

JAROSŁAW MÜLLER, DOROTA SKRZYNIOWSKA\*

## JAKOŚĆ POWIETRZA A WENTYLACJA POMIESZCZEŃ

## AIR QUALITY AND ROOM VENTILATION

## Streszczenie

W budynkach mieszkalnych występują różne zanieczyszczenia (od ludzi zwierząt, wyposażenia itp.) W normach i przepisach można znaleźć projektowe wartości minimalnego strumienia powietrza świeżego wymaganego w zależności od zakładanej kategorii pomieszczenia. Nie tylko w Polsce wentylacja grawitacyjna jest jednym z najczęściej spotykanych rozwiązań. Wentylacja naturalna nie zawsze dostarcza wymagany strumień powietrza, dlatego spotykamy częste występowanie Syndromu Chorego Budynku, przekroczenie dopuszczalnych stężeń CO<sub>2</sub> lub pary wodnej oraz ryzyko wystąpienia tlenku węgla. Jest to szczególnie istotne w budynkach pasywnych, w których izolacyjność i szczelność stanowi priorytet. Szczelność budynku wymaga zastosowania systemu wentylacji mechanicznej, a to w odczuciu wielu użytkowników generuje problemy inwestycyjne oraz koszty eksploatacyjne, które w praktyce prowadzą do braku lub „szczętkowej” instalacji wentylacji. Przedstawiono charakterystykę podstawowych zanieczyszczeń występujących w budynkach mieszkalnych oraz wpływ koncentracji tych zanieczyszczeń na zdrowie i samopoczucie człowieka. Dla typowych (normowych) wartości strumieni powietrza przedstawiono obliczenia energetyczne

*Słowa kluczowe: SBS, wentylacja mechaniczna, zanieczyszczenia*

## Abstract

There are various contaminants in habitable buildings (from people, animals, equipment, etc.). In standards and regulations, one can find minimum airflow required for ventilation according to indoor air quality category. Poland is not the only country where natural ventilation is one of the most popular types of ventilation systems. Natural ventilation does not always work properly, very often it does not supply required airflow. Therefore, there are symptoms of Sick Building Syndrome, excessive amount of carbon dioxide and water vapor and a risk of carbon monoxide presence. The idea of passive buildings is to minimize energy loss therefore new designed passive buildings have 100 % – sealed windows, doors, walls. Passive buildings need mechanical ventilation systems but owners do not always install such system because of some disadvantages (investment cost, running cost etc.). The paper presents short characteristics of air pollution in average building, simple calculation of energy required for ventilation.

*Keywords: SBS, mechanical ventilation, pollution*

\* Dr inż. Jarosław Müller, dr inż. Dorota Skrzyniowska, Instytut Inżynierii Ciepłej i Ochrony Powietrza, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska.

## 1. Wstęp

W celu zapewnienia odpowiedniej jakości powietrza w budynkach przeznaczonych do przebywania ludzi stosuje się wentylację pomieszczeń. Z drugiej jednak strony jesteśmy zobligowani do oszczędzania energii, co obecnie staje się priorytetem przy budowie i eksploatacji obiektów.

Świadomość użytkowników na temat znaczenia jakości powietrza i jego wpływu na zdrowie i samopoczucie człowieka jest niska. Efektem takiego podejścia jest brak wentylacji pomieszczeń lub zbyt mała wymiana powietrza (jeśli istnieje to jej przemykanie lub całkowite zamykanie). Jest to szczególnie istotne w budynkach pasywnych, w których izolacyjność i szczelność stanowi priorytet. Ten drugi warunek powoduje konieczność instalowania systemu wentylacji mechanicznej, a to, w odczuciu wielu użytkowników generuje problemy inwestycyjne koszty eksploatacyjne. Inwestorzy i użytkownicy napotykać na szereg trudności, które w praktyce prowadzą do braku lub „szczętkowej” instalacji wentylacji, co prowadzi do znacznego pogorszenia jakości powietrza, wywołując negatywne skutki dla zdrowia i kondycji fizycznej i psychicznej człowieka, ale i negatywne skutki dla samego budynku.

Rozpatrując wentylację z punktu widzenia człowieka, należy uzmysłowić sobie jej ogromne znaczenie, gdyż człowiek może żyć 30 dni bez jedzenia, 8 dni bez picia, lecz tylko 3 minuty bez powietrza. Spędzając większą część swojego życia wewnątrz pomieszczeń, powinniśmy dbać o jak najlepszą jakość powietrza w ich wnętrzu.

## 2. Budynki pasywne (domy energooszczędne) – standard wznoszenia obiektów budowlanych

Obecnie kładzie się duży nacisk na oszczędność energii we współczesnym budownictwie. Energia zużywana przez budynek jest zawsze zbyt duża. Dlatego dąży się do zminimalizowania lub ograniczenia wykorzystania energii w trakcie jego użytkowania, a więc do maksymalizacji zysków energetycznych i ograniczenia strat ciepła. Uzyskać można to przez wznoszenie domów energooszczędnych (ekonomicznych, ekologicznych, ciepłych); Domy energooszczędne – Niedrigenergiehäuser; budynki pasywne – Passivhäuser:

- Podstawowym sposobem na spełnienie standardów budynku tzw. pasywnego jest jego bardzo dobra izolacja cieplna. Standard budynku pasywnego narzuca wartość współczynnika przenikania ciepła dla ścian zewnętrznych poniżej  $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , przy jednoczesnym wyeliminowaniu mostków termicznych, zaś dla okien poniżej  $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;
- Również zastosowanie szeregu rozwiązań technicznych w budynku może zmniejszyć straty energii w trakcie jego eksploatacji (rocznie budynek nie może wymagać więcej niż  $15 \text{ kWh}$  energii na metr kwadratowy do ogrzewania);
- W wyniku wzrostu znaczenia efektywności energetycznej szczelne budynki stały się częstym zjawiskiem, a rola wentylacji nabrała szczególnego znaczenia. Kiedy pomieszczenie mieszkalne jest dobrze ogrzewane i izolowane, nadmiar wilgoci, który się kumuluje musi być odprowadzony za pomocą wentylacji, która przeciwdziała pojawieniu się pleśni, czy grzybów. Najczęściej stosowanym sposobem wentylacji jest wietrzenie pomieszczeń poprzez otwarcie okien. Powoduje to jednak drastyczną utratę ciepła, co jest sprzeczne z funkcjami szczelnych okien;

- W budynkach oszczędnych stosuje się odpowiedni system nawiewno-wywiewny z wykorzystaniem gruntowego wymiennika ciepła. W okresie zimowym świeże powietrze po przefiltrowaniu przechodzi przez to urządzenie, gdzie jest wstępnie ogrzewane. Następnie powietrze dostaje się do rekuperatora, w którym zostaje podgrzane ciepłem pochodzącym z powietrza wywiewanego z budynku;
- W przeważającej części zapotrzebowanie na ciepło zostaje zaspokojone dzięki zyskom cieplnym z promieniowania słonecznego oraz ciepłu oddawanemu przez urządzenia i przebywających w budynku ludzi.

### 3. Czynniki wpływające na jakość powietrza wewnętrznego

Czynniki wpływające na samoistne kształtowanie się parametrów powietrza w budynku (pomieszczeniach) lub w innym otoczeniu człowieka:

- **Klimat** (np. klimat umiarkowany, klimat tropikalny suchy, klimat tropikalny mokry); Jest to czynnik obiektywny (niezależny od nas). Człowiek nie ma wpływu na jego kształtowanie;
- **Architektura** (w tym budownictwo osiedli i budynków, a więc ich rozmieszczenie oraz ich rozwiązania konstrukcyjne); Jest to czynnik subiektywny, ponieważ warunki kształtowania się parametrów w znacznej mierze zależą od działalności człowieka.

Podczas projektowania budynków podejmuje się decyzje w sprawach lokalizacji i koniecznych instalacji wewnętrznych. Decyzje te mają charakter na ogół arbitralny w związku z dylematami trudnymi do jednoznacznego rozstrzygnięcia *a priori*. Decyduje się np. czy wystarczające będzie wyposażenie obiektu w urządzenia grzewcze z przewietrzaniem naturalnym przez otwieranie okien, względnie z wentylacją naturalną kanałami ciągów naturalnych, czy też zastosowane zostaną instalacje wentylacyjne z mechanicznym nawiewem lub instalacje systemów zapewniających pełną klimatyzację.

Uzasadnienie decyzji, co do rodzaju przyjętego systemu uzdatniania powietrza nie jest łatwe. Zastosowanie bowiem wentylacji mechanicznej zamiast naturalnej, a tym bardziej zastosowanie instalacji klimatyzacyjnej, powoduje istotne zwiększenie kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych budynku. Pomimo znacznej różnicy kosztów w różnych systemach uznaje się coraz częściej za uzasadnione stosowanie w nowym budownictwie, co najmniej wentylacji mechanicznej, a nawet klimatyzacji, jak to ma miejsce np. w klimacie cieplejszym (Płd. Europa). Również w naszym klimacie efekty wentylacji naturalnej, które były wystarczające w obiektach tzw. budownictwa starego, są już niewystarczające w obiektach nowego budownictwa.

Podstawowe cechy odmienności architektury i budownictwa obecnego i dawnego uzasadniają konieczność stosowania instalacji wentylacyjnych lub klimatyzacyjnych

#### Okna

Obiekty starego budownictwa wyposażone były w małe otwory okienne, które zajmowały około 35% powierzchni ścian zewnętrznych (efekt—mały wpływ promieniowania słonecznego na wzrost temperatury powietrza w pomieszczeniu).

W nowym budownictwie okna mogą zajmować nawet 75% powierzchni ścian zewnętrznych i w związku z tym może mieć miejsce, okresowo, znaczne podgrzewanie ścian, wypo-

sażenia wnętrza i powietrza wewnątrz pomieszczeń na skutek napromieniowania słonecznego przez szyby.

### **Konstrukcja ścian**

W starym budownictwie stosowano większe grubości ścian z materiałów o większej pojemności cieplnej. Na skutek napromieniowania słonecznego nagrzewającym się powierzchniom zewnętrznych ścian (nieprzeźroczystych) i wzrostowi ich temperatury towarzyszy znacznie opóźniony wzrost temperatury powierzchni ściany wewnętrznej pomieszczenia. Opóźnienie to wynika z właściwości akumulacyjnych tradycyjnie stosowanych materiałów ścian starego budownictwa, np. przy grubościach ścian z tradycyjnych materiałów różnica czasu pomiędzy maksimum strumienia ciepła wnikającego do powierzchni zewnętrznej ściany napromieniowanej, a maksimum strumienia ciepła przejmowanego od ściany do powietrza wewnątrz pomieszczenia wynosi niekiedy nawet do 8–12 [h]. Jest to okres czasu, po którym inne przyczyny niekorzystnego podgrzewania się powietrza wewnątrz pomieszczenia ustępują, a ponadto temperatura powietrza na zewnątrz obniża się i ciepło odpływa od ścian do otoczenia zewnętrznego.

W nowoczesnym budownictwie stosuje się materiały do budowy przegród zewnętrznych o współczynnikach przekazywania ciepła większych niż w starym budownictwie i o małej akumulacyjności, co w przypadku zaniechania izolacji, umożliwia przekazywanie ciepła do wnętrza niekiedy nawet w okresie około 1–2 [h].

### **Wyposażenie wnętrz**

Wyposażenie wnętrza nowoczesnych budynków wymaga dobrego przewietrzania, ponieważ w pomieszczeniach znajdują się urządzenia emitujące ciepło, zapachy, pyły, np. telewizor, ziębiarka, suszarka, oświetlenie.

Technologie procesowe i produkcyjne wewnątrz budynku i na zewnątrz w jego najbliższym otoczeniu. Jest to czynnik subiektywny, ponieważ kształtowanie zanieczyszczeń w otoczeniu człowieka zależy od człowieka lokalizującego urządzenia technologii procesowych lub lokalizacji budynków, np. przy arteriach komunikacyjnych.

### **Hałas**

Hałas spowodowany ruchem komunikacyjnym, a niekiedy działaniem urządzeń przemysłowych, jest niekorzystny dla samopoczucia człowieka. W związku z tym w niektórych krajach uznano, że nie wolno stosować przewietrzania przez otwieranie okien wychodzących bezpośrednio na arterię komunikacyjną, a nawet postanowiono przykładowo, że jeśli w odległości 0,5 [m] od okna hałas jest większy od 65 [dB] to wówczas przewietrzanie przez otwieranie okien jest niedopuszczalne.

### **Zanieczyszczenia**

Niekorzystna lokalizacja budynków w otoczeniu emitującym zanieczyszczenia do powietrza zewnętrznego w postaci pyłów, gazów, zapachów, dymów itp. powoduje, że otwieranie okien jest niemożliwe, zarówno w lecie jak i w zimie. W takich przypadkach obowiązuje wielostopniowe filtrowanie powietrza przed nawiewem do pomieszczenia. Jeżeli nie ma pomimo to warunków do wentylacji naturalnej, należy zastosować wentylację mechaniczną lub nawet klimatyzację jako skuteczne techniki kształtowania środowiska klimatycznego w bezpośrednim otoczeniu człowieka.

Człowiek jest również źródłem zanieczyszczeń otaczającego go powietrza, co objawia się wzrostem temperatury powietrza oraz wzrostem zawartości pary wodnej, CO<sub>2</sub> i substancji zapachowych.

Utrzymanie tych niepożądanych zanieczyszczeń w przedziale wartości dopuszczalnych można osiągnąć przez nawiew do otoczenia człowieka, powietrza pozbawionego tych zanieczyszczeń i wywiew powietrza zanieczyszczonego, na zewnątrz. Stan rozcieńczenia zanieczyszczeń na skutek nawiewu i wywiewu powietrza określany parametrami, takimi jak temperatura, wilgotność powietrza, koncentracja gazów i zapachów musi być taki, aby dotrzymane były z góry określone wymagania.

Jeśli nie ma możliwości przewietrzania przez otwieranie okien, a wentylacja grawitacyjna jest niewystarczająca, wówczas jedynie wentylacja mechaniczna lub klimatyzacja mogą być skuteczną techniką kształtowania środowiska klimatyzowanego bezpośrednio w otoczeniu człowieka [1].

#### 4. Zanieczyszczenia

Do najbardziej szkodliwych zanieczyszczeń obecnych w powietrzu zalicza się:

- zanieczyszczenia antropogeniczne, czyli wynikające z procesów działalności człowieka (spalanie gazu, palenie tytoniu, sprzątanie, gotowanie, prace remontowe itp.),
- zanieczyszczenia mikrobiologiczne (kurz, grzyby, drożdżaki, pleśnie, bakterie, odpady zwierzęce),
- zanieczyszczenia emitowane z materiałów budowlanych oraz wykończeniowych zastosowanych w danym środowisku przebywania człowieka.

Tabela 1

**Źródła i rodzaje zanieczyszczeń w pomieszczeniach mieszkalnych [2]**

Źródło	Rodzaj zanieczyszczenia
<b>Zewnętrzne</b>	
Powietrze atmosferyczne	SO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , węglowodory, pył
Pojazdy mechaniczne	CO, Pb, węglowodory, pył
Grunt	Radon
<b>Wewnętrzne</b>	
<i>Materiały konstrukcyjne</i>	
Beton, kamień	Radon
Płyty wiórowe, sklejka	Formaldehyd, rozpuszczalniki
Materiały izolacyjne	Włókno szklane lub mineralne, rozcieńczalniki, lepiszcza
Kleje	Rozpuszczalniki organiczne
Farby	Rtęć, chrom, rozpuszczalniki
<i>Wyposażenie budynku</i>	
Urządzenia spalinowe do ogrzewania i gotowania	CO, NO, NO <sub>2</sub> , formaldehyd pył
Meble	Rozpuszczalniki organiczne
Instalacja wodno-kanalizacyjna	radon

cd. tab. 1

<i>Obecność ludzi</i> Produkty przemiany materii	H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , zapachy
<i>Działalność człowieka</i> Dym tytoniowy Urządzenia aerozolowe Środki czyszczące, przygotowanie potraw Majsterkowanie, hobby, remonty	CO, NO <sub>2</sub> , cząstki organiczne, zapachy Fluoropochodne węglowodorów, chlorek winylu NH <sub>3</sub> , związki organiczne, zapachy Związki organiczne, pył

Według raportu [5] rozróżnia się trzy klasy materiałów budowlanych M1, M2 i M3.

Tabela 2

### Klasy materiałów budowlanych

Klasa	Całkowita emisja lotnych związków organicznych [mg/m <sup>2</sup> h]	Emisja formaldehydu (H <sub>2</sub> CO) [mg/m <sup>2</sup> h]	Emisja amoniaku (NH <sub>3</sub> ) [mg/m <sup>2</sup> h]	Emisja związków kancerogennych zaliczanych do pierwszej kategorii wg klasyfikacji IARC [mg/m <sup>2</sup> h]	Zapachy (PPD)
M1	< 0,2	< 0,05	< 0,03	< 0,005	Brak zapachu (< 15%)
M2	< 0,4	< 0,125	< 0,06	< 0,005	Nieznacznym zapach (< 30%)

Tabela 3

### Akceptowane stężenia zanieczyszczeń powietrza wewnętrznego [2]

Zanieczyszczenie	Stężenie
Dwutlenek węgla	1000 ppm (1980 mg/m <sup>3</sup> )
Tlenek węgla	9 ppm (11 mg/m <sup>3</sup> )
Formaldehyd	0,1 ppm
TVOCs (wszystkie lotne zw. organiczne)	3 ppm
Ogólna liczba bakterii	50 JTK/m <sup>3</sup>
Grzyby mikroskopowe	500 JTK/m <sup>3</sup>
Cząstki stałe zawieszane w powietrzu	150 µg/m <sup>3</sup>

Kategoria M1 to materiały budowlane bezpieczne ze względu na emisję zanieczyszczeń (cegła, kamień naturalny, marmur, płytki ceramiczne, szkło, powierzchnie metalowe) oraz materiały przebadane pod względem emisji: tynki, płytki ceramiczne, materiały poziomujące, wypełnienia itp. nie powinny zawierać kazeiny.

Kategoria M2 to materiały, np. tynki, płytki ceramiczne, materiały poziomujące, wypełnienia itp. niezawierające kazeiny.

Do kategorii M3 zaliczane są materiały nie przebadane oraz takie, których emisji przekracza wartości dopuszczalne dla kategorii M2.

W budynkach klasyfikowanych jako budynki o niskiej emisji zanieczyszczeń materiałów budowlanych, przeważająca powierzchnia powinna być wykonana z materiałów klasy M1, określony odsetek powierzchni może być zaliczany do klasy M2 (podano jako przykład rozwiązania w Finlandii (20%), skąd pochodzi klasyfikacja M1, M2, M3), a powierzchnie wykończone materiałami M3 mogą występować sporadycznie.

## 5. Odczuwalna jakość powietrza

Intensywność wydzielania się zanieczyszczeń wewnętrznych w większości przypadków można wyrazić „równoważnikiem osobowym”, to znaczy liczbą standardowych osób (olf) które spowodują zanieczyszczenie powietrza równie uciążliwe jak analizowane źródło zanieczyszczeń [5]. Odczuwalna jakość powietrza może być wyrażona w decypolach, gdzie 1dp to stężenie zanieczyszczeń powietrza w pomieszczeniu, wywołane obecnością standardowej osoby (emisja zanieczyszczeń 1 olf) przy przepływie przez pomieszczenie 36 m<sup>3</sup>/h (10 l/s) powietrza zewnętrznego, w warunkach idealnego mieszania się strumienia.

Tabela 4

**Intensywność wydzielania się zanieczyszczeń z wykończeniowych materiałów budowlanych i systemów wentylacyjnych [4]**

Rodzaj budynku	Wartość średnia [olf/m <sup>2</sup> ]	Zakres [olf/m <sup>2</sup> ]
Budynki istniejące		
Biura	0,6	0–3,0
Szkoły (sale lekcyjne)	0,3	0,12–0,54
Przedszkola	0,4	0,20–0,74
Sale konferencyjne	0,3	0,13–1,32
Budynki nowe		
niskoemisyjne	0,1	
inne	0,2	

## 6. Skutki zanieczyszczeń

Jakość powietrza pomieszczeń, w których spędzamy znaczną część dnia, ma istotny wpływ na nasze zdrowie i samopoczucie. Często projektanci i użytkownicy nie zdają sobie sprawy jak bardzo zła wentylacja i tzw. przeszczelnienie pomieszczeń może obniżyć jakość powietrza wewnętrznego i stać się niespodziewanym źródłem różnego rodzaju schorzeń. Skutki przeszczelnienia pomieszczeń to:

- brak świeżego powietrza w pomieszczeniu powodujący zagrożenie dla naszego zdrowia i życia,

– kondensacja pary wodnej w ścianach zmniejszająca ich izolację termiczną oraz powodująca powstawanie grzybów i pleśni.

Skutki przebywania ludzi w szkodliwych warunkach są opisane w dwóch podstawowych zespołach objawowych:

- zespół chorego budynku,
- wieloczynnościowa nadwrażliwość chemiczna.

W budynkach pasywnych obserwuje się, pomimo spełnionych warunków i wymagań czystości, objawy niezadowolenia użytkowników i uskarżanie się na złą jakość powietrza, które odbierane jest jako kombinacje dolegliwości występujących w określonym miejscu: duszne i nieswieże powietrze, podrażniające śluzówki, powodujące bóle i zawroty głowy, nadmierne zmęczenie, nudności, wysypkę, zaburzenia pamięci i koncentracji, zaburzenia w oddychaniu, podrażnienie błon śluzowych gardła, nosa i krtani, w skrajnych przypadkach omdlenia. Objawy te i dolegliwości określa się jako zespół chorego budynku SBS (*Sick Building Syndrome*).

Wystąpienie przykrych dolegliwości związane jest głównie ze zbyt małą ilością świeżego powietrza w pomieszczeniu oraz z jego złą jakością (prawdopodobnie jest to wynikiem obecności związków chemicznych w pomieszczeniu, a dokładnie mieszanin tych związków o bardzo niskich stężeniach). Źródłami zanieczyszczeń powietrza w pomieszczeniu mogą być organizmy żywe (np. produkty uboczne oddychania, pocenia się, grzyby, pleśnie), materiały budowlane i elementy wyposażenia wnętrza (np. rozpuszczalniki, impregnaty drewna, związki emitowane przez farby malarskie, azbest), systemy wentylacji i klimatyzacji (np. mikroorganizmy żyjące w nieczyszczonych przewodach wentylacyjnych), powietrze zewnętrzne (np. zanieczyszczenia chemiczne powietrza w dużych aglomeracjach miejskich) albo samo użytkowanie pomieszczeń (np. palenie tytoniu). Jak się szacuje, na zespół chorego budynku zapada od 20 do 30 proc. pracowników biurowych, a w 1984 roku Światowa Organizacja Zdrowia informowała, iż zespół SBS występuje aż w 30% nowych i odnawianych budynków na świecie. Po usunięciu przyczyn (po uzyskaniu dostępu do świeżego powietrza lub po opuszczeniu zbyt szczelnego budynku) objawy te mijają, chociaż niestety często mogą przejść w trwałe stany chorobowe zanim użytkownicy zdiagnozują przyczyny złego samopoczucia.

Tabela 5

**Średnia częstotliwość występowania objawów SBS. Dane z krajów skandynawskich wg Kukkenen i in., 1993 [4]**

Rodzaj objawów		Pomieszczenia biurowe		Mieszkania	
		Mężczyźni [%]	Kobiety [%]	Mężczyźni [%]	Kobiety [%]
Objawy ogólne	średnio min.	15–20 5	25–35 15	8–12	15–20
Podrażnienia błon śluzowych	średnio min.	15–20 5	25–35 15	5–10	10–15
Objawy skórne	średnio min.	10–15 5	25–35 15	5	10



W tabeli 5 podano przykłady objawów i częstotliwość ich występowania w krajach skandynawskich.

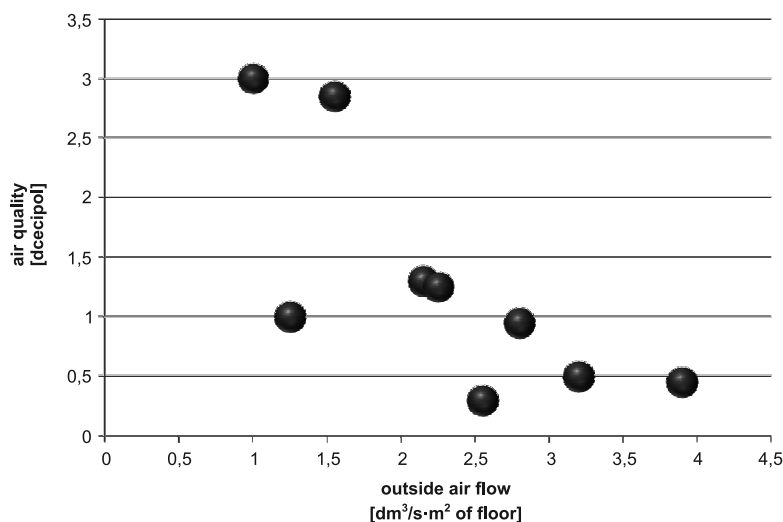
Jak widać, omawiane objawy częściej występują w pomieszczeniach biurowych niż w mieszkaniach i wyraźnie częściej są odnotowywane przez kobiety niż przez mężczyzn.

Wieloczynnikowa nadwrażliwość chemiczna – MCS (Multiple Chemical Sensitivity).

Wieloczynnikowa nadwrażliwość chemiczna (*multiple chemical sensitivity*) jest to zespół objawów wywołany ekspozycją na powszechnie występujące zanieczyszczenia środowiska, przy niskich poziomach narażenia, niepowodujących niekorzystnych skutków zdrowotnych w populacji generalnej. Objawy dotyczą wielu narządów i układów, mogą wystąpić w różnych, niezwiązanych ze sobą środowiskach. Symptomy to między innymi: nadmierna podatność na zmęczenie, bóle i zawroty głowy, dezorientację, depresję, drażliwość, zaburzenia pamięci świeżej, zaburzenia emocjonalne, zaburzenia koordynacji ruchowej, nadwrażliwość na przykre zapachy, zaburzenia widzenia (mroczki, okresowe zaczerwienienie pola widzenia), osłabienie mięśni i stawów, bóle i skurcze mięśni, objawy astmy lub inne zaburzenia ze strony układu oddechowego, zaburzenia rytmu serca, zaburzenia żołądkowo-jelitowe.

## 7. Jakość powietrza a strumień powietrza wentylacyjnego

Badania prowadzone w Polsce [11] pokazują, że istnieje ścisły związek pomiędzy strumieniem powietrza wentylacyjnego a jakością powietrza w pomieszczeniach. Dlatego oszczędności energetyczne nie mogą być dokonywane kosztem redukcji strumienia powietrza.



Rys. 1. Jakość powietrza w funkcji strumienia powietrza zewnętrznego

Fig. 1. Air quality as a function of outside air flow

Z jednym wyjątkiem wykres pokazuje, że użytkownicy będą odczuwali poprawę komfortu wraz ze wzrostem strumienia powietrza odniesionego do powierzchni podłogi.

Strumień powietrza wentylacyjnego może być obliczony według:

$$V = 10 \frac{G}{c_i - c_o} \frac{1}{\epsilon_a}, \quad \text{l/s}$$

gdzie:

- $V$  – strumień powietrza zewnętrznego, l/s,
- $G$  – Całkowity strumień zanieczyszczeń wydzielanych w pomieszczeniu, olf,
- $c_i$  – zakładana jakość powietrza, decypol,
- $c_o$  – jakość powietrza zewnętrznego, decypol,
- $e$  – efektywność rozprowadzenia powietrza w pomieszczeniu (0.9).

Jakość powietrza  $c_i$  można obliczyć, zakładając PPD, % (opisane w [12]):

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

Jakość powietrza zewnętrznego można przyjąć jako:

- $c_o > 1$  decypol – dla dużych miast o złej jakości powietrza, przy niekorzystnych warunkach pogodowych
- $0,3 > c_o > 0,05$  decypol – dla miast o średniej jakości powietrza
- $c_o = 0,01$  decypol – dla terenów pozamiejskich, górskich, nad morzem

Strumień powietrza obliczany jak powyżej dla domu jednorodzinnego zamieszkałego przez 5 osób, powierzchnia użytkowa 100 m<sup>2</sup>, kategoria A ( $PD = 15\%$ ), B ( $PD = 20\%$ ) and C ( $PD = 30\%$ ); emisja z materiałów wewnętrznych  $G_m = 0,3$  olf/m<sup>2</sup>:

$$G = 5 \cdot 1 + 0,3 \cdot 100 = 35 \text{ olf}$$

Tabela 6

### Wyniki obliczeń

Odsetek niezadowolonych PD [%]	$c_i$ olf	Strumień powietrza zewnętrznego						
		Duże miasto $c_o = 1,0$ decypol		Małe miasto $c_o = 0,15$ decypol		Poza miastem $c_o = 0,01$ decypol		
	$V$	$V_o$	$V$	$V_o$	$V$	$V_o$		
	[m <sup>3</sup> /h]	[m <sup>3</sup> /h, os.]	[m <sup>3</sup> /h]	[m <sup>3</sup> /h, os.]	[m <sup>3</sup> /h]	[m <sup>3</sup> /h, os.]		
5	0,0364	–		1817	363	1099	220	Kat. A
10	0,6124	–		841	168	646	129	
15	0,9772	–		470	94	402	80	
20	1,4121	944	189	308	62	277	55	Kat. B
30	2,5324	254	51	163	33	154	31	Kat. C
40	4,0647	127	25	99	20	96	19	

Polskie przepisy ustalają minimalny strumień powietrza na osobę równy  $30 \text{ m}^3/\text{h}$ , więc niektóre wartości z tabeli 6 nie spełniają tych wymagań. Dla dużych miast niemożliwe jest uzyskanie akceptowanej jakości powietrza bez odpowiedniej filtracji powietrza zewnętrznego.

## 8. Rodzaje wentylacji

W celu kształtowania jakości powietrza (parametrów powietrza) tworzącego środowisko człowieka stosuje się odpowiednie technologie w tym instalacje wentylacyjne (względnie klimatyzacyjne). Wentylacja ma na celu wymianę powietrza w pomieszczeniu na tzw. „świeże” (z otoczenia zewnętrznego) i usunięcie zanieczyszczeń zarówno stałych (np. pyły), ciekłych, jak i gazowych. Zanieczyszczeniem do usunięcia są również strumienie ciepła i wilgoci, które nadmiernie są wydzielane w pomieszczeniu. Wentylację dzieli się na naturalną (przewietrzanie), grawitacyjną (przez odpowiednie wyposażenie lub ukształtowanie ciągów powietrza), mechaniczną (z zastosowaniem specjalnych instalacji i wentylatorów) oraz hybrydową (będącą połączeniem grawitacyjnej z mechaniczną) [1].

W budownictwie pasywnym jedynym rozwiązaniem jest wentylacja mechaniczna nawiewno-wywiewna. Zastosowanie innego typu wentylacji jest praktycznie niemożliwe.

Na przykład dla wentylacji hybrydowej, wykorzystanie przepływu powietrza przez szczeliny w typowych, nowych oknach, o nieuszczelnności:  $0,1 \text{ m}^3/(\text{h m daPa}^{2/3})$  przy warunkach typowych [3], dla strumienia powietrza  $250 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Wymagana długość szczelin w oknach wynosi 9708 m.

Wymagana ilość nawietrzaków (o charakterystyce  $50 \text{ m}^3/\text{h}$  dla  $10 \text{ Pa}$ ) dla tych samych warunków [3] – 15 szt.

Są to wielkości praktycznie niemożliwe do uzyskania, dlatego konieczna jest wentylacja mechaniczna.

### Roczny koszt ogrzania powietrza wentylacyjnego koniecznego ze względów higienicznych i fizjologicznych – przykład dla domku jednorodzinnego

W strefie klimatycznej, w jakiej znajduje się Polska południowa (Kraków), średnia temperatura powietrza zewnętrznego dla sezonu grzewczego wynosi  $T_{zsr} = +3 \text{ }^\circ\text{C}$ . Czas trwania sezonu grzewczego wynosi  $\tau = 5328$  godzin. Niezbędna ilość energii potrzebnej do podgrzania jednostkowego strumienia powietrza świeżego wynosi  $31,0 \text{ kWh}/(\text{rok} \cdot \text{m}^3/\text{h})$ .

Koszt  $1 \text{ kWh}$  energii cieplnej  $K_{ec} = 0,176 \text{ zł}/\text{kWh}$ . Koszt ogrzania  $1 \text{ m}^3$  powietrza w kotle na gaz GZ50 o sprawności  $90\%$  wynosi  $5,44 \text{ zł}/(\text{rok} \cdot \text{m}^3/\text{h})$ . Przy zapewnieniu (dla przeciętnego domu jednorodzinnego: 5 osób, kuchnia, dwie toalety, dwie łazienki) strumienia powietrza  $250 \text{ m}^3/\text{h}$  orientacyjny koszt ponoszony na ogrzanie powietrza wentylacyjnego wyniesie  $5,44 \cdot 250 = 1360 \text{ zł}/\text{rok}$ .

Powyższą wartość można zredukować, stosując na przykład wymiennik gruntowy, którego ciągła eksploatacja może przynieść oszczędności rzędu  $0,90\text{zł} \cdot 250 = 225 \text{ zł}/\text{rok}$ . Kolejną oszczędność można uzyskać, stosując odzysku ciepła w wymienniku o średniorocznej sprawności  $50\%$ .

A zatem roczny koszt ponoszony na ogrzewanie powietrza wentylacyjnego wyniesie  $(1360 - 225) \cdot 0,5 = 567,5 \text{ zł}/\text{rok}$ .

Do tego należy doliczyć koszt energii elektrycznej potrzebnej do napędu wentylatorów  $40W \cdot 2(\text{szt.}) \cdot 24(\text{godz.}) \cdot 365(\text{dni}) \cdot 0,71) \cdot 0,4\text{zł/kWh} = 196 \text{ zł/rok}$ .

Wówczas łączne, orientacyjne koszty poniesiony na wentylację wyniosą ok. **760 zł**.

<sup>1)</sup> – współczynnik redukcyjny, uwzględniający wietrzenie pomieszczeń przez otwarcie okien.

## 9. Problemy instalacyjne

Kłopoty związane z instalacją wentylacji mechanicznej zaczynają się od znalezienia odpowiedniego miejsca na lokalizację centrali. W domach jednorodzinnych trudno jest znaleźć miejsce odpowiednich rozmiarów, oddalone od pomieszczeń przeznaczonych na wypoczynek (salony, sypialnie), a jednocześnie mające dogodne połączenie z zewnątrz (kanały do czerpni i wyrzutni). Najczęściej wybieranym miejscem jest poddasze, ale tu trzeba pamiętać o częściowej choćby wibroizolacji, aby (szczególnie w nocy) praca urządzenia nie była uciążliwa. Właściwe umieszczenie czerpni i wyrzutni powietrza gwarantować będzie dobrą jakość powietrza. Tutaj bardzo pomocne są przepisy [9] oraz normy [6, 7].

Kolejnym kłopotem inwestora i użytkownika jest odpowiednie rozproszanie powietrza kanałami. Aby organizacja przepływu powietrza w poszczególnych pomieszczeniach była prawidłowa, aby następowało właściwe przewietrzanie, często kanały muszą być poprowadzone nie tylko w korytarzach, ale również w innych pomieszczeniach, co zaburza ich estetykę.

Przed wszystkim jednak głównym problemem w wielu inwestycjach staje się „etapowanie” inwestycji w praktyce sprowadzające się do odłożenia inwestycji w wentylację „na później”. Praktyka pokazuje, że dopóki nie wystąpią poważne problemy z wykraplającą się wilgocią lub problemy zdrowotne mieszkańców (jednoznacznie identyfikowane z jakością powietrza) problem właściwej wentylacji jest zupełnie pomijany.

## 10. Wnioski – optymalizacja a nie maksimum oszczędności

Wentylacja pomieszczeń powinna być jednym z priorytetów zarówno projektanta jak i użytkownika.

Idea budynków pasywnych jest jak najbardziej słuszna. Pojęcie redukcji kosztów ogrzewania budynków jest w naszym społeczeństwie bardzo dobrze znane. Niestety razem z edukacją w tym kierunku nie pojawiła się na szeroką skalę edukacja w zakresie jakości powietrza i konieczności zapewnienia właściwej wentylacji pomieszczeń. Od kiedy pojawiły się programy wspomagające projektowanie instalacji grzewczych, wykresy udziału kosztów ponoszonych na straty ciepła i wentylację czytelnie pokazują, że udział wentylacji w kosztach rośnie w stosunku do strat na przenikanie. Niestety, poza oszczędnościami wprowadzanymi w postaci wymienników gruntowych oraz rekuperatorów ciepła z tymi kosztami należy się pogodzić. Dalsza redukcja kosztów sprowadza się do zmniejszenia strumienia powietrza, a to jest najgorsze z możliwych rozwiązań.

## Literatura

- [1] Maczek K., Schnotale J., Skrzyniowska D., Sikorska-Bączek R., *Uzdatnianie powietrza w inżynierii środowiska dla celów wentylacji i klimatyzacji*, Politechnika Krakowska, podręcznik dla studentów wyższych szkół technicznych, Kraków 2010,
- [2] Charkowska A., *Zanieczyszczenia w instalacjach klimatyzacyjnych i metody ich usuwania*, IPPU Masta 2003,
- [3] Sowa J., *Jak poprawić jakość powietrza w pomieszczeniach obniżając jednocześnie zużycie energii?*, Swegon Air Academy.
- [4] Pełech A., *Wentylacja i klimatyzacja*, Oficyna Wyd. PW, Warszawa 2008,
- [5] CEN, CR 1752:1998: *Ventilation for Buildings. Design Criteria for the Indoor Environment*.
- [6] PN-EN 13779 Wentylacja budynków niemieszkalnych. Wymagane właściwości systemów wentylacji i klimatyzacji.
- [7] PN-EN 15251 Kryteria środowiska wewnętrznego, obejmujące warunki cieplne, jakość powietrza wewnętrznego, oświetlenie i hałas.
- [8] PN-EN 12792 Wentylacja budynków. Symbole, terminologia i oznaczenia na rysunkach.
- [9] Rozporządzenie Ministra Gospodarki nr 75 z dnia 12.04.2002: Warunki techniczne jakim muszą odpowiadać budynki i ich usytuowanie – z późniejszymi zmianami (12.03.2009).
- [10] Yua B.F., Hu Z.B., Liu M., Yang H.L., Kong Q.X., Liu Y.H., *Review of research on air-conditioning systems and indoor air quality control for human health*, International Journal of refrigeration 32, 2009, 3-20.
- [11] Fanger P.O., Popiołek Z., Wargocki P., *Indoor environment (in Polish)*, Gliwice 2003.
- [12] PN-EN ISO 7730 Ergonomia środowiska termicznego – Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego.
- [13] PN/B 03430/AZ3 Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej.