

Ś L Ą S K A  
O K R Ę G O W A  
I Z B A  
I N Ż Y N I E R Ó W  
B U D O W N I C T W A



P O L S K I E  
Z R Z E S Z E N I E  
I N Ż Y N I E R Ó W  
I T E C H N I K Ó W  
S A N I T A R N Y C H  
O D D Z I A Ł K A T O W I C E

SZKOLENIE SEMINARYJNE  
POLSKIEGO ZRZESZENIA INŻYNIERÓW  
I TECHNIKÓW SANITARNYCH  
ODDZIAŁ W KATOWICACH

**Wentylacja naturalna i mechaniczna  
warunkiem poprawnego użytkowania  
obiektów kubaturowych**

**Prowadzący: prof. Marian B. Nantka**

**Katowice, 15.04.2014 r.**

# Wentylacja warunkiem poprawnego użytkowania obiektów

Marian B. Nantka  
Katedra Ogrzewnictwa, Wentylacji i Techniki Odpylania  
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki  
Politechnika Śląska

Współczesny człowiek 85÷90 % życia przebywa w pomieszczeniach zamkniętych, w tym znaczną część w mieszkaniach, codziennie zużywając średnio 1 kg pożywienia, 3 kg płynów i około 30 kg powietrza, a więc doprowadzenie do pożądanej wymiany powietrza w przestrzeniach zamkniętych jest potrzebą dominującą. Jest ona także niezbędna ze względu na poprawne spełnianie zadań stawianych przegrodom i technicznemu wyposażeniu budynków. Nawet gdy w budynku nie przebywają użytkownicy, jej brak może doprowadzać do rozwoju pleśni i grzybów niszczących przegrody i sprzęt. Powietrze jest więc jednym z głównych i tak oczywistych mediów doprowadzanych do budynków, że o jego istotności rzadko się pamięta. W opracowaniu zamieszczono wybrane problemy związane z uczestnictwem wymiany powietrza w kształtowaniu użytkowanych pomieszczeń i budynków.

## Wymagania wentylacyjne

Podstawowe wymagania wentylacyjne wynikają z zadań jakie powietrze ma pełnić w budynku. Jest ono nie tylko odpowiedzialne za wymianę powietrza oraz jakość powietrza, ale też jest nośnikiem energii (kinetycznej, ciepła, chłodu itp.). Pomieszczenia mieszkalne zgodnie z aktami prawnymi zaliczane są do najwyższej kategorii (A), a stosowane materiały, urządzenia i elementy wyposażenia wewnętrznego, nie powinny powodować nadmiernego wzrostu stężeń substancji niebezpiecznych dla zdrowia lub stanowiących zagrożenie dla budynku. Ponadto, wentylacja ma nie tylko zapewniać wymianę powietrza i jego czystość, ale też współuczestniczyć w kreacji parametrów komfortu wewnętrznego, takich jak temperatury, wilgotności i prędkość powietrza. Celem wentylacji jest usuwanie nadmiaru zanieczyszczeń wewnętrznych lub ich rozcieńczenie do dopuszczalnych stężeń i zastąpienie ich powietrzem zewnętrznym. Stan higieniczny powietrza i jego jakość, a głównie zawartość tych zanieczyszczeń, jest trudną do przewidzenia wypadkową wpływu różnych substancji powstających<sup>(1)</sup>. Są one usuwane na zewnątrz, a następnie wraz z zanieczyszczeniami zewnętrznymi przedostają się do budynku z powietrzem do niego infiltrującym, przy czym w stosunku do niektórych zanieczyszczeń, jak np. grubszych frakcji pyłu obudowa budynku może mieć niewielkie zdolności filtrujące.

W pomieszczeniach występować mogą różne zanieczyszczenia. Do pierwszej grupy zaliczyć można substancje i związki, które nawet w małych stężeniach wykazują właściwości toksyczne lub stanowią zagrożenie (np. tlenek węgla, radon). Ich obecność w pomieszczeniu powinna być eliminowana lub ograniczona do minimum, przy czym uzyskać niekoniecznie za pomocą wentylacji (np. regulacje dotyczące poprawnego spalania i odpowiednie zabezpieczenia, półprzepuszczalne bariery radonowe umieszczane pod ziemią itp.). Z punktu widzenia działania wentylacji najistotniejsza jest druga grupa zanieczyszczeń emitowanych przy użytkowaniu pomieszczeń, a ich stężenia w powietrzu są relatywnie niskie, ale utrzymują stosunkowo długo. Do grupy tej zalicza się parę wodną wydalaną przy oddychaniu i innych procesach, (mycie, suszenie odzieży itp.), dwutlenek węgla i inne zanieczyszczenia powstające w wyniku metabolizmu ludzi i innych żywych organizmów. Są one zarówno niewidoczne, jak i słabo wykrywalne przez użytkowników. Trzecia grupa to zanieczyszczenia

---

<sup>(1)</sup> Oznacza to, że trudno jest traktować powietrze zewnętrzne jako świeże, co w wielu lokalnych przypadkach, np. terenów o silnym zanieczyszczeniu przemysłowym i komunikacyjnym, oznacza brak jego przydatności do poprawnej realizacji zadań procesu wymiany powietrza. O tzw. powietrzu świeżym mówić można jedynie w przypadku wykorzystywania wentylacji mechanicznej wyposażonej w urządzenia filtracyjne lub systemów klimatyzacyjnych z możliwością uzdatniania powietrza.

emitowane w wyniku działalności człowieka w dużym natężeniu, ale w krótkim czasie i w określonych miejscach, które są łatwo identyfikowane (zapachy kuchenne, łazienkowe, para wodna, dym papierosowy itp.). Strumienie powietrza jakie powinny być usuwane z pomieszczeń można obliczyć można za pomocą metod tradycyjnych lub wykorzystujących równowagę zanieczyszczeń w strefie przebywania ludzi oraz ocenianych na podstawie różnych metod wskaźnikowych [5.8]. Metody klasyczne polegają na wykorzystaniu bilansu obciążeń, którymi są substancje zanieczyszczające oraz bilanse ciepła i wilgoci<sup>(2)</sup>, a obliczanie tych strumieni powietrza na podstawie zysków ciepła powinno być dokonywane w okresach osiągania ich maksymalnych wartości. Strumienie te z tytułu występowania w pomieszczeniu określonej substancji zanieczyszczającej powietrze ( $V_C$ ), na nadmiar ciepła jawnego ( $V_Q$ ) lub całkowitego oraz nadmiar zysków wilgoci ( $V_W$ ) wynoszą:

$$V_C = \frac{F}{C_2 - C_1}, V_Q = \frac{\sum Q_{zj}}{c_p \times \rho (t_2 - t_1)}, V_Q = \frac{\sum Q_{zc}}{\rho (i_2 - i_1)}, V_W = \frac{W}{\rho (X_2 - X_1)}, m^3/s$$

gdzie:  $C_1$  jest stężeniem danego zanieczyszczenia w powietrzu doprowadzanym,  $C_2$  to stężenie tego zanieczyszczenia w powietrzu usuwanym,  $F$  jest strumieniem zanieczyszczeń produkowanych w pomieszczeniu,  $c_p$  to ciepło właściwe powietrza wilgotnego (1,0 kJ/kgK),  $\rho$  to gęstość powietrza (kg/m<sup>3</sup>),  $W$  jest strumieniem masy wytworzonej w pomieszczeniu pary wodnej (kg/s),  $t_1$ ,  $X_1$  oraz  $i_1$  to odpowiednio temperatury (°C), wilgotności bezwzględne (kg<sub>H2O</sub>/kg<sub>p.s.</sub>) i entalpie (kJ/kg) powietrza dopływającego do pomieszczenia, a  $t_2$ ,  $X_2$  oraz  $i_2$  dotyczą tych samych parametrów w odniesieniu do powietrza z niego wypływającego.

Decydujące znaczenie dla obliczenia strumieni powietrza usuwanego z pomieszczeń ma ustalenie zysków ciepła, emitowanej wilgoci i substancji zanieczyszczających. Oprócz ustalenia zysków ciepła istotne jest przyjęcie parametrów powietrza doprowadzanego oraz usuwanego z pomieszczeń, a głównie jego temperatury. Jest to związane z realizowanym rozdziału powietrza doprowadzanego i usuwanego, co wynika z rozmieszczenia otworów nawiewnych i wywiewnych. Strumienie powietrza wentylacyjnego obliczane z powyższej zależności należy korygować za pomocą współczynnika  $\Phi$ , zależnego od sposobu rozprzestrzeniania się obciążeń w przestrzeni i efektywności wentylacji, czyli wewnętrznego rozdziału powietrza, który jest odwrotnością efektywności wentylacji ( $\Phi = 1/\epsilon$ ). Korekta ta polega na pomnożeniu strumieni powietrza przez ten współczynnik, o wartościach zmieniających się w granicach 0,7÷5,0, a wartości średnie wynoszą 1÷1,5 (patrz tabela 1). Największa wartość współczynnika  $\Phi$  (5,0) może wystąpić przy wentylacji waporowej, gdy do górnej części pomieszczenia doprowadzane jest powietrze o temperaturze wyższej o około 2 K od temperatury wewnętrznej. Wartości najniższe ( $\Phi \approx 1$ ) dotyczą wentylacji mieszającej przy prawie zerowej różnicy temperatur. Zależności te przyjmują postać równania:

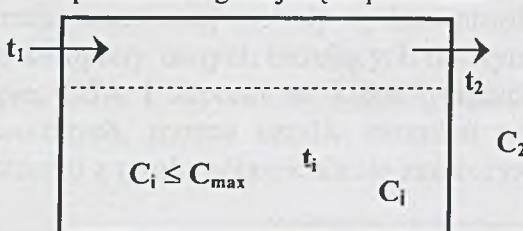
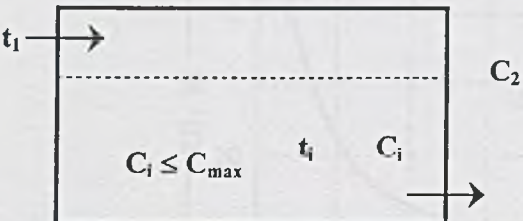
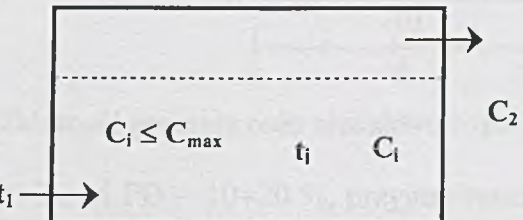
$$V = \Phi \times V_{C, Q, W}, m^3/s$$

Jednoznaczne wskazanie typu rozdziału powietrza w pomieszczeniach mieszkalnych z wentylacją naturalną jest utrudnione, głównie z uwagi na niezorganizowany (chaotyczny) i naturalny napływ powietrza zewnętrznego. Niemniej jednak, typowy obraz wewnętrznych przepływów powietrza w okresie zimowym, tzn. dopływ powietrza przez nieszczelności

<sup>(2)</sup> Zapewnienie odpowiedniego poziomu wilgoci w poszczególnych pomieszczeniach w sezonie grzewczym jest jednym z najistotniejszych wymagań. Przy wyższej temperaturze powietrze zawiera więcej wody, np. powietrze o temperaturze +20°C zawiera jej około 18 g. Wilgotność względna zależy nie tylko od ilości wody, ale także od temperatury; jeśli 1 m<sup>3</sup> powietrza o temperaturze +20°C zawiera 8,8 g pary wodnej, to jego wilgotność względna wynosi 50 %. Przy temperaturze powietrza +20/22°C wilgotność względna powinna wynosić 30÷70%. Należy pamiętać, że wilgotność ta przy temperaturze poniżej 0°C wynosi około 80÷95 %, a po jego podgrzaniu do temperatury +20°C wilgotność spada do 10÷20 %.

w oknach czy też przez umieszczone w nich otwory nawiewne i wypływ powietrza przez kanały, których otwory wlotowe umieszczone są poniżej sufitów pomieszczeń, sprawia, że wystąpić może każdy ze sposobów rozdziału powietrza, a za najbardziej prawdopodobną uznać można wentylację mieszającą ( $\Phi = 1,43 \div 2,5$ ).

Tabela 1. Wartości współczynnika  $\Phi$  (efektywność wentylacji wewnętrznej)

Rozdział powietrza wewnętrznego	Różnice temperatur, $\Delta T = t_1 - t_i, ^\circ\text{C}$	Współczynnik $\Phi = 1/\epsilon$ ( $\epsilon = C_2/C_1$ )
<p>Wentylacja mieszająca - nawiew i wywiew powietrza w górnej części przestrzeni</p> 	<p>&lt; 0 0 ÷ 2 2 ÷ 5 &gt; 5</p>	<p>1,0 ÷ 1,1 1,1 1,25 1,43 ÷ 2,5</p>
<p>Wentylacja mieszająca - nawiew powietrza w górnej, a jego wywiew w dolnej części</p> 	<p>&lt; - 5 0 ÷ - 5 &gt; 0</p>	<p>1,1 1,0 ÷ 1,1 1,0</p>
<p>Wentylacja wyporowa - nawiew powietrza w dolnej, a jego wywiew w górnej części</p> 	<p>&gt; 2 0 ÷ 2 &lt; 0</p>	<p>1,43 ÷ 5,0 1,1 ÷ 1,43 0,7 ÷ 0,83</p>

Dokonywanie obliczeń za pomocą metod klasycznych dla znacznej liczby zanieczyszczeń jest rzadko wykonywane ze względu na ich kłopotliwość, szczególnie dla trudno uchwytnych pomiarowo substancji zapachowych. Próbą ominięcia tych kłopotów jest metoda jakościowa, która wprowadza jednostki opisujące emisję dowolnego, wyczuwalnego zanieczyszczenia oraz jego stężenia. Pierwszą z nich jest strumień zanieczyszczeń wydzielanych przez standardowa osobę dorosłą zwanych biozanieczyszczeniami, którego jednostką jest 1 olf (olfaction). Druga jednostka to stężenie zanieczyszczeń powietrza wewnętrznego wywołane obecnością standardowej osoby (o biozanieczyszczeniach równych 1 olf) przy przepływie przez pomieszczenie  $10 \text{ dm}^3/\text{s}$  powietrza w warunkach ustalonych, zwana 1 decypolem, przy czym  $1 \text{ decypol} = 0,1 \text{ olf}/(\text{dm}^3/\text{s})$ . Warunkiem zastosowania tej metody jest dysponowanie wartościami określającymi stężenie zanieczyszczeń występujących we wszystkich miejscach przepływu powietrza (w decypolach) i wykorzystanie zależności:

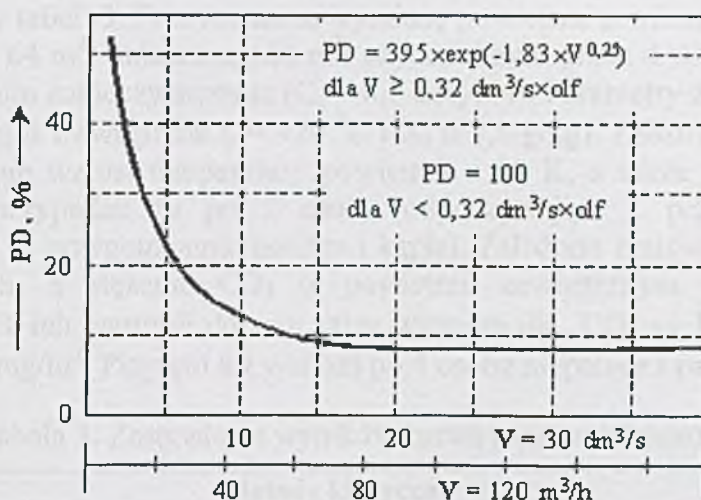
$$V = 10 \times \Phi \times \frac{F}{C_i - C_e}, \text{ dm}^3/\text{s}$$

przy czym  $F$  to zanieczyszczenia produkowane lub wprowadzane do pomieszczenia (olf),  $C_e$  oraz  $C_i$  to stężenia tych zanieczyszczeń panujących odpowiednio w przestrzeni, z której powietrze jest doprowadzane do pomieszczenia i ich wartości maksymalne (decypol), natomiast  $\Phi$  to współczynnik uwzględniający efektywność wentylacji.

Stężenia  $C_e$  i  $C_i$  nazywane są jakością powietrza zewnętrznego i wewnętrznego, przy czym jakość powietrza zewnętrznego jest przyjmowana dla określonego terenu, a jakość powietrza wewnętrznego obliczana jest na podstawie przyjętego odsetka osób niezadowolonych (PD – Predicted Dissatisfied), obliczanego z zależności:

$$C_i = 112[\ln(\text{PD}) - 5,98]^{-4}, \text{ decypol}$$

Ilustracją omawianej metody są dane przedstawione na rys.1. Wykorzystanie tej metody ułatwiają komplety danych bazujących na wynikach wielu prac badawczych dokonywanych w Europie, USA i Japonii na kilku tysiącach osób. Przyjmując określony procent osób niezadowolonych, można ustalić strumień powietrza, jaki powinien być wymieniany w pomieszczeniu z tytułu pojawienia się zanieczyszczeń zapachowych.



Rys. 1. Zależność procentu osób niezadowolonych z jakości powietrza dla różnych jego strumieni.

Wskaźnikowi PD = 10÷20 %, przyjmowanemu jako tzw. zadawalająca jakość powietrza, odpowiada wymiana strumienia objętości powietrza o wartości 25÷60 m³/h w odniesieniu do pojedynczej osoby. Metoda budzi wątpliwości dotyczące stosunkowo dużych strumieni powietrza, jakie należałoby dostarczyć w celu uzyskania zadawalającej jakości powietrza w stosunku do wartości przyjmowanych jako minimalne (20÷30/35 m³/h×osoba). Oczywistym warunkiem niezbędnym dla uzyskania zamierzonego celu jest wysoka jakość powietrza zewnętrznego, trudna do uzyskania przy stosowaniu popularnych rozwiązań wentylacji naturalnej, zakładającej napływ zanieczyszczonego powietrza zewnętrznego (przy dużej szczelności przegród jest to możliwe jedynie w budynkach z otworami nawiewnymi lub nawiewno-wywiewnymi systemami wentylacji mechanicznej).

Należy dodać, że do określenia strumieni powietrza wentylacyjnego, głównie w obiektach użyteczności publicznej, stosować można metody wskaźnikowe, bazujących na wykorzystaniu ustalonych w trakcie eksploatacji pomieszczeń, minimalnych strumieni powietrza usuwanego lub doprowadzanego, odnoszonych do jednostki powierzchni użytkowej, rzadziej kubatury pomieszczeń i liczby osób, a także wymian powietrza. Strumienie powietrza doprowadzanego wahają się w odniesieniu do pojedynczej osoby od około 10 m³/h do 40 m³/h, a powietrza usuwanego zmieniają się od 1,25 m³/h×m² (dla pomieszczeń kategorii B i średniego zanieczyszczenia) do 7,2 m³/h×m² (dla pomieszczeń

kategorii A i dużego zanieczyszczenia). Większe wartości dotyczą wyższego standardu pomieszczeń, w których na każdą osobę przypada 10÷15 m<sup>2</sup> powierzchni użytkowej. Powszechną praktyką na etapach projektowania i ocen energetycznych jest przyjmowanie określonej wartości wymiany powietrza. Nie powinno być one podstawą do obliczania strumieni powietrza wentylacyjnego i potrzeb cieplnych. Zestawienia podające wymianę powietrza (patrz przykłady w tabeli 2) mogą być jedynie wskaźnikiem wynikającym z obliczonych strumieni powietrza.

Tabela 2. Zalecane wartości wymiany powietrza (przykłady)

Rodzaj i przeznaczenie pomieszczeń	WP, 1/h
Mieszkania/biura	0,5÷1,0/5÷8
Sale konferencyjne i wykładowe	6÷8
Szkoły (klasy)	3÷7
Kościół/pływalnie, baseny	1,5÷4/3÷5

Charakterystycznym przykładem zmienności chwilowych wymagań wentylacyjnych są dane zamieszczone w tabeli 3. Porównano tu wymianę powietrza w mieszkaniu kategorii M4 o powierzchni około 64 m<sup>2</sup>, kubaturze 160 m<sup>3</sup>, użytkowanym przez 4 osoby i położonym w miejscowości o średnim zanieczyszczeniu ( $C_e = 0,1$  decypol). Parametry zewnętrzne wynoszą  $t_e = 0^{\circ}\text{C}$ ,  $X_e \cong 3$  g/kg, a wewnętrzne  $t_i = +20^{\circ}\text{C}$  i  $X_i \cong 8,8$  g/kg). Założono, że użytkowanie pomieszczeń powoduje wzrost temperatury powietrza o 10 K, a także 2 warianty zysków wilgoci; pierwszy przypadek to po 2 osoby odpoczywające i pracujące ze średnią aktywnością, a drugi to przygotowanie posiłku i kąpiel. Założono emisje CO<sub>2</sub>, CO i NO<sub>2</sub> ze źródeł wewnętrznych, a stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu zewnętrznym wynosi 400 ppm, NO<sub>2</sub> → 0,01 mg/m<sup>3</sup>, a ich wartości dopuszczalne wynoszą dla CO<sub>2</sub> → 1000 ppm, CO → 6 mg/m<sup>3</sup>, NO<sub>2</sub> → 0,05 mg/m<sup>3</sup>. Przyjęto też wariant po 4 osoby niepalące i palące tytoń<sup>(3)</sup>.

Tabela 3. Zestawienie wyników badań (opis w tekście)

Metody klasyczne			
Wyszczególnienie	Wartości obciążeń	V, m <sup>3</sup> /h	WP, 1/h
Nadmiar ciepła jawnego, Q, W	200/500	66/165	0,41/1,03
Nadmiar wilgoci, W, g/h	280/2000	44,3/316	0,28/1,98
Dwutlenek węgla, F, dm <sup>3</sup> /h	40/100	73,3/183	0,46/1,15
Tlenek węgla, F, mg/h	200/500	36,7/91,7	0,23/0,57
Dwutlenek azotu, F, mg/h	2/5	55/137,5	0,34/0,86
Metoda jakościowa			
Biozanieczyszczenia, olf	4	12,2	0,08
Jw., lecz 4 osoby palące tytoń, olf	28	85,3	0,53
Jw., lecz inne zanieczyszczenia, olf	28 + 0,05×64 = 31,2	95	0,6
Metody wskaźnikowe			
Wymaganie ogólne WP = 1/h		160	1,00
Wartość ustalona dla 2,4 m <sup>3</sup> /h×m <sup>2</sup>		153	0,96

Uzyskane wyniki wskazują na dużą rozpiętość tak obliczonych strumieni powietrza. Wymiana powietrza ustalona w oparciu o powyższe dane waha się od 0,08/h (mieszkanie wolne od zanieczyszczeń, nie eksploatowane urządzenia do przygotowania posiłków i kąpeli, użytkownicy odpoczywający) do około 2/h (w przypadku nadmiaru wilgoci). Pomijając już

<sup>(3)</sup> Większa wymiana powietrza jest konieczna wówczas, gdy użytkownicy palą tytoń, np. każdy wypalony papieros oznacza konieczność zwiększenia wymiany powietrza o 10÷15 m<sup>3</sup>/h.

trudność jaką napotka projektant, tak duża zmienność oznacza, że zastosowany w budynku układ wentylacyjny powinien mieć możliwość dostosowania swej wydajności do aktualnych potrzeb, a to oznacza rezygnację z wentylacji ciągłej lub duży udział użytkowników (np. okresowe przewietrzanie).

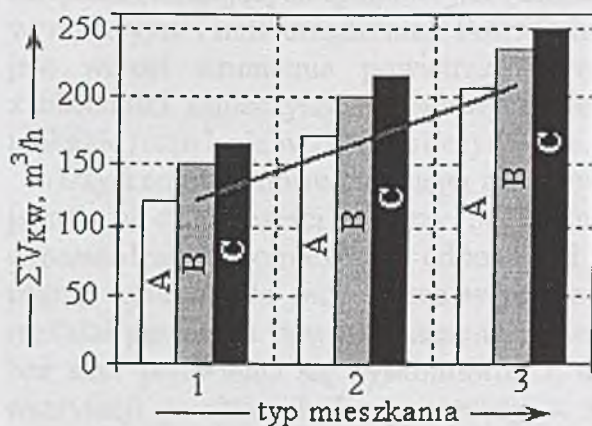
Zasada wentylacji w pomieszczeniach mieszkalnych sprowadza się do założenia dopływu powietrza zewnętrznego do przestrzeni, zwanych czystymi (np. pokoje mieszkalne), które po asymilacji zanieczyszczeń powinny być usuwane kanałami wywiewnymi umieszczonymi w przestrzeniach, zwanych brudnymi, np. kuchnie, pomieszczenia łazienek i WC lub z innych pomieszczeń bezokiennych (wnęki, garderoby, schowki itp.). Główne wymagania wentylacyjne dotyczą właśnie tych strumieni powietrza usuwanego, których arbitralnie przyjęte wartości zestawiono w tabeli 4. W przypadku wykorzystywania urządzeń gazowych z otwartą komorą spalania strumienie te należy zwiększyć o  $30 \div 40 \text{ m}^3/\text{h}$ . Oczywistym jest, że sumaryczne strumienie powinny zostać zastąpione równoważnymi ilościami powietrza doprowadzanego z zewnątrz.

Tabela 4. Strumienie powietrza usuwanego z pomieszczeń mieszkalnych

Opis pomieszczenia	$V_{kw}, \text{m}^3/\text{h}$
Kuchnia z oknem zewnętrznym, wyposażona w kuchenkę gazową lub węglową <sup>(1)</sup>	70
Jw., lecz wyposażona w kuchenkę elektryczną w mieszkaniu przeznaczonym dla co najmniej 3 osób/więcej niż 3 osób	30/50
Kuchnia bez okna zewnętrznego z kuchenką gazową/elektryczną <sup>(2)</sup>	70/50
Łazienka (z lub bez WC)/oddzielne pomieszczenie WC	50/30
Pomocnicze pomieszczenie bez okna <sup>(3)</sup> /Pokój mieszkalny <sup>(4)</sup>	15/30

(1) na czas intensywnego użytkowania zaleca się okresowy wzrost strumienia powietrza do  $120 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  
 (2) obowiązkowa wentylacja mechaniczna, (3) w pomieszczeniach muszą być umieszczone drzwi umożliwiające przepływ powietrza np. za pomocą otworów w dolnej części skrzydła, (4) oddzielony od pomieszczeń kuchni, łazienki i WC więcej niż dwójgim drzwi i pokój znajdujący się na wyższym poziomie w budynku jednorodzinny lub w wielopoziomowym mieszkaniu budynku wielorodzinnego.

W efekcie uwzględnienia tych wymagań można wyróżnić 3 kategorie mieszkań, których łączne strumienie powietrza wymienianego zestawiono dla różnych warunków na rys. 2. Wymiana najmniejszych strumieni powietrza zużytego o temperaturze  $+20^\circ\text{C}$  na zewnętrzne o temperaturze  $-20^\circ\text{C}$  w mieszkaniach kategorii 1A, 2A i 3B, wymaga doprowadzenia ciepła odpowiednio 1,7/2,5/3,1 kW.



Rys. 2. Porównanie wymaganych strumieni powietrza wentylacyjnego w trzech typach mieszkań (opis w tekście). Oznaczenia: A, B – bez oraz z uwzględnieniem wzrostu strumienia usuwanego z kuchni, C – jw., lecz użytkowanie urządzeń gazowych

Całkowite potrzeby wentylacyjne rosną w wyniku dodatkowego uwzględnienia liczby osób i minimalnej ilości powietrza zewnętrznego ( $20 \text{ m}^3/\text{h}/\text{osobę}$ ) i wykorzystania urządzeń gazowych ( $35 \div 40 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Maksymalny strumień powietrza wymienianego w mieszkaniu A (patrz 3A) może sięgać  $170 \text{ m}^3/\text{h}$ , a w mieszkaniu M6 (patrz 3C), a nawet przekraczać

250 m<sup>3</sup>/h. Rosną też potrzeby ciepła na podgrzanie powietrza, które przy  $\Delta T = 40$  K wynoszą 2,9÷3,6 kW. Strumienie wymianianego powietrza mogą być zatem wyznaczone w różny sposób, a jeśli wyniki są rozbieżne, to uwzględniając środowiskowe i zdrowotne wymagania, bezpieczniej jest wybrać wartości wyższe. Warto dodać, że pojawiły się słabo uzasadnione zalecenia zmierzające do zmniejszania strumienia wymianianego powietrza w kuchniach, w których zamiast 70/120 m<sup>3</sup>/h wprowadzono wartość 50 m<sup>3</sup>/h. Wybór tych wartości jest też istotny z uwagi na ustalanie potrzeb ciepła na podgrzanie powietrza wentylacyjnego.

Obecnie określanie tych strumieni oparte jest jedynie o nominalne wartości nie mające nic wspólnego z realną wymianą powietrza, i najczęściej z potrzebami, szczególnie w przypadku wentylacji naturalnej. Ustalając wymianę powietrza pamiętać należy o konfliktowości wymagań wentylacyjnych. Pierwsze z nich, nazywane środowiskowymi, wynikają z zadania wentylacji, jakim jest zapewnienie wymiany na powietrze zewnętrzne w ilościach pozwalających na skuteczną ewakuację zanieczyszczeń, co oznacza przyjęcie większych strumieni powietrza. Z kolei drugi aspekt, nazywany energetycznym, oznacza ograniczanie tych strumieni do wartości minimalnych. Poszukiwanie oszczędności energetycznych należy zatem koncentrować nie na zmniejszaniu strumieni powietrza, lecz na regulacji intensywności wymiany powietrza nadążnie do potrzeb. Istotna dla realizacji wymagań wentylacyjnych ma organizacja przepływów powietrza oraz rodzaj i rozwiązanie systemu wentylacyjnego.

### **Systemy realizujące wymianę powietrza**

Projektant wyposażenia technicznego, a w tym rodzaju wentylacji budynku mieszkalnego, ma teoretycznie do dyspozycji różne układy wentylacji, współtworzone przez odpowiednio dobrane zespoły urządzeń, pozwalające na organizację przepływów powietrza i zapewniające wymaganą intensywność zamiany powietrza wewnętrznego na zewnętrzne. W budynkach mieszkalnych celem wentylacji jest głównie dostarczanie tlenu niezbędnego do oddychania i prawidłowego przebiegu procesów spalania, obniżenie zawartości wilgoci w powietrzu wewnętrznym i stężeń szkodliwych zanieczyszczeń do poziomu narzuconego aktami prawnymi i akceptowalnego przez użytkowników. Systemy te mogą być oceniane za pomocą różnych kryteriów, a do najistotniejszych należy jakość powietrza (np. skład chemiczny powietrza, obecność cząstek stałych w powietrzu itp.), jego parametry fizyczne (komfort cieplny i akustyczny) oraz koszty inwestycyjne i eksploatacyjne. Dla zapewnienia pożądanej jakości powietrza w budynkach mieszkalnych najistotniejsza jest kontrola źródeł emisji zanieczyszczeń, co dotyczy zarówno materiałów budowlanych lub wyposażeniowych, urządzeń realizujących spalanie, jak i układu wentylacji (rodzaj i rozwiązanie układu, kanały wentylacyjne i inne urządzenia). Powszechnym, lecz znacznie mniej efektywnym sposobem, jest wzrost strumienia powietrza wentylacyjnego. Eliminacji zagrożeń wynikających z obecności zanieczyszczeń pyłowych lub mikrobiologicznych sprzyja skuteczna filtracja, unikanie rozpylania wody oraz dezynfekcja.

Uzyskanie komfortu cieplnego akceptowalnego przez wysoki odsetek użytkowników, co jednak w dużej części dotyczy budynków użyteczności publicznej, wymaga aby system doprowadzał do pomieszczeń odpowiedni do potrzeb strumień powietrza, będący w stanie usunąć zyski ciepła generowane w pomieszczeniu i pokrywać ewentualne straty. Ponadto, rozdział powietrza powinien zapewniać jego równomierny przepływ przez pomieszczenia, bez stref pojawiania się dyskomfortu. Z uwagi na różne preferencje użytkowników układ wentylacji powinien być wyposażony w zdecentralizowany system regulacji pozwalający dostosować parametry wentylacji do aktualnych i indywidualnych odczuć i potrzeb. Wysoki poziom komfortu akustycznego mają systemy wentylacji naturalnej lub systemy mechaniczne wyposażone w cichobieżne wentylatory, z jednoczesnym stosowaniem niskich prędkości przepływu powietrza i tłumików akustycznych. Niskie nakłady inwestycyjne związane są ze stosowaniem systemów prostych, pozbawionych skomplikowanych i drogich elementów



mechanicznych i elektronicznych. Uzyskaniu niskich kosztów eksploatacyjnych sprzyja zmniejszenie strumieni powietrza oraz dostosowanie intensywności wentylacji do lokalnych i czasowych potrzeb, odzyskiwanie ciepła z powietrza usuwanego, tanie źródło ciepła lub energii chłodniczej, wysoka sprawność energetyczna i mechaniczna stosowanych urządzeń, duża niezawodność i prosta obsługa. Rozwiązanie równocześnie spełniające wszystkie wyżej podane cechy jest trudne do uzyskania<sup>(4)</sup>, a w praktyce systemy stosowane w budynkach mieszkalnych są rzadko efektem świadomego wyboru, a raczej wynikiem przestarzałych przyzwyczajeń i nawyków. Z uwagi na specyfikę budynków mieszkalnych, decydujące znaczenie ma duża liczba różnego rodzaju parametrów i czynników, które powinny być uwzględniane przy wyborze wentylacji (patrz rys. 3).



Rys. 3. Wybrane parametry i czynniki współdecydujące o wymianie powietrza w budynkach

Do najprostszych układów wentylacji i najczęściej stosowanych, należą systemy wykorzystujące naturalne siły napędowe, generujące różnice ciśnień na przegrodach, a w efekcie powodujące wymianę powietrza w pomieszczeniach. Naturalnymi siłami napędowymi są wypór termiczny ( $\Delta p_{wt}$ ) i napór wiatru ( $\Delta p_w$ ), które powodują występowanie na przegrodach budynków różnic ciśnień:

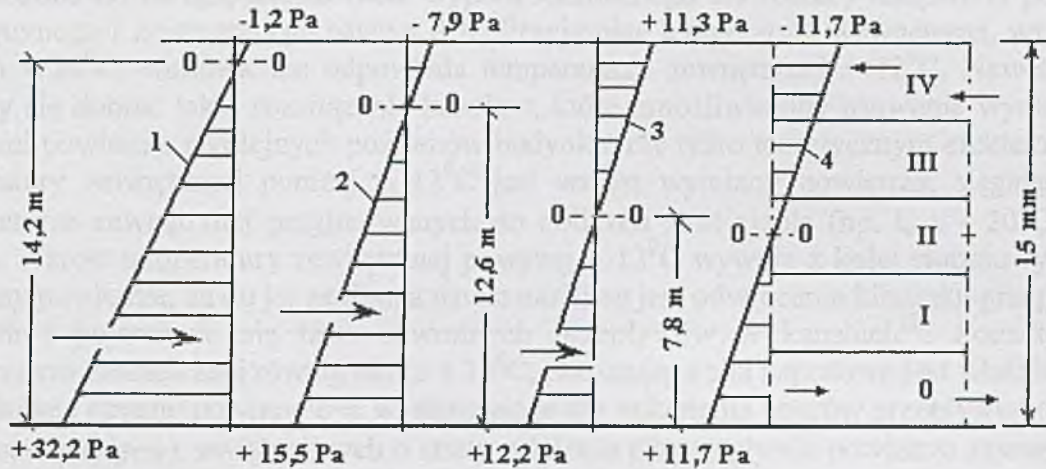
$$\Delta p_{wt} = p_e - p_i = H \times g (\rho_e - \rho_i), \quad p_w = p^{x,y,z} = 0,5c_K \rho_e (w_h^2)_{x,y,z}, \text{ Pa}$$

gdzie:  $H$  to wysokość przegrody lub budynku (m),  $g$  jest przyspieszeniem ziemskim ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ),  $\rho_e$  i  $\rho_i$  to gęstości powietrza zewnętrznego i wewnętrznego ( $\text{kg/m}^3$ ),  $w_h$  jest prędkością wiatru (m/s) na wysokości  $h$  nad poziomem gruntu,  $c_K$  to bezwymiarowy współczynnik konwersji ciśnienia dynamicznego wiatru, wskazujący jaka część energii kinetycznej wiatru zamienia się na ciśnienie statyczne w określonym punkcie na przegrodzie budynku, a  $x, y, z$  są współrzędnymi określającymi położenie danego punktu na przegrodach.

Dla tak ustalonych różnic ciśnień charakterystyczne jest wystąpienie na pewnej wysokości budynku poziomu ciśnień zerowych, na którym ciśnienia zewnętrzne są równe wewnętrznym. Położenie tego poziomu uzależnione od rozkładu powierzchni szczelin lub otworów wzdłuż wysokości i prędkości wiatru. Na rys. 4 przedstawiono rozkład zmian różnic ciśnień dla 4-piętrowego budynku, przy założeniu równomiernego rozkładu powierzchni nieszczelności

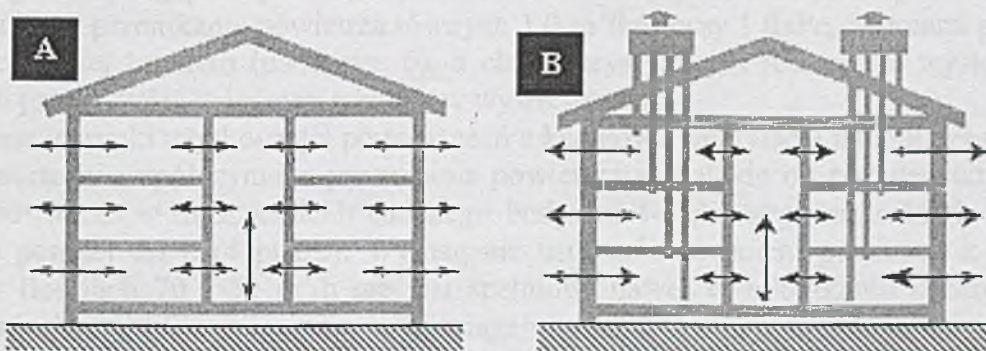
<sup>(4)</sup> Wybór systemu optymalnego możliwy jest po zastosowaniu technik polioptymalizacji (metoda funkcji metrycznych lub metoda średniej ważonej dla indywidualne sprecyzowanych wag poszczególnych cech).

wzdłuż wysokości przegród. Wiatr działający prostopadle do powierzchni przegrody zewnętrznej, powoduje przesunięcie płaszczyzny ciśnień zerowych (poziom 0 – 0) ku górnym piętrům budynku, tym bardziej im większa jest prędkość wiatru. Większa prędkość wiatru powoduje wzrost liczby pomieszczeń, w których zachodzi infiltracja powietrza zewnętrznego.



Rys. 4. Rozkłady ciśnień na wysokości budynku (przykład). Oznaczenia: 1 –  $w = 5$  m/s, 2 –  $w = 3$  m/s, 3 –  $w = 1$  m/s, 4 –  $w = 0$  m/s

Podobne zmiany mają miejsce gdy powierzchnia szczelin w górnej części przegród jest większa niż w dolnej, natomiast w odwrotnej sytuacji linia ciśnień zerowych przesuwają się ku dołowi przegrody. Takie różnice ciśnień są również jedynymi siłami napędowymi w budynkach z naturalną wentylacją bezkanałową (rys. 5A). Wymiana powietrza odbywa się w wyniku niezorganizowanego przenikania powietrza przez nieszczelności w przegrodach i uchylania lub otwierania okien, a intensywność wentylacji jest wynikiem zmiennych w czasie i przestrzeni oraz losowych zmian sił napędowych. Są to systemy charakteryzujące się znaczną wrażliwością na różne zakłócenia, która cechuje także układy naturalnej wentylacji kanałowej (patrz rys. 5B). Ciśnienia w kanałach są zbliżone do występujących na przegrodach, a to powoduje że dochodzi do niewielkich zmian strumieni powietrza w porównaniu z rozwiązaniami bezkanałowymi.



Rys. 5. Przepływy powietrza w budynkach z naturalną wentylacją bezkanałową (A) i kanałową (B)

Dyspozycyjne ciśnienie czynne ( $p_{cz}$ ) określa zatem wartości sił powodujących przepływ powietrza przez kanały i obliczane jest za pomocą tych samych zależności jak ma to miejsce w przypadku ustalania różnic ciśnień na przegrodach, tzn.:

$$p_{cz} = h_{KW} \times g(\rho_e - \rho_i) \cong \Delta p_{wt} + p_w, \text{ Pa} \quad (5.27)$$

gdzie:  $h_{KW}$  to wysokość kanału wentylacyjnego, mierzona od osi otworu doprowadzającego powietrze do wylotu z kanału nad dachem budynku (m),  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ , a  $\rho_e$  i  $\rho_i$  to gęstości powietrza zewnętrznego i powietrza w kanale ( $\text{kg/m}^3$ ).

W wytycznych projektowania kanałowej wentylacji naturalnej warunki obliczeniowe sprowadzono do uwzględnienia tylko wyporu termicznego dla różnicy temperatur powietrza wewnętrznego i zewnętrznego równej 8 K. Przyjmując temperaturę wewnętrzną, wynoszącą średnio  $+20^\circ\text{C}$ , warunek ten odpowiada temperaturze zewnętrznej  $+12^\circ\text{C}$ . Nawet, gdyby udało się dobrać takie rozwiązanie kanałów, które umożliwiłoby usuwanie wymaganych strumieni powietrza z kolejnych poziomów budynku, nie tylko teoretycznym efektem spadku temperatury zewnętrznej poniżej  $+12^\circ\text{C}$  jest wzrost wymiany powietrza, sięgający przy temperaturze zewnętrznej przyjmowanych do obliczeń strat ciepła (np.  $t_e \equiv -20^\circ\text{C}$ ) około 250 %. Wzrost temperatury zewnętrznej powyżej  $+12^\circ\text{C}$  wywoła z kolei stopniowy spadek wymiany powietrza, aż do jej zaniku, a nawet możliwe jest odwrócenie kierunku przepływu w kanałach i pojawienie się tzw. odwrotnych przepływów w kanałach<sup>(5)</sup>. Ponadto, przy temperaturze zewnętrznej równej około  $+12^\circ\text{C}$ , dominującą siłą napędową jest właśnie wiatr.

Ciśnienie czynne powinno być wystarczające dla pokonania oporów przepływu powietrza przez kanały ( $\Delta p_{KW}$ ), zwiększonych o straty ciśnienia przy napływie powietrza zewnętrznego przez nieszczelności w oknach lub otwory nawiewne:

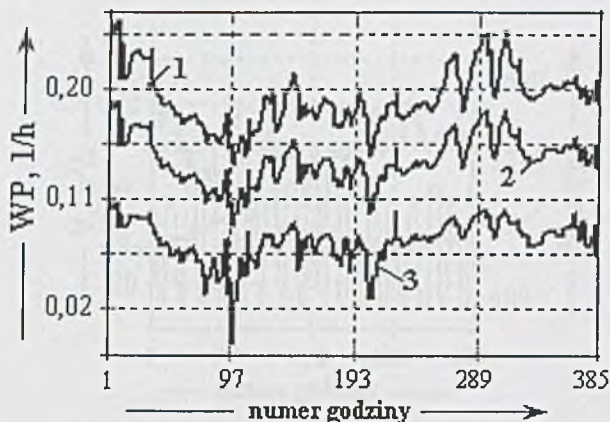
$$p_{cz} \approx \Delta p_{KW} = 0,5 \times v_{KW}^2 \times \rho_i \left( \Sigma \xi + \lambda \times \frac{h_{KW}}{d_z} \right) + \Delta p_n, \text{ Pa}$$

gdzie:  $v_{KW}$  jest prędkością powietrza w kanale (m/s),  $d_z$  to jego średnica (m),  $\rho_i$  jest gęstością powietrza ( $\text{kg/m}^3$ ),  $\Sigma \xi$  to suma współczynników oporów miejscowych,  $\lambda$  to bezwymiarowy współczynnik tarcia,  $\Delta p_n$  to opory przepływu przez szczeliny okienne lub otwory nawiewne (Pa), a  $h_{KW}$  jest wysokością kanału wywiewnego (m).

Powyższa zależność, z uwzględnieniem nominalnego wyporu termicznego ( $\Delta T = 8 \text{ K}$ ), jest podstawą do obliczenia pola powierzchni kanałów wywiewnych. Należy jednak pamiętać, że usunięcie powietrza jest możliwe tylko wtedy, gdy zostanie ono doprowadzone z zewnątrz. W związku z naturalną i trudną do przewidzenia zmiennością sil napędowych, zmianie ulega też strumień powietrza przepływający kanałami zależny od organizacji dopływu powietrza zewnętrznego. Przy napływie powietrza przez okna o zalecanych, maksymalnych wartościach współczynników przenikania powietrza równych  $1,0 \text{ m}^3/\text{hm}$  przy  $1 \text{ daPa}$ , wymiana powietrza koresponduje z jej brakiem (patrz rys. 6), a charakterystycznym jest częste występowanie wstecznych przepływów w jednym z kanałów wywiewnych.

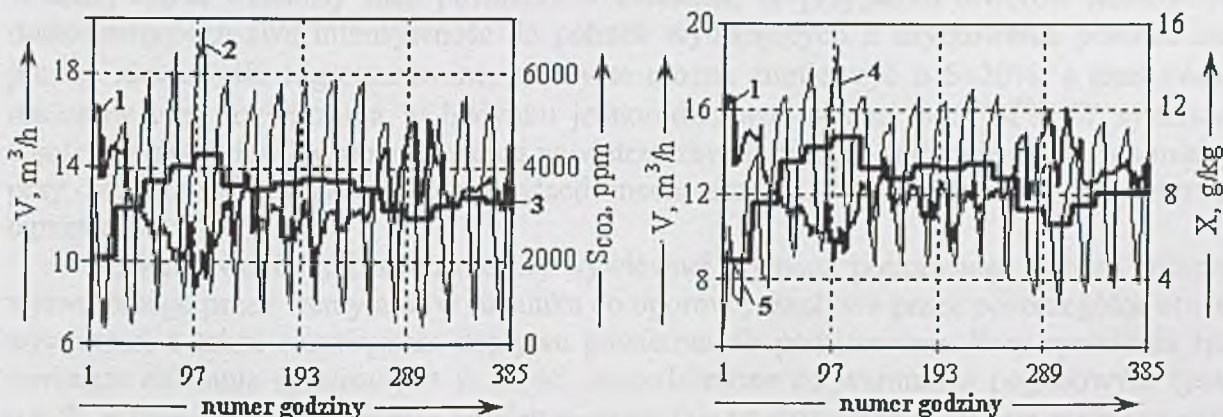
Uzyskane warunki użytkowania pomieszczeń z kanałową wentylacją naturalną i oknami o zalecanej wartości współczynnika przenikania powietrza są dalekie od pożądaných. Średnia wymiana powietrza w mieszkaniach badanego budynku 4-piętrowego zmienia się od  $0,2/\text{h}$  (parter) do poniżej  $0,1/\text{h}$  (4 piętro). Wymaganie usuwania strumieni powietrza z kuchni i łazienek w ilościach  $70$  i  $50 \text{ m}^3/\text{h}$  nie jest spełniony nawet w mieszkaniu położonym na parterze budynku, w którym strumienie te osiągają wartości co najmniej o połowę mniejsze od wartości zalecanych. Fakt ten jest wynikiem napływu do mieszkań małych strumieni powietrza zewnętrznego, a więc nadmiernej hermetyzacji zewnętrznej powłoki budynku. Nie jest dotrzymany warunek napływu niezbędnych strumieni powietrza przypadających na jedną osobę ( $20 \text{ m}^3/\text{h}$ ), a w najlepszym przypadku do pokoju mieszkalnego z dwoma osobami położonego na parterze budynku napływa  $15\div 17 \text{ m}^3/\text{h}$ .

<sup>(5)</sup> Wynika to ze zmienności grawitacyjnych ciśnień dyspozycyjnych wzdłuż wysokości kanałów (budyneków). Przykładowo, dla przestrzeni położonych na parterach budynków ciśnienie to jest największe, zaś dla przestrzeni położonych na najwyższych piętrach – najmniejsze. Uwzględnienie tej zmienności wymagałoby wykorzystania niestosowanej w praktyce zmiany przekrojów lub zmian oporów przepływu przez kanały.



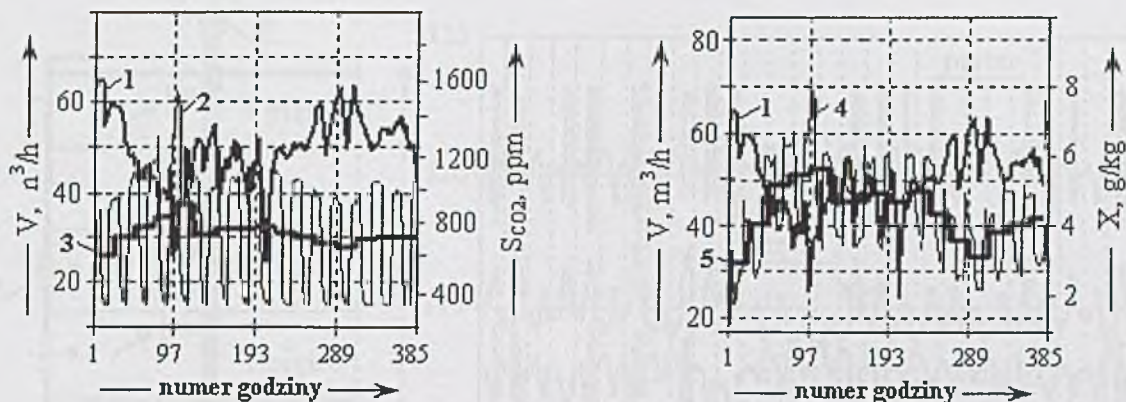
Rys. 6. Wymiana powietrza w mieszkaniach 4-piętrowego budynku (w styczniu). Oznaczenia: 1, 2 i 3 – parter, drugie i czwarte piętro

Wśród typowych zanieczyszczeń występujących w budynkach mieszkalnych stanowiących o jego stanie higienicznym wymienić należy głównie parę wodną i dwutlenek węgla. Na rys. 7 zestawiono zmiany strumieni powietrza, stężeń dwutlenku węgla i zawartość wilgoci w pomieszczeniu mieszkania położonego na parterze, a więc uprzywilejowanego pod względem wentylacji dzięki najdłuższym kanałom. Co najmniej kilkakrotne przekroczenie stężeń  $\text{CO}_2$  i wysoka zawartość pary wodnej w powietrzu wskazują jednoznacznie na możliwość występowania negatywnych odczuć co do jakości powietrza wewnętrznego, a podwyższona wilgotność powietrza powoduje, że nie dotrzymywane są parametry powietrza dla zapewnienia pożądanego komfortu cieplnego.



Rys. 7. Strumienie objętości powietrza (1), zmiany i wartości średniodobowe stężeń  $\text{CO}_2$  (2, 3) oraz zmiany i wartości średniodobowe zawartości wilgoci (4 i 5) w wybranym pomieszczeniu położonym na parterze budynku 4-piętrowego (w styczniu)

Ponadto, w trakcie okresowego wietrzenia w pomieszczeniach panują przeciągi, a w okresie letnim napływają do nich z zewnątrz różne zanieczyszczenia pyłowe, a w tym także pyły alergizujące. Efektywność tych rozwiązań zależy głównie od wysokości kanałów), a wymiana powietrza w mieszkaniach położonych na najwyższych piętrach w okresach bezwietrznych może być mała lub jej brak. Wymianę tą można zwiększyć jedynie przez rozszczelnianie okien lub wyposażanie ich w otwory nawiewne. Ich stosowanie powszechnie uznano za prawidłowy sposób doprowadzania powietrza do pomieszczeń nie tylko z kanałową wentylacją naturalną. Przykładem wpływu otworów nawiewnych o stałej wydajności  $50 \text{ m}^3/\text{h}$  dla  $1 \text{ daPa}$  są dane przedstawione na rys. 8 dla pomieszczenia położonego na parterze w budynku 4-piętrowego. Bezpośrednim efektem jest wzrost wymiany powietrza do  $0,5 \div 1,4/\text{h}$  w pomieszczeniach położonych na parterze i  $0,65/\text{h}$  na 4 piętrze. Jednocześnie występuje  $3 \div 4$  krotny spadek stężeń  $\text{CO}_2$  i około 2 krotny spadek zawartości wilgoci.

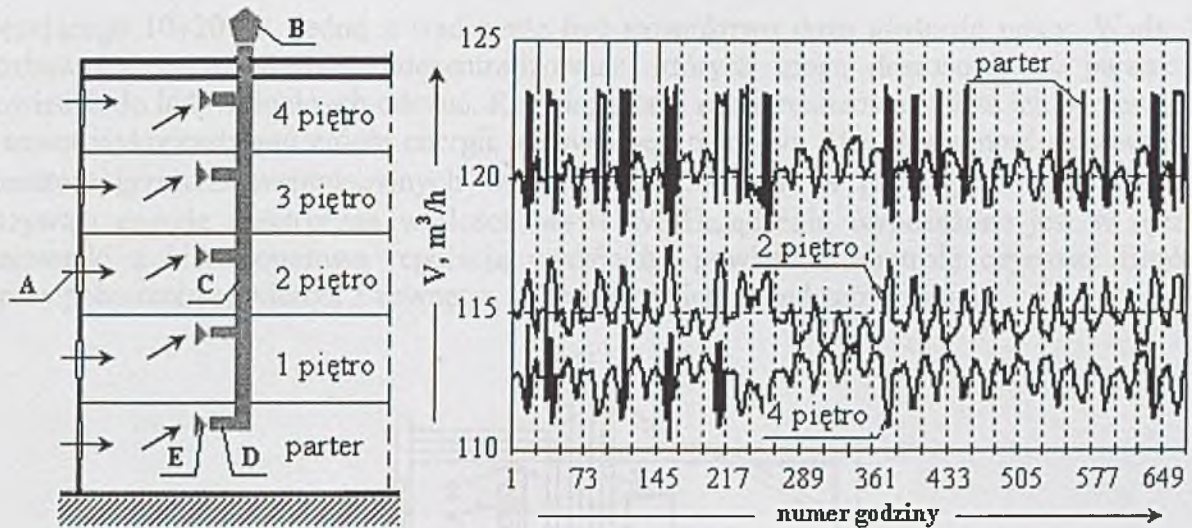


Rys. 8. Strumienie objętości powietrza (1) oraz zmiany i wartości średniodobowe stężeń CO<sub>2</sub> (opis jak na rys. 7)

Strumień dostarczanego powietrza przez nawiewniki sterowane ręcznie zależy od położenia przysłony regulowanej przez użytkowników. Takie założenie wymaga świadomości i częstej ingerencji ze strony użytkownika, a w praktyce polega na ich przypadkowym otwieraniu lub zamykaniu, co niewiele się różni od mało skutecznego rozszczelniania okien. Ponadto, stosowanie otworów nawiewnych może pogorszyć izolacyjność akustyczną oraz zwiększać koszty inwestycyjne i koszty eksploatacyjne (większy strumień powietrza), tym bardziej że układy takie uzupełniane są zazwyczaj nasadami wywiewnymi eliminującymi w dużej części wsteczny ruch powietrza w kanałach. W przypadku otworów nawiewnych dostosowujących swą intensywność do potrzeb wynikających z użytkowania pomieszczeń, jak np. nawiewniki higrosterowane, koszty te można zmniejszyć o 5÷20%, a czas zwrotu nakładów tego rozwiązania w budynku jednorodzinny wynosi 3÷5 lat<sup>(6)</sup>. W systemach wentylacji naturalnej do podgrzewania powietrza zewnętrznego, podobnie jak to ma miejsce przy zastosowaniu wywiewnej wentylacji mechanicznej, wykorzystywane jest centralne ogrzewanie.

Stosowanie wentylacji mechanicznej wywiewnej wymaga poprawnego doboru ciśnienia wytwarzanego przez wentylator w stosunku do oporów przepływu przez poszczególne otwory wywiewne, a także rozwiązania dopływu powietrza do pomieszczeń. Przy spełnieniu tych wymagań działanie systemu jest w części niezależne od warunków pogodowych (patrz rys. 9), a wymicniane strumienie powietrza pozwalają na skuteczne usuwanie zanieczyszczeń na przestrzeni całego roku. Zastosowanie mechanicznej wentylacji wywiewnej oznacza wzrost kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych, ponieważ koszty napędu wentylatorów i ogrzania zazwyczaj większych strumieni powietrza. Wentylatory stanowią źródło hałasu, który w przypadku niewłaściwego wytłumienia mogą być uciążliwe dla użytkowników. W zależności od ich liczby i lokalizacji otworów nawiewnych, mogą pojawiać się lokalne przeciągi w pomieszczeniach o małych wymiarach jakimi są mieszkania. Dzięki okresowemu obniżeniu intensywności wymiany powietrza uzyskane oszczędności ciepła mogą wynieść 10÷20%, a czas zwrotu nakładów inwestycyjnych dla budynku jednorodzinny wynosi 6÷10 lat.

<sup>(6)</sup> Nawiewniki te są tak skonstruowane, że powietrze zewnętrzne nie styka się bezpośrednio z czujnikiem, dzięki czemu uwzględniane są warunki wewnętrzne. Zastosowanie nawiewników i kratek wywiewnych sterowanych wilgotnością powietrza daje możliwość automatycznego ograniczenia strumienia powietrza wtedy, gdy poziom wilgotności nie jest nadmiernie wysoki. Za ich wykorzystaniem przemawia duża korelacja między stężeniami metabolicznego dwutlenku węgla i zawartością wilgoci w powietrzu pomieszczeń, co oznacza że pojawienie się użytkowników oraz towarzyszący im wzrost stężenia CO<sub>2</sub> i wilgoci powoduje uchylenie otworu. Wadą nawiewników higrosterowanych jest to, że ich działanie jest niezależne od zmian wyporu termicznego. Ponadto, z uwagi na wewnętrzną budowę, nawiewniki mają na ogół dość duże rozmiary, co niekorzystnie wpływa na estetykę okna.



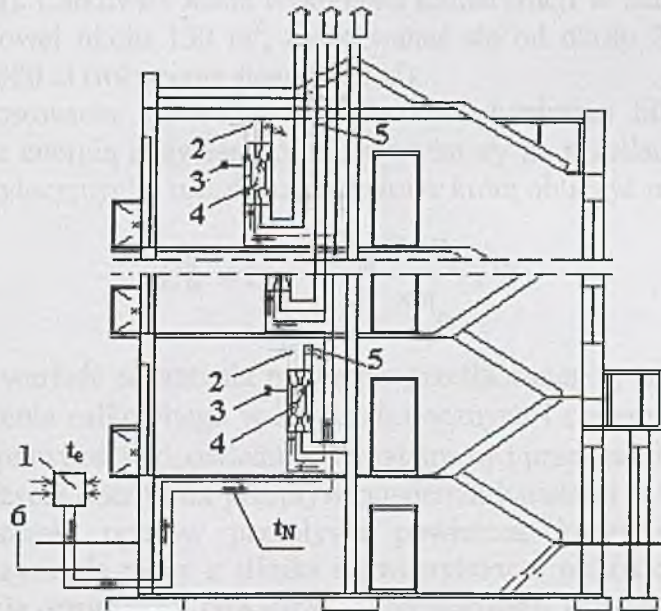
Rys. 9. Zmienność strumieni objętości powietrza wymianianego w mieszkaniach 4 piętrowego budynku z oknami o współczynniku przenikania powietrza równym  $1,0 \text{ m}^3/\text{mh}$  dla  $1 \text{ daPa}$  (styczeń). Oznaczenia: A – dopływ powietrza zewnętrznego, B – nasada z wentylatorem, C – kanał zbiorczy, D – odgałęzienie, E – uzbrojenie otworu wywiewnego

System wentylacji mechanicznej wywiewnej umożliwia wprowadzanie układów regulacji automatycznej od najprostszych (dwunastawnych), do urządzeń zaawansowanych o działaniu ciągłym<sup>(7)</sup>. Jako sygnały wejścia dla układów regulacji mogą być wykorzystane różne parametry (np. wilgotność powietrza lub zawartość dwutlenku węgla), co znacznie podraża koszty systemu.

Największe możliwości kształtowania klimatu wewnętrznego pomieszczeń i kreowania odpowiedniej jakości powietrza niezależnie od uwarunkowań architektonicznych mają układy mechanicznej wentylacji nawiewno-wywiewnej. Możliwe jest uzyskanie postulowanej hermetyzacji budynków i skutecznej realizacji oszczędności energii. Mogą być one wyposażone w osobne układy kanałów nawiewnych i wywiewnych, które tworzą system tzw. wentylacji zbilansowanej, ale rozwiązaniami najbardziej atrakcyjnymi są układy wyposażone w urządzenia pozwalające na odzysk ciepła z powietrza usuwanego na zewnątrz. Posiadają one możliwość filtracji powietrza dostarczanego z zewnątrz w zależności od stosowanych urządzeń dodatkowych. Typowe filtry warstwowe są w stanie usunąć z powietrza jedynie większe pyłki kwiatowe i grube cząsteczki pyłu metalurgicznego oraz mają ograniczoną skuteczność, szczególnie w przypadku pojawiania się drobnych ziaren pyłu, dymu, sadzy czy mgły olejowej. Opcjonalne rozwiązania przewidują instalowanie w centralach także filtrów antyalergicznym, lecz nawet dokładne filtry nie usuną dymu papierosowego, bakterii i wirusów. Oprócz oczyszczania powietrza, filtry chronią wymiennik przed zabrudzeniem, jednak przedostające się pyły i inne drobiny unoszone w powietrzu, osiadające na często wilgotnych ściankach urządzenia, mogą powodować nie tylko spadek współczynnika przenikania ciepła wymiennika, ale powodować niedrożność lub spadek prędkości powietrza, a w efekcie obniżenie jego sprawności temperaturowej. Poza wysokimi kosztami inwestycyjnymi i eksploatacyjnymi oraz długiego czasu zwrotu nakładów,

<sup>(7)</sup> Do rozwiązań mechanicznych należy także wentylacja nawiewna, rzadko stosowana i nie objęta krajowymi aktami prawnymi. Napływ powietrza odbywa się do pokoi przez otwory nawiewne zlokalizowane w dolnych częściach przegród zewnętrznych, w górnych częściach ścian wewnętrznych lub zamontowanych w dolnej części klatki schodowej, a do usuwania powietrza wykorzystane są kanały naturalne. Zorganizowanie napływu powietrza od strony ścian zewnętrznych, wymaga zastosowania układu kanałów prowadzonych w podłogach pomieszczeń, wykorzystania uzbrojeń otworów nawiewnych, umieszczonych nad podłogą pomieszczeń (np. osłon) i rozbudowania systemu o funkcję ogrzewania i filtracji powietrza. Koszty inwestycyjne tych rozwiązań są nieco większe od nakładów mechanicznej wentylacji wywiewnej, a czas zwrotu o parę lat większy.

sięgającego 10÷20 lat, jedną z wad może być stosunkowo duża głośność pracy. Wady tej pozbawione są rozwiązania zdecentralizowane, których mogą dostosowywać parametry powietrza do indywidualnych odczuć. Rozwiązania te mogą realizować także ich ogrzewanie, a nawet wykorzystywać źródła energii odnawialnej (patrz rys. 10). Wydajność stosowanych aparatów grzewczo-wentylacyjnych wynosi 100÷130 m<sup>3</sup>/h, a przy sprawności 85÷95% zużywają energię elektryczną w ilości 34÷94 W. Urządzenie wyposażone jest w ręczne sterowniki z kilkustopniową regulacją wydajności powietrza, kontrolę czystości filtrów, a przy pobieraniu powietrza z zewnątrz, zabezpieczeniem przed zamrażaniem.



Rys. 10. Zdecentralizowana wentylacja mechanicznej wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła. Oznaczenia: 1 – czerpnia powietrza, 2 – nawiew powietrza, 3 – programator, 4 – mieszkaniowy agregat ciepłno-wentylacyjny, 5 – wywiew powietrza, 6 – gruntowy wymiennik ciepła

Rozwiązanie to posiada również funkcję nastawy wydajności powietrza i przełącznik na pracę w okresie letnim. Zaletą takiego rozwiązania jest również niska głośność pracy (około 30 dB), możliwość ingerencji użytkowników i łatwy pomiar zużywanej energii. Systemy tej wentylacji pozwalają uzyskać 15÷30 % oszczędności energii, a prosty czas zwrotu nakładów ocenia się na 9÷14 lat. Korzyści z takiej wentylacji indywidualnej to m.in. krótkie i łatwo dostępne do inspekcji i czyszczenia przewody, możliwość regulacji zgodnie z potrzebami, równomierny rozkład oszczędności pomiędzy lokalami w jednym budynku dzięki indywidualnemu wymiennikowi ciepła oraz duża elastyczność instalacji i rozbudowy systemu, niższe nakłady inwestycyjne, brak konieczności budowy sieci kanałów i wysoki komfort w okresie letnim.

Centralne i indywidualne systemy wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej są w stanie zapewnić pożądane parametry powietrza i wymaganą jego jakość, lecz wiąże się to ze znacznymi nakładami inwestycyjnymi i eksploatacyjnymi, a ponadto systemy wentylacji mechanicznej wymagają napraw i okresowej konserwacji. Ze względu na różne wielkości budynku i rodzaje ich wyposażenia trudno jest ocenić koszt wykonania wentylacji. Najwięcej danych w tym zakresie dotyczy budynków jednorodzinnych ([www.cozaile.pl](http://www.cozaile.pl)). Dla wentylacji naturalnej czasem wystarczą np. tylko dwa przewody (z kilkoma kanałami każdy), potrzebne do kotła centralnego ogrzewania i kominka. Przewody wentylacyjne mogą być murowane z cegły lub wykonane z gotowych kanałów (osłoniętych np. wełną mineralną i płytą gipsową). Dodatkowo trzeba zapłacić za nawiewniki okienne lub ściennie 50 zł (najprostsze) okienne, od

100 zł (nawiewniki ściennie ciśnieniowe) lub 200 zł (nawiewniki ściennie higrosterowane). W budynku o powierzchni 120÷150 m<sup>2</sup> potrzebne jest 5 nawiewników, a zatem łączny ich koszt waha się w granicach 250÷1000 zł. Na koszt wykonania w takim budynku mechanicznej wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła składa się centrala wentylacyjna z rekuperatorem o wydajności około 400 m<sup>3</sup>/h (4000÷8000 zł), izolowane przewody wentylacyjne wykonane z aluminium lub z tworzyw o długości około 20 m (600 zł), 8 sztuk anemostatów metalowych, malowanych proszkowo (200÷700 zł) oraz czerpnia i wyrzutnia powietrza (po 30÷200 zł), co daje w sumie 5000÷10000 zł (robocizna wynosi 2500÷4000 zł). Całkowity koszt wykonania klimatyzacji w budynku jednorodzinym o powierzchni użytkowej około 150 m<sup>2</sup>, może wahać się od około 20000 zł (robocizna to 5500 zł) do około 30000 zł (robocizna sięga 8800 zł).

W przypadku stosowania systemów wentylacji mechanicznej bilanse energetyczne są dodatkowo obciążone energią zużywaną przez wentylatory na przetłaczanie powietrza przez układy kanałów wentylacyjnych i urządzenia składowe którą obliczyć można z zależności:

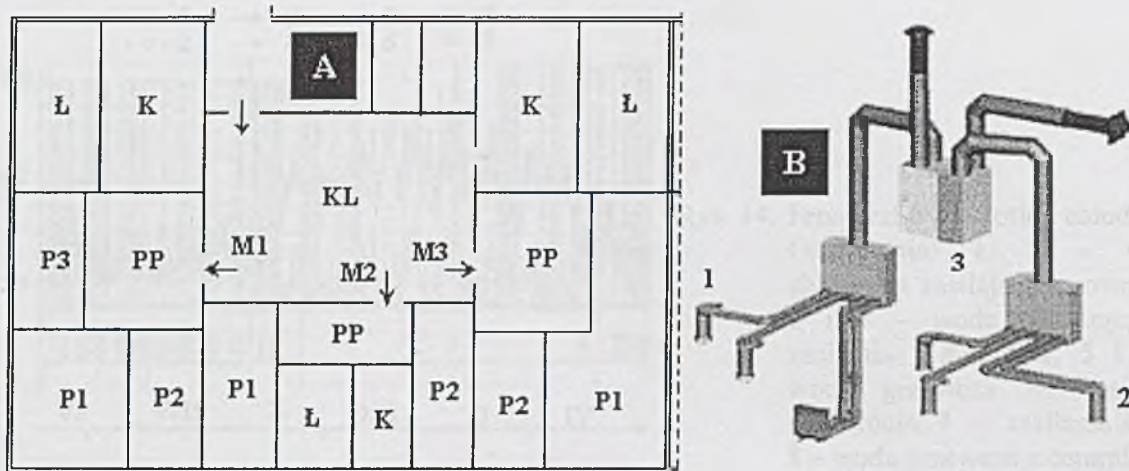
$$E_w^n \cong N_w = \frac{V_{sr} \times \Delta p_c}{\eta_w \times \eta_p}, \text{ W}$$

gdzie:  $V_{sr}$  to średnia wartość strumienia powietrza przetłaczanego przez wentylatory (m<sup>3</sup>/h),  $\Delta p_c$  jest różnicą ciśnienia całkowitego w króćcach tłocznych i ssawnych wentylatorów (Pa), natomiast  $\eta_w$  i  $\eta_p$  to sprawności odpowiednio wentylatorów i przekładni silniki-wentylatory.

Minimalizacja zużycia energii na przepływ powietrza kanałami wentylacyjnymi oznacza konieczność zmniejszania oporów przepływu powietrza, korzystania z wentylatorów i skutecznego przekazywania mocy z silnika na wentylator o wysokich sprawnościach oraz sensowne ograniczenia strumienia powietrza. Wprowadzono ograniczenie zużycia energii elektrycznej w odniesieniu do 1 m<sup>3</sup> przetłaczanego powietrza. Przykładowo w systemach wentylacyjnych ze stałym strumieniem powietrza wentylacyjnego, jako maksymalną wartość tego wskaźnika przyjęto 2,5 kJ/m<sup>3</sup>. W rozwiązaniach ze zmiennym strumieniem dopuszcza się wzrost tego wskaźnika o 30%, niezależnie od działania i regulacji stosowanych wentylatorów.

Za charakterystyczne dla działania wentylacji uznać można przedstawione poniżej wybrane wyniki analizy dokonanej dla typowego 3 piętrowego budynku mieszkalnego (patrz rys. 11). Wysokość budynku to 14 m, kubatura wynosi 5077 m<sup>3</sup>, a sumaryczna powierzchnia powłoki zewnętrznej, liczoną razem z powierzchnią stropu nad piwnicą i dachu to 3900 m<sup>2</sup>. Przegrody zewnętrzne budynku spełniają wymagania wysokiej izolacyjności cieplnej i szczelności na przepływ powietrza, np. współczynnik przenikania powietrza dla stolarki budowlanej jest równy 0,5 m<sup>3</sup>/mh dla 1 daPa. Badany budynek alternatywnie wyposażano w 3 wersje układów wentylacji. Pierwszą z nich jest rozwiązanie z naturalnym układem indywidualnych kanałów wywiewnych o wymiarach 14×14 cm. W drugiej wersji w oknach zamontowano higrosterowane otwory nawiewne (AMO/22). Trzecią wersją jest system mechanicznej wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła, o nazwie Air Excellent (rys. 11 B). Jest to układ modułowy i składa się z płaskich przewodów umieszczonych w sufitach, o wymiarach 50×100 mm o maksymalnym przepływie powietrza 30÷35 m<sup>3</sup>/h, centrali, rozdzielaczy itd. Centrala posiada urządzenia do regulacji stałego przepływu, energooszczędne wentylatory o łopatkach wygiętych do tyłu oraz zapewnia minimalny poziom hałasu. Badań dokonano dla okresu całego roku za pomocą programu IDA/ICE/4. Główne rezultaty porównań dla dwóch wersji wentylacji zebrano w tabeli 5. Wynika z nich, że zastosowanie otworów nawiewnych może poprawić jakość powietrza wewnętrznego lecz towarzyszy temu znaczny wzrost potrzeb cieplnych na podgrzanie powietrza wentylacyjnego sięgający 80 %.



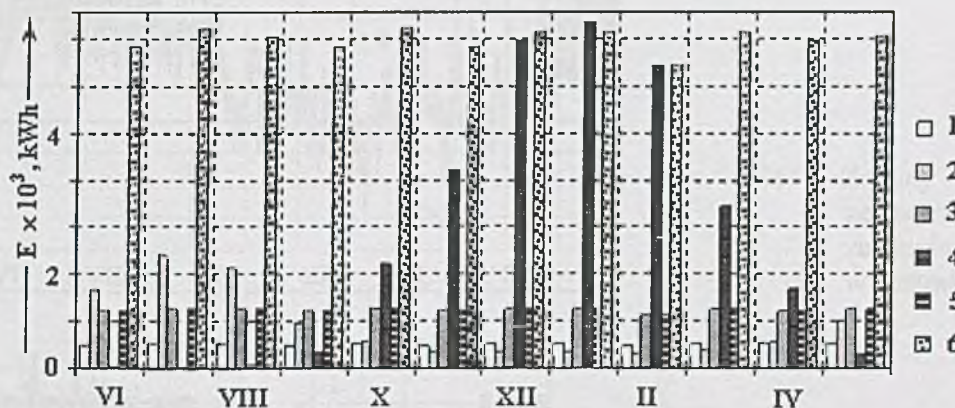


Rys. 11. Widok i rzut piętra budynku (M1, M2, M3 – mieszkania, KL – klatka schodowa, PP – przedpokój, P1, P2, P3 – pokoje, K – kuchnie, Ł – łazienki, 1 – nawiew powietrza, 2 – jw., lecz wywiew, 3 – centrala Renovent Excellent z rekuperatorem

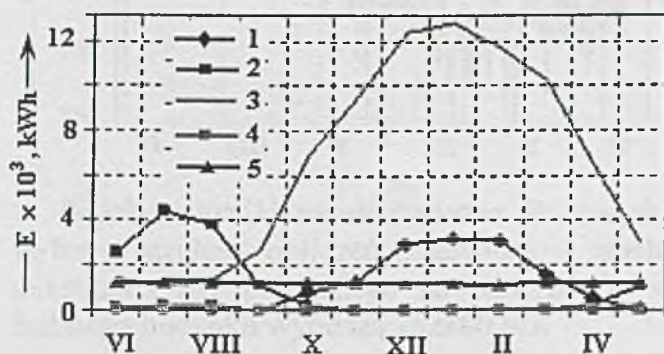
Tabela 5. Przepływy powietrza i potrzeby cieplne w badanym budynku

Wyszczególnienie	Wersja 1	Wersja 2
Wymiana powietrza, 1/h	0,2÷0,3	0,5÷0,9
Ciepło do podgrzania powietrza, kW	45,4	83,5
Całkowite/sezonowe potrzeby cieplne, kW/MJ	74,7/177992	123,1/968882

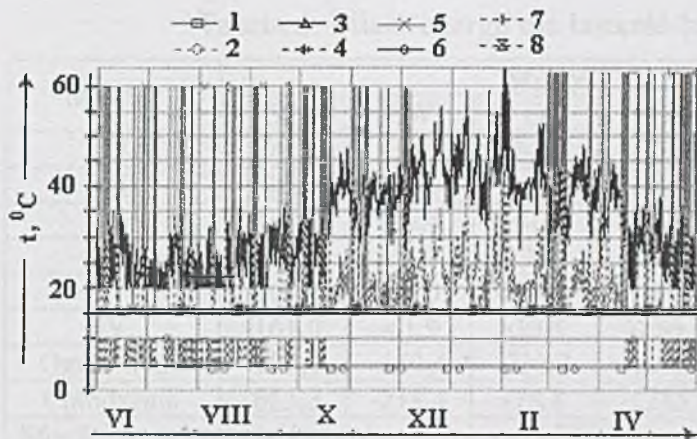
Jednocześnie sumaryczne potrzeby cieplne rosną o 64 %, a energetyczne potrzeby sezonowe około 5 razy. Parametry wykorzystanej centrali wentylacyjnej z odzyskiem ciepła w trzeciej z analizowanych wersji systemu zebrano na rys. 12÷17.



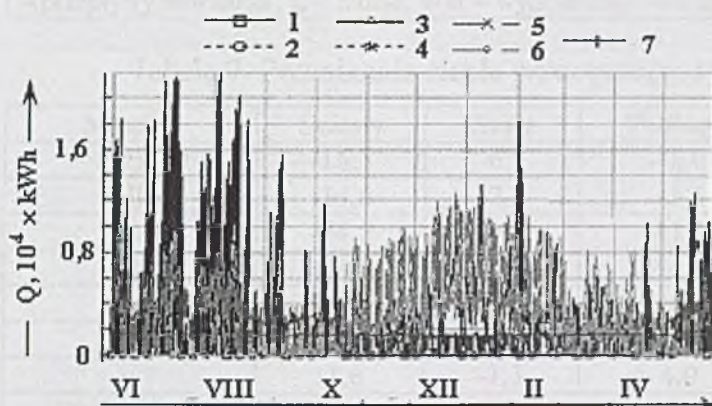
Rys. 12. Miesięczne dostawy energii na cele oświetlenia (1), chłodzenia (2), pracy urządzeń klimatyzacyjnych (3), ogrzewania (4), wody użytkowej (5) i urządzeń domowych (6)



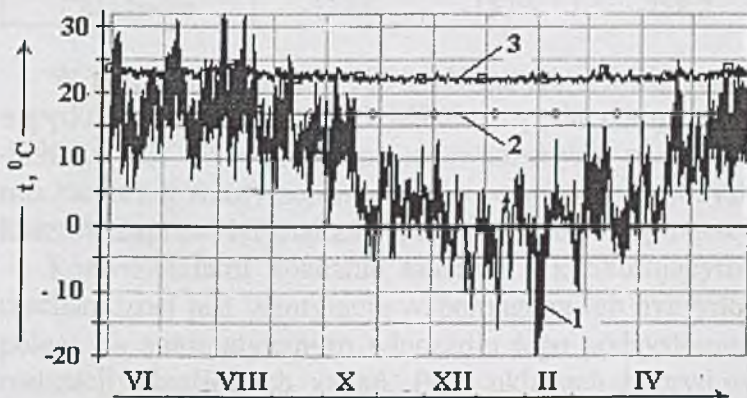
Rys. 13. Zużycie energii w centrali na ogrzewanie (1), chłodzenie (2), odzysk ciepła i chłodu (3 i 4), przez wentylatory (5)



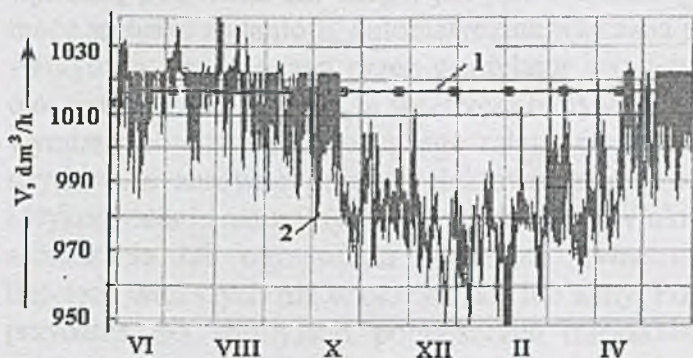
Rys. 14. Temperatury w kotle i chłodnicy. Oznaczenia: 1, 2 – woda chłodząca zasilająca i powrotna, 3 i 4 – woda chłodząca na zasilaniu i powrocie, 5 i 6 – woda grzewcza na zasilaniu i powrocie, 7 – zasilanie kotła, 8 – woda grzewcza z centrali



Rys. 15. Zmiany mocy grzewczej oraz chłodniczej. Oznaczenia: 1 – węzownica chłodząca, 2 – chłodnica, 3 – węzownica grzewcza, 4 – grzewcza kotła, 5 i 6 – idealna moc chłodnicza i grzewcza, 7 – woda użytkowa



Rys. 16. Zmiany temperatur zewnętrznych (1) i na zasilaniu i powrocie w centrali (2, 3)



Rys. 17. Zmiany przepływów powietrza na zasilaniu (1) i powrocie z centrali (2)

Podobne wyniki uzyskać można dla wszystkich pomieszczeń, a przykładem mogą być wybrane rezultaty obliczeń zestawione w tabelach 6 i 7 dotyczące pomieszczenia łazienki mieszkania M1 położonego na parterze. W efekcie sezonowe potrzeby na ogrzewanie badanego budynku wynoszą 232800 MJ.

Tabela 6. Bilans energii dla łazienki badanego mieszkania (kWh)

Miesiąc	Straty					Zyski		
	SZ	SW	O	WMN	PP	L	WW	OŚ
VI	-90,1	-39,5	34,6	-272,2	-28,5	40,0	392,6	17,4
VIII	-80,1	-41,1	21,6	-280,8	-26,5	41,4	404,2	17,9
X	-146,5	-46,4	-61,6	-265,2	-4,6	43,8	415,6	18,4
XII	-217,2	-31,9	-124,1	-237,9	-5,0	45,8	409,9	18,2
II	-206,6	-27,0	-106,4	-214,3	-4,9	41,3	369,5	16,4
IV	-161,0	-41,9	-30,8	-256,6	-5,2	42,1	398,3	17,7
Ogrzewanie	-700,0	-152,4	-238,2	-1090,8	-14,1	207,1	1173,6	52,0
Chłodzenie	-653,3	-218,4	-75,8	-1285,6	-119,0	183,7	2313,3	102,6

SZ – ściany zewnętrzne (z mostami cieplnymi), SW – ściany wewnętrzne, O – okna, WMN – wentylacja, PP – przepływy powietrza, L – ludzie, WW – wyposażenie wewnętrzne, OŚ – oświetlenie.

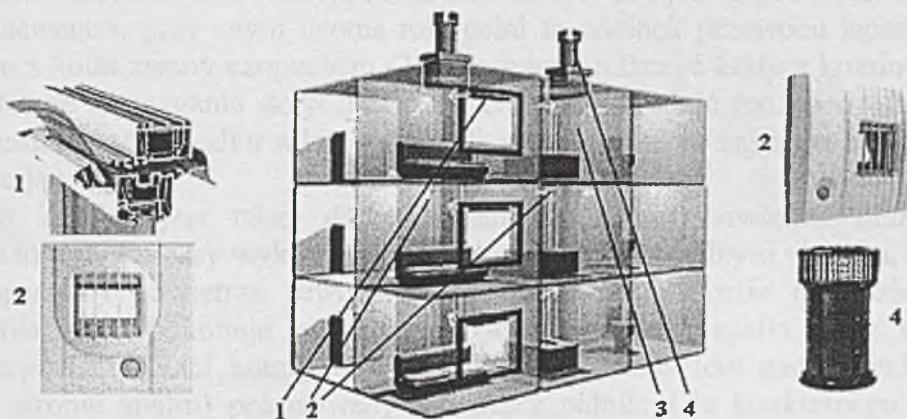
Tabela 7. Przenikanie ciepła przez przegrody w łazience badanego mieszkania(kWh)

Miesiąc	Ściany	Sufit	Podłoga	Okno	Mostki cieplne
VI	-16,5	-6,9	-48,0	-51,2	-18,7
VIII	-14,6	-2,8	-45,5	-47,6	-17,2
X	-44,5	-24,2	-41,4	-94,9	-36,3
XII	-74,6	-49,0	-40,8	-136,0	-52,8
I	-69,8	-48,4	-38,6	-128,7	-49,8
III	-45,8	-33,7	-47,5	-89,2	-34,1
V	-1,6	-1,3	-4,0	-1,8	-0,6
Ogrzewanie	-253.6	-81.7	-163.8	-527.2	-201.0
Chłodzenie	-139.6	-152.6	-258.2	-272.0	-102.8

W potrzebach tych 195990 MJ zużyte jest dla centrali wentylacyjnej, prawie 250 MJ do napędu wentylatorów, 0,85 MJ do napędu pomp, a łączne potrzeby energii sięgają około 429000 MJ. W efekcie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że droższe rozwiązanie mechanicznej wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła pozwala, przy pominięciu kosztów napraw, na znaczny spadek kosztów eksploatacji.

Rozwiązaniem znacznie tańszym i konkurującym z układami omówionej wentylacji mechanicznej jest wentylacja wspomagana lub hybrydowa. Strategia pracy tego rozwiązania polega na automatycznym włączaniu tego podsystemu, który w danej chwili nadaje się do realizacji określonych zadań. Przy układach hybrydowych wentylacja naturalna zapewnia wymianę powietrza tak długo, jak jest w stanie spełnić wymagania. W momencie, gdy nie może sprostać zadaniom, automatycznie włączana jest wentylacja mechaniczna. Jest to zatem wentylacja wspomagana przez wentylator wywiewny włączany gdy różnica ciśnień między otoczeniem zewnętrznym, a wnętrzem budynku jest zbyt mała dla zapewnienia odpowiedniej wymiany powietrza. Główną tego zaletą jest możliwość spadku zużycia energii napędowej, uzyskiwane zarówno przez projektowanie trasy kanałów o niskich stratach ciśnienia, jak i wykorzystanie naturalnych sił napędowych. W okresach przejściowych, gdy nie ma potrzeby schładzania lub ogrzewania powietrza zewnętrznego, dopływa ono do pomieszczeń w ilościach większych niż w okresie lata lub zimy. Powyższa zasada wydaje się być szczególnie przydatna dla wentylacji pomieszczeń mieszkalnych. System dostosowuje się w miarę automatycznie do okresów, w trakcie których pomieszczenia są nieużytkowane i ma możliwość intensyfikacji wymiany powietrza w przypadku powrotu użytkowników. Oznacza to rezygnację z układów realizujących stałą wymianę powietrza i zastąpienie ich systemami pozwalającymi na uzyskanie zmiennych strumieni powietrza, tak aby przy wzroście sprawności energetycznej uzyskać jednocześnie postulowaną poprawę jakości powietrza wewnętrznego. Realizowane jest zazwyczaj przez sterowane nadajne do zmian wilgotności

powietrza, uznaną za parametr charakteryzujący wystarczająco dobrze stan powietrza wewnętrznego. Postulaty te stały się podstawą do opracowania higrosterowanej wentylacji hybrydowej (patrz schemat umieszczony na rys. 18). Powietrze zewnętrzne jest dostarczane za pomocą nawiewników higrosterowanych (1 na rys. 18) do pokoi mieszkalnych, a jego usuwanie odbywa się z kuchni, łazienek, pomieszczeń WC, przez higrosterowane kratki wywiewne (2 na rys. 18).

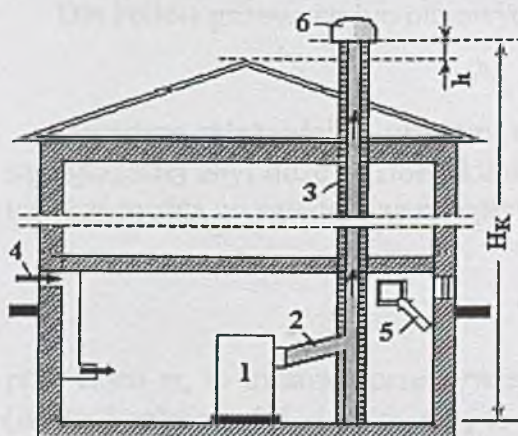


Rys. 18. Zasada działania wentylacji hybrydowej (opis w tekście)

Zachowując uprzednio uszczelnione istniejące kanały wentylacji naturalnej i umieszczając na nich higrosterowane otwory wywiewne, wylot główny kanału uzbrajany jest w nasady z niskooporowym wentylatorem (4 na rys. 18), wyłączanym gdy warunki pozwalają na działanie wentylacji naturalnej, a uruchomianym po wysłaniu impulsu z czujnika wskazującego brak ruchu powietrza w kanale. Nasady te mogą być umieszczone na kanale, spełniającym rolę kolektora słonecznego i podnoszącego temperaturę powietrza wywiewanego, a tym samym wydłużając okres działania wentylacji naturalnej. Są one umieszczane na głównym wylocie powietrza i zakończone wywietrzakami, eliminującym w trakcie silnego naporu wiatru tłoczenie powietrza kanałami do pomieszczeń. Innym rozwiązaniem są systemy ogrzewania powietrznego.

### Systemy kominowe i spalinowe

W przypadku wyposażenia budynków w kotłownię wewnętrzną będą one wyposażone w układy kominowe (patrz rys. 19). Istotność wpływu ich rozwiązań na wymianę powietrza w budynku, szczególnie z uwagi na ich szczelność, wymaga znajomości głównych wymagań odnośnie wyposażania kotłowni i rozwiązań kanałów dymowych (spalinowych).



Rys. 19. Wentylacja i usuwanie spalin z kotłowni wbudowanej [5.5]. Oznaczenia: 1 – kocioł, 2 – kanał dymowy (czopuch), 3 – kanał kominowy, 4 – napływ powietrza zewnętrznego (np. kanał zetowy), 5 – otwór wywiewny połączony do kanału wentylacyjnego, 6 – nasada na wylocie z kanału kominowego (umieszczona na wysokości  $h \geq 0,6$  m nad najwyższym punktem dachu)

Kotłownia taka powinna posiadać kanał wywiewny o powierzchni równej 25 % pola przekroju komina, lecz nie mniejszej niż 200 cm<sup>2</sup>. Dobrze jest, gdy otwory nawiewne zlokalizowane są nad podłogą kotłowni, zaś otwory wywiewne pod jej sufitem i w bezpośrednim sąsiedztwie komina (5 na rys. 19), przy czym zależy to od rodzaju paliwa. Gdy stosowane są kotły gazowe, wówczas napływ i odpływ powietrza wentylacyjnego musi odbywać się bezpośrednio przez przegrodę zewnętrzną, a wyjątkiem są kotły z zamkniętą komorą spalania. Podstawową funkcją komina (3 na rys. 19) jest odprowadzenie produktów spalania na zewnątrz, przy czym istotną rolę pełni tu odcinek przewodu łączącego króciec wylotu spalin z kotła zwany czopuchem (2). Powinien on łączyć kotły z kominem w sposób szczelny. Główne wymagania dotyczące czopuchów sprowadzić można do zalecenia jego izolowania termicznego, spadku w kierunku kotła wynoszącym co najmniej 5 % oraz długości nie przekraczającej 7 m.

Zadaniem komina jest także doprowadzenie (zassanie) powietrza niezbędnego do spalania. Ma to miejsce przy wykorzystaniu kotłów z tzw. naturalnym ciągiem, zależnym od różnicy temperatury powietrza zewnętrznego i temperatury spalin na poziomie wylotu z komina. Siła ciągu pokonuje sumaryczne opory przepływu spalin przez kocioł, kanał dymowy (czopuch) i kanał kominowy. W kotłach z paleniskiem nadciśnieniowym, opór w kotle (po stronie spalin) pokonywany jest przez palnik. Dla konkretnego budynku do dyspozycji jest szereg danych wstępnych, takich jak moc cieplna kotła oraz wysokość komina ( $H_K$  na rys. 19). Jeżeli nie można przyjąć wysokości komina lub gdy należy sprawdzić czy siła jego ciągu jest wystarczająca dla poprawnego działania układu usuwania spalin przez komin o danej wysokości  $H_K$  wykorzystuje się zależność:

$$H_K = \frac{P_{st}}{\rho_e - \rho_s}, \text{ m}$$

gdzie:  $P_{st}$  to statyczna siła ciągu kominowego będąca podciśnieniem na wlocie spalin do komina (w Pa), zaś  $\rho_e$  i  $\rho_s$  to gęstości powietrza zewnętrznego i spalin.

Jeżeli siła ciągu nie jest wystarczająca dla poprawnego funkcjonowania układu, wtedy konieczne jest zwiększenie wysokości komina. Celem dalszych obliczeń jest dobór pola przekroju komina lub, dla założonej powierzchni komina, określenie największego natężenia tego ciągu. Mając wysokość komina można obliczyć powierzchni przekroju ( $A_K$ ):

$$A_K = \frac{2,6 \times Q_K}{m \sqrt{H_K}}, \text{ m}^2$$

gdzie:  $Q_K$  jest wydajnością cieplną kotła węglowego (kW), a  $m$  to współczynnik korekcyjny o wartościach zależnych od rodzaju paliwa i wynoszący 900 (dla drewna), 1400 (dla węgla), 1600 (dla koksu) i około 1800 (dla paliw ciekłych i gazowych).

Dla kotłów gazowych lub olejowych przekrój komina można obliczyć z zależności:

$$A_K = 15 \times Q_K / H_K, \text{ cm}^2$$

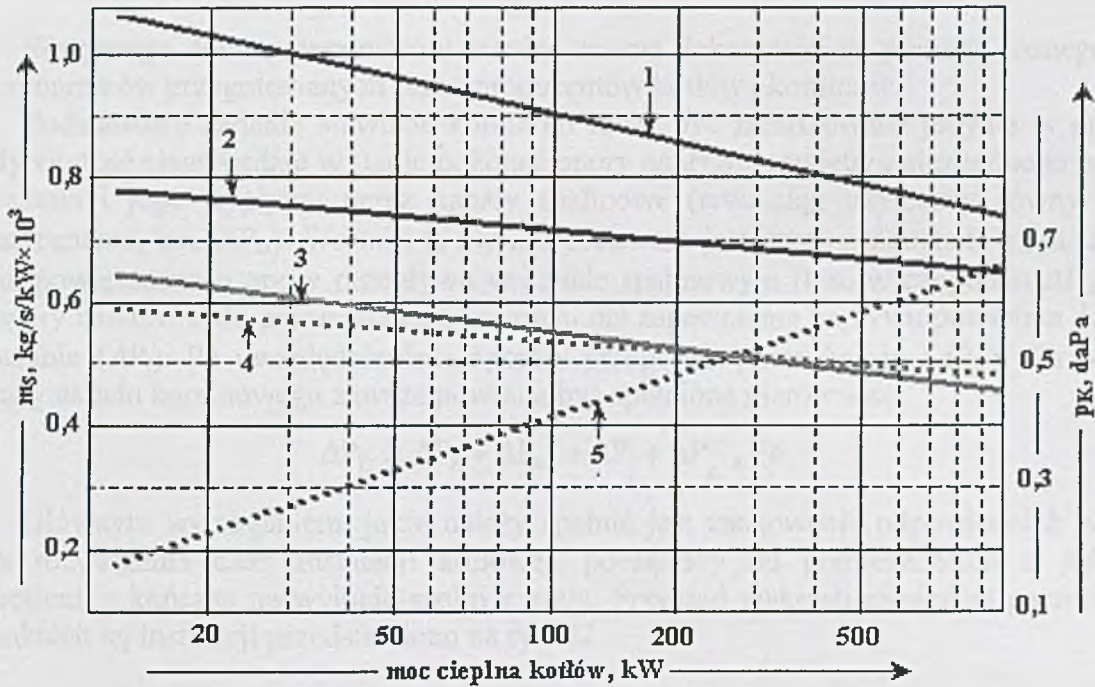
Powyższe zależności są wzorami uproszczonymi, a uzyskiwane pola przekroju kominów są najczęściej zbyt duże w stosunku do wymagań. Precyzyjniejsze obliczenia tego przekroju uzyskać można uwzględniając przepływ masowy spalin ( $m$ ), a mianowicie:

$$A_K = \frac{m}{\rho_s \times v_s}, \text{ m}^2$$

przy czym  $m_s$  to masowy przepływ spalin (kg/s),  $v_s$  jest średnią prędkością ich przepływu (wartość zalecana 0,5÷1 m/s), a  $\rho_s$  to gęstość właściwa spalin, którą do obliczeń wstępnych przyjmuje się 0,7÷0,8 kg/m<sup>3</sup>; masowy przepływ spalin oszacować z przybliżonego wzoru:

$$m_s = \frac{(0,50 \div 0,65)}{1000} \times Q_K, \text{ kg/s}$$

Orientacyjne dane dotyczące strumienia masowego spalin w zależności od mocy cieplnej wybranych kotłów, a także strat ciśnienia w tych kotłach przedstawiono na rys. 20.



Rys. 20. Zależność strumienia masy spalin ( $m_s$ ) od mocy cieplnej i strat ciśnienia w wybranych kotłach [5.5]. Oznaczenia: 1 – kocioł na paliwo stałe, 2 – kocioł gazowy (bez dmuchawy), 3 – kocioł olejowy, 4 – j.w. lecz z dmuchawą, 5 – niezbędne ciśnienie w kominie

Gęstość spalin można obliczać w sposób teoretyczny, z równania  $\rho_m = \rho_u(T_u/T_{sm})$ , gdzie  $\rho_u$  jest gęstością właściwą spalin w warunkach umownych, tzn. dla bezwzględnej temperatury umownej  $T_u = 273,15\text{K}$ , zaś  $T_m$  to bezwzględna średnia temperatura spalin w kominie (K). Średnia gęstość spalin zależy od średniej temperatury spalin ( $t_{sm}$ ) i współczynnika przenikania ciepła przez ścianki komina ( $U_K$ ), a temperaturę ścianki wynosi:

$$t_{sm} = t_{pn} + \frac{t_{sw} - t_{pn}}{K} (1 - e^{-K}), \text{ } ^\circ\text{C}$$

gdzie:  $t_{pn}$  to temperatura powietrza napływającego do pomieszczenia (przyjmowana około  $+15^\circ\text{C}$ ),  $t_{sw}$  jest temperaturą spalin na wlocie do komina ( $^\circ\text{C}$ ), a  $K$  to tzw. współczynnik chłodzenia komina, wyrażony stosunkiem:

$$K = \frac{H_K \times U_K \times O}{m_s \times c_w}$$

przy czym  $O$  jest wewnętrznym obwodem kanału spalinowego (m), a  $c_w$  to właściwa pojemność cieplna (równa około  $1050 \text{ J/kgK}$ ).

Orientacyjne wartości współczynników przenikania ciepła zebrano w tabeli 8 (są one zależne też od przekroju komina i prędkości przepływu spalin). Dysponując powyższymi danymi i funkcją  $e^{-K}$ , można także obliczyć temperaturę spalin odpływających z komina ( $t_{sw}$ ):

$$t_{sw} = t_{pn} + (t_{ws} - t_{pn}) \times e^{-K}, \text{ } ^\circ\text{C}$$

przy czym  $t_{ws}$  to temperatura spalin dopływających do komina ( $^\circ\text{C}$ ).

Tabela 8. Wartości współczynników przenikania ciepła dla wybranych kominów

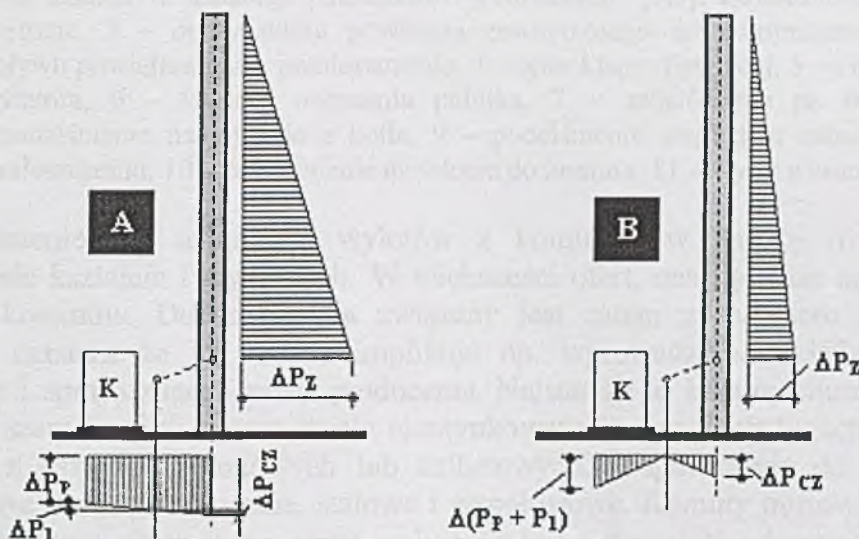
Rodzaj komina	$U_K, W/m^2K$
Komin stalowy z izolacją termiczną	1,5÷2,0
Komin murowany, grubość ścianki 25 cm/12 cm	2,0÷3,0/2,5÷3,5
Komin stalowy bez izolacji termicznej	3,0÷5,5

Wstępnego doboru parametrów komina można dokonywać za pomocą różnego rodzaju nomogramów przygotowanych przez producentów kotłów i kominów.

Podstawowe zadanie stawiane kominom może być zrealizowane jedynie w przypadku, gdy wartość ciągu będzie w stanie pokonać opory napływu powietrza niezbędnego w procesie spalania i jego wypływu przez kanały spalinowe (tzw. ciąg użyteczny równy ciśnieniu statycznemu, tzn.  $\Delta P_U$ ). Wartość ta zwykle podawane jest przez producenta kotła ( $\Delta P_p$ ). Jest ona powiększana o opory przepływu w kanale spalinowym (tzn. w czopuchu  $\Delta P_{cz}$ ) i przez otwory nawiewne do pomieszczenia kotłowni dla zapewnienia napływu powietrza do procesu spalania ( $\Delta P_I$ ). Po uwzględnieniu oporów przepływu przez komin ( $\Delta P_K$ ), dla poprawnej pracy układu kominowego zawsze powinna być spełniona nierówność:

$$\Delta P_U \geq \Delta P_z + \Delta P_{cz} + \Delta P_I + \Delta P_K, \text{ Pa}$$

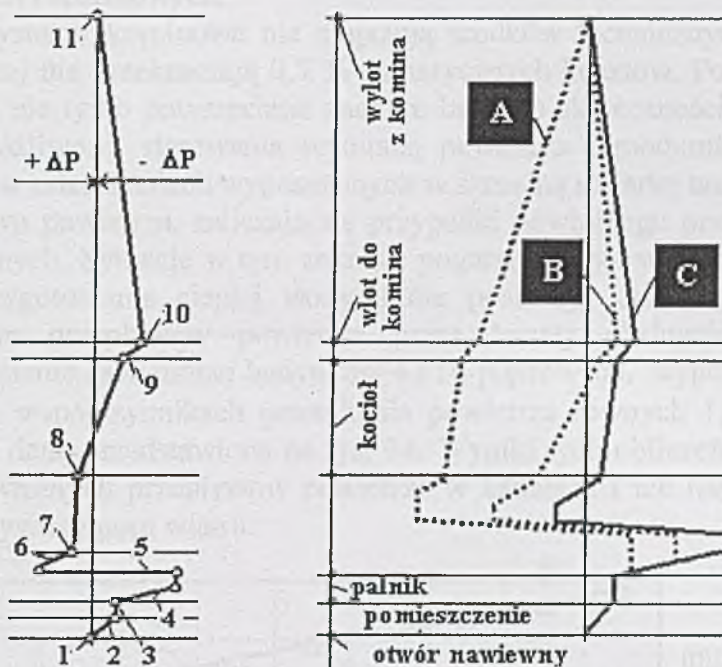
Głównym wymaganiem, jakie należy spełnić jest zachowanie odpowiednich warunków dla rozwiązania całej instalacji kotłowej, począwszy od pomieszczenia z paleniskiem i kotłem, a kończąc na wylocie spalin z kotła. Przykład wykresu ciśnień w poszczególnych punktach tej instalacji przedstawiono na rys. 22.



Rys. 22. Wykresy ciśnień w kominach z ciągiem naturalnym (A) i nadciśnieniowych (B). Oznaczenia:  $\Delta P_U$  – wartość ciągu użytecznego, będąca różnicą pomiędzy ciągiem statycznym ( $\Delta P_S$ ) a jego stratami ( $\Delta P_{Ss}$ ),  $\Delta P_p$  – wartość konieczna do wytworzenia ciepła,  $\Delta P_{cz}$  – straty przepływu przez kanał spalinowy,  $\Delta P_I$  – straty na dopływie powietrza do pomieszczenia kotłowni

W zależności od sposobu rozwiązania takiej instalacji występować może inny przebieg ciśnień, co ilustruje schemat przedstawiony na rys. 23. W przypadku A (kocioł kondensacyjny głębokiego schładzania) układ ten funkcjonuje w nadciśnieniu i wymaga zastosowania wentylatora o dużej mocy ze względu na niskie ciśnienia w kominie. Z kolei przypadek B dotyczy kotła niskoparametrowego ze standardowym palnikiem nadmuchiowym, dla którego istotne jest ciśnienie na jego wylocie w przybliżeniu równe ciśnieniu panującym

w pomieszczeniu. Przypadek C ilustruje instalację paleniskową z kotłem atmosferycznym wymagającym ciągu, który pracuje w podciśnieniu, a powietrze do procesu spalania dostarczane jest jedynie dzięki ciśnieniu spoczynkowemu kominia (będącego efektem istnienia naturalnych różnic temperatur w kominie i na zewnątrz).



Rys. 23. Wykres ciśnień w instalacji paleniskowo-kominowej [5.5]. Oznaczenia: 1 – otoczenie zewnętrzne, 2 – opory wlotu powietrza zewnętrznego do pomieszczenia, 3 – opory przepływu powietrza przez pomieszczenie, 4 – opór kłapy dławiącej, 5 – ciśnienie tłoczenia wentylatora, 6 – komora mieszania palnika, 7 – nadciśnienie na wlocie do kotła, 8 – nadciśnienie na wylocie z kotła, 9 – podciśnienie względem ciśnienia panującego w pomieszczeniu, 10 – podciśnienie na wlocie do kominia, 11 – wylot z kominia

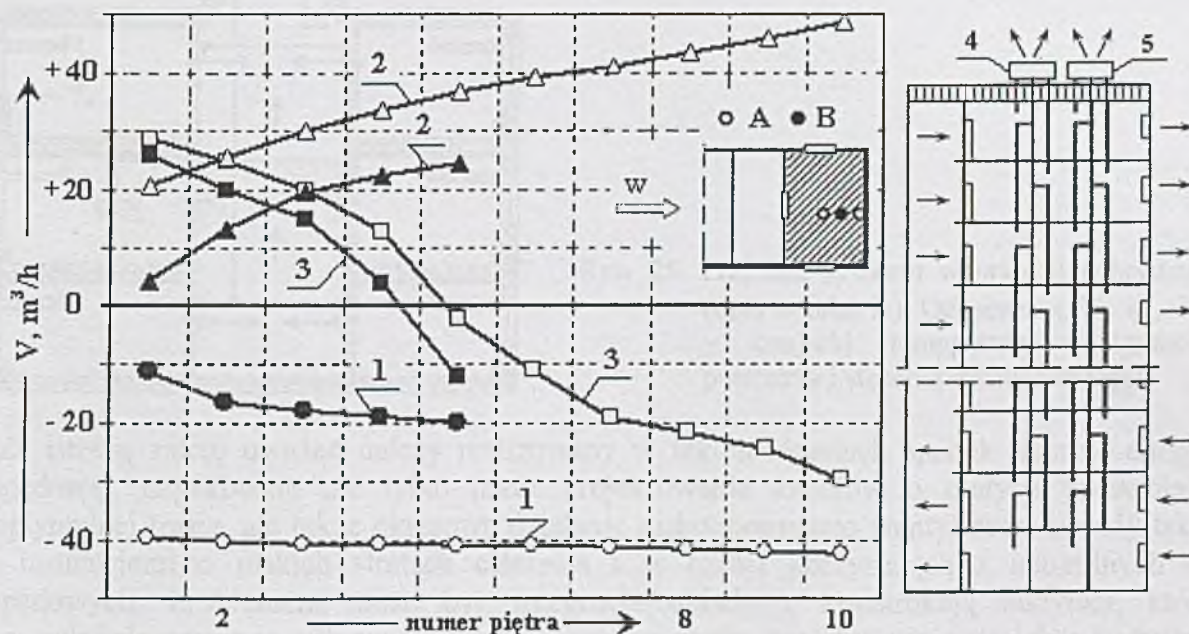
Duże znaczenie ma uzbrojenie wylotów z kominów w nasadę o uzasadnionym aerodynamicznie kształcie i wymiarach. W większości ofert, nasady takie są proponowane producentów kominów. Dobór kominia związany jest zatem z rodzajem zastosowanych kotłów, a to oznacza że ich wybór implikuje np. wprowadzenie układu kominowego preferowanego i sprawdzonego przez producenta. Najstarsze to kominie murowane z cegieł zwykłych lub szamotowych (wewnętrznie nicotynkowane i o gładkich fugach) oraz kominie wykonywane z kształtek betonowych lub żelbetowych. Współcześnie do dyspozycji są wielowarstwowe kominie murowane, stalowe i współosiowe. Kominie murowane złożone są z dwóch warstw, przy czym wewnętrzna wykonana jest z materiału odpornego na działanie kondensatu (np. rury ceramicznej umieszczonej wewnątrz kanału murowanego) oraz izolowane cieplnie (mogą też być stosowane wkładki ze stali nierdzewnej lub kwasoodpornej). Stalowe kominie wykonane są z warstwy właściwej (stali) oraz izolacji cieplnej, osłoniętej płaszczem zewnętrznym ze stali nierdzewnej, kwasoodpornej lub aluminium. Kominie współosiowe stosowane dla kotłów z zamkniętą komorą spalania, składające się z przewodu usuwającego spalinę, umieszczonego wewnątrz i zewnętrznego przewodu doprowadzającego powietrze do spalania. Z uwagi na niskie temperatury spalin z kotłów kondensacyjnych stosowane są również kominie wykonane z tworzyw sztucznych.

Oprócz powyżej omówionych systemów kominowych w budynkach stosowane są układy wentylacyjne oraz spalinowe. Ich zadaniem jest doprowadzenie do wymiany powietrza zużytego na zewnątrz we wszystkich pomieszczeniach i usuwanie produktów spalania (np. z łazienkowych pieców gazowych). Najbardziej popularne, tradycyjne rozwiązania



wentylacyjnych układów naturalnych, nie posiadając jednoznacznie ustalonego wlotu i wylotu powietrza oraz stałych sił napędowych, nie tworzą w powszechnym rozumieniu instalacji. Jest to jedynie model wymiany powietrza, bez jednoznacznie określonych miejsc napływu powietrza i silnie zmiennych naturalnych sił napędowych. Dotyczy to również kanałów dymowych i spalinowych.

W praktyce systemy kominowe nie angażują środków technicznych i nakłady z nimi związane zazwyczaj nie przekraczają 0,5 % sumarycznych kosztów. Poza tym ich działanie charakteryzuje się nie tylko powszechnie znanym brakiem skuteczności eksploatacyjnej, ale także brakiem możliwości sterowania wymianą powietrza i modernizacji. Do typowych nieprawidłowości w mieszkaniach wyposażonych w szczelną stolarkę budowlaną i przy braku organizacji napływu powietrza, zaliczają się przypadki odwrotnego przepływu powietrza w kanałach wywiewnych. Sytuację w tym zakresie pogarsza częste wykorzystywanie urządzeń gazowych do przygotowania ciepłej wody, które posiadają kanały do usuwania spalin. Przykładem zmian przepływów powietrza przez kanały obsługujące pion mieszkań położonych przy ścianie zawietrznej budynków 4 i 10-piętrowych, wyposażonych w zbiorcze kanały, w okna o współczynnikach przenikania powietrza równych  $1,0 \text{ m}^3/\text{mh}$  (dla  $\Delta p = 1 \text{ daPa}$ ), mogą być dane przedstawione na rys. 24. Wyniki tych obliczeń potwierdzają częste występowanie odwrotnych przepływów powietrza w kanałach i ich nasilenie w warunkach dominującego wpływu naporu wiatru.

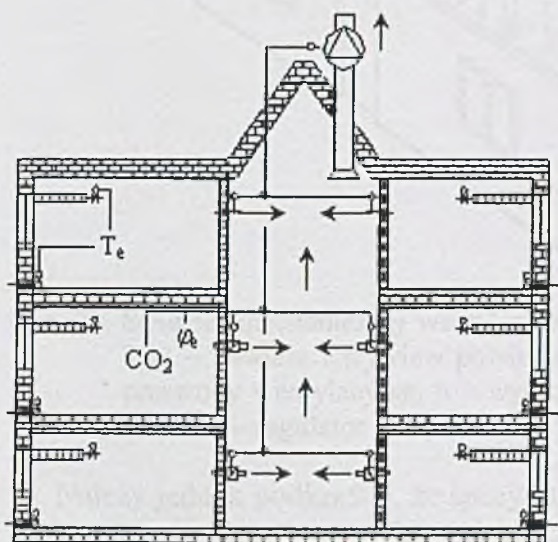


Rys. 24. Strumienie powietrza przepływające kanałami wentylacyjnymi (A) i spalinowymi (B) w 4 i 10-piętrowych budynkach dla  $t_i = +20^\circ\text{C}$ ,  $t_e = +3^\circ\text{C}$ ,  $w \geq 10 \text{ m/s}$ . Oznaczenia: 1 – strumienie powietrza wentylacyjnego, 2 – jw., lecz przez drzwi wejściowe, 3 – jw., lecz przez kanały spalinowe (B), 4 – kanały wentylacyjne, 5 – jw., lecz spalinowe

Na uwagę zwraca fakt występowania odwrotnych przepływów w kanałach spalinowych umieszczonych w części mieszkań położonych na górnych piętrach budynków, mimo większego wyporu cieplnego niż w kanałach wywiewnych (średnią temperaturę spalin przyjęto  $+55^\circ\text{C}$ , a powietrza w kanałach wentylacyjnych  $+20^\circ\text{C}$ ). Działanie wiatru potęguje odwrotny przepływ powietrza kanałami, a przy nieszczelnościach kanałów wentylacyjno-spalinowych wykonanych z materiałów budowlanych i umieszczanych zazwyczaj obok siebie, dochodzić może do napływu mieszaniny powietrza zewnętrznego, a nawet spalin do pomieszczeń. Z tego też względu za konieczne uważać można usunięcie urządzeń do indywidualnego przygotowania wody użytkowej i towarzyszących im kanałów spalinowych

oraz zastąpienie indywidualnego przygotowania tej wody, szczególnie urządzeń gazowych, dwufunkcyjnymi układami grzewczymi wraz z zorganizowaniem napływu powietrza do pomieszczeń. Wprowadzanie służących temu otworów nawiewnych, w części poprawiających działanie kanałów i zwiększających wymianę powietrza w trudnym do przewidzenia stopniu, jest jedynym praktycznie lecz rzadko stosowanym sposobem modernizacji wentylacji w budynkach istniejących.

Dotyczy to w pewnym stopniu również wspomnianych powyżej układów wentylacji hybrydowej, realizujących współpracę układów wentylacji naturalnej i mechanicznej. Najprostszy i najtańszy układ (1+1,5 % kosztów całkowitych) przedstawiono na rys. 25. Warunkiem jego działania jest spełnianie przez wentylację naturalną swego zadania do momentu gdy następuje np. wyrównanie temperatur powietrza zewnętrznego i wewnętrznego, a następnie włączenie wentylatora po tym okresie. Ponadto, w okresie letnim powietrze zewnętrzne może być doprowadzane za pomocą np. klimatokonwektorów indukcyjnych umieszczonych pod oknami, co wydaje się szczególnie pożądane dla budynków o dużej izolacyjności cieplnej jako urządzenie zabezpieczające przed nadmiernym przegrzewaniem.

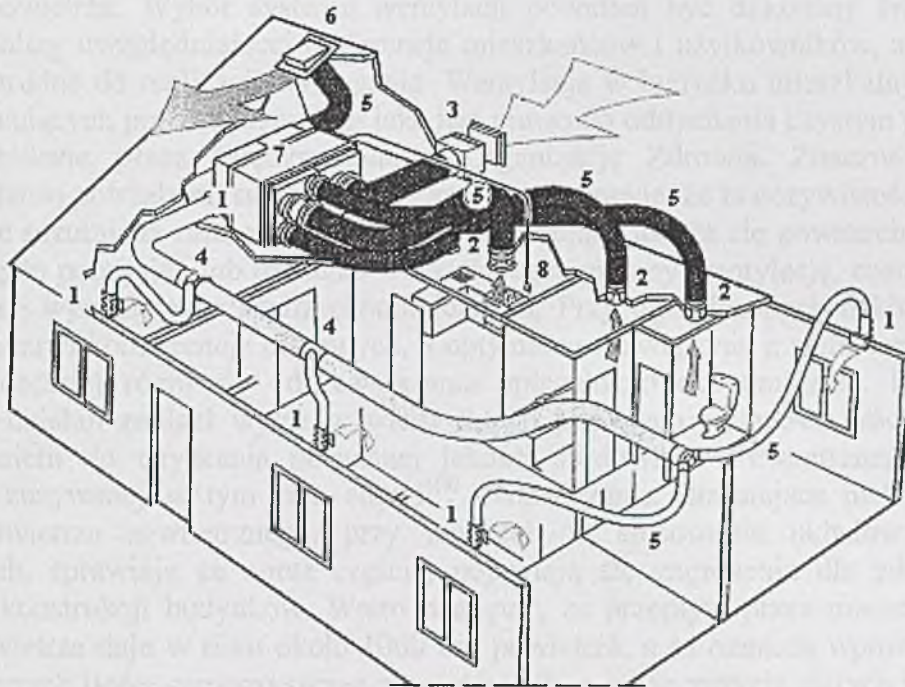


Rys. 25. Przykład systemu wentylacji hybrydowej (opis w tekście). Oznaczenia:  $T_e$ ,  $\varphi_e$ ,  $CO_2$  – czujniki temperatury, wilgotności powietrza i stężenia dwutlenku węgla

Za istotną zaletę uważać należy realizowany w takich układach spadek zużycia energii napędowej, uzyskiwane nie tylko przez projektowanie kanałów o małych przekrojach i optymalnej trasie, ale także okresowe działanie niskooporowego wentylatora. Układy takie są instalacjami o niskich stratach ciśnienia i w części korzystającą z naturalnych sił napędowych. Problemem może być integracja układu z konstrukcją budynku, która bezwzględnie powinna odbywać się we wczesnym etapie projektowania projektu budynku. Największą trudność sprawić może zaprojektowanie naturalnego podsystemu wentylacji hybrydowej, tak aby przy dowolnej zmianie warunków otoczenia i wnętrza, możliwe było energooszczędne sterowanie obydwoma modułami. Układy te mogą być też stosowane w trakcie modernizacji budynków, co przy często głębokiej ingerencji w ich konstrukcje i normalne użytkowanie pomieszczeń, oznacza konieczność wydatkowania dodatkowych kosztów. Uzupełnienie systemu wentylacyjnego nasadą hybrydową może skutecznie eliminować szereg nieprawidłowości oraz poprawić wymianę powietrza i jego jakość, przy stosunkowo małym wzroście energii zużywanej do napędu wentylatora.

W budynkach nowych rozważać można śmielsze niż dotychczas sięganie po skuteczne rozwiązania instalacji wentylacyjnych, w których nawiew i wywiew powietrza może być uzyskiwany w sposób adekwatny do potrzeb, a przede wszystkim poddawany sprawdzaniu i rozliczaniu. Są nimi być systemy mechanicznej wentylacji nawiewno-wywiewnej, które umożliwiają pełną hermetyzację budynków, filtrację powietrza doprowadzanego do budynku

i skuteczną realizację działań energooszczędnościowych w przypadku zastosowania urządzeń do odzysku ciepła (rys. 26). Oznacza to również, że uzasadnione będzie w tym przypadku twierdzenie o korzystaniu ze świeżego powietrza i skuteczna realizacja jednego z istotnych wymagań odnośnie do klimatu wewnętrznego, jakim jest jakość powietrza wewnętrznego.



Rys. 26. Schemat mechanicznej wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła. Oznaczenia: 1, 2 – nawiew i wywiew powietrza, 3 – czerpnia, 4 – trójniki, 5 – izolowane elastyczne przewody wentylacyjne, 6 – wyrzutnia powietrza, 7 – centrala z urządzeniem do odzysku ciepła, 8 – regulator przepływu

Należy jednak podkreślić, że specyficzny charakter budynków mieszkalnych (szczególnie wielorodzinnych), wymaga innej jakości i dokładności projektowania oraz wykonywania i montażu systemu, niż ma to miejsce w obiektach o innym przeznaczeniu, co dotyczy głównie regulacji hydraulicznej i eliminacji dźwięków związanych z pracą instalacji. Wskazane jest więc wykorzystanie w budynkach jednorodzinnych układów z funkcją ogrzewania powietrza, a w wielorodzinnych wentylacji zdecentralizowanej (patrz rys. 10). Wentylacja mechaniczna nie może być tak cicha jak wentylacja naturalna, ponieważ ruch powietrza jest wymuszany przez wentylatory, których silniki wytwarzają hałas. Najgłośniej pracują małe ściennie wentylatory montowane w kratkach wywiewnych, najmniej natomiast centrale wentylacyjne montowane z dala od pomieszczeń mieszkalnych. Oprócz wentylatorów w instalacji wentylacyjnej mogą hałasować także źle dobrane kanały wentylacyjne (gdy będą zbyt wąskie przepływające nimi powietrze będzie szumiało) albo nieprawidłowo dobrane lub źle wyregulowane nawiewniki. W najbliższym czasie należy liczyć się ze wzrostem wymagań w odniesieniu hałasu od urządzeń dla zrealizowania kryterium komfortu akustycznego. Ponadto rozważa się wprowadzenie też klasyfikacji akustycznej budynków mieszkalnych.

Zastosowanie mechanicznej wentylacji nawiewno-wywiewnej oznacza także konieczność wydatkowania znacznych nakładów. Koszty inwestycyjne stanowią w tym przypadku 3+5% sumarycznych nakładów na realizację budynków, ale rosną także koszty eksploatacji. Są one wynikiem sposobu prowadzenia przewodów i związanych z nimi oporów przepływu, co rzutuje na dobór wentylatorów i zużytą przez nie energię. Ponadto, koszty te będą wzrastać na skutek niezbędnych i częstych w tym przypadku operacji konserwujących i czyszczących.

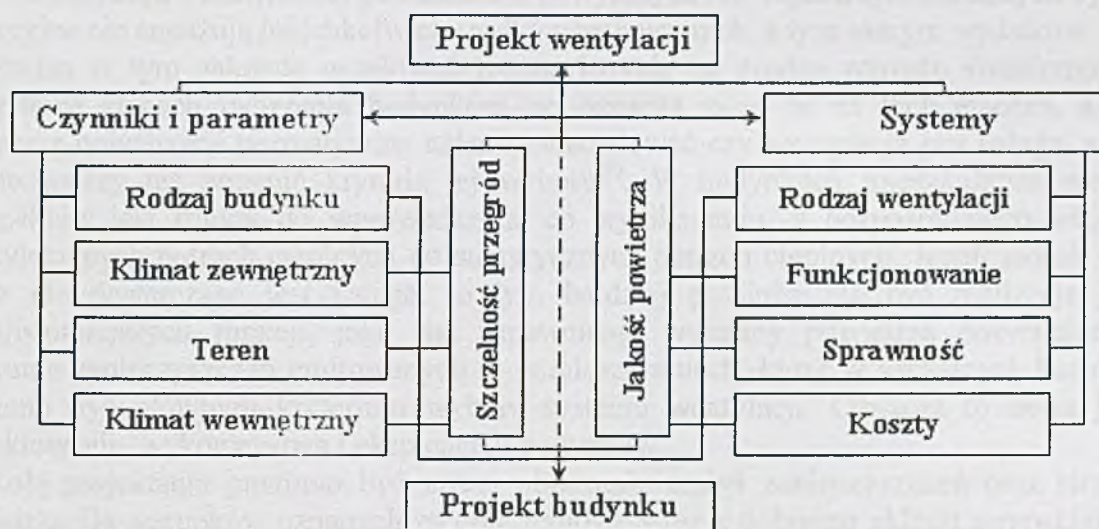
## Wybrane problemy wyboru systemu wentylacji

W zależności od stosowanych rozwiązań wentylacji przepływ powietrza przez budynki odbywa się dzięki naturalnym lub mechanicznym siłom napędowym, co generuje określone koszty zwiększające w różnym stopniu koszty związane z ogrzewaniem lub, rzadziej, chłodzeniem powietrza. Wybór systemu wentylacji powinien być dokonany świadomie na podstawie analizy uwzględniającej preferencje mieszkańców i użytkowników, a nie jedynie w oparciu o trudne do realizacji wymagania. Wentylacja w budynku mieszkalnym realizuje jedną z dominujących potrzeb człowieka jaką jest prawo do oddychania czystym powietrzem, silnie akcentowane przez Międzynarodową Organizację Zdrowia. Znaczne obciążenie krajowego bilansu potrzebami sektora mieszkaniowego sprawia, że ta oczywistość nie zawsze jest właściwie rozumiana oraz realizowana. Za dominujące uważa się powszechnie systemy grzewcze, często pomijając lub traktując w sposób uproszczony wentylację, czemu sprzyjają sprzeczne dane wynikające z analiz ekonomicznych. Przy ograniczonych nakładach każde urządzenie stanowi konkurencję dla innych, a optymalne rozwiązanie z technicznego punktu widzenia najczęściej różni się od rozwiązania opłacalnego ekonomicznie. Priorytet tak rozumianych działań znalazł wyraz w wielu aktach prawnych i stanowi źródło konfliktu między dążeniem do uzyskania pożądanej jakości środowiska wewnętrznego, a chęcią ograniczania zużywanej w tym celu energii<sup>(8)</sup>. Rozwiązania eliminujące niekontrolowaną infiltrację powietrza zewnętrznego, przy niechęci do stosowania układów wentylacji mechanicznych, sprawiają że coraz częściej pojawiają się zagrożenia dla zdrowia ludzi i elementów konstrukcji budynków. Warto pamiętać, że przepływ przez mieszkanie około 100 m<sup>3</sup>/h powietrza daje w roku około 1000 ton powietrza, a to oznacza wprowadzenie do wnętrza znacznych ilości zanieczyszczeń zewnętrznych, a także zużycia dużych ilości ciepła do ich podgrzania. Przykładowo, stosując procedurę obliczania potrzeb cieplnych przyjmuje się, że na podgrzanie strumienia 1 m<sup>3</sup>/h powietrza potrzeba 38 kWh na przestrzeni sezonu grzewczego. Przy 120 m<sup>3</sup>/h (mieszkanie kategorii A1 na rys. 2) potrzeby te sięgają 4600 kWh, a np. dla 4 mln mieszkań oznacza to konieczność dostarczenia w sezonie grzewczym mocy ponad 3100 MW. Dlatego też w większości prac dotyczących wentylacji budynków mieszkalnych, akcentuje się zużycie energii, a nader rzadko analizuje aspekty zdrowotne i środowiskowe.

Jednym z mylących stwierdzeń jest podkreślanie, że obciążenie bilansu potrzeb cieplnych budynków potrzebami wentylacyjnymi wynosi około 50 %, co jest przyczyną pogłębiania się tendencji do dalszego obniżania wymiany powietrza. Często zapomina się, że 50 % udział ustalany jest dla nominalnych strumieni powietrza wentylacyjnego, mających w przypadku wentylacji naturalnej charakter życzeniowy. Tymczasem, dzięki hermetyzacji przegród, średnia wymiana powietrza realizowana za pomocą systemów tradycyjnych pozwala na uzyskanie jedynie niewielkiej wartości bazowej (np. patrz 1 na rys. 7). Ponadto, zmniejszenie strumieni powietrza oznacza brak pożądanego rozdziału powietrza w pomieszczeniach oraz pojawianie się w nich parametrów fizycznych powietrza zaburzających równowagę cieplną organizmu ludzkiego. Energia tych strumieni powietrza jest mała, tworzą się strefy bezruchu powietrza, a przy małej ich turbulencji, dużej stałej czasowej przepływów i wieku powietrza, następuje znaczna kumulacja zanieczyszczeń. Z uwagi na przeznaczenie i specyfikę omawianych budynków i pomieszczeń, wykorzystanie metod zintensyfikowania wymiany powietrza powszechnie stosowanych w budynkach jest utrudnione, a świadomy wybór

<sup>(8)</sup> Zgodnie z aktami prawnymi w budynkach o wysokości do 8 pięter może być stosowana wentylacja grawitacyjna lub mechaniczna, a doprowadzenie powietrza odbywać się może przez nieszczelności w oknach o współczynniku przenikania powietrza wyższym niż 0,5 i nie większym niż 1,0 m<sup>3</sup>/mh (daPa)<sup>0,67</sup>, pod warunkiem, że okna wyposażone są w skrzydła uchylno-rozwieralne, górny wywietrznik uchylny lub górne skrzydło uchylne. Natomiast w budynkach wyższych należy stosować wentylację mechaniczną wywiewną lub nawiewno-wywiewną.

systemu wentylacji jest nadal rzadko dokonywany na etapie projektowania budynku. Postępując konsekwentnie za stwierdzeniem, że wymiana powietrza jest jedną z głównych potrzeb użytkowników, wybór układu wentylacyjnego w budynku mieszkalnym powinien być realizowany równoległe z projektowaniem budynku. W konsekwencji o wyborze wentylacji współdecydują podobne parametry i czynniki jakie mają wpływ na projektowanie budynków (rys. 27). Pierwszą grupę stanowi komplet parametrów i czynników związanych z wpływem klimatu zewnętrznego (także lokalnego), typem budynku (wielkość, kształt, struktura, rozplanowanie wewnętrzne pomieszczeń itp.), terenem na którym położony jest budynek, jego wyposażeniem technicznym, możliwościami regulacji i sterowania parametrami klimatu wewnętrznego (np. własności urządzeń i instalacji).



Rys. 27. Parametry i czynniki współdecydujące o wyborze systemu wentylacyjnego (schemat)

W drugiej grupie czynników jest rodzaj układu wentylacyjnego, jego działanie oraz możliwość dostosowania do potrzeb, niezawodność działania, wysoka sprawność energetyczna, małe koszty inwestycyjne i eksploatacyjne oraz sposób współpracy z instalacją ogrzewania. Obie grupy czynników związane są ze sobą poprzez szczelność przegród i jakość powietrza.

Wybrany system wentylacji powinien być bezwzględnie wygodny dla użytkowników, przeciwdziałać zagrożeniom zdrowotnym, odpowiadać wymogom gospodarki cieplnej, umożliwiać konserwację itd. Schemat przedstawiony na rys. 27 ilustruje też trudności w określeniu poprawnych zasad projektowania wentylacji budynków mieszkalnych, dla których jedynym kryterium wyboru tradycyjnie pozostaje wysokość budynku, co wynika głównie z dominacji realizowanych w praktyce układów kanałowej wentylacji naturalnej. Tymczasem bez organizacji dopływu powietrza średnia wymiana powietrza w pomieszczeniach tych budynków nie przekracza 0,05/h (strumień powietrza zewnętrznego przypadający na osobę jest niższy od 5 m<sup>3</sup>/h), a częstym jest napływ powietrza zewnętrznego jednym z kanałów, nawet gdy zastosowane zostaną nasady wentylacyjne. W tym przypadku odczuwalny jest dyskomfort na skutek napływu kanałami powietrza zimnego, a sytuacja może się nasilić przy stosowaniu kominka. Ponadto, przy wykorzystaniu urządzeń gazowych z atmosferycznymi palnikami do kąpieli i przygotowania posiłków, a szczególnie ciepłej wody w bezokiennych łazienkach, pojawia się niebezpieczeństwo zagrożenia nie tylko zdrowia. Stan ten ulega jedynie pozornej zmianie przy zastosowaniu okien z funkcją rozszczelnienia (tzw. mikrowentylacja) i to tylko wtedy, gdy użytkownicy świadomie z niej korzystają, przy czym nie dotyczy to pomieszczeń bezokiennej. Z powyższego wynika, że w trakcie użytkowania pomieszczeń niezbędna jest dodatkowa wymiana powietrza, którą

zrealizować nie są w stanie tradycyjne systemy wentylacji. Teoretycznie dla uzyskania tej dodatkowej wymiany powietrza wykorzystać można dwa systemy. Działanie pierwszego z nich polega na dostosowywaniu przepływu powietrza do chwilowych potrzeb przez zastosowanie czujników lub urządzeń zmieniających intensywność wymiany powietrza; mogą to być zarówno układy wentylacji naturalnej, jak i mechanicznej wywiewnej (np. wentylacja higrosterowana). Drugi z systemów zakłada utrzymanie stałej wymiany powietrza i odzyskiwanie ciepła z powietrza zużytego, co wymaga stosowania centralnej lub zdecentralizowanej mechanicznej wentylacji nawiewno-wywiewnej. Oba systemy są w stanie zrealizować wymagania jakości powietrza, przy jednoczesnym ograniczeniu zużycia energii, a główna różnica wynika z różnych nakładów inwestycyjnych i eksploatacyjnych. To one właśnie decydują o niewielkiej popularności powyższych rozwiązań, tym bardziej że systemy tradycyjne nie angażują jakichkolwiek środków technicznych, a tym samym wydatków.

Zmian w tym zakresie oczekiwać można jedynie na drodze wzrostu świadomości na wszystkich etapach tworzenia budynków, co oznacza m.in. że na tych etapach, a także w trakcie nowelizacji normatywów należy zdecydować czy wentylacja jest usługą, a jeżeli tak to należy też zmienić kryteria jej wyboru<sup>(9)</sup>. W budynkach mieszkalnych pierwszy z aspektów jest trudny do wprowadzenia, co wynika m.in. z bezpośredniego włączania wentylacyjnych potrzeb cieplnych do sumarycznych potrzeb cieplnych. Jeżeli jednak ciepło przez nie dostarczane jest usługą, to tym bardziej powinna nią być realizacja jednej z najistotniejszych funkcji, jaką jest zapewnienie wymiany powietrza pozwalającej na usuwanie zanieczyszczeń emitowanych w pomieszczeniach, które w szczelnych budynkach powinno być głównym kryterium wyboru systemu wentylacji. Oznacza to nową jakość projektowania, wykonawstwa i eksploatacji budynków.

Rolą projektanta powinno być zatem obliczanie emisji zanieczyszczeń oraz strumieni powietrza dla warunków uznanych za obliczeniowe wraz z doбором układu zapewniającego odpowiednią wymianę powietrza. Wykonawca jest zobowiązany do realizacji projektu systemu, a użytkownik do eksploatacji w sposób zgodny z intencją projektanta. Stwierdzenie zawarte w konstytucji RP, że „...władze publiczne chronią konsumentów i najemców przed działaniami zagrażającymi ich zdrowiu...”, upoważnia te władze do inicjowania przez różne instytucje opracowania i wdrożenia zasad egzekwowania odpowiedzialności za zapewnianie nie tylko dobrej jakości powietrza. Należy dodać, że do takich działań zmusza bezpieczeństwo użytkowników w warunkach wystąpienia pożaru, wiążące się w dużym zakresie z rodzajem i działaniem wentylacji.

### **Modernizacja wentylacji**

Jednocześnie z ocieplaniem przegród zewnętrznych, a szczególnie przy towarzyszącym mu ich uszczelnianiu i częstej wymianie okien na konstrukcje szczelne, należy bezwzględnie zaplanować i zrealizować modernizację wentylacji pomieszczeń. Wentylacja spełnia w budynkach mieszkalnych istotną rolę, lecz nie ona jest tak spektakularna jak ocieplanie przegród. W trakcie podejmowania decyzji finansowych związanych z modernizacją budynków mieszkalnych, tak właściciele jak i użytkownicy nie zwracają zazwyczaj uwagi na wentylację, uznając że celem prac jest ograniczenie wydatków za zużywaną energię, a głównie opłat za ciepło do ogrzewania pomieszczeń. Tymczasem pomijanie tych zagadnień, a w efekcie stosowanie mało skutecznej wentylacji, może doprowadzać w okresie grzewczym do wietrzenia przez uchylanie lub otwieranie okien i niekontrolowanej, zazwyczaj nadmiernej

---

<sup>(9)</sup> Założenie, że wznoszenie budynków jest usługą świadczoną na rzecz użytkowników oznacza, że proces zaczynający się określeniem stawianych wymagań, kończyć się powinien potwierdzeniem ich dotrzymania też w trakcie użytkowania. Budynki, stanowiące zbiór wyrobów przeznaczonych do wbudowania, wyznaczają ramy przestrzeni, w której realizowane będzie użytkowanie, a respektowanie postanowień prawa budowlanego, mimo że stanowi wymóg konieczny, nie może być zatem uznane za warunek wystarczający.

wymiany powietrza i dodatkowego zużycia ciepła lub wymianie korespondującej z jej brakiem. Podstawą do wykonania skutecznej modernizacji wentylacji jest świadomość występowania różnych zanieczyszczeń i obciążeń jakie układ wentylacyjny ma usuwać z pomieszczeń, różnych typów i rozwiązań tego układu wraz z miejscami dopływu oraz wywiewu powietrza oraz możliwość ograniczenia zużycia energii. Do podstawowych zanieczyszczeń powietrza w mieszkaniach zalicza się różnego rodzaju obciążenia powodujące pojawianie się nieprzyjemnych zapachów, kondensację pary wodnej na szybach lub przegrodach itp. Tego typu zanieczyszczenia u świadomych użytkowników wywołują przeciwdziałanie im przez wykorzystanie dostępnych środków, jakimi jest głównie uchylanie lub otwieranie okien. W mieszkaniach występują też zanieczyszczenia niezauważalne bezpośrednio, np. związane z metabolizmem ludzi, zwierząt, roślin i niektórymi czynnościami takimi jak: suszenie bielizny czy gotowanie. Rzadko zapachy pochodzące z przygotowania potraw są traktowane jako obciążenie mieszkania wilgocią, która po kondensacji na chłodniejszych częściach przegród i wyposażenia może stać się przyczyną wystąpienia pleśni przy braku wentylacji. Wilgotność powietrza jest, oprócz jego temperatury, jednym z głównych parametrów klimatu wewnętrznego. Optymalna wilgotność względna to 40÷60%, przy temperaturze w granicach  $+ 20 \div 22^{\circ}\text{C}$ . Gdy wilgotność jest mniejsza nasilają się infekcje dróg oddechowych, pojawiają się pęknięcia drewnianych mebli, a farba na obrazach i tkaniny stają się kruche, łatwo ulegają uszkodzeniom. Na ubraniach i wykładzinach lub meblach utrzymują się ładunki elektryczne, które mogą nawet uszkodzić podzespoły komputera lub telewizora. Z kolei, zbyt wysoka wilgotność wywołuje wrażenie duszności, na szybach skrapla się para woda, drewno pęcznieje, pojawiają się pleśnie i grzyby. Należy pamiętać, że im wyższa temperatura powietrza, tym więcej zawiera ono pary wodnej, która może ulec kondensacji przy spadku temperatury poniżej punktu rosy. Przykładowo, powietrze o temperaturze  $+ 20^{\circ}\text{C}$  i wilgotności względnej około 50% zawiera  $8,8 \text{ g/m}^3$  pary wodnej. Przy spadku temperatury do  $+ 15^{\circ}\text{C}$ , wilgotność wzrasta do 70%, a przy temperaturze  $+ 9^{\circ}\text{C}$  osiąga 100% i część pary ulega skropleniu. Natomiast wzrost temperatury powietrza do  $+ 25^{\circ}\text{C}$ , powoduje spadek wilgotności do około 35%. Warto też pamiętać, że przy temperaturze zewnętrznej  $- 10^{\circ}\text{C}$  wilgotność w mieszkaniu może spaść do poniżej 15%, co sprawia, że wskazane jest nawilżanie powietrza w budynkach z centralnym ogrzewaniem i nieszczelnymi oknami.

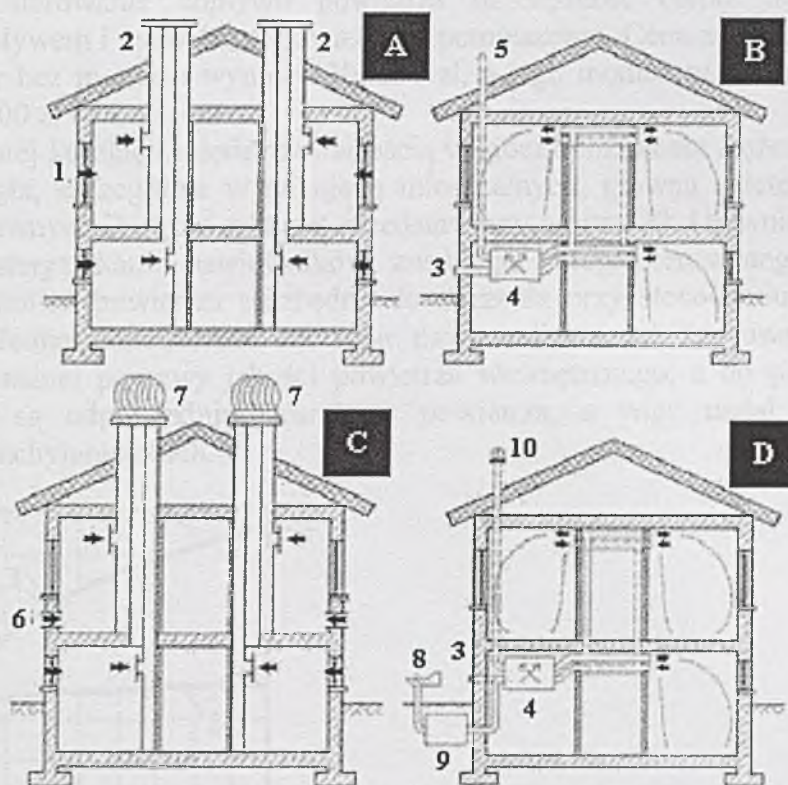
Napływ powietrza zewnętrznego przez nieszczelności okien lub otwory nawiewne w nich umieszczone umożliwia usuwanie pary wodnej, jednak pod warunkiem poprawnego działania układu wentylacyjnego. Po ociepleniu przegród i wymianie okien na szczelne, w pomieszczeniach pojawia się inna równowaga powietrzno-wodna i termiczna, a izolacja cieplna w przegrodach może doprowadzać do powstania mostków cieplnych. W ten sposób okna stając się izolatorami, przestają spełniać rolę ochrony przeciwko kondensacji.

Na rys. 28 przedstawiono układy rozwiązań wentylacji zalecanych do stosowania w budynkach modernizowanych<sup>(10)</sup> i nowych. Najbardziej popularna jest kanałowa wentylacja naturalna (rys. 28A), głównie jako układ tani. Jednak obecnie postrzegana jest ona powszechnie jako niestabilny i nieskuteczny rodzaj wentylacji. W przypadku budynków ze szczelnymi przegrodami zewnętrznymi i stolarką, ta wentylacja nie działa w sposób pożądaný, a przy rozszczelnieniu lub niedomkniętych oknach i otworach nawiewnych, działa

---

<sup>(10)</sup> Przy gruntownej modernizacji mieszkania lub budynku często zmieniany jest układ pomieszczeń lub nawet ich przeznaczenie. Ograniczenia tych zmian wynikają nie tylko z układu ścian nośnych i wyglądu elewacji, wymagających zgody administracyjnej, ale także z lokalizacji pionów instalacyjnych i kanałów wentylacyjnych w obrębie mieszkań i budynków. Przed zmianą przeznaczenia pomieszczeń bezwzględnie należy sprawdzić czy zachowana będzie zasada wentylacji mówiąca, że powietrze powinno przepływać od pomieszczeń najmniej zanieczyszczonych (pokoje) do zanieczyszczonych w stopniu największym (kuchnie, łazienki, ustępy). Należy też pamiętać, że jeżeli budynek wyposażony jest w zbiorcze kanały wentylacyjne, to do konkretnego pionu mogą być podłączane pomieszczenia o tym samym przeznaczeniu.

niestabilnie i nieekonomicznie, nie spełniając swego zadania i nie chroniąc użytkowników przed hałasem i zanieczyszczeniem zewnętrznym<sup>(11)</sup>. Klasycznie dokonywana modernizacja kanałowej wentylacji naturalnej, często realizowana równoległe do modernizacji mieszkań, polega głównie na rozszczelnieniu okien przez zamontowanie w nich nawiewników lub wymianie okien na konstrukcje wyposażone w funkcję mikrowentylacji.



Rys. 28. Kanałowa wentylacja naturalna (A), mechaniczna wentylacja nawiewno-wywiewna z odzyskiem ciepła (B), naturalna (C) i mechaniczna wentylacja hybrydowa z odzyskiem ciepła (D). Oznaczenia: 1 – doprowadzenie powietrza przez szczeliny w oknach lub okienne otwory nawiewne, 2 – usuwanie powietrza kanałami wywiewnymi, 3 – czerpnia ścienna, 4 – rekuperator, 5 – wywiewzak, 6 – otwory nawiewne (z grzałką elektryczną), 7 – nasady wentylacyjne (z silnikiem), 8 – czerpnia gruntowa (obrotowa), 9 – gruntowy wymiennik ciepła, 10 – nasada wentylacyjna

Skrzydła okien z funkcją mikrowentylacji nie są całkowicie domknięte przy położeniu klamki pod kątem  $45^{\circ}$ , a konstrukcja okucia nie pozwala na samoczynne otwarcie okna nawet dużym naporze wiatru. Mikroszczelina ma wymiar  $5 \div 6$  mm, a rozwiązanie to kosztuje dodatkowo około 10 zł dla każdego okna. Producenci okien często zaopatrują okna w taką funkcję, ale należy pamiętać że jej wykorzystanie jest podobne do wietrzenia i zakłada świadome użytkowanie okien.

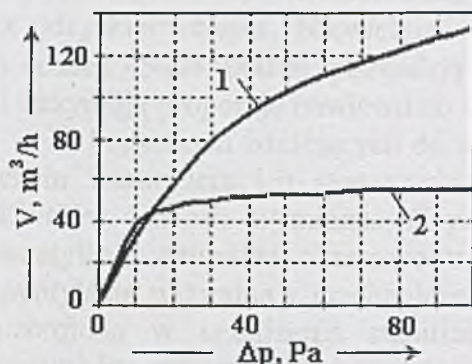
Jak powyżej podkreślono, stosowane są również ciśnieniowe lub higrosterowane otwory nawiewne, wyposażane w elementy przydające im znamiona urządzeń automatycznych. Automatyzm nawiewników ciśnieniowych polega na zmianach przepływu powietrza przez otwór w miarę zmian różnicy temperatur i ciśnienia powietrza, czyli tak jak w przypadku

<sup>(11)</sup> Należy podkreślić, że oprócz tej niekwestionowanej na ogół oceny pozostaje nadal mit sugerujący, że wentylacja ta jest najtańsza. Gdyby przyjąć, że obsługiwane są wszystkie pomieszczenia i obliczone zostaną koszty materiałowe z robocizną, związaną z wykonaniem kanałów i ich umieszczeniem w budynkach, koszt zajmowanej przez nie powierzchni (kilka tysięcy złotych za  $m^2$ ), koszty wykonania przejść przez stropy i dach oraz koszty ewentualnych rozszczelnień (lub np. otworów nawiewnych w oknach), może się okazać że sumaryczny koszt jest zbliżony do znacznie skuteczniejszych rodzajów wentylacji ([www.wentylacja.com.pl](http://www.wentylacja.com.pl)).



nieszczelności, a tylko nieliczne ich konstrukcje wyposażane są w element wyrównujący ciśnienie. Ich ceny wahają się od 40 zł do 250 zł za pojedynczy otwór bez montażu, a montaż w przegrodzie to dodatkowy koszt rzędu 45÷130 zł, przy czym niższa wartość dotyczy montażu w oknie, a wyższa odnosi się do przegrody pełnej. Bardziej popularne są otwory o działaniu zależnym od wewnętrznej wilgotności względnej, których głównymi zaletami jest automatyczne sterowanie dopływu powietrza oszczędność ciepła dzięki oddzielnemu sterowaniu dopływem i usuwaniem powietrza z pomieszczeń. Cena za pojedynczy nawiewnik higrosterowany bez montażu wynosi 130÷230 zł, a jego montaż w ścianie i oknie to koszt odpowiednio 100 zł i 45 zł.

Oprócz dobrej korelacji między zawartością wilgoci i poziomem stężenia metabolicznego dwutlenku węgla, szczególnie w pokojach mieszkalnych, główną zaletę higrosterowanych otworów nawiewnych ilustruje schemat przedstawiony na rys. 29. Ujawnia się ona obszarem między charakterystykami nawiewników zwykłego i higrosterowanego, który obrazuje dodatkowy strumień powietrza niezbędny do ogrzania przy stosowaniu zwykłego otworu nawiewnego. Jednak niezależnie od typu nawiewników, ich stosowanie ma charakter półśrodka i doraźnej poprawy jakości powietrza wewnętrznego, a do pomieszczeń rzadko doprowadzane są odpowiednie strumienie powietrza, a więc nadal konieczne będzie otwieranie lub uchylanie okien.



Rys. 29. Zależność wydajności nawiewnika zwykłego (1) i higrosterowanego typu V4OP (2)

Przyczyną tego jest odnośnienie wydajności nawiewników do różnicy ciśnień równej 10 Pa, przy której wydajności obu porównywanych na rys. 29 nawiewników są podobne. W praktyce działania wentylacji naturalnej dochodzi do znacznych zmian tych różnic ciśnień w zależności od warunków meteorologicznych, wielkości budynków, ich położenia w terenie itp. Efektem tego jest brak praktycznej możliwości określenia wymiany powietrza w budynkach i jedynie życzeniowe zakładanie jej wartości. Przykładowo, niezależnie od rozwiązania wentylacji i stosowania lub braku otworów nawiewnych, dla celów opracowania audytu lub świadectwa energetycznego wymiana powietrza przyjmowana jest równa 0,5/h lub jako równoważne strumienie powietrza zewnętrznego korygowane kubaturą budynków. Ponadto, odnośnienie wymiany tylko do powietrza zewnętrznego, wobec częstych zmian kierunków powietrza nie tylko w kanałach, jest wysoce niedokładne<sup>(12)</sup>.

Chcąc zmodernizować wentylację naturalną w istniejącym budynku należy sprawdzić szczelność kanałów i w miarę potrzeb dokonać ich uszczelnień, co nie jest sprawą łatwą w budynkach eksploatowanych. Absolutnie niezbędne jest utrzymywanie kanałów i wszystkich elementów wentylacyjnych w czystości, np. usuwając niedrożności przewodów,

<sup>(12)</sup> Do rozwiązań w ekonomiczny sposób zwiększających wymianę powietrza w budynkach należy zaliczyć urządzenia miejscowe działające okresowo. Powszechnie stosowanym sposobem intensyfikacji wymiany powietrza w kuchniach jest instalowanie okapów kuchennych, co dodatkowo zapobiega rozchodzeniu się zapachów i wilgoci po całej kuchni oraz mieszkaniu i budynku. W łazienkach lub pomieszczeniach WC można stosować małe wentylatory podłączane do włącznika światła. W ten sposób w czasie użytkowania pomieszczeń automatycznie intensyfikowana jest wymiana powietrza, a zgaszenie światła wyłącza wentylator.

czyszcząc kratki wywiewne itp. Warto jest zamontować nasady na głównych wylotach z kanałów, ponieważ osłaniają one wyloty przed zawirowaniami wiatru, jednocześnie wykorzystując jego siłę do wytworzenia w kanałach dodatkowego podciśnienia. Można się też zastanowić nad wydłużeniem przewodów, co jest stosunkowo łatwe gdy zastosowany zostanie tzw. wkład kominowy, przy czym powinny być on izolowany cieplnie, bo dłuższe i chłodne osłabiają wypór termiczny. Przewody wentylacyjne można również wymieniać, co jest jednak trudne, a nawet często technicznie niemożliwie w budynkach użytkowanych, a z perspektywy działania omawianej wentylacji naturalnej i ekonomii nieopłacalne.

Często naturalna wentylacja kanałowa jest droższa niż uproszczona wentylacja mechaniczna z rekuperacją (B na rys. 28). Gdy porównane zostaną koszty eksploatacji, to okazuje się że mimo braku kosztów wymiany powietrza (o ile ma ona miejsce), w sezonie grzewczym z powodu braku odzysku ciepła łączne koszty użytkowania wentylacji naturalnej przewyższają analogiczne koszty wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła. Wynika stąd główny wniosek, zgodnie z którym wentylacja naturalna jest tańsza w eksploatacji tylko wtedy, gdy nie działa lub działa nieskutecznie, jak ma to miejsce w praktyce. Z uwagi na powszechną dostępnością małych centrali wentylacyjnych złożonych z nowoczesnych komponentów (np. wentylatory EC, wysokosprawne rekuperatory itp.), i przy ograniczeniu do minimum ich funkcji, stosunkowo niską cenę, nie powinno być dylematu, czy w budynkach nowych stosować nieskuteczną wentylację naturalną, czy wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła. Niewielkie centrale typu Mini-Max o wydajnościach 300÷700 m<sup>3</sup>/h i cenach 4500÷5000 zł, pozwalają skutecznie odzyskiwać ciepło z powietrza wywiewanego i utrzymują proporcję nawiewu do wywiewu.

W budynkach istniejących do wykorzystania są też systemy wentylacji hybrydowej, przy czym warunkiem ich stosowania jest uszczelnienie w przypadku pozostawienia starych kanałów lub ich wymiana. W praktyce są stosowane dwa rozwiązania, a mianowicie: wentylacja naturalna okresowo wspomagana mechaniczną, lub naprzemiennie działająca wentylacja naturalna i mechaniczna. W pierwszym przypadku jest to wentylacja naturalna uzbrojona w urządzenia stabilizujące wydajność podczas zmiennych i sprzyjających warunków oraz umożliwiająca (przez pracę wentylatorów wspomagających) działanie przy niesprzyjających warunkach, bądź też automatyczny lub ręczny układ otwierania otworów w przegrodach zewnętrznych, np. okien, w zależności od warunków i potrzeb (C na rys. 28). W drugim rozwiązaniu miejsce ma okresowe zastąpienie wentylacji naturalnej mechaniczną (D na rys. 28) i dotyczy to głównie budynków noworcalizowaych. Wentylacja hybrydowa działa w sposób zbliżony do oczekiwanego, szczególnie w okresach przejściowych. Gdy jednak wykonana zostanie analiza kosztów typowej na krajowym rynku wentylacji hybrydowej, w której na wylotach z kanałów grawitacyjnych zamontowane zostały nasady z wentylatorami wspomagającymi, a nawiew zrealizowany jest za pomocą nawiewników z grzałkami elektrycznymi (cena 200÷50 zł), to do nakładów doliczyć należy koszty wentylatorów w nasadach, grzałek w nawiewnikach, sterowników, energii elektrycznej zasilającej i sterującej, a więc wentylacja hybrydowa jest zdecydowanie droższa od nie taniej wentylacji naturalnej. Do kosztów eksploatacji podobnych jak w wentylacji naturalnej, dochodzą koszty energii elektrycznej po kilka watów na wentylator w nasadzie, na sterownik oraz różnicę między kosztami energii elektrycznej, a innymi nośnikami do ogrzania powietrza nawiewanego. Oznacza to, że koszty eksploatacji wentylacji hybrydowej również są wyższe od wentylacji naturalnej. Warto dodać, że zaawansowane rozwiązania wentylacji hybrydowej wspomagane mogą być specjalnymi urządzeniami umożliwiającymi podgrzanie powietrza energią promieniowania słonecznego. Pomijając już niewielkie promieniowanie słoneczne w kraju (szczególnie w okresie zimowym), rozwiązania wykorzystujące energię słoneczną do wentylacji nie są ani proste, ani tanie. W krajowych warunkach klimatycznych sprawdza się pozyskanie energii ziemi przez gruntowy wymiennik ciepła (GWC). Ponadto, w przypadku

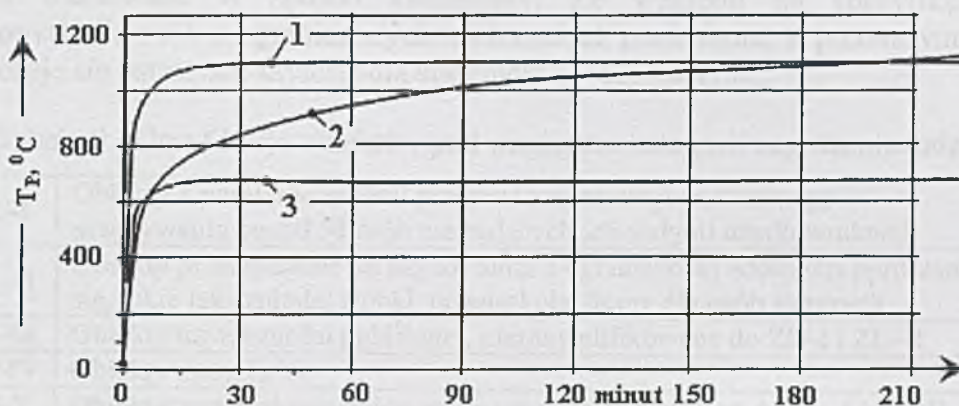
GWC zwirowego zachodzi nie tylko stabilizacja termiczna (podgrzewanie lub chłodzenie powietrza), ale też wstępne filtrowanie i stabilizacja wilgotności powietrza z naturalną samoregulacją polegająca na samoistnym przechodzeniu pomiędzy nawilżaniem zimą i osuszaniem latem (D na rys. 28). W tym kontekście można powiedzieć, że każda wentylacja mechaniczna współpracująca z takim wymiennikiem to wentylacja hybrydowa. Przykładowo, czerpnię powietrza można lokalizować na ścianie nawietrznej lub w przypadku wolnostojącej czerpni gruntowej zaopatrzyć ją w głowicę ustawiającą wlot pod wiatr. Do usuwania powietrza z centrali można wykorzystać pionowy kanał wywiewny (z naturalnym ciągiem kominowym), zaopatrzonego w nasadę wykorzystującą siłę naporu wiatru z dowolnego kierunku dla zwiększenia ciągu. Czerpnię ścienną można też zaopatrzyć w powietrzny kolektor słoneczny, wstępnie podgrzewający zasysane powietrze lub czerpać powietrze przez odpowiednio dostosowany ogród zimowy. Badania wielokrotnie potwierdziły konieczność wznoszenia szczelnych budynków, wyposażonych w system wentylacji mechanicznej i wymiennik ciepła. Ilościowa redukcja wymiany powietrza poniżej minimum higienicznego nie jest możliwa. Stosowanie materiałów o małej paroprzepuszczalności dodatkowo podwyższa wymagania wentylacyjne. Odzysk ciepła z powietrza usuwanego jest więc jednym z głównych rozwiązań budownictwa energooszczędnego. Centralna wentylacja mechaniczna umożliwia zastosowanie też prostego pod względem technicznym gruntowego wymiennika ciepła. Nadaje się on do samodzielnej, niefachowej realizacji, nie wymaga dużych ilości energii z zewnątrz, nie ma problemów związanych ze szronieniem i kondensacją nie powoduje zapewne nadmiernego wychłodzenia gruntu, a wreszcie jego koszt jest niski.

Wprowadzenie audytów efektywności energetycznej oraz ewentualne wdrożenie w przyszłości często dyskutowanych świadectw jakości powietrza wewnętrznego, skutkować powinno innym niż dotychczas traktowaniem wentylacji. Jeżeli przyjąć, że wentylacja to nie tylko uzyskanie określonej wymiany powietrza, ale też dostosowanie jego parametrów do potrzeb, a więc co najmniej jego oczyszczenie i doprowadzenie do pożądanej temperatury, powinna być zastosowana skuteczna w tym względzie wentylacja. Należy też zauważyć, że doprowadzenie powietrza wentylacyjnego do pożądanej temperatury jest zawsze bardziej energochłonne niż sam proces wymiany powietrza. Jednym z dyskutowanych zagadnień jest wpływ wentylacji na koszty ogrzewania. Nie jest ona bezpośrednio objęta podziałem kosztów ogrzewania, a silnie zróżnicowana wymiana powietrza w poszczególnych mieszkaniach lub budynkach, nie jest uwzględniana na żadnym etapie modernizacji. Szczególnie istotne jest tu tzw. przewietrzanie mieszkań przez uchylanie lub otwieranie okien, co może mieć wpływ na wskazania podzielników kosztów ogrzewania. Z chwilą montażu podzielników kosztów ogrzewania znaczna część użytkowników dokręca zawory termostatyczne i nie przewietrza pomieszczeń, co należy rozumieć jako mniej lub bardziej świadomy wybór przebywania w niższych temperaturach (i poniesienia mniejszych kosztów), przy braku zainteresowania, często nieświadomymi i niekorzystnymi zmianami warunków w pomieszczeniach.

Należy zwrócić uwagę na jeszcze jeden aspekt wiążący się z wentylacją budynków, szczególnie w kontekście możliwości wystąpienia pożaru. Część materiałów używanych do poprawy efektywności energetycznej budynków jest palna. W sytuacji wystąpienia pożaru, spalające się materiały wydzielają duże ilości toksycznych gazów, stanowiących zagrożenie.

Dokonując modernizacji budynków szczególną uwagę należy zwrócić na możliwość eliminacji skutków ewentualnych pożarów. Poniżej zebrano wybrane zagadnienia wiążące się z pożarami i zapobieganiu ich skutkom. Pożar definiuje się jako samorzutne, niekontrolowane rozprzestrzenianie się ognia i dymu. Dla potrzeb klasyfikacji i rozróżnienia pożaru przyjmuje się kryterium usytuowania strefy spalania. Wyróżnia się pożary zewnętrzne, wewnętrzne i przestrzenne obejmujące wiele obiektów. Pożary wewnątrz obiektów cechuje duża dynamika i emisja ciepła. Pożar szybko się rozprzestrzenia, emituje wysoką temperaturę, wydziela dużą ilość toksycznego dymu. Krzywa pożaru zewnętrznego jest wykorzystywana

do oceny temperatury z jaką ogień oddziałuje na ściany zewnętrzne, gdy wydobywa się przez okno pomieszczenia. Krzywa pożaru węglowodorowego uwzględniana jest przy pożarach magazynów paliw i smarów lub wież wiertniczych (1 na rys. 30).



Rys. 30. Nominalne krzywe pożaru. Oznaczenia: 1 – pożar węglowodorowy, 2 – pożar standardowy, 3 – pożar zewnętrzny

Dla wystąpienia pożaru charakterystyczne są cztery czynniki, do których należy materiał palny w odpowiedniej ilości, obecność utleniacza o odpowiednim stężeniu (tlen), impuls cieplny o odpowiedniej mocy lub temperaturze (np. iskra, łuk elektryczny) i występowanie skomplikowanych chemicznych reakcji łańcuchowych (tzw. wolnych rodników) warunkujących ciągłość spalania. Do zainicjowania i rozwoju pożaru potrzebne są trzy pierwsze elementy, a usunięcie jednego z nich powoduje przerwanie procesu. Pożar charakteryzuje zatem czas jego trwania, temperatura i intensywność wymiany gazowej, powierzchnia pożaru, liniowa prędkość rozprzestrzeniania, moc pożaru, gęstość zadymienia, masowa szybkość spalania. Związki te składają się na parametryczną zależność temperatura-czas (patrz wykres na rys. 7.31).

W zakresie normatywnych wymagań dla budownictwa, najistotniejsza jest ustawa Prawo budowlane wraz z przepisami techniczno-budowlanymi w sprawie warunków jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Prawo nakłada szereg wymagań dla budynku i urządzeń z nim związanych w sytuacji pożaru, które dotyczą nośności konstrukcji przez czas wynikający z rozporządzenia, ograniczenia rozprzestrzeniania się ognia i dymu w budynku, ograniczenia rozprzestrzeniania się pożaru na sąsiednie budynki, możliwości ewakuacji ludzi i bezpieczeństwa ekip ratowniczych. Zapisy te dotyczą zarówno nowo budowanych, jak i niespełniających tych wymogów budynków już eksploatowanych i często poddawanych modernizacji bez jakichkolwiek prac zmierzających do realizacji tych wymagań. Należy podkreślić, że istotny wpływ na wymagania w zakresie bezpieczeństwa pożarowego budynków lub ich części ma przeznaczenie i sposób użytkowania, wysokość i liczba pięter, usytuowanie w stosunku do innych obiektów, położenie w stosunku do poziomu terenu itd. Z przepisami techniczno-budowlanymi związane są przepisy przeciwpożarowe dotyczące wyposażenia obiektów w techniczne środki zabezpieczeń przed pożarem. Projektanci zobowiązani są do stosowania odpowiednich zabezpieczeń w stosunku do ryzyka wystąpienia pożaru. Sposób ich realizacji winien być kompleksowy, spełniający wymagania w obszarze kilku dziedzin, np. bezpieczeństwa konstrukcji i użytkowania, bezpieczeństwa pożarowego, odpowiednich warunków higienicznych, zdrowotnych, a także ochrony środowiska, ochrony przed hałasem, drganiem i wzrostu efektywności energetycznej, w tym np. stosowania odpowiednich rozwiązań dotyczących izolacyjności cieplnej okien i przegród.

W przepisach techniczno-budowlanych zamieszczono zapis dzielący budynki oraz ich części, będące odrębnymi strefami pożarowymi. Są to pomieszczenia mieszkalne, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej (kategoria zagrożenia ZL), pomieszczenia

produkcyjne i magazynowe (PM) i inwentarskie (IN). Wśród kategorii zagrożenia ludzi wyróżnia się pięć klas, co zebrano w tabeli 9. Przepisy opisują jedynie ogólne wymagania stawiane wentylacji pożarowej dla każdej z wymienionych kategorii, a kategorie ZL-II oraz ZL-IV są traktowane w sposób szczególny. Ze względu na specyfikę obiektów przeznaczonych dla osób o ograniczonych zdolnościach poruszania, w pierwszym przypadku (ZL-II) stosuje się ostrzejsze kryteria dla systemów zabezpieczenia.

Tabela 9. Klasyfikacja obiektów pod względem kategorii zagrożenia ludzi.

ZL-I	Obiekty z pomieszczeniami przeznaczonymi do jednoczesnego przebywania ponad 50 osób nie będących ich stałymi użytkownikami
ZL-II	Obiekty przeznaczone do użytku ludzi o ograniczonej zdolności poruszania się, takie jak szpitale, żłobki, przedszkola, domy dla osób starszych
ZL-III	Obiekty użyteczności publicznej, niezakwalifikowane do ZL-I i ZL-II
ZL-IV	Obiekty mieszkalne
ZL-V	Obiekty zamieszkania zbiorowego nie zakwalifikowane do ZL-I i ZL-II

Obiekty mieszkalne są traktowane znacznie łagodniej i nawet w grupie budynków wysokich, dopuszczalne jest stosowanie instalacji zapobiegających zadymieniu (tabela 10). Zdecydowanie trudniej jest określić wymagania dla budynku, w którym znajdują się części zaliczane do różnych kategorii. W takim przypadku należy dla całego obiektu stosować rozwiązania przypisane dla najmniej korzystnej klasy budynku (o najwyższych wymaganiach pod względem ochrony przeciwpożarowej). Należy też pamiętać o konieczności instalowania systemu oddymiania w obiektach posiadających strefę PM, jeżeli gęstość obciążenia ogniowego przekracza  $500 \text{ MJ/m}^2$  lub pomieszczenia nie są zagrożone wybuchem.

W celu dobrania właściwych zabezpieczeń przeciwpożarowych oraz budowlanych, należy określić kryteria oceny budynku. Należą do nich przeznaczenie i sposób użytkowania, budynków, kategorie zagrożenia ludzi i wyznaczenie gęstości obciążenia ogniowego. Warto zaznaczyć, że na pasywne zabezpieczenia składają się np. właściwa klasa odporności pożarowej i ogniowej budynku i jego elementów, podział na strefy pożarowe, dbanie o techniczne warunki ewakuacji, odległości między budynkami, zabezpieczenie ogniochronne elementów konstrukcyjnych i wykończeniowych itp. Do aktywnych zabezpieczeń zalicza się urządzenia gaśnicze (instalacje tryskaczowe), urządzenia systemu sygnalizacji pożarowej i dźwiękowego systemu ostrzegawczego (systemy alarmowe), hydranty, zawory hydrantowe, przeciwpożarowe kłapy odcinające, drzwi i bramy przeciwpożarowe oraz urządzenia oddymiające. W obiektach z wentylacją pożarową wydzielane są przestrzenie chronione, którymi są obudowane i oddzielone drzwiami klatki schodowe, przedsionki przeciwpożarowe, korytarze ewakuacyjne i szyby wind. W zależności od klasyfikacji budynku oraz przyjętych rozwiązań architektonicznych ochronie podlegać może jedna z wymienionych przestrzeni (klatki schodowe, szyby windowe), przy czym odprowadzanie powietrza odbywać się może z przestrzeni przedsionka, korytarza lub pomieszczenia objętego pożarem, a także przez fragment układu komunikacyjnego budynku.

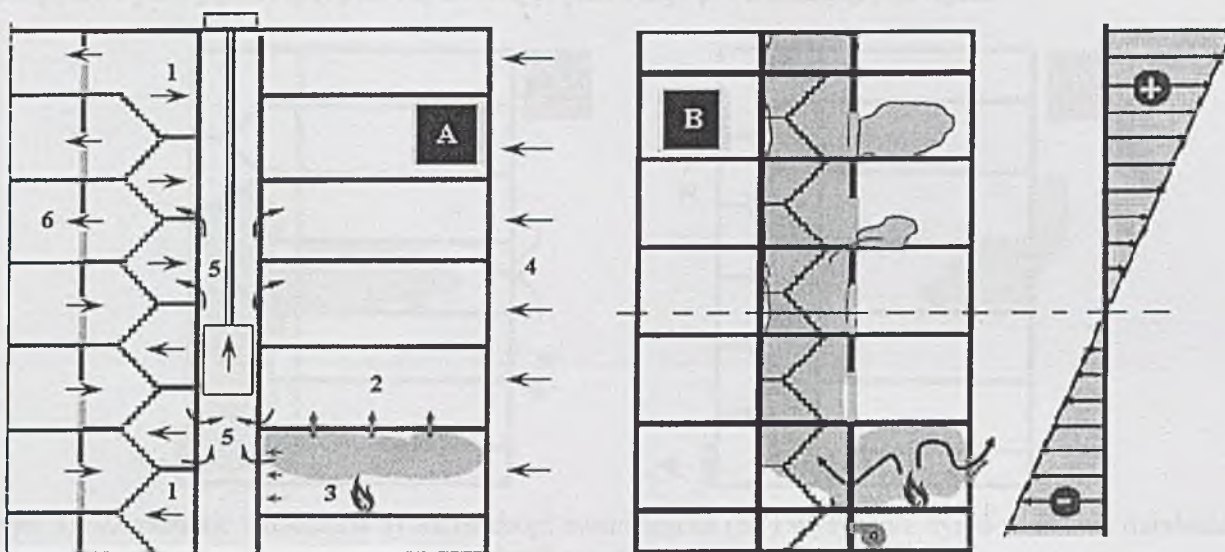
Zjawiskami odpowiedzialnymi za przepływ dymu są rozprężanie, unoszenie, wpływ wiatru, działająca instalacja wentylacji ogólnej, praca wind (patrz rys. 31A). Ich łączne lub częściowe występowanie zjawisk odpowiedzialne jest za wytworzenie siew budynku układu ciśnień oraz przepływ zadymionego powietrza. W związku z tym należy je uwzględnić przy projektowaniu systemu wentylacji pożarowej. Unoszenie będące wyporem hydrostatycznym gorących gazów z piętra, na którym wystąpił pożar, odpowiada za przepływ toksycznych produktów spalania przez nieszczelności w konstrukcji budynku do pięter położonych powyżej źródła pożaru.

Tabela 10. Wymagania odnośnie systemów wentylacji pożarowej dla różnych budynków

Kategoria zagrożenia	Wysokość budynku	System wentylacji pożarowej	Specyfika obiektu
ZL-I	Średniowysokie	Zabezpieczenie przed zadymieniem	Obiekty wielokubaturowe z otwartymi galeriami wyposażone w systemy oddymiania; systemy te powinny być stosowane na wydzielonych pionowych drogach ewakuacji
	Wysokie i wysokościowe	Jw. lecz przed zadymieniem dróg ewakuacji	ZL-I przeważnie w oddzielnej wydzielonej strefie z niezależnymi instalacjami wentylacji pożarowej
ZL-II	Średniowysokie	Zabezpieczenia przed zadymieniem	Wszystkie obiektów klasie odporności ogniowej co najmniej B; ze względu na specyfikę obiektów ZL-II istnieje możliwość wydłużonego czasu ewakuacji i należy projektować strefy bezpiecznej ewakuacji w obrębie jednego piętra
	Wysokie i wysokościowe	Jw. lecz przed zadymieniem dróg ewakuacji	
ZL-III	Średniowysokie	Zabezpieczenia przed zadymieniem	Najlepiej monitorowana grupa obiektów, w której znajdują się ludzie aktywni zawodowo, zdolni do sprawnego ewakuacji (statystycznie najmniejsze ryzyko groźnego w skutkach pożaru)
	Wysokie i wysokościowe	Jw. lecz przed zadymieniem dróg ewakuacji	
ZL-IV	Średniowysokie	Brak wymagań	Budynki w dużej grupie ryzyka pożaru, w której znajdować się mogą Ludzie śpiący i/Lub o ograniczonych zdolnościach poruszania się. Z tego względu we wszystkich wielokondygnacyjnych budynkach ZL-IV rekomendować należy stosowanie systemów zapobiegania przed zadymieniem pionowych dróg ewakuacji i samozamykaczy w drzwiach
	Wysokie	Zabezpieczenie przed zadymieniem	
	Wysokościowe	Jw. lecz przed zadymieniem dróg ewakuacji	
ZL-V	Średniowysokie	Zabezpieczenie przed zadymieniem	Budynki w dużej grupie ryzyka pożaru. Często budynki monitorowane i wyposażone w stałe urządzenia gaśnicze oraz drzwi do pokoi klasy co najmniej EI 30
	Wysokie i wysokościowe	Jw. lecz przed zadymieniem dróg ewakuacji	

Zabezpieczeniem przed unoszeniem może być utrzymanie nawiewu z instalacji wentylacji ogólnej na kondygnacje poza strefą objętą pożarem w celu podniesienia w tej części budynku ciśnienia. Rozprężanie wynika z rozszerzalności cieplnej gorących gazów podczas pożaru. Szczególnie istotnym czynnikiem wpływającym na kształtowanie się układu ciśnienia w budynkach, a tym samym na sposób realizacji zabezpieczenia przed zadymieniem, jest wypór termiczny (B na rys. 31). Występuje on, jeśli na skutek różnicy ciśnienia między skrajnymi piętrami budynku następuje przepływ powietrza w otwartych pionach (klatki schodowe, szachty windowe i instalacyjne). Problem jest szczególnie widoczny w budynkach o znacznej wysokości (> 30 m) i często jest powodem niewłaściwego funkcjonowania systemu napowietrzania. Gdy ruch powietrza odbywa się od dołu ku górze mowa jest o normalnym ciągu kominowym. Jest on charakterystyczny dla okresu niskich temperatur zewnętrznych. Nawiew zimnego powietrza zewnętrznego do przestrzeni klatki schodowej powoduje znaczne nasilenie niekorzystnego zjawiska rozwarstwienia ciśnienia na kondygnacjach skrajnych. Odwrócony ciąg występuje przy ruchu powietrza skierowanym od

górnym do dolnych pięter. Pojawia się on, gdy temperatura w klatce schodowej jest niższa niż temperatura otoczenia<sup>(13)</sup>. Efektem tego jest podciśnienie na górnych piętrach klatki schodowej i nadciśnienie na jej dolnych poziomach.



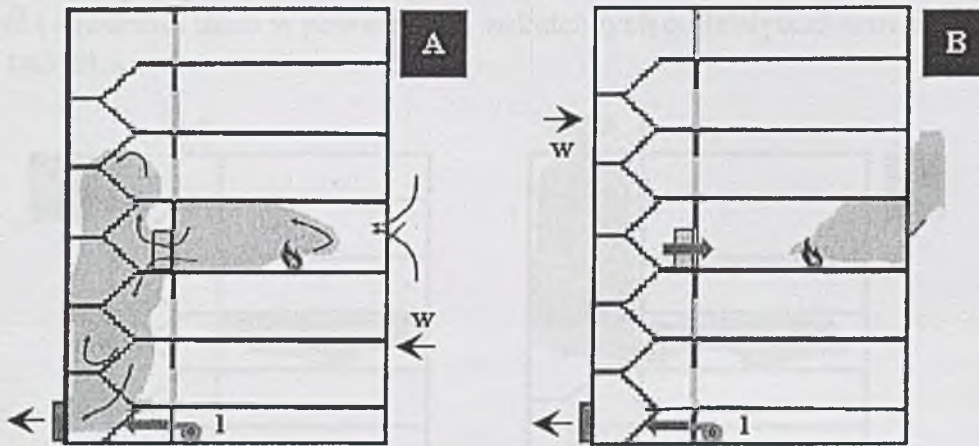
Rys. 31. Zjawiska odpowiedzialne za kształtowanie się ciśnienia w budynku podczas pożaru (A) i ryzyko przetłaczania dymu w budynku przy występowaniu ciągu kominowego bez instalacji zapobiegania zadymieniu (B). Oznaczenia: 1 – efekt kominowy, 2 – unoszenie, 3 – rozprężanie, 4 – napór wiatru, 5 – efekt tłokowy, 6 – praca instalacji wentylacji ogólnej

Powoduje to powstanie gradientu ciśnienia, przy czym ciśnienie o wyższe pojawia się na poziomach niższych, a na górnych piętrach budynku ciśnienie przyjmuje wartości niższe. Zjawisko wyporu cieplnego związane jest zatem ze zmiennością pór roku, a zakłócenia pracy systemów zabezpieczenia nadciśnieniowego widoczne będą też w ciągu doby. Ustalone w pewnym okresie (np. jednego dnia) warunki otoczenia nie zawsze gwarantują, że o określonej godzinie w obiekcie panować będzie znany rozkład ciśnień. Nawet niewielka zmiana temperatury zewnętrznej, może spowodować, że w krótkim czasie pojawi się lub nasili widoczne rozwarstwienie ciśnienia w trzonie klatki schodowej, na poszczególnych kondygnacjach budynku. W przypadku wybuchu pożaru efekt ten stwarza niebezpieczeństwo przemieszczania dymów pożarowych do klatki schodowej w strefie podciśnienia, a dymy pożarowe zasysane są z pomieszczenia objętego pożarem do klatki schodowej.

Drugim elementem zakłócającym jest wiatr. Na przegrodzie nawietrznej pojawia się wzrost ciśnienia, a po przeciwnej stronie budynku wytwarza się strefa obniżonego ciśnienia (rys. 32A i B). Wpływ wiatru na działanie instalacji wentylacji pożarowej jest poważnym problemem gdy następuje planowe lub przypadkowe rozszczelnienie budynku. Powstający w takich warunkach układ ciśnień wewnątrz budynku może w istotny sposób wpłynąć na działanie instalacji zabezpieczenia przed zadymieniem. W zależności od kierunku wiatru i miejsca rozszczelnienia możliwe jest wystąpienie zjawiska zassania lub wtlaczania dymu.

<sup>(13)</sup> Klatki schodowe w obiektach wyższych stanowią jedyną drogę ewakuacji. Umieszczenie klatki schodowej w budynku (strefa wewnętrzna, centralna, przyległa do ściany zewnętrznej, na zewnętrznej elewacji) oraz konstrukcja klatki (żelbetowa, całkowicie zabudowana, częściowo lub całkowicie przeszklona) mają istotny wpływ na początkowe kształtowanie się ciśnienia w tej przestrzeni. Przedsiionki przeciwpożarowe powinny mieć wymiar nie mniejszy niż 1,4×1,4 m. Muszą być wykonane w klasie odporności ogniowej EI-60 i wentylowane co najmniej grawitacyjnie. W systemach różnicowania ciśnień na drogach ewakuacji konieczne jest wykonanie co najmniej nawiewu mechanicznego z przepływem powietrza do przestrzeni niższego ciśnienia lub pełnej wentylacji nawiewno-wywiewnej. Przedsiionki powinny mieć niezależny układ napowietrzania i posiadać minimum jeden punkt dopływu powietrza.

Pracy wind towarzyszy efekt tłokowy. Poruszająca się ku górze budynku winda wytwarza nadciśnienie w części szybu znajdującej się nad nią, a we fragmencie szachtu windowego pod kabiną pojawia się podciśnienie. Zjawisko jest szczególnie widoczne w przypadku wind ekspresowych, poruszających się z dużą prędkością i przetłaczających dym.



Rys. 32. Zagrożenie wtlaczania dymu na drogi ewakuacji na (B) i wysysanie dymu na skutek działania wiatru (B). Oznaczenia: w – napór wiatru, l – układ napowietrzania

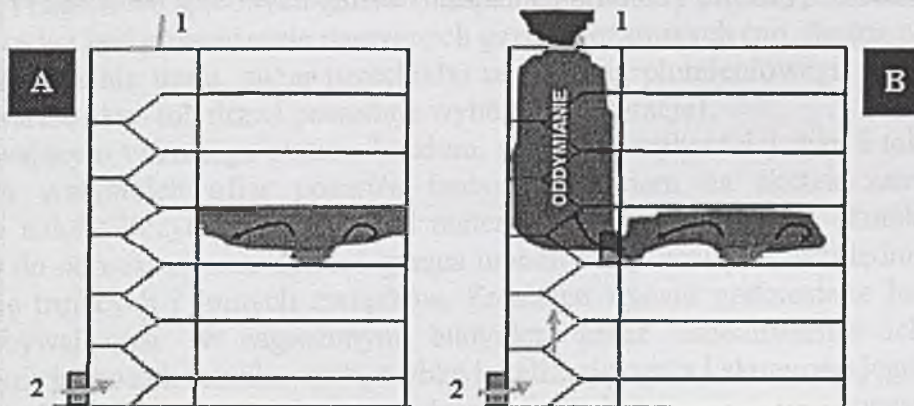
Aby takie przypadki wyeliminować, w chwili wykrycia pożaru kabiny wind powinny zostać automatycznie sprowadzane na parter i zablokowane. Należy przewidzieć system kompensowania ciśnienia (w postaci np. klap upustowych), które będą obsługiwały szyby wind przeznaczonych dla ekip ratowniczych.

Grawitacyjny system oddymiania ma za zadanie usuwanie dymu, który może pojawić się na klatce schodowej podczas otwarcia drzwi lub przez nieszczelności w drzwiach oddzielających kondygnację, na której powstał pożar od klatki schodowej, przy jednoczesnym dostarczeniu do tej przestrzeni wolnego od dymu powietrza kompensacyjnego (rys. 33). Gdy na pionowych drogach ewakuacyjnych znajduje się dym, klatka schodowa nie powinna być wykorzystywana do opuszczenia budynku. Kontynuowanie ewakuacji odbywać się może po usunięciu dymu z klatki schodowej. Najprostsze systemy składają się z klapy dymowej zamontowanej w najwyższej części klatki schodowej i automatycznie otwieranego nawiewu powietrza kompensacyjnego w dolnej części klatki schodowej<sup>(14)</sup>. Alternatywą dla systemów grawitacyjnych mogą być układy mechaniczne. Praktykowanym czasem rozwiązaniem, ze względu na brak możliwości montażu klapy w przegrodzie bezpośrednio oddzielającej klatkę schodową od przestrzeni zewnętrznej, jest montaż wentylatora wyciągu dymu. Działający wentylator wyciągowy wytwarza w kubaturze klatki schodowej podciśnienie, które może skutkować odsysaniem dymu z kondygnacji objętej pożarem i odcięciem drogi ewakuacji dla ludzi znajdujących się powyżej bezpośrednio zagrożonego piętra. Z tego powodu rozwiązanie oddymiania klatki z wykorzystaniem wentylatorów wyciągowych uznać należy za niewłaściwe. Lepszy efekt można uzyskać stosując system oddymiania składający się ze zdefiniowanego punktu wylotowego (klapy dymowej) i wentylatora nawiewu powietrza kompensacyjnego. W tym przypadku szczególnie ważna dla bezpiecznej ewakuacji przestrzeń klatki schodowej pozostaje w stałym nadciśnieniu, co zapobiega przedostawaniu się na nią przez nieszczelności dymu z kondygnacji objętej pożarem (patrz rys. 34). Opisane rozwiązanie jest trudne w praktycznej realizacji, ponieważ brak jest dostępnych źródeł

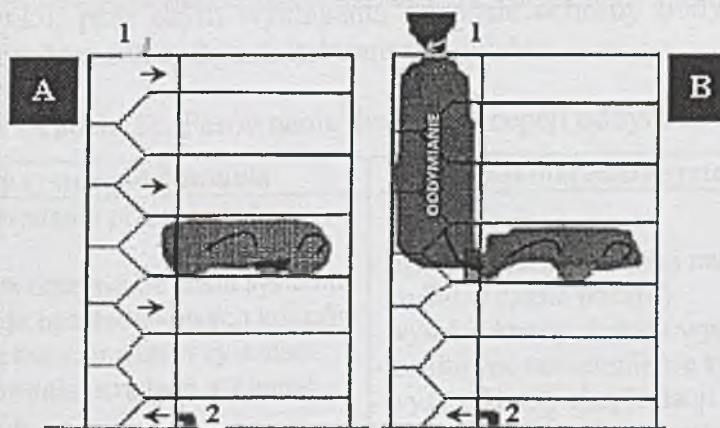
<sup>(14)</sup> Powierzchnia czynna klap dymowych na klatce schodowej budynków niskich i średniowysokich powinna wynosić co najmniej 5 % powierzchni rzutu poziomego podłogi klatki schodowej, a w budynkach wysokich, nie mniej niż 7,5 %. Jednocześnie powierzchnia jednego otworu pod klapę dymową nie może być mniejsza niż 1,0 m<sup>2</sup> w budynkach niskich i średniowysokich i 1,5 m<sup>2</sup> w budynkach wysokich.



standardów projektowania, wskazujących, jak określić wydajność wentylatorów oddymiających i skorelowaną powierzchnię klap dymowych, aby zapewnić odpowiednie warunki ewakuacji na klatce schodowej. Dynamiczny przebieg pożaru powoduje liczne zmiany w środowisku budynku np. wraz ze wzrostem temperatury rośnie promieniowanie cieplne i ilość toksycznych produktów spalania. Wraz ze wzrostem zadymienia zmniejsza się widzialność i zawartość tlenu w powietrzu, a wskutek tych oddziaływań wzrasta też ciśnienie wewnątrz budynku.



Rys. 33. Działanie grawitacyjnego systemu oddymiania klatki schodowej przy drzwiach zamkniętych i możliwością ewakuacji (A) oraz otwartych z czasowym utrudnieniem ewakuacji (B) na piętrze objętym pożarem. Oznaczenia: 1 – urządzenie usuwające dym (np. klapa dymowa), 2 – napływ zewnętrznego powietrza (kompensacyjnego)



Rys. 34. Przykład mechanicznego systemu oddymiania klatki schodowej przy drzwiach zamkniętych i możliwością ewakuacji (A) oraz otwartych z czasowym utrudnieniem ewakuacji (B) na piętrze objętym pożarem. Oznaczenia jak na rys 33

Należy przypomnieć, że istotnym zadaniem termomodernizacji budownictwa, szczególnie mieszkaniowego, jest uzyskanie pożądanych parametrów klimatu wewnętrznego oraz bezpieczeństwa użytkowników. Te dwa aspekty należy rozpatrywać pod kątem łączących je problemów badawczych. Wraz z rosnącą rolą audytu energetycznego, można hipotetycznie zakładać, że w przyszłości będzie on stanowić doskonale narzędzie do oceny bezpieczeństwa pożarowego budynków mieszkalnych poddanych termomodernizacji. Z tego też powodu bardzo ważne będzie, by osoba będąca audytorem posiadała niezbędną wiedzę z zakresu inżynierii bezpieczeństwa pożarowego. Obecna realizowana jest powszechnie zamiana okien na szczelne konstrukcje, eliminujące nieszczelności, przez które do mieszkań wpływa zimne powietrze. W przypadku starych budynków wzrost szczelności okien nie pozwala na działanie wentylacji naturalnej w nich występującej. Powszechnie przyjęto, że warunki użytkowania

budynków wymagają przyjęcia odpowiedniej klasy szczelności budynków w oparciu o dane klimatyczne. Tematyka związana z bezpieczeństwem pożarowym budynków mieszkalnych poddanych modernizacji jest coraz częściej poruszana ze względu na rozwój efektywności energetycznej i konieczność poszukiwania w tym obszarze oszczędności. Problemy te są szczególnie widoczne w okresach przejściowym i zimowym, a dotyczy głównie dużej liczby interwencji związanych ze wzrostem stężenia tlenu węgla i spadkiem zawartości tlenu w pomieszczeniach. Przy ograniczonej wymianie powietrza, pożar cechuje się wytwarzaniem nagranych i częściowo spalonych gazów (niespalone produkty pirolizy). Efektem stosowania szczelnych okien jest gromadzenie nagranych gazów pożarowych (np. tlenu węgla i dymu). Gdy spadnie stężenie tlenu, pożar przechodzi ze spalania płomieniowego w fazę tlenia się, a wtedy otwarcie okna lub drzwi powoduje wybuch (deflagrację).

Przebywającym w zasięgu pożaru ludziom, zagrażają najbardziej dym i toksyczne gazy. Ponad 90% wszystkich ofiar pożarów budynków umiera na skutek zatrucia gazami. Dodatkowo należy liczyć się ze stratami materialnymi powstałymi na skutek zadymienia. Urządzenia do odprowadzania dymu i gorąca umożliwiają usuwanie, względnie zmniejszają koncentrację trujących i lotnych związków. Znacząco zostaje podniesione bezpieczeństwo ludzi przebywających w zagrożonym budynku, przez umożliwienie ich ewakuacji, wprowadzenie jednostek ratunkowych, szybką lokalizację ognia i skuteczne jego gaszenie.

Przy grawitacyjnym systemie odprowadzania dymu i gorąca, w czasie pożaru za pomocą elektrycznych napędów otwarte zostają otwory oddymiające w fasadach lub w dachu budynku (patrz tabela 11). Nowoczesne technologie umożliwiają wykonanie oddymiania i wentylacji w budynku poprzez dach lub okna fasadowe. Przy zastosowaniu różnorodnych napędów i systemów sterowania można wykorzystać do oddymiania niemal każdy otwór wentylacyjny istniejący w budynku, przy czym wymagania odnośnie ochrony budynku są osiągane bez narzucania ograniczeń na swobodę architektoniczną obiektu.

Tabela 11. Porównanie dwóch koncepcji oddymiania

Elektryczny system oddymiania	Pneumatyczny system oddymiania
<ul style="list-style-type: none"> <li>- automatyczne wyzwalanie przez czujniki pożarowe</li> <li>- stały monitoring i wskazywanie stanu systemu</li> <li>- wygodna wentylacja bez dodatkowych kosztów</li> <li>- estetyczne wzornictwo elementów systemu</li> <li>- możliwość zabudowania urządzeń w niemal niewidoczny sposób</li> <li>- zintegrowanie z innymi systemami obiektu</li> <li>- konserwacja całego systemu bez zużycia dodatkowych materiałów</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ograniczone możliwości naturalnej wentylacji (tylko w czasie pożaru)</li> <li>- wysokie koszty dodatkowych opcji systemu</li> <li>- gwałtowne otwieranie się systemu</li> <li>- wyższe koszty eksploatacji i konserwacji systemu z powodu wysokich kosztów próbnego wyzwolenia systemu</li> </ul>

Przez te otwory wydostają się na zewnątrz trujące gazy, dym i gorące powietrze, dzięki czemu drogi ewakuacji spełniają swoją rzeczywistą funkcję w kompleksowym zabezpieczeniu przeciwpożarowym budynku. Oferowane okna oddymiające wyposażone są w łańcuchowy lub zębatkowy napęd elektryczny zamontowany na specjalnej konstrukcji wykonanej z profili aluminiowych. Dobierane są odpowiednie wymiary skrzydła, system z którego ma zostać wykonane okno, typ ramy, rodzaj szyby i parametry napędu. Systemy oddymiania stosuje się zarówno w małych obiektach jak i dużych kompleksach budowlanych. Centrala współpracuje z czujkami dymu, które przekazują sygnał w przypadku powstania zagrożenia pożarowego do otwarcia klap lub okien dymowych oraz przyciskami, których zadaniem jest ręczne uruchomienie funkcji oddymiania. Istnieje możliwość podłączenia przycisku z funkcją przewietrzania. Wszystkie centrale mogą współpracować z czujkami wiatrowo-deszczowymi. System sterowania oddymianiem oprócz automatycznego

wyzwalania, może być wyposażony w urządzenia umożliwiające uruchamianie zdalne lub ręczne i z systemu SAP. Dodatkowa współpraca z SAP umożliwi synchronizację pracy systemu oddymiania z działaniem instalacji tryskaczowych, kurtyn dymowych i ogniowych, oddzieleniami pożarowymi, działaniem wentylacji nawiewnej i otworów napowietrzających. Nie ma niestety jednego uniwersalnego systemu gwarantującego wysoki stopień niezawodności. Z większym lub mniejszym powodzeniem stosowane są systemy wykorzystujące kłapy upustowe, które ograniczają wpływ wyporu termicznego<sup>(15)</sup> Jako systemy wyzwalające działanie kłap stosuje się przeważnie czujki dymu lub temperatury zlokalizowane w najwyższych punktach strefy dymowej. Często rozwiązaniem są również mechanizmy wyzwalające oparte o mechanizm topikowy lub ampulki pękające w określonych granicznych temperaturach. Powodują, że system działa niezawodnie. Wytworzenie w klatce schodowej nadciśnienia rzędu 50 Pa nie wydaje skomplikowanym zadaniem<sup>(16)</sup>. Wystarczy na podstawie prostych obliczeń dobrać urządzenie wentylatorowe pozwalające na dostarczenie do chronionej przestrzeni wymaganych strumieni powietrza. Problemy wystąpią zakłada się utrzymywanie nadciśnienia na całej wysokości klatki schodowej. W zależności od przyjętych standardów doboru instalacji napowietrzania klatek schodowych konieczne jest osiągnięcie wymaganej prędkości powietrza w otwartych drzwiach klatki schodowej (0,5÷2 m/s). Jeżeli drzwi zostaną otwarte wyłącznie na jednym piętrze, spełnienie tego warunku jest stosunkowo proste i możliwe do spełnienia. Gdy założona zostanie jednoczesna ewakuacja i akcja ratownicza, a więc jeżeli otwarte będą dwie pary drzwi, na piętrze objętym pożarem i na poziomie wyjścia z budynku trudne jest spełnienie tego warunku (np. podczas prowadzenia klasycznego nawiewu wielopunktowego, przy prędkości na parterze 2 m/s, na ósmym piętrze wynosi ona już blisko 4 m/s).

Należy pamiętać, że instalacja wentylacji pożarowej nie spełni swojego zadania, jeżeli jej projekt nie będzie uwzględniał innych instalacji zabezpieczenia przeciwpożarowego budynku, czyli systemów detekcji i sterowania, instalacji tryskaczowej, a także takich elementów, jak podział obiektu na strefy pożarowe, jego klasę odporności ogniowej, kategorie zagrożenia, właściwości palne materiałów stanowiących wyposażenie wnętrz.

Biorąc pod uwagę wszystkie opisane powyżej okoliczności, najskuteczniejszą metodą ochrony dróg ewakuacji w przypadku budynków mieszkalnych okazać się mogą kompaktowe systemy napowietrzania pożarowego (na rynku są specjalne jednostki przeznaczone dla budynków mieszkalnych). Przed przystąpieniem do realizacji takiej instalacji należy jednak pamiętać, o jeszcze jednym niezbędnym dla jej funkcjonowania elemencie, czyli systemie odbioru powietrza i dymu. W przypadku klatek schodowych, na które prowadzą bezpośrednio wyjścia z mieszkań, oznacza to konieczność wykonania co najmniej jednego automatycznie otwieranego okna w każdej potencjalnie zagrożonej pożarem strefie (czyli w każdym mieszkaniu), co niestety podraża i komplikuje wykonanie całej instalacji. Jeżeli obudowana klatka schodowa połączona jest z lokalami mieszkalnymi korytarzem, system usuwania dymu powinien być wykonany (w formie wyciągu mechanicznego) właśnie w tej przestrzeni.

---

<sup>(15)</sup> Zadaniem kłap napowietrzających jest otwarcie się w momencie otwarcia kłap dymowych i umożliwienie wytworzenia się ciągu kominowego w zadymionej strefie. To przez nie dostaje się powietrze kompensujące strumień wypływający z budynku. Kłapy napowietrzające są zbudowane z reguły jak kłapy żaluzjowe z siłownikiem i sterowane są tym samym sygnałem co kłapy dymowe. Montowane są przeważnie w przegrodach budynków, na najniższych kondygnacjach (aby zapewnić dobry ciąg kominowy ważna jest jak największa różnica wysokości kłapy dymowej i napowietrzającej).

<sup>(16)</sup> W klatkach schodowych budynków wysokich zawsze występują różnice ciśnienia na poszczególnych piętrach. W sprzyjających warunkach wahania te nie są duże i nie wpływają w widoczny sposób na rozkład ciśnienia. Jeżeli jednak warunki zewnętrzne są niekorzystne (np. w zimie), różnica ciśnienia na klatce schodowej między dolnymi i górnymi piętrami budynku w zależności od jego wysokości może znacznie przekroczyć 100 Pa, co jest już niebezpieczne dla prowadzenia skutecznej ewakuacji obiektu.

Dym w zależności od tego co się pali może być bardzo trujący a wydzielany w dużych ilościach może w krótkim czasie całkowicie zadymić obiekt, uniemożliwić ucieczkę oraz utrudnić akcję ratowniczą. Wszystkie wentylatory oddymiające są certyfikowane (tabela 12). Wentylatory oddymiające dostosowane są do wszystkich kategorii odporności temperaturowych o konstrukcji osiowej i promieniowej z wyposażeniem umożliwiającym różnorodne konfiguracje i możliwości montażowe.

Tabela 12. Charakterystyka wybranych wentylatorów oddymiających

Typ	NG	V, m <sup>3</sup> /h	Δp, Pa	T, °C
Dachowy (promieniowy) BVD	7	1000 ÷ 52000	do 1900	400/620
Osiowy BVAXN	14	900 ÷ 180000	do 1800	200/300/400/600
Jw. BVZAXN	12	3000 ÷ 12000	Do 2800	200/300/400
Jw. BVAXO	8	800 ÷ 80000	Do 600	200/300
Ścienne BVW	6	500 ÷ 45000	Do 1800	200/300/400/600
Promieniowy BVRA	19	400 ÷ 125000	Do 2500	600
Jw. BVREH	9	2000 ÷ 71000	Do 3000	400
Jw. BVERV	4	400 ÷ 60000	Do 2100	200/300

Dostępny jest także kompaktowy zespół regulacyjny RDA, w którego obudowie umieszczony jest wentylator ze stabilizatorem charakterystyki i samoczynne kłapy nadciśnieniowe wyposażone w mechanizm sprężynowy, które otwierają się po przekroczeniu zadanej wartości ciśnienia i tworzą by-pass w kierunku otworu ssawnego wentylatora. Siłę otwierania kłap wytwarza ciśnienie w klatce schodowej/drodze ucieczki, a siłę zamykania mechanizm sprężynowy. Zmianą napięcia sprężyny można ustalić siłę zamykania tj. różnicę ciśnień przy której kłapy się otwierają. Przy kłapach otwartych część powietrza cyркуluje w obrębie urządzenia. Moment zamykający kłapę regulacyjną jest tak dobrany, że nieznaczne przekroczenie zadanej wartości skokowo zmienia powierzchnię czynną kłapy (czas reakcji systemu jest krótszy niż 3 s). Dostępne są typy dla przepływu powietrza od 6000 m<sup>3</sup>/h (RDA-450) do 30000 m<sup>3</sup>/h (RDA-710). Zastosować można także systemy instalacji różnicowania nadciśnienia (RDS-DEK). Składają się one z urządzenia napowietrzającego i oddzielnej kłapy nadciśnieniowej. Kłapa ta otwiera się samoczynnie, gdy zostanie przekroczone założone nadciśnienie (50 Pa). Moment zamykający kłapy jest ustawiany mechanizmem sprężynowym, tak skonstruowanym że nieznaczne przekroczenie żądanej wartości zmienia skokowo powierzchnię czynną kłapy, co gwarantuje krótki czas reakcji systemu na zmianę ciśnienia. Gdy zostaną otwarte drzwi i gwałtownie spadnie w klatce ciśnienie kłapa zamyka się i cały wydatek urządzenia (poza wydatkiem pokrywającym nieszczelności) przepływa przez otwarte drzwi. Zamknięcie drzwi powoduje natomiast otwarcie kłapy. Wykorzystać można kłapy dachowe (DEK-V/DS i DEK-A/LK) lub ścienne (DEK(A)-H/JK-RG/WH, DEK(A)-H/LF i DEK-H/IS-AR/WG). W obudowie urządzenia RDS umieszczony jest wentylator osiowy z kierownicą powietrza i stabilizatorem. Stabilizator linii charakterystyki zapobiega typowemu dla wentylatorów osiowych odrywaniu strug powietrza w lewym zakresie charakterystyki, co umożliwia stosowanie układów pracy równoległej kilku urządzeń. Ponadto, pamiętać należy że współczesne systemy pożarowe integrują, nadzorują i sterują działaniami innych systemów bezpieczeństwa, stając się integralną częścią systemu BMS inteligentnych budynków. W zależności od wielkości, kategorii budynków, rodzaju i rozwiązania wentylacji oraz zastosowanych zabezpieczeń pożarowych i oddymiających ich koszty wahają się w granicach od kilkunastu tysięcy do ponad miliona złotych. Przepisy prawne w zakresie ochrony przeciwpożarowej podlegają stałym zmianom. Ich spełnienie często wymaga stosowania całkiem nowych rozwiązań w zakresie urządzeń wentylacji pożarowej oraz organizacji układu architektonicznego dróg ewakuacji.

## NOTATKI