

NANTKA M., MAJERSKI S.

Effectiveness of ventilation functioning in many — storey residential houses. COW, No. 6/81, pp. 154

Results of the investigations on ventilation functioning in existing residential houses and the analysis of mathematical models of these objects by means of digital machine are presented. On the basis of the analysis the ventilation solution in residential objects with different number of storeys is proposed.

	$t_z, ^\circ\text{C}$		$\Delta t = t_z - t_o$ K	Straty mocy cieplnej					
	oblicz.	przyj. *)		$q_c$ W/m <sup>2</sup>	$Q_c$ W				
55	71	64	54	580	3634				
50	70	63	53	580	2030				
760	72	65	55	610	1708				
Otwór załadowczy (z ekranem)	0,7	280	0,127	0,615	114	114	104	1400	980
Strop (wierzch.)	3,08	270	0,32	0,765	70	70	60	700	2156

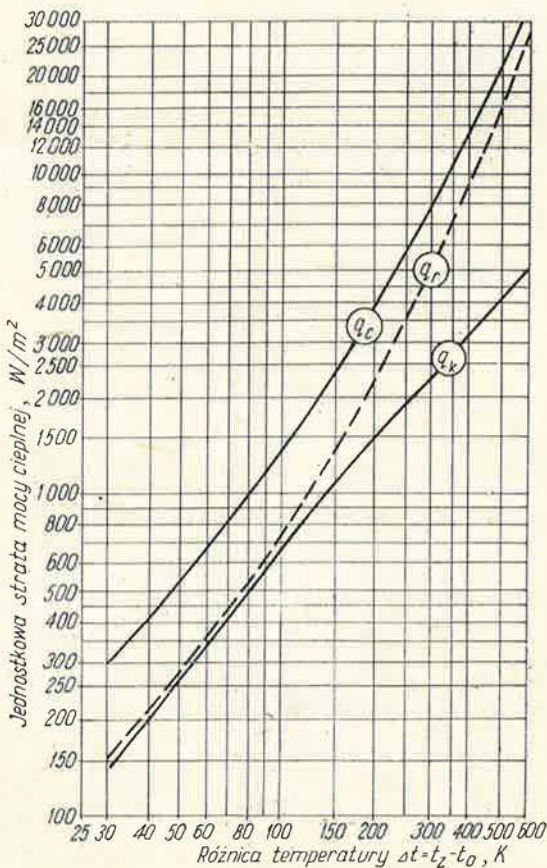
Zwiększenie straty mocy cieplnej przez strop o 30%						3,08 × 0,3 × 350 = 323
razem						10 831 W

Uwaga: \*) Zmniejszono temperaturę obliczeniową powierzchni o 10%, uwzględniając niższe wartości temperatury występujące na mostkach cieplnych obudowy.

obudowy, temperaturę zewnętrzną powierzchni ściany pieca wyznacza się z zależności

$$t_z = t_w - \varphi (t_w - t_o) \quad (10)$$

Wartości współczynnika  $\varphi$  (określone przez Heiligenstaedta dla  $t_o = 15^\circ\text{C}$  i podane przez Hoblera [2]) opracowano w postaci nomogramu (rys. 3), gdyż za pomocą wykresu można łatwiej wyznaczyć wartość tego współczynnika.



Rys. 4. Nomogram do wyznaczania jednostkowych strat mocy cieplnej z powierzchni zewnętrznej pieca:  $q_k$  — przez konwekcję,  $q_r$  — przez promieniowanie,  $q_c$  — łącznie przez konwekcję i promieniowanie

Na podstawie analizy obliczeniowej ustalono również, że wartości współczynnika  $\varphi$  są stałe dla temperatury otoczenia w zakresie  $t_o = 5 \div 20^\circ\text{C}$ .

### 3. Straty ciepła przez ściany pieca

Gęstość strumienia ciepłego  $q_c$  określona zależnością (2) jest jednostkową stratą mocy cieplnej zewnętrznej powierzchni pieca do otoczenia.

Ze względów praktycznych zależność (2) można wyrazić inaczej

$$q_c = q_k + q_r = a_k (t_z - t_o) + a_r (t_z - t_o) \quad (11)$$

Na podstawie zależności (11) opracowano nomogram (rys. 4), za pomocą którego można wyznaczyć jednostkowe straty mocy cieplnej zewnętrznej powierzchni pieca; są to zyski mocy cieplnej do otoczenia.

Projektując zastosowanie nad urządzeniem okapu wentylacyjnego, zaleca się przyjmowanie następujących udziałów odprowadzanej mocy cieplnej:

- ściany boczne, przód, tył i spód pieca — ok.  $0,7 q_k$ ,
- wierzch pieca —  $(0,810,9) (q_k + q_r)$ .

### 4. Przykład

Wyznaczyć straty mocy cieplnej pieca o następującej charakterystyce:

- konstrukcja ceramiczna (1/2 cegły szamotowej + 1/4 cegły zwykłej) o wymiarach  $1,4 \times 2,2 \times 2,3 \text{ m}$ ,
- sklepienie pieca z cegły szamotowej (1 cegła),
- otwór załadowczy  $0,9 \times 0,8 \text{ m}$  (płyta szamotowa  $0,19 \text{ m}$ ),
- paliwo — gaz ziemny,
- temperatura komory pieca ok.  $28^\circ\text{C}$ , temperatura spalin odpływających  $250^\circ\text{C}$ ,
- temperatura otoczenia  $10^\circ\text{C}$ .

Wyniki obliczeń strat mocy cieplnej pieca podano w tabeli 5.

### PISMIENNICTWO

[1] Michiejew M.: *Zasady wymiany ciepła*. PWN Warszawa 1953  
 [2] Hobler T.: *Ruch ciepła i wymienniki*. WNT Warszawa 1979  
 [3] Kalinowski E.: *Przekazywanie ciepła*. Skrypt Politechnika Wrocławska. Wrocław 1974  
 [4] Maksimow G. A.: *Otopienie i wentylacja*. Cz. II Wentylacja. Gosstrojizdat, Moskwa 1955  
 [5] Recknagel-Sprenger: *Ogrzewanie i klimatyzacja*. Poradnik. Arkady, Warszawa 1976

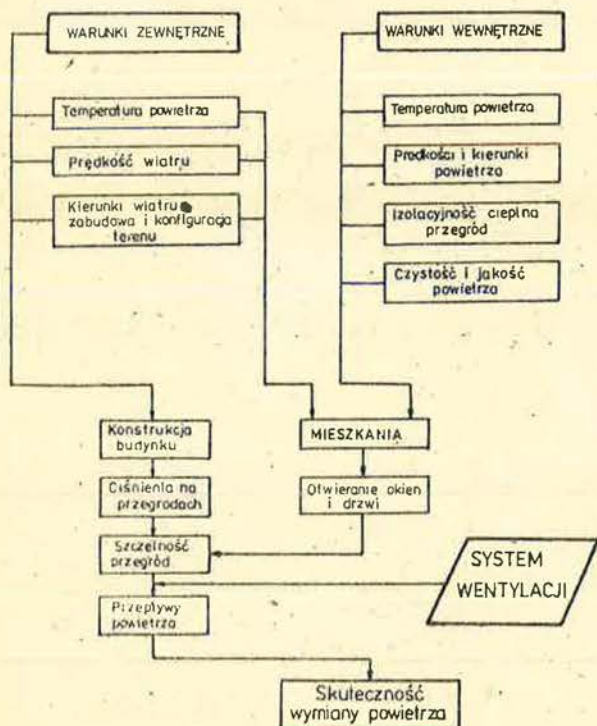
# Skuteczność działania wentylacji w wielokondygnacyjnych budynkach mieszkalnych

Systematyczny wzrost poziomu wiedzy o wpływie środowiska na pracę i wypoczynek ludzi zwiększa wymagania stawiane przed projektantami budynków mieszkalnych. W mieszkaniach muszą być zapewnione właściwe warunki mikroklimatu. Warunki te stwarzają odpowiednio rozwiązane systemy ogrzewania oraz wentylacji. Szczególnie ważne w tym zakresie jest odpowiednie zorganizowanie wymiany powietrza w mieszkaniach. Ma tutaj również duże znaczenie dostosowanie konstrukcji obiektu do zmian klimatu zewnętrznego. Ponadto konstrukcja ta powinna umożliwić utrzymanie warunków mikroklimatu w pomieszczeniach. Wskazania te są szczególnie istotne przy realizowaniu obiektów systemem uprzemysłowionym, powszechnie obecnie stosowanym.

Skuteczność działania wentylacji w budynkach mieszkalnych zależy od wielu jednocześnie oddziałujących czynników. Można je zebrać w trzy grupy:

- warunki zewnętrzne decydujące o formowaniu się ciśnień na ścianach obiektów wywołanych wyporem termicznym, naporem wiatru, jak również wpływ konfiguracji terenu i układu zabudowy lokalnej,
- elementy konstrukcyjne obiektów, warunkujące opory przepływu powietrza przez przegrody budowlane; charakterystyka konstrukcji obejmuje ich szczelność oraz rozplanowanie pomieszczeń i rodzaj stosowanej wentylacji,
- warunki wewnętrzne, których zmiany wynikają z eksploatacji mieszkań.

Czynniki te schematycznie przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Czynniki zakłcające procesy wymiany powietrza w budynkach mieszkalnych

Dezorganizują one w mniejszym lub większym stopniu pracę systemu wentylacyjnego. Zatem skuteczność wentylacji jest wypadkową oddziaływań wielu czynników, które powinny być uwzględniane przy doborze systemu umożliwiającego uzyskanie pożądanych efektów. Należy do nich zaliczyć przede wszystkim usytuowanie i właściwości przegród budowlanych oraz zakłcające działanie strumieni powietrza w pomieszczeniach i wokół budynków.

Najbardziej rozpowszechnionym w Polsce systemem wentylacji jest wywiewna wentylacja grawitacyjna. Od 1974 roku w obiektach o liczbie kondygnacji większej niż 11 zaleca się także stosowanie mechanicznej wentylacji wywiewnej [1].

Ze względu na wysokość obecnie wznoszonych budynków mieszkalnych (4-11 kondygnacji) celowe jest poznanie granic przedziału stosowania poprawnie działających systemów wentylacji grawitacyjnej.

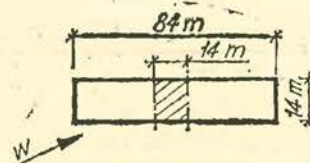
## 1. Skutki działania wentylacji w obiektach istniejących

W celu oceny warunków cieplnych i wentylacyjnych wykonano kompleksowe badania procesów wymiany powietrza i stanu mikroklimatu w budynkach mieszkalnych o wysokości 11 kondygnacji z tradycyjnie zaprojektowaną wentylacją grawitacyjną. Obejmowały one następujące pomiary i obserwacje:

- ilości powietrza usuwanego z mieszkań,
- ilości powietrza infiltrującego z zewnątrz (przez okna) do mieszkań,
- rozkładów ciśnień na przegrodach budowlanych,
- rozkładów temperatury, wilgotności oraz prędkości i kierunków przepływu powietrza w poszczególnych mieszkaniach,
- stężeń tlenku węgla w pomieszczeniach kuchni i łazienek,
- parametrów powietrza zewnętrznego (temperatura, wilgotność, kierunek i prędkość wiatru).

Wyniki pomiarów przedstawiono w literaturze specjalistycznej [2], [3], [4], [5], [6]. W artykule zestawiono jedynie uśrednione wartości mierzonych wielkości w jednym z badanych obiektów dla okresu zimowego i przejściowego, które przedstawiono w tab. 1.

Na podstawie czynników zestawionych w tab. 1 można stwierdzić, że charakterystyczna jest przypadkowość występujących warunków ujawniająca się dużymi wartościami odchyłań standardowych. Należy podkreślić również, że odnotowano częste przypadki występowania mierzonych wielkości, których wartości różnią się od średnich o więcej niż  $2\sigma$ .



Rys. do tabeli 1: Schemat badanego pionu mieszkań

Uzyskane wyniki badań potwierdzają znany fakt występowania warunków klimatu wewnętrznego odbiegających od wymaganych. Wynika to z wpływu wymienionych czynników oraz braku urządzeń regulacyjnych w grawitacyjnym systemie wentylacji. Aby scharakteryzować wpływ tych czynników konieczne jest przeprowadzenie badań uwzględniają-

TABELA 1  
 Średnie wartości niektórych parametrów mikroklimatu w pomieszczeniach oraz ocena skuteczności wymiany powietrza

Okres pomiaru	Numer kondygnacji	Ilość powietrza usuwanego z kuchni $V_k, m^3/h$	Ilość powietrza usuwanego z łazienek $V_z, m^3/h$	Ilość powietrza usuwanego z mieszkań $V_m, m^3/h$	Różnica ciśnień mieszkań - otoczenia $dp_i, Pa$	Odczytanie standardowe $dp_i, Pa$	Różnica ciśnień klatka schodowa - mieszkania $dp_i, Pa$	Odczytanie standardowe $dp_i, Pa$	Temperatura wewnętrzna $t_{w}, ^\circ C$	Odczytanie standardowe $t_{w}, K$	Wilgotność względna powietrza $\phi_i, \%$	Odczytanie standardowe $\phi_i, \%$	Prędkość powietrza w odległości 0,4 m od okien $v_i, m/s$	Odczytanie standardowe $v_i, m/s$	Prędkość powietrza w środku pomieszczeń $v_i, m/s$	Odczytanie standardowe $v_i, m/s$	Stężenie CO po 30 min eksploatacji palenisk gazowych $S, dm^3/m^3$	Dane odnośnie do przepływu powietrza przez okna	
																		$\alpha$	$\eta$
Okres przejściowy 13-17.03.1977 r.	1	74,0	55,3	9,8	+9,92	3,17	-5,64	2,21	18,1	1,4	55	5,0	0,38	0,15	0,15	0,10	0,036	1,05	22,8
	7	42,3	30,6	6,0	+1,85	0,92	+0,93	0,61	20,8	0,6	35	5,2	0,15	0,05	0,05	0,05	0,092	1,27	4,3
	11	67,1	50,8	10,2	-3,90	1,77	+4,22	1,34	24,6	1,3	30	4,8	0,15	0,10	0,10	0,10	0,040	1,18	17,3
Okres zimowy 15-21.01.1977 r.	1	31,0	31,1	13,4	+0,33	0,20	-3,21	0,99	17,8	1,2	40	6,0	0,35	0,20	0,15	0,05	0,042	1,53	19,7
	7	22,2	15,0	8,5	+0,88	0,62	+0,35	0,21	19,1	1,0	45	6,4	0,25	0,15	0,10	0,05	0,048	1,14	5,1
Okres letni 13-17.03.1977 r.	1	35,0	31,0	19,8	+2,54	1,98	+3,28	1,22	19,0	0,8	50	7,2	0,54	0,20	0,25	0,15	0,092	1,13	28,5
	7	42,3	30,6	6,0	+1,85	0,92	+0,93	0,61	20,8	0,6	35	5,2	0,15	0,05	0,05	0,05	0,092	1,27	4,3

ych zmiany parametrów konstrukcyjnych i ruchowych wentylacji. Możliwości takich nie można stworzyć w użytkowanych obiektach. Dlatego też do dalszych analiz wykorzystano metodę matematycznego modelowania przepływów powietrza w obrębie pomieszczeń i budynków.

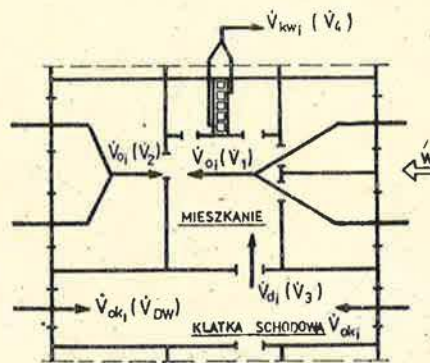
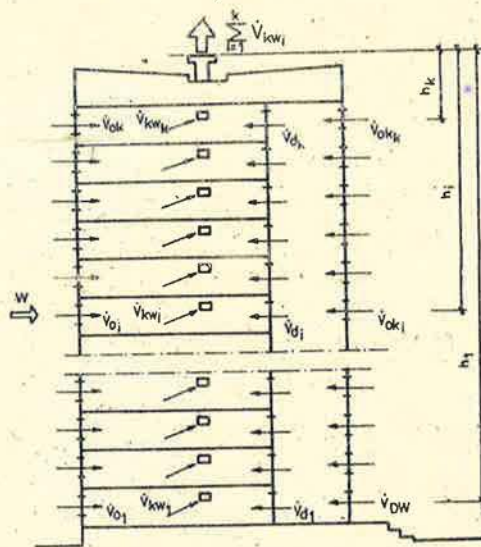
## 2. Model przepływów powietrza

Każdy obiekt składa się z określonej liczby wzajemnie połączonych pomieszczeń, tworzących przestrzenną sieć wentylacyjną. W sieci tej znajdują się elementy przepuszczalne dla powietrza: są to szczeliny w przegrodach i przewody wentylacyjne. Stosując zasadę bilansowania masy powietrza i energii każdy budynek można opisać układem równań nieliniowych o następującej ogólnej postaci

$$\sum_{i=1}^k [Z_{zi} (p_{zi} - X_i)^{\frac{1}{n}} + Z_{di} (Y - X_i)^{\frac{1}{n}} + Z_{kwi} (X_i + p_{wd} - p_w + p_{st})^{\frac{1}{m}}] = 0 \quad (1)$$

$$Z_{DW} (p_{z1} - Y)^{\frac{1}{n}} + \sum_{i=1}^k [Z_{okl} (p_{z1} - Y)^{\frac{1}{n}} + Z_{di} (Y - X_i)^{\frac{1}{n}}] = 0$$

Równanie górne określa bilans masy powietrza w poszczególnych mieszkaniach, a dolne — w obrębie klatki schodowej łączącej te mieszkania [7], [8], [9], [10]. Na rysunku 2 przedstawiono schemat przepływów powietrza w obrębie pojedynczego pionu mieszkań i klatki schodowej. Podano również przyjęte jako właściwe kierunki przepływu powietrza i dopuszczalnych zmian jego ilości.



$$\sum \dot{V}_{oi} + \dot{V}_{di} = \dot{V}_{kwi}$$

$$\dot{V}_{kwi} = \pm 0,1 \dot{V}_N$$

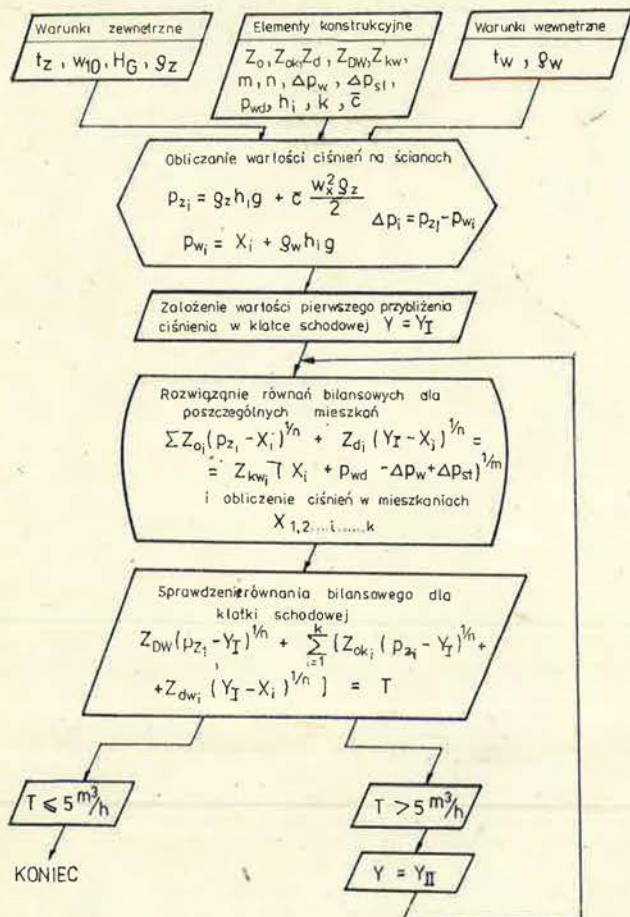
$$\dot{V}_{di} = \pm 0,1 \sum \dot{V}_{oi}$$

$$\dot{V}_{DW} + \sum \dot{V}_{okl} = \sum \dot{V}_{di}$$

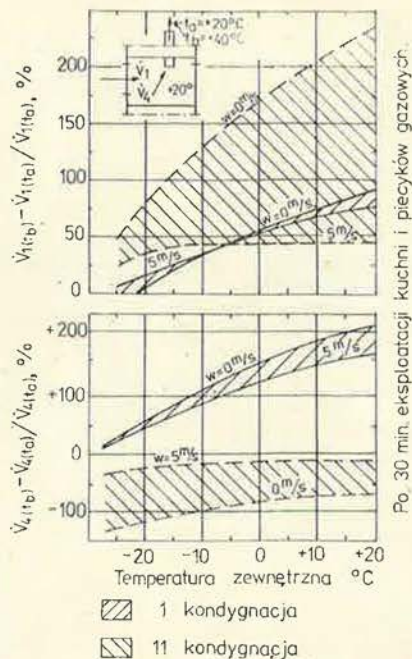
$$\dot{V}_{DW} + \sum \dot{V}_{okl} = 0,1 \sum \dot{V}_{oi}$$

Rys. 2. Schemat, założonych jako prawidłowe, kierunków przepływu i ilości powietrza wentylacyjnego w obrębie mieszkań i budynków

W każdym przypadku budynek można opisać układem  $(k + 1)$  równań o  $(k + 1)$  niewiadomych, którymi są ciśnienia w poszczególnych mieszkaniach  $(X_{1,2,...,k})$  oraz ciśnienie w najwyższym punkcie klatki schodowej  $Y$ . Rozwiązanie układu równań wymiany powietrza wymaga stosowania numerycznych metod iteracyjnych, realizowanych za pomocą maszyn cyfrowych (rys. 3). Dokładność odwzorowywanych procesów zależy od dokładności przyjętych warunków brzegowych [10], [11] tego układu. Są to wartości sił wymuszających przepływy powietrza (wypór termiczny, napór wiatru),



Rys. 3. Schemat blokowy programu Air compilation do obliczeń wymiany powietrza

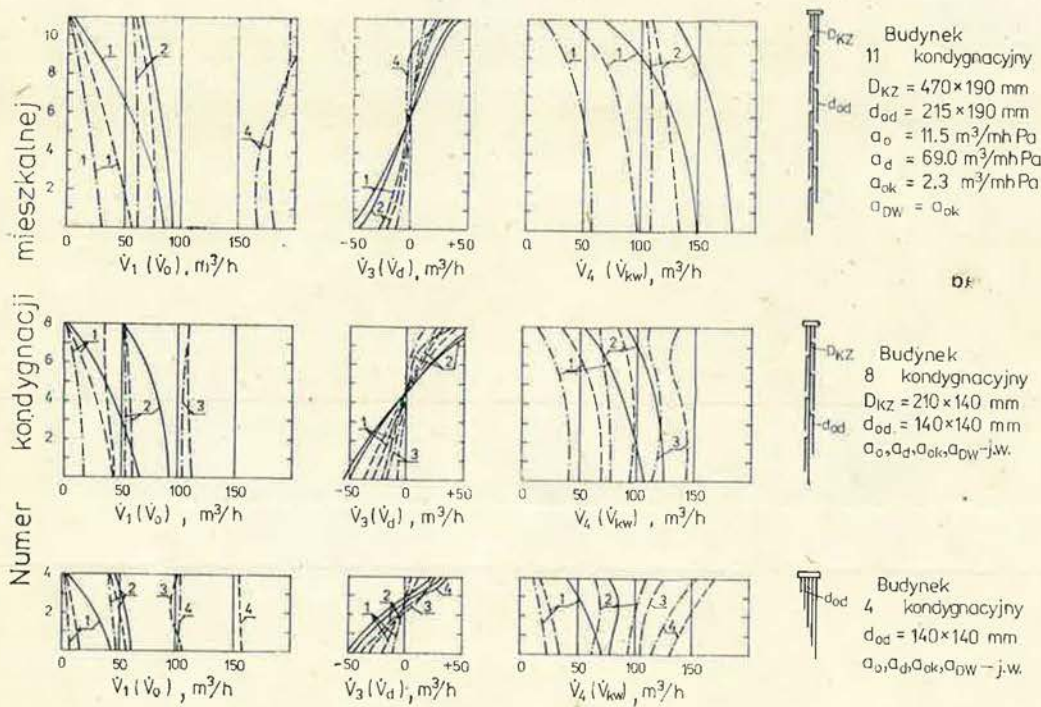


Po 30 min. eksploatacji kuchni i piecyków gazowych.

Rys. 5. Wpływ eksploatacji mieszkań (temperatura powietrza wywiewanego  $+40^{\circ}\text{C}$ ) na zmiany ilości powietrza infiltrującego do pomieszczeń z zewnątrz  $\dot{V}_i$  i usuwanego z pomieszczeń  $\dot{V}_e$

warunki terenowe, w jakich zlokalizowany jest rozpatrywany budynek (konfiguracja i zabudowa terenu) oraz charakterystyki aerodynamiczne elementów przepuszczalnych dla powietrza ( $Z_1, 2_d, Z_{DW}, Z_{kw}, n, m$ ). Przy ich określaniu wykorzystano materiały źródłowe dotyczące kształtowania się klimatu w Polsce [12], [13], [14], wyniki badań modeli obiektów w tunelach aerodynamicznych [15], [16], [17], [18], zmian temperatury wewnętrznej [19], [20] oraz wyniki pomiarów zjawisk infiltracji powietrza przez szczeliny w stolarnie okiennej [10], [11].

Tak opracowany program obliczeniowy pozwala na dokonanie analiz procesów wymiany powietrza w budynkach o różnych kształtach, wymiarach i rozwiązaniach konstrukcyjnych. Możliwe jest również wyznaczenie potrzeb cieplnych obiektów związanych z działaniem systemów wentylacyjnych. W artykule przedstawiono wyniki analiz dla obiektu o konstrukcji podobnej do opisanego w punkcie 2, przy czym starano się je tak opracować, aby można je było wykorzystać dla budynków o innej konstrukcji.



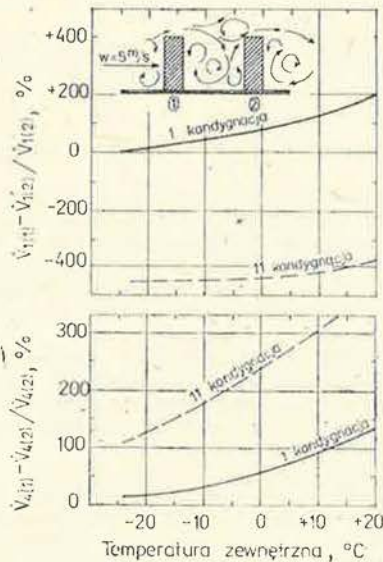
Rys. 4. Ilościowe i jakościowe zmiany przepływów powietrza w 11-, 8- i 4-kondygnacyjnych budynkach z wentylacją grawitacyjną położonych w zabudowie miejskiej

—  $t_z = -20^{\circ}\text{C}$  1 —  $w = 0$  m/s  
 - - -  $t_z = 0^{\circ}\text{C}$  2 —  $w = 5$  m/s  
 - · -  $t_z = +12^{\circ}\text{C}$  3 —  $w = 10$  m/s  
 · · ·  $t_{10} = +20^{\circ}\text{C}$  4 —  $w = 15$  m/s

### 3. Wywiewna wentylacja grawitacyjna

Zmiany ilościowe i jakościowe przepływów powietrza w budynkach 11-, 8- i 3-kondygnacyjnych przedstawiono na rys. 4, przy czym jakb warunki wyjściowe przyjęto średnie szczelności okien i drzwi uzyskane w wyniku badań w istniejących obiektach.

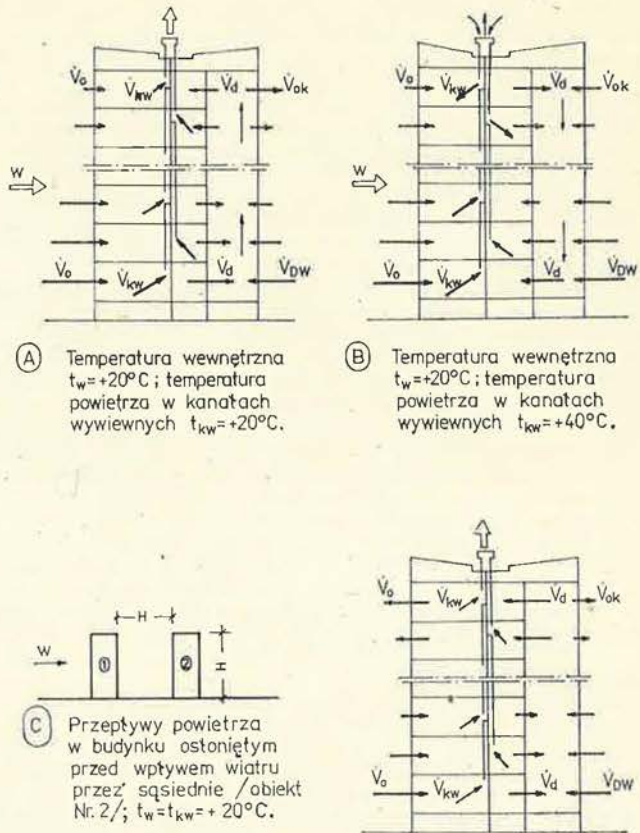
Charakter tych zmian jest podobny dla wszystkich obiektów, niezależnie od rozwiązania kanałów wywiewnych. Szczególnie niekorzystna sytuacja występuje w mieszkaniach położonych w górnych częściach budynków. Są one wentylowane zużytym powietrzem z klatki schodowej, ponieważ dopływająca do nich ilość powietrza z zewnątrz jest za mała. Natomiast w dolnej części budynku przepływy kształtują się odwrotnie. Do pomieszczeń położonych w tej części infiltruje duża ilość powietrza zewnętrznego; część tej ilości stanowi powietrze przenikające przez drzwi z klatki schodowej. Stopień takiego różnicowania nasila się ze wzrostem wysokości budynku i spadkiem temperatury zewnętrznej, a zmniejsza się w przypadkach występowania wiatrów o dużych prędkościach ( $w \geq 5 \text{ m/s}$ ). Opisany rozkład przepływów ulega zmianie w przypadku eksploatacji mieszkań. Wyniki takich badań wykonanych w budynku 11-kondygnacyjnym przedstawiono na rys. 5; badania te wykonano przy założeniu temperatury powietrza w kanałach wywiewnych równej  $+40^\circ\text{C}$ . Porównując ilości powietrza dla parteru i najwyższego piętra z wartościami ustalającymi się w przypadku, gdy temperatura ta jest równa temperaturze powietrza w mieszkaniach można zauważyć, że w kanałach wentylujących



Rys. 6. Zmiany ilości powietrza przepływającego przez mieszkania położone na parterze i 11 kondygnacji budynków osłoniętych przez budynki sąsiednie

cych górną część budynku dochodzi do niepożądanego zmiany kierunku przepływu powietrza. Wynika to z faktu wytworzenia w przewodach wentylacyjnych położonych w dolnej części obiektu podciśnienia o wartościach dużo większych niż na górnych piętrach. W konsekwencji kanały wywiewne zasysają powietrze z klatki schodowej do mieszkań leżących w dolnych kondygnacjach. Strefa obejmująca odwrotne przepływy powietrza w kanałach zależy od oporów przepływu przez kanały i okna, a obejmuje w badanym budynku 5-6 najwyższych pięter.

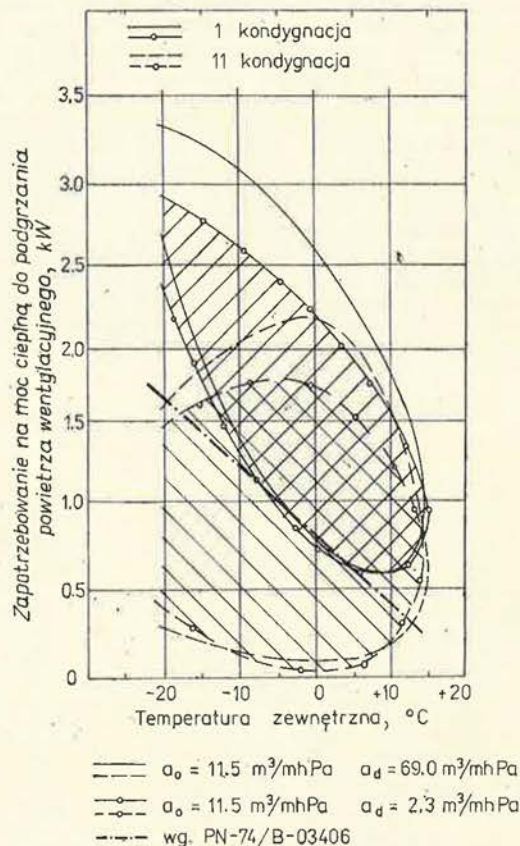
Jednak w szczególnie niekorzystnym położeniu pod względem wentylacji są obiekty zlokalizowane w gęstej zabudowie miejskiej. Na rysunku 6 przedstawiono porównanie ilości powietrza wentylacyjnego dla dużych budynków położonych na terenie miejskim. Porównano obiekty różniące się między sobą tym, że jeden z nich (obiekt 1) położony jest od strony nawietrznej, a drugi tuż za nim w odległości równej wysokości obu budynków (ok. 30 m). Często przypadkiem jest brak napływu świeżego powietrza zewnętrznego do pomieszczeń położonych w górnej części budynku 2, które są wentylowane powietrzem z klatki schodowej. Liczba kondygnacji, w których występują takie przepływy, zależy od prędkości wiatru i może stanowić ona 5-7 najwyższych pięter. Dotyczy to także obiektów niższych od budynków analizowanych w artykule. W przypadku budynków 11-kondygnacyjnych odległości pomiędzy nimi powinny być równe co najmniej 8-krotnej ich szerokości, zaś dla budynków 4-kondygnacyjnych 3-krotnej ich szerokości. Warunki te pokazano na rys. 7.



Rys. 7. Schematy przepływów powietrza w obrębie budynków mieszkalnych

Na podstawie wyników badań można sformułować następujące wnioski:

a. Zróżnicowanie ilości powietrza infiltrującego do mieszkań powoduje duże zmiany w zużyciu ciepła na potrzeby



Rys. 8. Zapotrzebowanie na moc cieplną do podgrzania powietrza wentylacyjnego w warunkach rzeczywistej i zalecanej szczelności przegród budowlanych

wentylacyjne. Na rysunku 8 porównano rzeczywiste zużycie ciepła na te potrzeby w różnych warunkach szczelności okien z wartościami wyznaczonymi na podstawie norm. Dla pomieszczeń położonych na parterze 11-kondygnacyjnego budynku rzeczywiste zużycie ciepła jest 1,5÷2 razy większe od wartości normatywnych. Strefa wahań zapotrzebowania na moc cieplną, która musi być pokryta przez instalację grzewczą wynosi 1÷1,5 kW w odniesieniu do kubatury badanych mieszkań (125 m<sup>3</sup>). Z kolei w mieszkaniach zlokalizowanych na najwyższym piętrze zapotrzebowanie to waha się w przedziale 0,1÷1,5 wartości normatywnych. Podobne zróżnicowanie występuje w budynkach niższych.

b. Ze względu na konieczność doprowadzenia do mieszkań określonej ilości powietrza świeżego (ok. 120 m<sup>3</sup>/h) współczynnik przenikania powietrza przez okna nie powinien być większy niż 11,5 m<sup>3</sup>/[m·h·(Pa)<sup>1/2</sup>] lub 3,3 m<sup>3</sup>/[m<sup>2</sup>·h·(Pa)<sup>1/2</sup>].

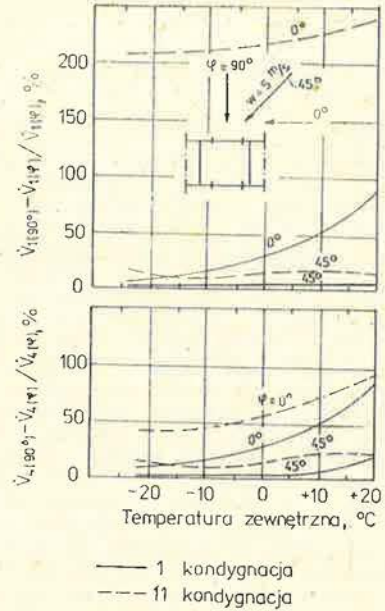
c. Wystarczającą stabilizację przepływów powietrza w układzie klatka schodowa — mieszkania można uzyskać stosując drzwi o współczynniku przenikania powietrza nie większym niż 2,3 m<sup>3</sup>/[m·h·(Pa)<sup>1/2</sup>] lub 0,66 m<sup>3</sup>/[m<sup>2</sup>·h·(Pa)<sup>1/2</sup>]. Ponadto drzwi takie przeciwdziałają niekorzystnym zmianom kierunku przepływu powietrza w kanałach wywiewnych.

d. Zmiany pola przekroju przewodów wentylacji grawitacyjnej z kanałem zbiorczym nie powodują poprawy skuteczności jej działania. Wartości ciśnień dyspozycyjnych w kanałach wentylujących kolejne piętra ulegają ciągłym zmianom nadążnie za zmianami temperatury zewnętrznej i prędkości wiatru. Wartości te zmieniają się w przedziale 0,1÷60 Pa, co wymaga zastosowania elementów skutecznie regulujących przepływ powietrza.

e. Decydujący wpływ na procesy wymiany powietrza w klimacie Polski, oprócz oporów przepływu przez okna, drzwi i kanały wywiewne, mają kierunki i prędkości wiatru. Dotyczy to szczególnie obiektów położonych w gęstej zabudowie miejskiej. Na rysunku 9 przedstawiono wpływ wiatru na skuteczność wymiany powietrza w budynku 11-kondygnacyjnym zlokalizowanym w mieście od strony nawietrznej. Łączna analiza tych porównań z wynikami przedstawionymi na rys. 6 uzasadnia konieczność każdorazowego uwzględniania wpływu kierunków i prędkości wiatrów w odniesieniu do konkretnych typów budynków.

Uzyskane wyniki umożliwiły kompleksową ocenę skuteczności działania wywiewnej wentylacji grawitacyjnej. Skuteczność tę odniesiono do temperatury zewnętrznej i prędkości wiatru charakterystycznych dla terenów położonych między 50 a 52° szerokości geograficznej północnej [14]. Na przyjęty wykres łącznej częstotliwości występowania tych parametrów naniesiono ilości powietrza usuwanego z mieszkań położonych na parterach i najwyższych piętrach budynków 11- i 4-kondygnacyjnych, uzyskane w wyniku badań analitycznych (rys. 10). Naniesione ilości powietrza odpowiadały wartościom normatywnym (120 m<sup>3</sup>/h). Uwzględniając miejsc lokalizacji (miasto) oraz warunki eksploatacji mieszkań stwierdzić można, że ilości powietrza wywiewanego będą mniejsze od normatywnych w ok. 90% mieszkań (budynek 11-kondygnacyjny) i ok. 50% (budynek 4-kondygnacyjny) przyjętego zakresu zmian. Podane wartości odnoszą się do mieszkań położonych na najwyższych piętrach. W przypadku parterów budynków będą one jeszcze bardziej niekorzystne.

Przeprowadzone badania wykazały, że grawitacyjny system wentylacji nie zapewnia żądanej wymiany powietrza w wielokondygnacyjnych budynkach mieszkalnych. Jest to



Rys. 9. Wpływ kierunku działania wiatru na przepływy powietrza wentylacyjnego w budynkach 11-kondygnacyjnych

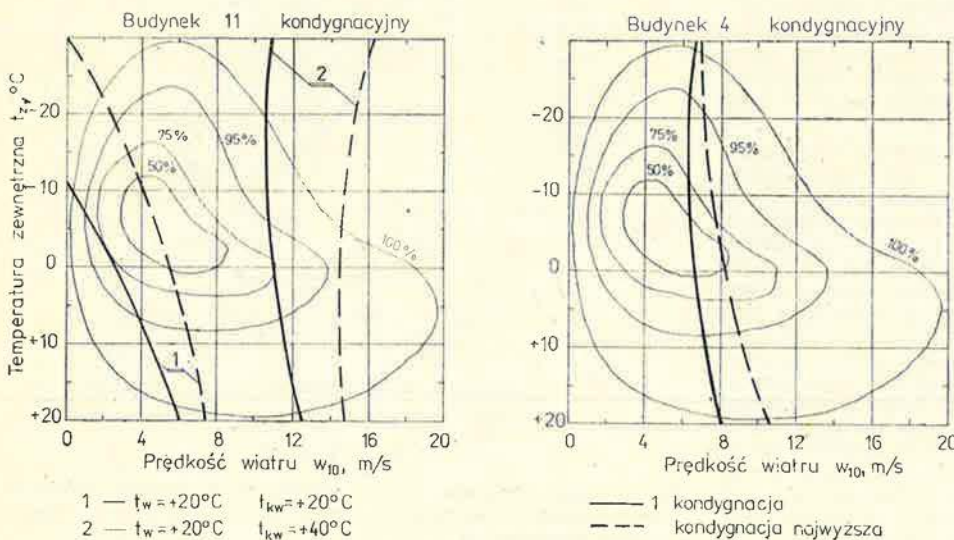
spowodowane faktem, że czynniki naturalne wywołujące działanie wentylacji są jednocześnie czynnikami zakłócającymi, przed którymi budynek ma ochraniać użytkowników.

#### 4. Skuteczność mechanicznej wentylacji wywiewnej

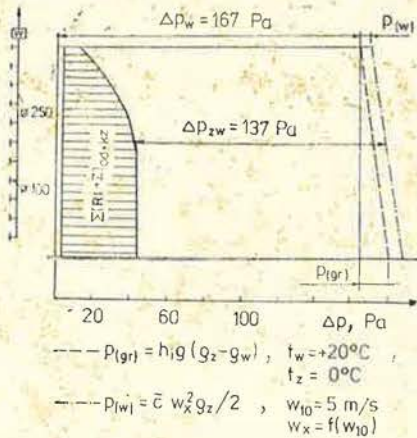
Zasadą działania tego systemu jest wytworzenie w mieszkaniach stałych podciśnień, o wartościach przekraczających ciśnienia działające na powierzchnie przegród budowlanych. Jako podstawę do ich wyznaczenia przyjęto wyniki badań wentylacji grawitacyjnej dla najmniejkorzystniejszych wpływów zewnętrznych, a mianowicie przy temperaturze zewnętrznej  $t_z = -20^\circ\text{C}$  i prędkości wiatru  $w = 15\text{ m/s}$ . Pola przekroju kanałów wentylacyjnych obliczono zakładając normatywne ilości powietrza wywiewanego oraz dopuszczalne prędkości przepływu powietrza. Jednocześnie zamiast typowych kratki wentylacyjnych zastosowano, już produkowane w kraju, zawory wywiewne.

W celu uregulowania tego układu, a więc wyznaczenia wymaganych oporów jego odgałęzień założono, że normatywne ilości powietrza będą usuwane ze środkowego piętra budynków. Natomiast ilości powietrza usuwanego z najniższego i najwyższego piętra różnić się będą o  $\pm 10\%$  od wartości normatywnych. Na rysunku 11 pokazano przykładowo sposób wyznaczania oporów przepływu przez zawory wywiewne dla budynku 11-kondygnacyjnego. Wyniki podobnej analizy dla budynków o różnej liczbie kondygnacji zestawiono w tabeli 2.

Założenia do dalszych badań wymiany powietrza stanowią wyniki wcześniej omawianych analiz dotyczących optymalnej szczelności okien i drzwi.



Rys. 10. Częstości poprawnego działania wywiewnej wentylacji grawitacyjnej



Rys. 11. Wyznaczanie wymaganych spadków ciśnień w zaworach wywiewnych w układzie wentylacji mechanicznej w budynku 11-kondygnacyjnym

Na rysunku 12 przedstawiono uzyskane wyniki badań 8-, 11- i 16-kondygnacyjnych budynków zlokalizowanych na terenie miejskim w zabudowie szeregowej. W porównaniu z wentylacją grawitacyjną zdecydowanej poprawie ulegają kierunki przepływu i ilości powietrza zarówno infiltrującego z zewnątrz lub napływającego z klatki schodowej, jak i usuwanego z mieszkań. W większości zawarte są one w przyjętym zakresie tolerancji ich zmian. Największe odchyłki (ok. 20÷25%) występują w przypadku braku wiatru i temperatury zewnętrznej  $t_z < -15^\circ\text{C}$  oraz przy wartościach temperatury zewnętrznej  $t_z > +20^\circ\text{C}$  i prędkościach wiatru większych niż 15 m/s. Warunki te, z uwagi na krótkotrwałość występowania w naszym klimacie, można pominąć. Skuteczność działania systemu mechanicznej wentylacji wywiewnej jest zachowana nawet podczas otwierania okien w mieszkaniach. W tych warunkach ilość powietrza usuwanego wzrasta o ok. 20%.

W wielorodzinnych budynkach mieszkalnych wywiewna wentylacja mechaniczna jest jednym rozsądnym rozwiązaniem zapewniającym uzyskanie w pomieszczeniach wymaganych warunków cieplnych i wentylacyjnych. Jest to możliwe dzięki zwiększeniu intensywności wentylacji w wyniku zastosowania wentylatorów wyciągowych oraz zwiększeniu oporów przepływu powietrza przez odgałęzienia za pomocą zaworów wywiewnych. Zawory te charakteryzują się dużymi oporami przepływu, co wymaga analizy ich stosowności pod względem głośności pracy układu. Zakładając dopuszczalną prędkość przepływu powietrza w kanałach ok. 5 m/s i poziom głośności w mieszkaniach 25÷30 dB (A) dopuszczal-

TABELA 2

Wartości podciśnienia koniecznego w pomieszczeniach oraz wymaganego spadku ciśnienia w zaworach wywiewnych systemu mechanicznej wentylacji wywiewnej

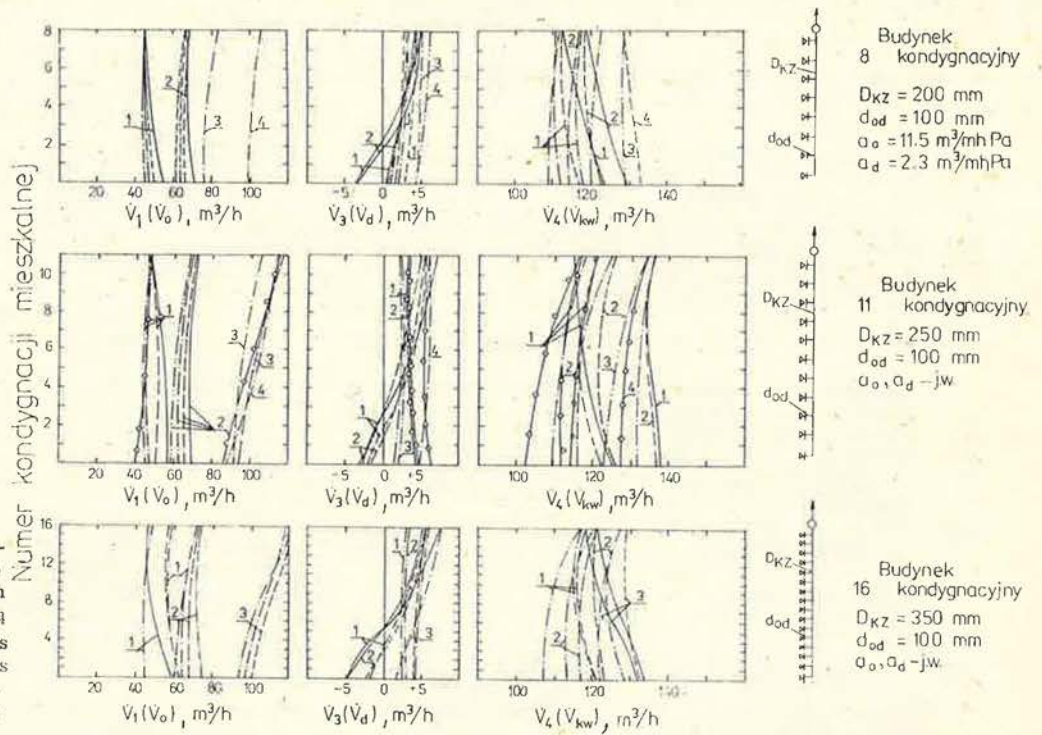
Liczba kondygnacji w budynku	< 5	5÷7	8÷10	11÷13	14÷15	16
Srednica kanalu zbiorczego $D_{KZ}$ , mm	75	150	200	250	315	350
Srednica odgałęzień $d_o$ , mm	100					
Podciśnienie w mieszkaniach $\Delta p_w$ , Pa	66	137	147	167	178	186
Spadek ciśnienia w zaworach wywiewnych $\Delta p_{zw}$ , Pa	55	118	137	137	147	157
Wskaźnik skuteczności $S = \sqrt{1 + \frac{\Delta p_{KZ}}{\Delta p_w}}$	1,11					

ne spadki ciśnień w zaworach wywiewnych wahają się w granicach 180÷200 Pa. W związku z tym jednostrefowe systemy wentylacji z pojedynczym kanałem zbiorczym mogą być stosowane w budynkach do wysokości 50 m (16 kondygnacji).

Na podstawie wyników badań zaproponowano rozwiązania wentylacji, które mogą być stosowane w wielorodzinnych budynkach mieszkalnych o wysokościach od 4 do 20 kondygnacji; propozycje te pokazano na rys. 13.

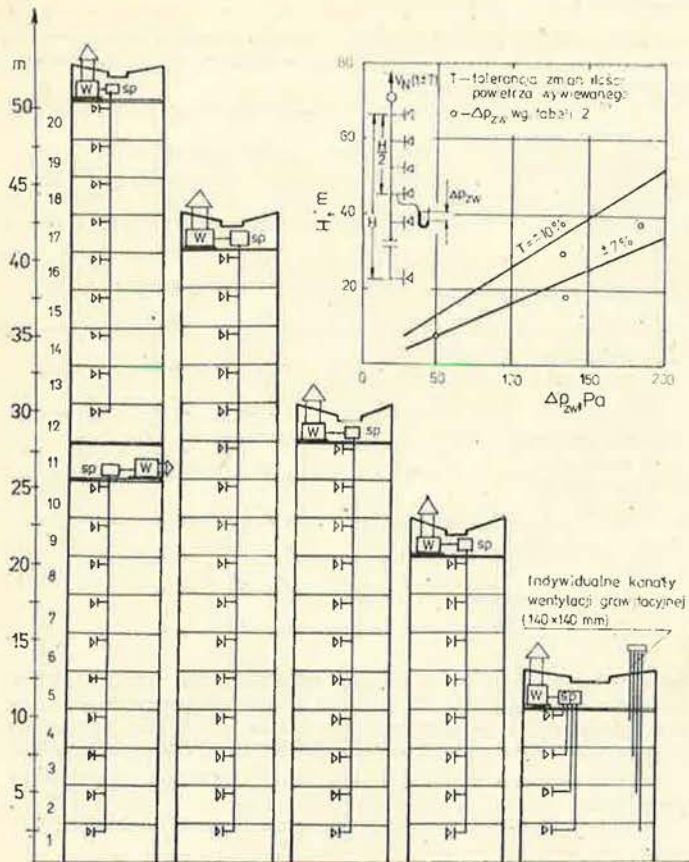
## 5. Wnioski

Przeprowadzone badania pozwalają na ocenę skuteczności wymiany powietrza w mieszkaniach przy stosowaniu różnych systemów wentylacyjnych. Ze względu na zmienność i złożony charakter wpływu czynników zakłócających procesy wentylacyjne celowe jest wykorzystanie do potrzeby analizy elektronicznej techniki obliczeniowej. Skuteczność wentylacji grawitacyjnej jest niewystarczająca, co potwierdzają zarówno badania wykonane w obiektach rzeczywistych jak i modelowych, które były badane za pomocą EMC. Jednak wentylacja grawitacyjna jest powszechnie stosowana ze względu na swe zalety, a szczególnie łatwość i prostotę eks-



Rys. 12. Ilościowe i jakościowe zmiany przepływów powietrza w budynkach 8-, 11- i 16-kondygnacyjnych z mechaniczną wentylacją wywiewną

$t_z = -20^\circ\text{C}$  1 —  $w = 0$  m/s  
 $t_z = 0^\circ\text{C}$  2 —  $w = 5$  m/s  
 $t_z = +12^\circ\text{C}$  3 —  $w = 10$  m/s  
 $t_z = +20^\circ\text{C}$  4 —  $w = 15$  m/s  
 $t_z = +30^\circ\text{C}$   $t_w = +20^\circ\text{C}$



Rys. 13. Proponowane schematy rozwiązania systemu wentylacji w budynkach mieszkalnych

platacji oraz niskie koszty. Należy jednak pamiętać o tym, że jednostkowy koszt powierzchni zajętej przez grawitacyjne kanały wywiewne szybko wzrasta ze wzrostem wysokości budynku. Jak wykazały wieloletnie badania przeprowadzone w Szwecji ogólne koszty inwestycyjne 4-kondygnacyjnego obiektu z wentylacją mechaniczną są już niższe od kosztów takiego obiektu z wentylacją grawitacyjną. Zatem konieczne jest wprowadzenie do budownictwa wielorodzinnego wentylacji mechanicznej. Jednak rozpowszechnienie wentylacji mechanicznej musi być poprzedzone analizą kosztów eksploatacyjnych i możliwości produkcyjnych zakładów specjalistycznych wytwarzających elementy dla tego systemu.

#### Wykaz oznaczeń wielkości i indeksów stosowanych w tekście i na rysunkach

- $a$  — współczynnik przenikania powietrza przez szczeliny w oknach i drzwiach oraz przez kanały wentylacyjne,  $m^3/[m \cdot h \cdot (Pa)^{1/n}]$ ,
- $\bar{c}$  — bezwymiarowy współczynnik kształtu budynku,
- $d, D$  — średnice kanałów wywiewnych, m,
- $g$  — przyspieszenie ziemskie,  $m/s^2$ ,
- $h, H$  — odpowiednio wysokość kondygnacji lub budynku, m,
- $\Sigma l$  — sumaryczna długość szczelin w oknach i drzwiach, m,
- $n, m$  — wykładniki potęgowe w charakterystykach aerodynamicznych szczelin i przewodów wywiewnych,
- $p, \Delta p$  — odpowiednio ciśnienie lub różnica ciśnień, Pa,
- $R$  — jednostkowa strata ciśnienia w przewodach,  $Pa/m$ ,
- $S$  — wskaźniki skuteczności działania wentylacji,
- $t$  — temperatura  $^{\circ}C$ ,
- $\Delta t$  — różnica temperatury, K,
- $T$  — tolerancja zmian ilości powietrza wentylacyjnego,  $m^3/h$ ,
- $w$  — prędkość wiatru,  $m/s$ ,
- $v$  — prędkość przepływu powietrza w mieszkaniach,  $m/s$ ,
- $\dot{V}$  — ilość powietrza wentylacyjnego,  $m^3/h$ ,
- $Z = a l$  — jednostkowa ilość powietrza przepływającego przez element wentylacyjny przy jednostkowej różnicy ciśnień,  $m^3/(h \cdot Pa)$ ,

- $Z$  — strata ciśnienia spowodowana oporami miejscowymi, Pa,
- $X$  — ciśnienie w mieszkaniach, Pa,
- $Y$  — ciśnienie w najwyższym punkcie klatki schodowej, Pa,
- $\rho$  — gęstość powietrza,  $kg/m^3$ ,
- $\varphi$  — kierunek wiatru lub wilgotność względna powietrza.

#### Indeksy

- $o$  — okna w mieszkaniach,
- $ok$  — okna w klatce schodowej,
- $d$  — drzwi wejściowe do mieszkań,
- $DW$  — drzwi wejściowe do budynku,
- 1, 2 — w odniesieniu do ilości powietrza przenikającej przez okna do mieszkań od strony nawierzchni 1 i zawietrznej 2,
- 3 — jw. lecz na drodze klatka schodowa — mieszkania,
- 4 — jw. lecz przewodami wywiewnymi,
- $w$  — wentylator,
- $zw$  — zawór wywiewny,
- $od$  — odgałęzienie w układzie wentylacyjnym,
- $kz$  — kanał zbiorczy,
- $k$  — całkowita liczba kondygnacji w budynku,
- $i$  — kolejna kondygnacja w budynku,
- $z$  — warunki zewnętrzne,
- $w$  — warunki wewnętrzne,
- 10 — w odniesieniu do prędkości wiatru na wysokości 10 m nad terenem,
- $x$  — jw. lecz na wysokości  $x$ ,
- $N$  — normatywne ilości powietrza wentylacyjnego,
- $G$  — gradientowa wysokość związana z działaniem wiatru i rodzajem zabudowy,
- $st$  — straty ciśnienia w kanałach wywiewnych,
- $sp$  — skrzynka przyłączna w systemie mechanicznej wentylacji.

#### P I S M I E N N I C T W O

- [1] PN-74/B-03430. Wentylacja w budownictwie mieszkaniowym i użyteczności publicznej, 1974
- [2] Majerski St., Nantka M.: Wentylacja w wielokondygnacyjnych budynkach mieszkalnych. Materiały konferencyjne PZITS, Kraków, 1979 r., COW nr 10/1979
- [3] Nantka M.: Skuteczność wentylacji w 11-kondygnacyjnych budynkach mieszkalnych. Materiały sympozjum PAN. Kołobrzeg 1979,
- [4] Nantka M.: Badania skuteczności wentylacji grawitacyjnej w budynkach typu FADOM. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej (w druku)
- [5] Nantka M.: Przepływy powietrza w 11-kondygnacyjnych budynkach mieszkalnych. Materiały konferencyjne, Wisła 1980
- [6] Nantka M.: Wentylacja w wielorodzinnych budynkach mieszkalnych. Materiały konferencyjne sympozjum PAN. Tuczno 1980
- [7] Jackmann P.: A Study of Natural Ventilation in Tall Offices Buildings. JIHVE 1970
- [8] Karolak J.: Wentylacja wysokich budynków mieszkalnych. COW nr 3/1973
- [9] Hausladen G.: Lüftwechsel in Wohnungen. HLN, 29, 1978
- [10] Nantka M.: Wpływ czynników zewnętrznych na skuteczność wentylacji budynków mieszkalnych. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 1979
- [11] Nantka M.: Wiarygodność analiz wymiany powietrza w budynkach mieszkalnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej (w druku)
- [12] Parczewski W.: Dynamiczne aspekty klimatu Polski. Przegląd Geograficzny, nr 2/1971
- [13] Bogusławski W.: Fizyka budowli. Arkady, Warszawa 1975
- [14] Boer W.: Technische Meteorologie. Leipzig BC Tenbner Verlagsgesellschaft, 1964
- [15] Davenport A.: Rational for Determining Design Wind Velocities. ASCE 1960
- [16] Cermak J.: Applications of Wind Engineering. New York, 10017, 1974
- [17] Gandemer J.: Champ de pression moyenne sur les constructions usuelles. Application a la conception des installations de ventilation. CSSTB nr 187, 1978
- [18] Sachs P.: Wind forces in engineering. London 1972
- [19] Pietrzyk Z., Kalina T., Truszkowski P.: Badania wpływu systemu wentylacyjnego na przepływy powietrza w pomieszczeniu kuchni. Materiały konferencyjne PZITS, Kraków 1979
- [20] Weiler H.: Die Wirkung der Lüftungssystem von Wohnhaussen. Lüft und Kältetechnik nr. 12, 1975