zbliżonych do normalnych.

3.1. Opracowanie wyników badań

Dla każdej konstrukcji szczeliny wykonywano od 20 do 30 pomiarów. Uzyskiwano z nich kombinacje par liczb, tj. różnic ciśnień - Δp_i oraz odpowiadających im ilości powietrza - $\dot{V}_i$. Były one podstawą do określenia wartości współczynników i wykładników przenikania. W tym celu zależność (7) przedstawiono w postaci logarytmicznej układu równań tożsamościowych:

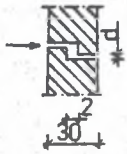
$$\sum_{i=1}^{k} \log(al) + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{k} \log(\Delta p_i) = \sum_{i=1}^{k} \log(\dot{V}_i)$$

$$\sum_{i=1}^{k} \log(al) \log(\Delta p_i) + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{k} (\log \Delta p_i)^2 = \sum_{i=1}^{k} \log \dot{V}_i \log(\Delta p_i) \qquad (8)$$



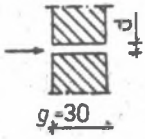
Szczelina - typ 1

d = 0.5 ÷ 6.0 mm
g = 45 mm



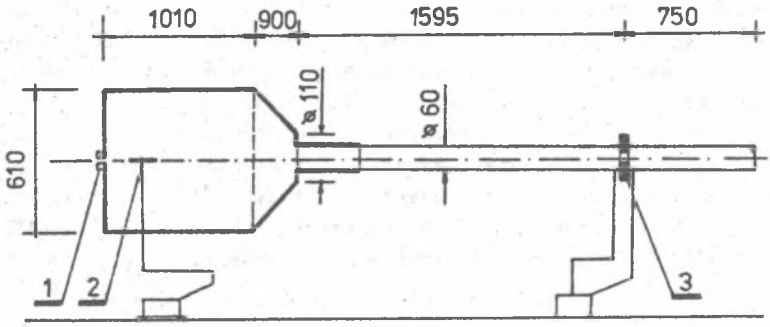
Szczelina - typ 2

d = 1.0 ÷ 6.0 mm
g = 30 mm



Szczelina - typ 3

d = 0.5 ÷ 6,0 mm
g = 30 mm



1 — lokalizacja badanych szczelin na obudowie
2 — sonda do pomiaru podciśnienia w obudowie
3 — kryza miernicza o module m = 0.478

Rys. 2. Konstrukcja badanych szczelin i schemat stanowiska pomiarowego

Rys. 3. Widok stanowiska do badania przepływu powietrza przez szczeliny

gdzie:

i - numer kolejnego pomiaru wartości $\dot{V}_i$, Δp_i,
k - całkowita ilość pomiarów wykonana dla jednej konstrukcji szczeliny,
Z = a l,
a - wartości współczynników przenikania powietrza, $m^3/ms\ (N/m^2)^{1/n}$,
l - długość szczeliny, (0,996 m).

Obliczenia wykonano za pomocą maszyny cyfrowej. Zastosowano w nich metodę najmniejszych kwadratów. W tych warunkach o dokładności uzyskanych wartości a i n decydowały dolne zakresy mierzonych wartości. Wynosiły one dla różnic ciśnień 0,16 N/m^2, a dla wydatków powietrza 0,6 x 10^{-3} m^3/s.

Przygotowaną procedurę obliczeniową rozszerzono o zależności umożliwiające ocenę energetyczną badanych zjawisk. Wykorzystano równanie (1) oraz (5) obliczając procentowy udział strat ciśnienia związanych z przyspieszeniem prędkości powietrza, wartość tej prędkości dla wymiarów szczelin, a także wielkość liczby Reynoldsa wyrażonej zależnością:

$$Re = \overline{W}\,\frac{d}{\nu} \tag{9}$$

$$\overline{W} = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{\dot{V}}{d \times l} \tag{10}$$

$$Re = \frac{\dot{V}}{d \times l}\,\frac{d}{\nu} = \frac{al(\Delta p)^{1/n}}{d \times l}\,\frac{d}{\nu}$$

$$Re = \frac{a}{\nu}\,(\Delta p)^{1/n} \tag{9a}$$

gdzie:

d - jako charakterystyczny wymiar szczeliny przyjęto (patrz rys. 1) szerokość, m,

ν - lepkość kinematyczna powietrza, m^2/s.

Obliczono także liczbę Eulera wyrażoną równaniem:

$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho \overline{w}^2} \tag{11}$$

Pozwoliło to na określenie granicznej liczby Reynoldsa, począwszy od której ruch powietrza w szczelinach odbywał się w zakresie przepływów burzliwych.

3.2. Analiza wyników badań

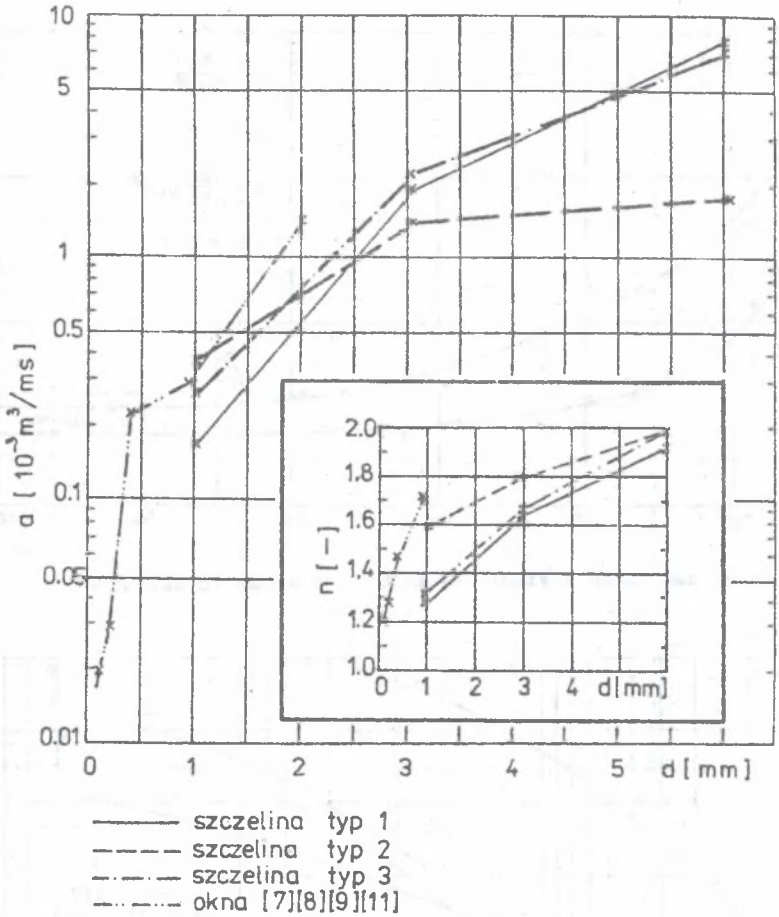
Uzyskane wartości współczynników przenikania i odpowiadających im wielkości wykładników potęgowych zestawiono w tabeli 1 dla badanych konstrukcji szczelin i okien. Wielkości liczby Re określono dla warunków odpowiadających układom ciśnień występującym w eksploatowanych budynkach, tj. dla różnic ciśnień równych 9.81 N/m^2 i 98,10 N/m^2.
Otrzymane wyniki pozwalają na sprecyzowanie następujących wniosków:

a) zmianie różnicy ciśnień po obu stronach szczelin odpowiadają zmiany wartości współczynników i wykładników przenikania inne dla różnych konstrukcji szczelin. Dane w tym zakresie przedstawiono na rys. 4,
b) wzrost szerokości szczeliny zwiększa wartość współczynników a i wykładników potęgowych n. Jednocześnie w zależności od różnicy ciśnień każdej szerokości szczeliny odpowiada inna wielkość liczby Re_{gr}. Przepływy powietrza w szczelinach okiennych odbywają się w zakresie ruchu przejściowego (porównaj dane z tabeli 1 i rys. 5),
c) dla szczelin o małych szerokościach (1 mm) dominujący jest wpływ ruchu laminarnego, przy czym wielkość wykładnika n zależy od konstrukcji szczeliny,
d) w przypadku szczelin o szerokościach rzędu 6 mm zależność ilości powietrza od różnicy ciśnień jest zbliżona do kwadratowej,
e) opory tarcia uzależnione są od konstrukcji szczeliny. Natomiast straty ciśnienia związane z przyspieszeniem ruchu powietrza są funkcją różnicy ciśnień. W tabeli 2 porównano dane w tym zakresie dla jednej z badanych szczelin. W przypadku gdy jej szerokość równa jest 6 mm, procentowy udział strat ciśnienia wywołany wzrostem prędkości powietrza jest stały i waha się w granicach 90% w stosunku do całkowitej różnicy ciśnień. Odpowiada to wielkości wykładnika potęgowego n=2 (patrz tabela 1), a więc burzliwemu przepływowi powietrza. Zmniejszenie szerokości szczeliny do 1 mm powoduje wyraźnie uzależnienie się p_a od różnicy ciśnień, a więc także zmianę wykładnika przenikania n. Podobne zależności występują w badanych szczelinach okiennych.

Tabela 1

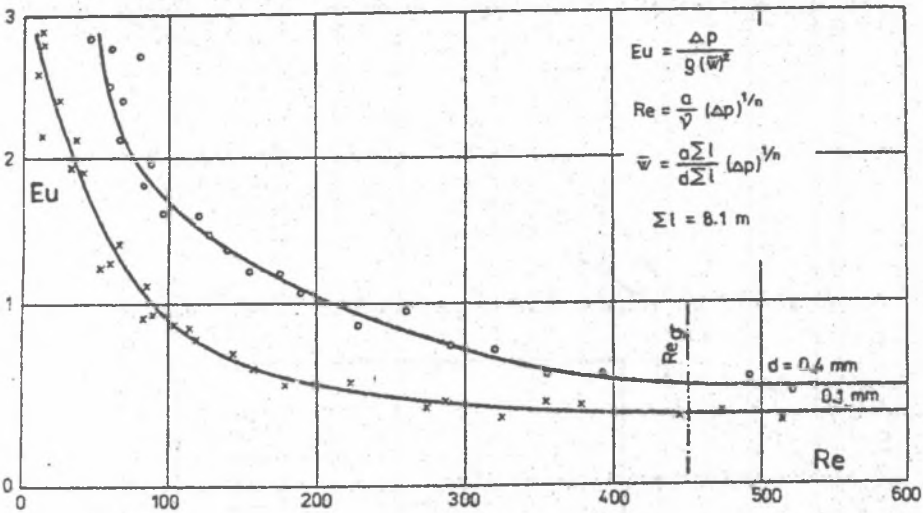
Zestawienie wartości współczynników przenikania i odpowiadających im wielkości wykładników potęgowych dla badanych konstrukcji szczelin i okien

Konstrukcja szczelin	Wymiary szczelin mm	Współczynnik przenikania		$\Delta p = 9{,}81 N/m^2$ (1 KG/m^2)		$\Delta p = 98{,}1 N/m^2$ (10 KG/m^2)	
		$a\ [m^3/ms\ N/m^2]$	n	$\bar{W}$ [m/s]	Re	$\bar{W}$ [m/s]	Re
Typ 1	d = 1	$0{,}14 \times 10^{-3}$	1,28	0,83	64	14,2	6440
	3	$1{,}93 \times 10^{-3}$	1,65	2,61	590	10,5	2385
	6	$7{,}95 \times 10^{-3}$	1,92	4,28	1950	5,0	381
Typ 2	d = 1	$0{,}36 \times 10^{-3}$	1,59	1,50	113	6,4	483
	3	$1{,}25 \times 10^{-3}$	1,80	1,45	336	5,3	1205
	6	$1{,}51 \times 10^{-3}$	2,00	0,80	358	2,5	1128
Typ 3	d = 1	$0{,}26 \times 10^{-3}$	1,31	1,50	113	8,6	648
	3	$2{,}13 \times 10^{-3}$	1,67	2,75	620	10,0	2280
	6	$7{,}10 \times 10^{-3}$	2,00	3,70	1680	11,6	5300
Okna drewniane [7] [8] [9] [11] L = 8,1 m	d = 0,2	$0{,}0029 \times 10^{-3}$	1,29	0,92	14	5,1	396
	0,1	$0{,}019 \times 10^{-3}$	1,20	0,58	6	3,4	
	0,9	$0{,}28 \times 10^{-3}$	1,72	2,28	155	8,4	565
	0,4	$0{,}21 \times 10^{-3}$	1,47	1,46	44	6,8	204

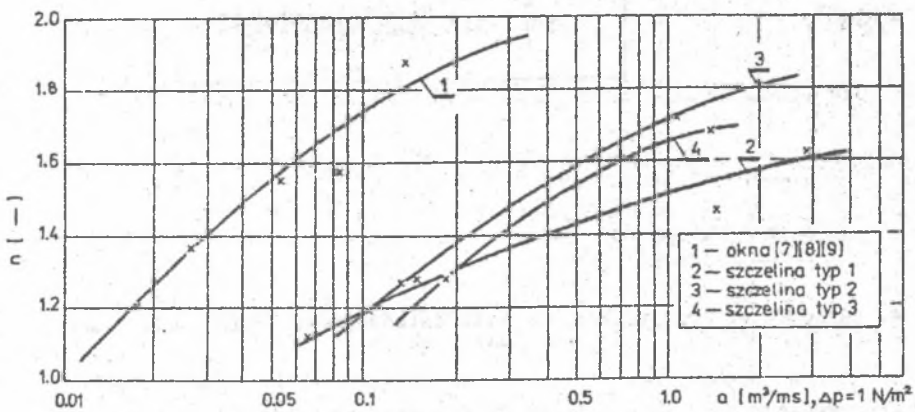


Rys. 4. Wartości współczynników a i wykładników przenikania n dla badanych szczelin i okien

Przeprowadzone badania potwierdziły wysuwane przez szereg badaczy wnioski i spostrzeżenia, z których do najważniejszych należy zaliczyć konieczność uzależnienia wartości współczynników przenikania od konstrukcji szczelin, a w ramach każdej z nich od różnic ciśnień przy jednoczesnej zmianie wielkości wykładnika potęgowego n. Oznacza to, że ilość powietrza przenikającego przez szczelinę jest funkcją różnicy ciśnień w potędze określonej wielkością wykładnika przenikania, przy czym jego wielkość związana jest z tą różnicą ciśnień oraz wartością współczynnika przenikania a. Na rys. 6 przestawiono zależność n = f(a) dla badanych szczelin w przypadku, gdy różnica ciśnień wynosi 1,0 N/m^2. Z wykresu widać, że zmiany



Rys. 5. Zależność liczb kryterialnych Eu i Re szczelin okiennych



Rys. 6. Zmiany wielkości wykładników potęgowych n w zależności od współczynników przenikania powietrza

wielkości wykładnika n mają charakter wykładniczy, przy czym zbliżają się one asymptotycznie do wielkości n = 2 ograniczającej wartości funkcji.

Tabela 2

Przykładowe określenia udziału strat ciśnienia związanych z przyspieszeniem ruchu powietrza (p_a) w szczelinie

Różnica ciśnień Δp		Średnia prędkość	p_a	p_a
N/m^2	KG/m^2	$\overline{W}$ [m/s]	N/m^2	%
Szczelina typ 3		d = 6 mm;	g = 30 mm;	l = 1,0 m
0,98	0,1	1,17	0,89	90,4
9,81	1,0	3,70	8,88	90,4
98,10	10,0	11,70	88,70	90,4
Szczelina typ 3		d = 1 mm;	g = 30 mm;	l = 1,0 m
0,98	0,1	0,26	0,045	4,5
9.81	1,0	1,50	1,385	14,2
98,10	10,0	8,61	47,86	48,8
Okno drewniane		d = 0,9 mm;	l = 8,1 m	
0,98	0,1	0,78	0,40	40,6
9,81	1,0	2,65	4,61	47,2
98,10	10,0	8,98	52,89	53,91
Okni drewniane		d = 0,1 mm;	l = 8,1 m	
0,98	0,1	0,0628	0,025	0,26
9,81	1,0	0,53	1,79	1,83
98,10	10,0	3,7	8,88	9,05

3.3. Charakterystyka aerodynamiczna szczelin

Poprawny opis matematyczny zjawiska przepływu powietrza przez szczelinę powinien uwzględnić przedstawiony na rys. 6 charakter zmian współczynników i wykładników przenikania.

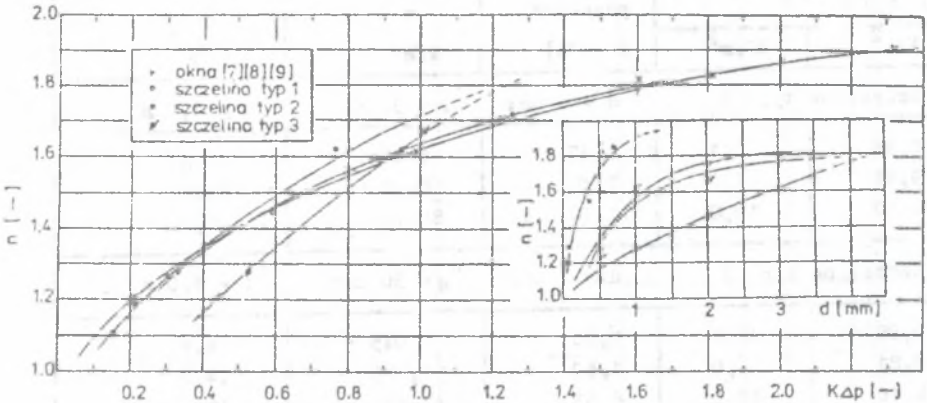
Charakter tych zmian najlepiej opisuje funkcja:

$$n = 2 - \exp\left[-K\ \Delta p\right] \tag{10}$$

gdzie:

K - wartość stała dla konstrukcji szczeliny wyznaczana doświadczalnie, m^2/N.

Analiza zmiany wykładnika n przeprowadzona w oparciu o dyskusję funkcji (10) potwierdza skuteczność takiego opisu. Wielkości wykładnika przenikania będą bliskie jedności w przypadku, gdy drugi człon zależności (10) również będzie zbliżony do jedności, a więc dla małych różnic ciśnień.



Rys. 7. Zależność wykładników przenikania od iloczynu stałej K i różnicy ciśnień Δp

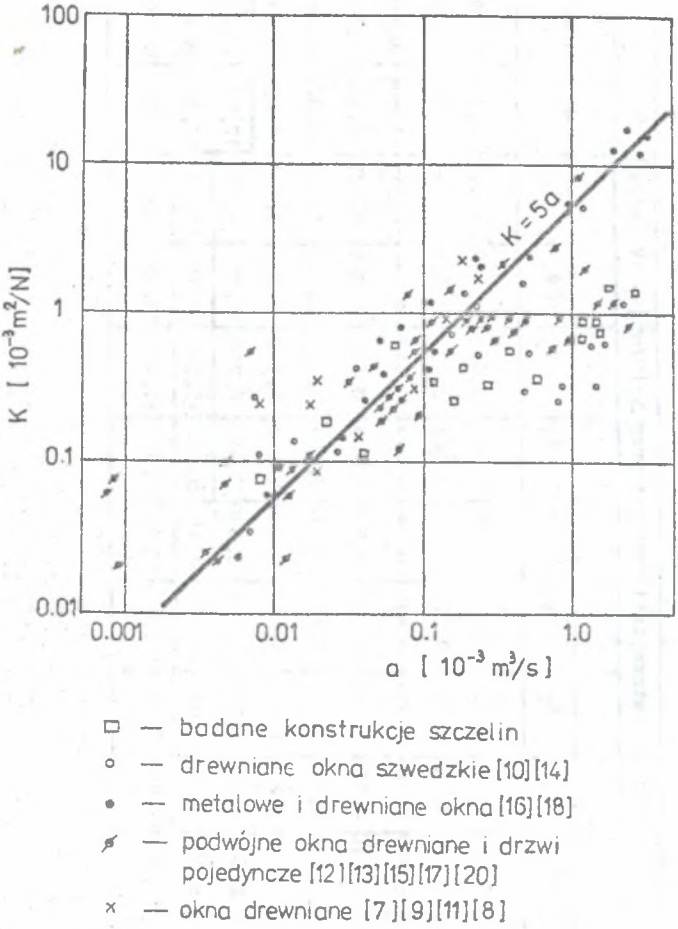
Dla większych różnic ciśnień wielkości wykładnika będą wzrastać. Intensywność tego wzrostu określi wartość stałej K.

Na rys. 7 przedstawiono zależność wielkości wykładnika n od iloczynu stałej K i różnicy ciśnień Δp dla badanych szczelin. Analizując wykresy pokazane na rys. 6 i 7 stwierdzić można ich podobieństwo, a w konsekwencji zbliżoną do liniowej zależność wartości K i współczynników przenikania a. Przedstawiono ją na rys. 8, uwzględniając opracowane w podobny sposób wyniki pomiarów wykonane za granicą [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20].

4. Dokładność obliczeń ilości powietrza przenikającego przez szczeliny w stolarce budowlanej

W celu oceny dokładności opisu zjawiska przenikania powietrza przez okna przeprowadzono obliczenia ilości powietrza uwzględniające zmiany wykładnika n według równania (10) i porównywano je z wartościami uzyskanymi w pomiarach. Przyjęto zależność stałej K od wartości współczynników przenikania a (rys. 8) w postaci:

$$K = 5a \tag{11}$$



Rys. 8. Zależność między stałą K a wartościami współczynników przenikania powietrza przez szczeliny okienne

Do obliczeń porównawczych zastosowano metodę najmniejszych kwadratów. Średnie odchylenia standardowe wahają się w granicach ± 8% dla szczelin o małych szerokościach (małe wartości współczynników przenikania). Wzrastają one maksymalnie do 20 % w przypadku małej szczelności okien [7],[9].

W celu porównania dokładności ogólnie stosowanych założeń teoretycznych odnośnie do obliczania ilości powietrza przenikającego przez okna z wartościami uzyskanymi przy uwzględnieniu zależności (10) (11) zestawiono odpowiednie dane w tabeli 3. Obliczenia wykonano dla okien określonych współczynnikami a = 0,002 - 1,000 x 10^{-3} m^3s $(N/m^2)^{1/n}$ przy założeniu zmian

Tabela 3

Porównanie ilości powietrza uzyskanych drogą obliczeń metodą tradycyjną ($\dot{V}_2$) i za pomocą opracowanych zależności ($\dot{V}_1$)

Współczynnik przenikania $a \cdot 10^{-3}$ $m^3/ms(N/m^2)^{1/n}$	Ilości powietrza infiltrujące przy $\Delta p[N/m^2]$ - $\dot{V}$ $[m^3/s]$													
	20		50		100		150		200		250		500	
	$\dot{V}_1$	$\dot{V}_2$	$\dot{V}_1$	$\dot{V}_2$	$\dot{V}_1$	$\dot{V}_2$	$\dot{V}_1$	$\dot{V}_2$	$\dot{V}_1$	$\dot{V}_2$	$\dot{V}_1$	$\dot{V}_2$	$\dot{V}_1$	$\dot{V}_2$
0,002	0,004	0,011	0,004	0,021	0,071	0,033	0,107	0,045	0,143	0,053	0,179	0,061	0,356	0,097
0,005	0,009	0,047	0,009	0,054	0,181	0,085	0,275	0,112	0,367	0,135	0,444	0,158	0,880	0,248
0,010	0,018	0,058	0,184	0,107	0,367	0,171	0,535	0,224	0,712	0,271	0,888	0,315	1,694	0,501
0,025	0,046	0,145	0,451	0,270	0,896	0,426	1,304	0,559	1,729	0,679	2,085	0,787	3,168	1,254
0,050	0,092	0,290	0,903	0,536	1,753	0,853	2,469	1,116	3,158	1,350	3,780	1,580	6,020	2,480
0,100	0,741	0,580	1,776	1,073	3,270	1,706	4,550	2,240	5,598	2,710	6,490	3,150	9,032	5,010
0,250	1,860	1,450	4,159	2,682	7,160	4,270	9,146	5,590	10,45	6,790	11,07	7,870	12,52	12,54
0,500	3,800	2,900	7,706	5,364	11,89	8,93	14,31	11,16	15,78	15,500	15,76	15,80	18,30	24,80
1,000	5,670	5,800	13,46	10,73	19,16	17,06	21,78	22,40	22,65	27,10	23,55	31,50	27,78	50,10

$\dot{V}_1$ - $n = 2$ - $\exp\left[-5a\ \Delta p\right]$

$\dot{V}_2$ - $n = 1,5$

różnic w zakresie 20-500 N/m^2. Szczególnie duże różnice (50% i więcej) w ilościach powietrza występują w przypadku zalecanych do stosowania szczelnych i średnioszczelnych okien w warunkach ciśnieniowych charakterystycznych dla budynków o wysokości 11-kondygnacji.

Celem praktycznego wykorzystania wyników badań do obliczeń wymiany powietrza przyjęto wielkości wykładnika potęgowego n równe 1,25, a nie jak dotychczas 1,5. Przeprowadzone obliczenia zmian ilościowych przepływów powietrza w 10 piętrowym obiekcie mieszkalnym wykazały ich dużą dokładność w porównaniu z wynikami pomiarów [21], [22], [23]. Podkreślić należy, że badane obiekty wyposażone były w układy wywiewnej wentylacji grawitacyjnej. Charakterystyczne dla tego typu systemów wentylacji jest występowanie na poszczególnych kondygnacjach budynków mocno zróżnicowanych układów ciśnień.

Przyjmowanie w tych warunkach stałych wielkości wykładników potęgowych n jest źródłem braku dokładności stosowanych do analiz skuteczności wymiany powietrza matematycznych metod obliczeniowych.

W przypadku wywiewnych wentylacji mechanicznych dokładność tego typu analiz może być większa. Wynika to z faktu, że stosowanie tego typu systemów wymaga wytworzenia we wszystkich pomieszczeniach budynku odpowiednio dużego podciśnienia w stosunku do otoczenia. W wyniku tego we wszystkich mieszkaniach niezależnie od ich położenia w obrębie budynku wartości różnic ciśnień po obu stronach okien są podobnego rzędu. W tych warunkach możliwe jest określenie również jednakowej wielkości wykładnika przenikania. W analizach takich należy wykorzystać podane powyżej metody badawcze.

5. Podsumowanie

Stosowane powszechnie metody analityczne do oceny poprawności działania systemów wentylacji w budynkach mieszkalnych wymagają dokładnego zapisu matematycznego procesu infiltracji powietrza przez szczeliny w stolarce budowlanej. Jak wykazały badania, wiarygodność tego zapisu można uzyskać uzależniając wielkość wykładników potęgowych w charakterystykach aerodynamicznych szczelin od ich konstrukcji i różnicy ciśnień. Dotyczy to szczególnie obiektów wysokich z wywiewną wentylacją grawitacyjną.

Przedstawiona w niniejszym orpacowaniu metoda postępowania badawczego pozwala na uzyskanie w wyniku obliczeń zbliżonych do rzeczywistych zmian ilościowych przepływów powietrza w obiektach mieszkalnych.

LITERATURA

[1] Jackman P.: A Study of Natural Ventilation of Tall Buildings. J.I.H.V.S, 1970.

[2] Brandes D.: Zur Problematik der Auslegung und Berechnung von Lüftungssystemen für Wohnungbau. Lüft und Kältetechnik, Nr 1, 1969.
[3] Karolak J.: Wentylacja wysokich budynków mieszkalnych. OCW, Nr 3, 1973.
[4] Weier H.: Die Wirkung der Lüftungssystemen von Wohnhausern. Luft und Kaltetechnik, Nr 12/1975.
[5] Langlet G., Quemener Y.: L'amelioration de l'habitat existant. Paris 1977.
[6] Konstantinowa W.E.: Rasczot wozduchoobmiena w ziłych zdanijach. Strojizdat, Moskwa 1964.
[7] Nantka M.: Wpływ czynników zewnętrznych na skuteczność wentylacji w budynkach mieszkalnych. Praca doktorska, Gliwice 1979.
[8] Nantka M.: Badania skuteczności wentylacji w XI kondygnacyjnych budynkach typu "Fadom", Zeszyty Naukowe Pol. Śl. (w druku).
[9] Nantka M.: Przepływy powietrza w XI-kondygnacyjnych budynkach mieszkalnych. Materiały Seminaryjne, Wisła 1980.
[10] Hanna H.: On infiltration of Swedish modern wood sach windows. VVS, 1977.
[11] Nantka M.: Skuteczność wymiany powietrza w XI-kondygnacyjnych budynkach mieszkalnych. Sympozjum PAN, Kołobrzeg 1979.
[12] Shaw G., Sander P., Temura G.: Air leakage measurments of the exterior and interior walls of tall buildings. ASHRAE, Minneapolis 1975.
[13] Barański J., Kajnert W.: Infiltracja powietrza przez okna budynków mieszkalnych. OCW, Nr 2, 1971.
[14] Honma H.: Metod for bestunning av luftstromningen inom byggnader. VVS, 1972.
[15] Sasaki J., Wilson A.: Air leakage values for residential windows. ASHRAE, 1965.
[16] Wigen R.: Vinduer av tre, underskelser av tatthet mot vind og regn. Norges Byggforsknings Institutt, 1958.
[17] Thomas. D., Dick J.: Air infiltration through gaps around windows. JIHVE, 1953.
[18] Dreo.: Untersudmngen über die Luft von Fenstern. Gesundh. - Ing., 1962.
[19] Siemenowa E.: Wozduchopronikajemost okon ziłych i obszczestwiennych zdanij. Strojizdat, 1969.
[20] Burscy T., Green G.: Combined thermal and air leakage performance of double windows. ASHRAE, 1970.
[21] Nantka M.: Wentylacja w wielorodzinnych budynkach mieszkalnych. (w druku).
[22] Nantka M.: Wymiana powietrza w wielokondygnacyjnych budynkach mieszkalnych. Materiały konferencyjne sympozjum PAN, Tuczno 1980.
[23] Nantka M., Sziotka J.: Skuteczność wywiewnej wentylacji mechanicznej mieszkań. Informator Barowentu (w druku).

ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЩЕЛЕЙ НА НАДЁЖНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АЭРИРОВАНИЯ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ

Р е з ю м е

В розрвботке обсуждено результаты исследований инфильтрации воздуха через неплотности щели в жилых зданиях. Воздухопроницаемость щели являеться фактором, который влияет на вероятность вналитических методов определения воздухообмена.

AN EFFECT OF ACCURACY OF AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF GAPS ON TEE REALIABILITY OF CALCULATIONS OF AIR EXCHANGE IN HABITABLE BUILDINGS

S u m m a r y

The results of test of air flew through gaps in the aspoct of air infiltration calculations are considered. Reasens of errors in this type of analysis are discussed end a method which enables an improvement of the accuracy is proposed.