

DOROTA SKRZYNIOWSKA*

PARAMETRY POWIETRZA WEWNĄTRZ POMIESZCZEŃ
DO STAŁEGO PRZEBYWANIA LUDZI
(KOMFORT CIEPLNY A KOMFORT ŚRODOWISKOWY)PARAMETERS OF INDOOR AIR IN RESIDENTAL
AND NON-RESIDENTAL BUILDINGS
(THERMAL COMFORT)

Streszczenie

Warunki panujące w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi muszą spełniać określone wymagania. Czasem są to wymagania wysokie, a czasem tylko minimalne. Jest to zależne od rodzaju i przeznaczenia pomieszczeń. Ludzie przebywają w pomieszczeniach większą część swojego życia, dlatego też zagadnienia komfortu cieplnego pomieszczeń do przebywania człowieka oraz ergonomia pracy są istotnym problemem wymagającym prawidłowego rozwiązania, wyboru i projektowaniu systemu klimatyzacji powietrza dla celów komfortu. W artykule przedstawiono istotne parametry komfortu cieplnego, opisano ich wpływ na człowieka oraz podano i opisano podstawowe wskaźniki komfortu cieplnego.

Słowa kluczowe: komfort cieplny parametry powietrza wewnętrznego, wskaźniki PMV i PPD

Abstract

The conditions in rooms where are exist people for a long period have to fulfil specified requirements, depending on category and function of the rooms. Providing the proper air flow and proper handling e. i. temperature, humidity, cleanliness are essential conditions for right feeling comfort. This paper deals with thermal comfort parameters, their influence on human body and describes indexes of thermal comfort.

Keywords: thermal comfort, parameters of air, indoor air, PMV, PPD indexes

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

1. Wstęp – parametry środowiska wewnętrznego a odczucie komfortu, zdrowie i wydajność pracy człowieka

Istnieje cały szereg zagadnień związanych zarówno z definicją komfortu cieplnego, ze sposobami jego utrzymywania, jak i jego oceną. Odczucie komfortu cieplnego człowieka jest ściśle związane z równowagą termiczną ciała traktowanego jako całość. Stabilne oddawanie lub odbieranie ciepła przez całe ciało człowieka jest odczuwane jako komfort cieplny. Na tę wymianę ciepła wpływa aktywność fizyczna, rodzaj ubrania (a w szczególności jego izolacyjność) oraz parametry określające stan powietrza. Stan ten można określić następującymi parametrami: temperatura powietrza, prędkość powietrza oraz wilgotność względna powietrza w bezpośrednim otoczeniu człowieka.

Stan powietrza w pomieszczeniu jest kształtowany przez wiele czynników, do których należą m. in. zyski ciepła i wilgoci, zanieczyszczenia gazami, parami i aerozolami. Jakość powietrza można zdefiniować jako stan czystości powietrza spełniający oczekiwania ludzi. Zadawalający (prawidłowy, czyli dający odczucie zadowolenia – komfortu) stan i jakość powietrza oznacza, że odsetek osób niezadowolonych jest pomijalnie mały.

2. Wydatek energetyczny

2.1. Obciążenie organizmu pracą fizyczną na podstawie wydatku energetycznego

Organizmy żywe dzielimy na zimnokrwiste i ciepłokrwiste. Człowiek, podobnie jak ptaki i ssaki, jest ciepłokrwisty, tzn. że niezależnie od warunków zewnętrznych utrzymuje stałą temperaturę ciała. Podczas spoczynku, w warunkach komfortu cieplnego, do utrzymania procesów życiowych człowiek potrzebuje ok. 85–90 [W]. Stała temperatura ciała, wynosząca $37 \pm 0,3$ [°C] jest utrzymywana przez krew, która krąży po całym organizmie. Podczas krążenia krew jest schładzana, tym bardziej, im dalej płynie do zewnętrznych członków, jak palce rąk i nóg, oraz do skóry. Ponowne jej ogrzanie następuje w organach wewnętrznych i tkankach (sercu, wątrobie, nerkach, mięśniach, jelitach i innych).

Tabela 1

Charakterystyczne średnie wielkości biofizyczne organizmu ludzkiego

Masa	60–70 [kg]
Objętość ciała	60 l
Powierzchnia ciała	1,7–1,9 [m ²]
Temperatura ciała	37 [°C]
Puls	70–80 [min ⁻¹]
Częstotliwość oddechu	16 [min ⁻¹]
Objętość wdychanego powietrza	0,5 [m ³ · h ⁻¹]
Średnia temperatura skóry	32–33 [°C]
Wydatek energetyczny podstawowy	85–95 [W]

2.2. Przemiana metaboliczna

Przemiana materii (metabolizm) to wszystkie procesy syntezy (anabolizmu) i rozpadu (katabolizmu) odbywające się w żywym organizmie, które mają zapewnić:

- wzrost ustroju (budowę i odbudowę tkanek),
- wytwarzanie ciepła niezbędnego do utrzymania temperatury ciała,
- dostarczanie energii wszystkim procesom życiowym organizmu.

Ciepło jest dostarczane do organizmu na skutek przemiany metabolicznej, polegającej na spalaniu (utlenianiu) wysokocząsteczkowych składników pokarmowych: węglowodanów, tłuszczów i białka. W wyniku utleniania powstają dwutlenek węgla (CO_2) i woda (H_2O).

Stwierdzono, że w wyniku spalania w organizmie 1 g produktów wytwarzają się następujące ilości ciepła:

- białka lub węglowodanów – 17 [kJ],
- tłuszczu – 38,5 [kJ].

Większość zapotrzebowania energetycznego organizmu przy racjonalnej diecie pokrywają węglowodany (72%), następnie tłuszcze (15%) i białka (13%) ([2]). Energia w nich zawarta jest to energia promieniowania słonecznego, zatrzymana i związana przez rośliny zielone w procesie fotosyntezy i ewentualnie wtórnie przekształcona przez organizmy zwierzęce ([9]).

Tabela 2

Ciepło wytwarzane przez organizm ludzki w wyniku przemiany metabolicznej

Lp.	Rodzaj aktywności fizycznej	Ilość ciepła [W]
1.	Sen	93
2.	Odoczynek na siedząco	116
3.	Swobodna pozycja stojąca	152
4.	Praca umiarkowana	233
5.	Marsz z prędkością $5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	303
6.	Przeciętna praca murarza, stolarza	350
7.	Praca ciężka	466
8.	Bardzo ciężki wysiłek fizyczny	675

Źródłem energii dla żywego organizmu są pokarmy, w których powinny znajdować się wszystkie niezbędne składniki.

2.3. Energetyczne i fizjologiczne kryteria ciężkości pracy

Średnia ilość wydatkowanej energii przypadającej na całą zmianę roboczą można być podstawą do klasyfikacji aktywności fizycznej człowieka. Kryteria oceny ciężkości pracy fizycznej, w zależności od wartości wydatku energetycznego netto oraz płci, podano w [??].

Obciążenie organizmu człowieka podczas pracy fizycznej zależy głównie od rodzaju wysiłku fizycznego oraz jego intensywności. Duży wpływ na wielkość tego obciążenia ma również pozycja ciała podczas wykonywanych czynności (siedząca, stojąca, wymuszona),

organizacja pracy (długość dnia pracy, długość i moment stosowanych przerw w pracy, zmianowość itp.), czynniki występujące w środowisku pracy, a także indywidualne cechy pracownika (stan zdrowia, wiek, płeć, wydolność fizyczna organizmu).

Tabela 3

Energetyczne kryteria ciężkości pracy fizycznej dla kobiet i mężczyzn

Stopień ciężkości pracy	Wydatek energetyczny netto na zmianę roboczą [kJ]	
	kobiety	mężczyźni
Lekka – średnio ciężka	< 3700	< 6300
Ciężka	3700–5000	6300–8400
Bardzo ciężka	> 5000	> 8400

Najmniejszym wydatkiem energetycznym charakteryzują się prace wykonywane na siedząco, np. prace biurowe. Do prac średnio ciężkich zalicza się prace wykonywane na stojąco bez dźwigania ciężarów. Do takich prac zalicza się prace montażowe, obsługę maszyn i urządzeń, prace konserwacyjne itp. Prace ciężkie to prace związane z dźwiganiem ciężarów lub przy użyciu narzędzi o znacznych masach. Wykonywanie prac bardzo ciężkich (kopanie, kucie, prace załadunkowe itp.) powoduje dopuszczalne graniczne obciążenie organizmu ludzkiego wysiłkiem fizycznym. Praca w takich warunkach może doprowadzić do trwałych zmian zwyrodnieniowych w układzie mięśniowo-szkieletowym oraz do skrajnego wyczerpania organizmu.

Tabela 4

Klasyfikacje aktywności fizycznej

Klasa	Aktywność fizyczna	Czynność
0	Wypoczynek	–
1	Praca lekka	<p>Swobodna pozycja siedząca:</p> <ul style="list-style-type: none"> – lekka praca ręczna (pisanie ręczne, pisanie na maszynie, rysowanie, szycie, księgowanie); – praca dłoni i rąk (drobnymi narzędziami stolarskimi i ślusarskimi, kontrola, łączenie elementów lub sortowanie lekkich materiałów); – praca rąk i nóg (prowadzenie pojazdu w warunkach normalnych, operowanie pedałem). <p>Pozycja stojąca:</p> <ul style="list-style-type: none"> – wiercenie lub toczenie małych sztuk, – frezowanie, – uzwajanie, – skręcanie drobnej armatury za pomocą narzędzi, – okresowe chodzenie z prędkością 3,5 km/h.

cd. tab. 4

2	Praca umiarkowana	Praca wykonywana dłońmi lub rękami z napięciem mięśni (wbijanie, napęchanie): – praca rąk i nóg (manewrowanie ciężarówką na placu budowy lub ciągnikiem), – praca rąk i korpusu (praca wykonywana za pomocą młota pneumatycznego, łączenie pojazdów, tynkowanie, manipulowanie materiałami o średnim ciężarze, pielenie, radlenie, zbieranie owoców i/lub jarzyn; popychanie lub ciągnięcie lekkich wózków lub taczek, chodzenie z prędkością od 3,5 do 5,5 km/h, kucie mechaniczne).
3	Praca ciężka	Intensywna praca rąk i korpusu: – transportowanie ciężkich materiałów, – szlifowanie, – praca za pomocą młota, – struganie lub piłowanie, – szlifowanie, – rzeźbienie twardego drewna, – koszenie ręczne, kopanie, – chodzenie z prędkością od 5,5 do 7,0 km/h. – popychanie lub ciągnięcie mocno obciążonego ręcznego wózka lub taczek, – wyjmowanie odlewów z form, – układanie bloków betonowych.
4	Praca bardzo ciężka	Bardzo intensywna praca wykonywana w tempie bliskim maksymalnemu: – praca za pomocą siekiery, szuffi, – wchodzenie po schodach, pochylni lub drabinie, – szybkie chodzenie małymi krokami, bieganie, chodzenie z prędkością powyżej 7 km/h.

Tabela 5

Wysiłek fizyczny a zmiany fizjologiczne w organizmie człowieka

Stopień aktywności fizycznej	Wydatek energetyczny netto/8h pracy [kJ]	Parametry fizjologiczne				
		częstość oddechów [oddech·min ⁻¹]	wentylacja płuc [l·min ⁻¹]	pochłanianie tlenu [l·min ⁻¹]	częstość skurczów serca [skurcz·min ⁻¹]	temperatura wewnętrzna ciała [°C]
Spoczynek		16	6–8	0,25–0,30	60–70	36,6
B. lekka	< 1250	16–20	8–10	0,3–0,5	70–75	36,6–37,0
Lekka	1250–3500	20–25	10–20	0,5–1,0	75–100	37,0–37,5
Średnia	3500–6300	25–30	20–30	1,0–1,5	100–125	37,5–38,0
Ciężka	6300–8400	30–35	30–50	1,5–2,0	125–150	38,0–38,5
B. ciężka	8400–12500	35–40	50–65	2,0–2,5	150–175	38,5–39,0
Krańcowo ciężka	> 12500	> 40	> 65	> 2,5	> 175	> 39,0

Każda praca fizyczna związana z aktywnością ruchową wymaga uaktywnienia układu krążenia i oddechowego, odpowiedzialnych za **dostarczanie mięśniom tlenu** i składników pokarmowych. Ponadto następuje wówczas pobudzenie systemu termoregulacji, którego zadaniem jest **niedopuszczenie do nadmiernego wzrostu temperatury ciała**. Na podstawie zmian parametrów pracy powyższych układów można dokonać klasyfikacji pracy wg jej ciężkości.

W tabeli 5 podano wartości odnoszące się dla osoby standardowej, czyli mężczyzny o wzroście 170 cm i masie ciała 70 kg.

3. Komfort środowiskowy a komfort cieplny

W rzeczywistych warunkach ruchu powietrza, wysiłku fizycznego, oddziaływań przemysłowych, ruchu komunikacyjnego i architektury na dobre lub złe samopoczucie człowieka wywierają wpływ czynniki kształtujące tzw. komfort lub dyskomfort fizjologiczno-psychiczny wynikający z wzajemnego oddziaływania człowieka i środowiska, a głównie następujących czynników:

1. Aktywność fizyczna;
2. Temperatura powietrza w bezpośrednim otoczeniu człowieka mierzona termometrem suchym;
3. Temperatura powierzchni przegród otaczających człowieka;
4. Wilgotność względna powietrza w bezpośrednim otoczeniu człowieka;
5. Prędkość powietrza w bezpośrednim otoczeniu człowieka;
6. Czystość powietrza wdychanego;
7. Poziom hałasu;
8. Stan jonizacji;
9. Radioaktywne promieniowanie;
10. Inne czynniki jak: barwy ścian, formy meblowe, kwiaty, zieleń itp.

Wartości optymalne dopuszczalne i krytyczne można przyjmować z literatury, a w szczególności z norm oraz ocen uwzględniających subiektywne reakcje ludzkie. Korzystny układ tych parametrów zapewniający człowiekowi dobre samopoczucie określono jako komfort środowiskowy. Parametry 1–5 oraz odpowiedni ubiór człowieka określają komfort cieplny wynikający z tego, że bilans ciepła wyprodukowanego w organizmie człowieka i przyjmowanego do otoczenia jest zrównoważony przy odpowiedniej fizjologicznie temperaturze skóry. Człowiek w warunkach komfortu odczuwa spokój i zadowolenie. Jego zdolność do pracy jest wówczas największa.

Na utrzymanie komfortu cieplnego istotny wpływ wywierają najczęściej temperatura w otoczeniu człowieka oraz wilgotność względna i prędkość powietrza. Uściślając te wymagania do warunków pomieszczeń, można powiedzieć, że w naturalnych nieskażonych warunkach przyrody bez zanieczyszczeń pyłowych i chemicznych, bez wiatru i bez wysiłku fizycznego zasadniczy wpływ na dobre samopoczucie ludzi mają temperatura i wilgotność względna powietrza.

3.1. Syndrom chorego budynku (*Sick Building Syndrome*)

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

- syndrom chorego budynku,
- wieloczynnościowa nadwrażliwość chemiczna,
- zespół przewlekłego zmęczenia.

Opisany zostanie tylko przypadek pierwszy.

W budynkach użyteczności publicznej obserwuje się, pomimo spełnionych warunków i wymagań czystości, objawy niezadowolenia użytkowników i uskarżanie się na złą jakość powietrza, które odbierane jest jako duszne i nieświeże, podrażniające śluzówki, powodujące bóle i zawroty głowy oraz złe samopoczucie. Objawy te i dolegliwości określa się jako syndrom chorego budynku SBS (*Sick Building Syndrome*). Prawdopodobnie jest on wynikiem obecności związków chemicznych w pomieszczeniu, a dokładnie mieszanin tych związków o wysokich stężeniach.

Objawy SBS to powtarzające się bóle i zawroty głowy, nadmierne zmęczenie, nudności, wysypka, zaburzenia pamięci i koncentracji, zaburzenia w oddychaniu, podrażnienie błon śluzowych gardła, nosa i krtani, w skrajnych przypadkach omdlenia. Jak się szacuje, na syndrom chorego budynku zapada od 20 do 30 proc. pracowników biurowych.

Po usunięciu przyczyn (po uzyskaniu dostępu do świeżego powietrza lub po opuszczeniu zbyt szczelnego budynku) objawy te mijają, niestety często mogą przejść w trwałe stany chorobowe zanim przebywające w budynku osoby zdiagnozują przyczyny złego samopoczucia.

Zajmując się jakością powietrza wewnętrznego, należy brać pod uwagę dwa rodzaje parametrów opisujących stan powietrza. Są to:

- parametry charakteryzujące wymagania termiczne użytkownika (parametry komfortu cieplnego),
- parametry charakteryzujące czystość powietrza.

Tabela 6

Parametry wykorzystywane do wyrażania komfortu cieplnego wg normy [11]

	Parametr	Określenie	Jednostka podstawowa	Charakter kryterium	Sposób oszacowania
1	Temperatura powietrza wskazywana przez termometr suchy (t_s)	Temperatura powietrza wskazywana przez termometr osłonięty przed promieniowaniem ¹⁾	stopień Celsjusza [°C]; przyrost o 1 [°C]	Maksimum i/lub minimum	Obliczenia: zgodnie z krajowymi normami lub wytycznymi projektowania cieplnego Pomiar: dowolną metodą statycznego lub dynamicznego (aspirowanego) pomiaru temperatury, umożliwiającą dokładny pomiar za pomocą suchego termometru średniej temperatury powietrza w pomieszczeniu, przestrzeni lub strefie

2	Średnia temperatura promieniowania (t_r)	Równomierna temperatura powierzchni promieniującego ciała czarnego, w którym mieszkanie zamieniałby taką samą ilość energii promieniowania jak w rzeczywistej niejednorodnej przestrzeni ²⁾	stopień Celsjusza [°C]; przyrost o 1 [°C]	Maksimum i/lub minimum	Obliczenia: jako efekt przypadkowego promieniowania ze wszystkich kierunków, przepływającego przez określony punkt, z wliczeniem zysków i strat przez okna i świetliki dachowe Pomiar: wielkość niemierzalna wprost								
3	Prędkość powietrza (v_s)	Prędkość powietrza o wartości i czasie trwania wystarczającym do wywarcia wpływu na komfort cieplny	metr na sekundę [m/s]	Maksimum i/lub minimum	Obliczenia: zgodnie z krajowymi normami lub wytycznymi projektowania cieplnego Pomiar: dowolną metodą umożliwiającą dokładny pomiar prędkości powietrza w uśrednionym czasie od 1s do 2 s, z odróżnieniem kierunku ruchu powietrza								
4	Temperatura obliczeniowa (t_o)	Równomierna temperatura promieniującego ciała czarnego, w którym mieszkanie zamieniałby taką samą ilość ciepła przez promieniowanie i konwekcję jak w rzeczywistej niejednorodnej przestrzeni	stopień Celsjusza [°C]; przyrost o 1 [°C]	Maksimum i/lub minimum	Obliczenia: zazwyczaj wystarczy określić temperaturę obliczeniową jako $t_o = \frac{t_a - t_r}{2}$ W celu uzyskania większej dokładności można przyjąć następujące wyrażenie $t_o = A t_a + (1 - A) t_r$ w którym A zależy od prędkości powietrza w sposób następujący: <table border="1" data-bbox="918 1319 1132 1370"> <tr> <td>v_s</td> <td>< 0,2</td> <td>0,2; 0,6</td> <td>0,6; 1</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>0,5</td> <td>0,6</td> <td>0,7</td> </tr> </table>	v_s	< 0,2	0,2; 0,6	0,6; 1	A	0,5	0,6	0,7
v_s	< 0,2	0,2; 0,6	0,6; 1										
A	0,5	0,6	0,7										
5	Temperatura powietrza wskazywana przez termometr wilgotny (t_m)	Temperatura wskazywana przez element czujnikowy w stanie wilgotnym jako miara szybkości parowania	stopień Celsjusza [°C]; przyrost o 1 [°C]	Maksimum i/lub minimum	Obliczenia: zgodnie z normami krajowymi lub wytycznymi projektowania cieplnego Pomiar: termometrem wilgotnym								

3.2. Parametry komfortu cieplnego

Uzyskanie komfortu cieplnego i przeciwdziałanie szokowi termicznemu zależy od czynników środowiskowych wymienionych powyżej, a opisanych szczegółowo w normie [11]. W ocenie nieuniknionych zmian środowiska cieplnego w czasie i w przestrzeni istotne jest, aby wymagania użytkowników zawierały nie tylko graniczne wartości, lecz również określały miejsce i tolerancje tych wartości [11]. Podstawowe parametry określające komfort cieplny wg [11] zestawiono w tabeli 6.

3.3. Czynniki wpływające na wybór kryterium ocen

Kryteria odpowiadające ocenie powinny uwzględniać:

- rodzaj wykonywanej czynności,
 - wiek i stan zdrowia użytkowników,
 - procent użytkowników, których wymagania będą spełnione,
 - czas, w którym wymagania powinny być spełnione,
 - łatwość kontrolowania przez użytkowników warunków cieplnych w pomieszczeniu, [11].
- Powyższe kryteria zestawiono w tabeli 7.

Tabela 7

Czynniki wpływające na wybór kryterium ([11])

Czynniki	Przykłady klas/kategorii	Sposób wyrażenia
Rodzaj aktywności fizycznej	Leżenie Siedzenie Stanie Mała aktywność Średnia aktywność Duża aktywność	Tempo metabolizmu ciała ludzkiego (oparte na danych standardowych odnoszących się do przeciętnych, zdrowych dorosłych) W/m ² lub met ¹⁾
Ubranie	Bielizna Odzież tropikalna Odzież letnia Odzież zimowa	Wartość izolacyjna ubrania wyrażona w m ² °C/W lub clo ²⁾
Wiek i zdrowie	Dzieci Zdrowi dorośli Niepełnosprawni dorośli Chorzy Osoby starsze	Alternatywne lub dodatkowe wartości tempa metabolizmu, odniesione do rodzaju aktywności
Procentowy udział usatysfakcjonowanych mieszkańców	80% 90% 95%	Przewidywany odsetek niezadowolonych (PPD) jako wynik przewidywanej średniej oceny (PMV)
Czas, w którym wymagania powinny być spełnione	90% 95% 99%	Na zapewnienie komfortu cieplnego w różnych częściach budynku mają wpływ również czynniki, takie jak przeciążenie i ujednoczenie ich właściwości użytkowych

¹⁾ 1 met = 58 [W/m²]

²⁾ 1 clo = 0,16 m² [°C/W]

3.4. Parametry służące do wyrażania wymagań czystości powietrza

Czystość powietrza w budynkach powinna zapewnić:

- ograniczenie napływu i/lub gromadzenie się zanieczyszczeń powietrza szkodliwych dla zdrowia,
- zapobieganie gromadzeniu się w pomieszczeniach zanieczyszczeń powietrza pogarszających odczucie komfortu cieplnego,
- zapewnienie odpowiedniej ilości tlenu wymaganego dla użytkowników i urządzeń do spalania [12].

Tabela 8

Parametry dotyczące wymagań czystości powietrza

Parametry	Definicja	Jednostki; zalecane skale wzrostu	Charakter kryterium	Sposób oszacowania
Intensywność dostarczania użytkownikom świeżego powietrza	Możliwości: 1) średnia liczba wymian na godzinę	Wymiana powietrza/h Skala wzrostu: – od 0,1 do 09,9 przyrost o 1/10 – powyżej 1, przyrost o 1/5	Minimum	Obliczenia: zgodnie z krajowymi normami lub wytycznymi Pomiar: metody pomiarowe z zastosowaniem gazów znakujących
	2) średnia objętość powietrza dostarczanego na każdego użytkownika	l/s na osobę; Skala wzrostu: – od 1 do 10 przyrost o 1 – powyżej przyrost o 2	Minimum	
	3) średnia objętość powietrza dostarczanego na metr kwadratowy powierzchni	l/s m ² ; Skala wzrostu o 1	Minimum	
Intensywność dostarczania świeżego powietrza do urządzeń spalających bez osobnego dopływu powietrza	Średnia objętość powietrza dostarczanego na jednostkę energii paliwa stosowanego w urządzeniu spalającym	l/s na kW wydajności wsadu; Skala wzrostu o 1 Uwaga – różne paliwa mogą wymagać różnego zapotrzebowania powietrza na kW energii	Minimum	Obliczenia: zgodnie z krajowymi normami lub wytycznymi Pomiar: metody pomiarowe z zastosowaniem gazów znakujących

Czystość powietrza wyrażana jest przez intensywność dostarczania powietrza. Określana jest jako:

- ilość wymian na godzinę,
- ilość wymian na osobę,

- ilość wymian na 1m² powierzchni pomieszczenia,
- dla potrzeb urządzeń spalających, [12].

Parametry czystości powietrza podaje tabela 8.

Na wybór kryterium oceny czystości powietrza mają wpływ parametry zamieszczone w tabeli 9.

Tabela 9

Czynniki wpływające na wybór kryterium ([12])

Czynnik	Przykłady klas/kategorii	Sposób wyrażenia	Źródło informacji
Rodzaj wykonywanych czynności podczas których przewidziana jest wentylacja	Leżenie Siedzenie Stanie Mała aktywność Średnia aktywność Duża aktywność	Odpowiedni dopływ powietrza z uwzględnieniem gęstości zasiedlenia pomieszczeń, ilości powstającego dymu lub spalin	Normy krajowe lub wytyczne
Gęstość zasiedlenia pomieszczeń	2 m ² /osobę 5 m ² /osobę 10 m ² /osobę	Im większa jest gęstość zasiedlenia pomieszczeń, tym więcej należy dostarczyć powietrza, w przeliczeniu na osobę, w celu usunięcia zapachów	Normy krajowe lub wytyczne
Czas, w którym wymagania powinny być spełnione	80% 90% 95%	Jeżeli świeże powietrze dostarczane jest tylko za pomocą wentylacji naturalnej, jego nawiew uzależniony jest od szybkości wiatru oraz różnicy temperatury wewnątrz i na zewnątrz budynku. Istnieje potrzeba sprawdzenia zmienności tych czynników na podstawie lokalnych danych meteorologicznych	
Rodzaj paliwa	Gaz Olej Węgiel/torf Drewno	Dostępna ilość powietrza powinna być stale odpowiednia do energii paliwa urządzenia spalającego, nawet jeżeli częściowo działa ono w pobliżu dolnej granicy swej wydajności	Normy krajowe lub wytyczne

4. Dotychczasowe zalecenia norm

Dotychczas stosowane metody oceny komfortu cieplnego w pomieszczeniach, zarówno na etapie projektowania, jak i oceny już istniejących pomieszczeń uwzględniają podstawowe parametry powietrza.

Obowiązująca norma PN-78/B-03421 ([10]) określa temperaturę, wilgotność względną oraz prędkość przepływu powietrza w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi w zależności od pory roku (lato, zima) oraz aktywności fizycznej osób.

W przemyśle, gdzie wymagane są konkretne wartości lub zakresy temperatur i wilgotności powietrza, należy kierować się zaleceniami literaturowymi powstałymi w oparciu o doświadczenia.

Tabela 10

Wartości liczbowych parametrów obliczeniowych powietrza wewnętrznego – okres letni i zimowy [10]

Aktywność fizyczna	Okres zimowy				Okres letni					
	Temperatura	Wilgotność względna		Prędkość powietrza maksymalna	Wartości optymalne		Wartości dopuszczalne		Prędkość powietrza maksymalna	
		optymalna	dopuszczalna minimalna		Temperatura	Wilgotność względna	Temperatura przy zyskach ciepła jawnego odniesionych do 1 m ² powierzchni podłogi pomieszczenia lub strefy roboczej	Wilgotność względna maksymalna		
	[°C]		[%]	[m/s]	[°C]	[%]	do 50 [W/m ²] ponad 50 [W/m ²]	[%]	[m/s]	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Mała	20–22			0,2	23–26	40–55				0,3
Średnia	18–22	40–60	30	0,2	20–23	40–60	$t_z + 3$	$t_z + 5$	70	0,4
Duża	15–18			0,2	18–21	40–60				0,6

Tabela 11

**Zalecane temperatury i wilgotności względne powietrza wewnątrz pomieszczeń
różnych gałęzi przemysłu [5]**

Rodzaj produkcji	Temperatura [°C]	Wilgotność względna [%]
Przemysł mechaniczny i elektryczny		
Przecinanie kół zębatych	ustalać dowolnie, lecz utrzymywać możliwie stałą $\pm 0,5$ °C	
Mechanika precyzyjna	$20 \pm 0,50$	45–65
Izby pomiarów kalibrowania, wzorcowania	$22 \pm 1,00$	45–55
Produkcja sprzętu elektrycznego – przewodzącej	22	45–55
Optyka – polerowanie i wykańczanie	25	35–40
Produkcja hermetycznych sprężarek chłodniczych	22	70–80
		30–35
Drukarnie		
Składy papieru	Warunki możliwie zbliżone do pomieszczeń produkcyjnych	
Drukarnie ogólne	23–25	45–55
Polichromia	23–25	45–50
Fotografia	21–22	45–50
Przemysł farmaceutyczny		
Rozcieranie proszków	22–25	30
Fabryka drażetek i proszków	22–25	30
Preparaty organiczne	25	25–35
Antybiotyki	Temperatura i wilgotność względna precyzyjnie utrzymywana na zadanym poziomie	
Przemysł tytoniowy		
Przechowywanie tytoniu	25–30	70–85
Przygotowanie tytoniu	24–26	75–80
Wyrób papieru i cygar	22–24	53–65
Przechowywanie wyrobów	22–24	70–75
Browary		
Przechowywanie piwa	0–6	75–90
Fermentacja	5–10	75–90
Różne		
Wybór tarcz szlifierskich	24–25	50–60
Lakierowanie	22–24	50–60
Przemysł spożywczy		
Cukierki, czekolada	20–25	40–45
Pakowanie czekoladek	20–25	55–60
Herbatniki	18–20	45–50
Piekarnia chleba i pieczywa	22–27	60–70

5. Metody oceny komfortu cieplnego – wskaźniki komfortu

Do oceny stanu powietrza w pomieszczeniu lub w wydzielonej części pomieszczenia wprowadzono tzw. wskaźniki komfortu cieplnego. Są to kryteria uwzględniające umowny zespół parametrów komfortu cieplnego, w oparciu o które można by wnioskować o osiągnięciu w mniejszym lub większym stopniu stanu komfortu cieplnego w pomieszczeniu lub w wydzielonej części tego pomieszczenia. Mają one za zadanie ułatwić oszacowanie poziomu komfortu cieplnego, gdyż może zaistnieć sytuacja, że spełnione są niektóre normowe wartości parametrów komfortu, a jednak w pomieszczeniu odczuwa się dyskomfort. Spowodowane to jest szerokimi zakresami niektórych dopuszczalnych wartości indywidualnych parametrów.

Spośród wielu wskaźników na szczególną uwagę zasługują trzy:

- a) wartość Kata,
- b) temperatura efektywna,
- c) zdolność chłodząca (kryterium Rydberga),
- d) wskaźniki PMV i PPD.

5.1. Wartość Kata (A)

Wartość Kata (czyli wg Hilla tzw. natężenie chłodzenia powietrza) liczona jest w oparciu o wzór: $A = 0,181 \cdot (t_{\text{sk}} - t_{\text{sk}0})$. Jest to wielkość wyznaczana za pomocą kata-termometru. Jest to termometr cieczowy z dwoma pojemnikami cieczowymi o określonych wymiarach połączonych kapilarą. Na kapilarze zaznaczone są tylko temperatury 35 i 38°C, których wartość średnia odpowiada średniej temperaturze ciała ludzkiego. Do pomiaru ogrzewa się termometr do około 60°C i za pomocą stopera mierzy się czas podczas którego słup cieczy obniży się od temperatury 38 do 35°C.

Do celów praktycznych termometr Kata jest mało przydatny, ponieważ nie można nim dokonywać pomiarów chwilowych, nie wykazuje też wartości szczytowych.

Optymalne wartości Kata mieszczą się w zakresie: $A \in \langle 4; 6 \rangle$ (zależy od jednostek na katatermometrze; $\left[\frac{\text{mcal}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}} \right]$).

Tabela 12

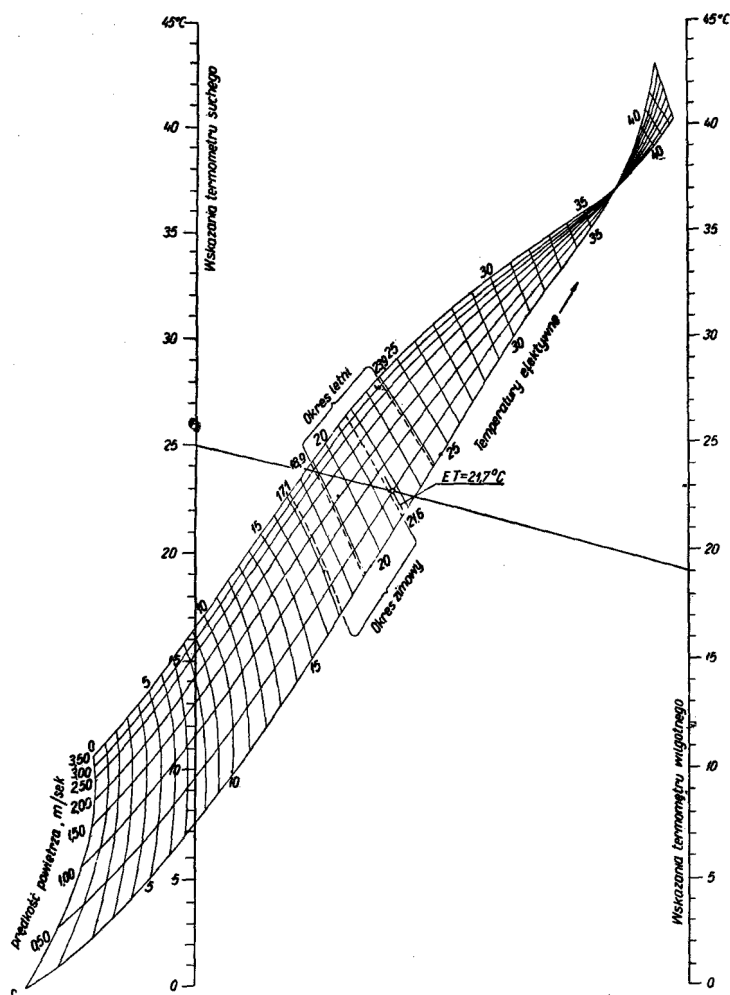
Wartości Kata w zależności od rodzaju pracy

Rodzaj pracy	Wartość Kata $\left[\frac{\text{mJ}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}} \right]$
Spoczynek	16,8–21,0
Praca umysłowa	22,2–25,1
Lekka praca fizyczna	25,1–33,5
Ciężka praca fizyczna	50,3–75,5

Wskazania kata-termometru nie uwzględniają wilgotności względnej powietrza. Zatem jest to wskaźnik niewystarczający do jednoznacznej oceny komfortu cieplnego.

5.2. Temperatura efektywna

Drugim wskaźnikiem nieco dokładniejszym od poprzedniego jest temperatura efektywna (operatywna) t_E . Jest to fikcyjna temperatura, której odpowiadają kombinacje wartości temperatury, wilgotności i ruchu powietrza, które wywołują jednakowe odczucie komfortu cieplnego.



Rys. 1. Nomogram do wyznaczania temperatur efektywnych

Fig. 1. Effective temperature

Krzywe jednakowych temperatur efektywnych opracowano na podstawie doświadczeń. Różnym prędkościom powietrza odpowiadają różne zbiory krzywych. Temperatura efektywna stosowana jest w USA natomiast nie znalazła zastosowania w Europie.

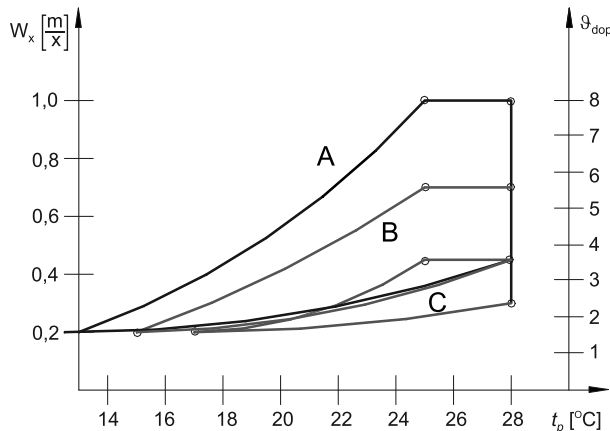
5.3. Zdolność chłodząca (kryterium Rydberga)

Kryterium Rydberga określa dopuszczalne wartości zdolności chłodzącej strugi powietrza nawiewanego do otoczenia człowieka w funkcji temperatury powietrza w pomieszczeniu oraz aktywności fizycznej człowieka. Dobór nawiewników jest realizowany na podstawie strumienia powietrza, jego zasięgu i temperatury i na tej podstawie określana jest zdolność chłodząca tego strumienia w strefie przebywania ludzi. Wartość ta jest porównywana z dopuszczalną wartością zdolności chłodzącej będącej funkcją różnicy temperatur i prędkości przepływu powietrza (wilgotność względna ϕ w zakresie 35–65%). **Zdolność chłodząca** jest to zdolność strumienia powietrza do przyjmowania ciepła od człowieka. Lokalna wartość tej zdolności wyrażona jest w $^{\circ}\text{C}$ wyrażona jest wzorem:

$$v_x = \Delta t_x + 8w_x$$

gdzie:

- Δt_x – różnica temperatur pomiędzy powietrzem w pomieszczeniu a strumieniem powietrza nawiewanego w odległości x od nawiewnika
- w_x – prędkość powietrza nawiewanego w odległości x od nawiewnika,
- v_x – odległość od nawiewnika.



Rys. 2. Zdolność chłodząca otoczenia człowieka w zależności od temperatury i prędkości powietrza w strefie przebywania ludzi [12,13] przy założeniu, $\Delta t_x = 0$ (wówczas $\vartheta_{\text{dop}} = 8w_{x,\text{dop}}$, gdzie w_x jest to prędkość powietrza w strefie przebywania ludzi, którą należy określić dla odpowiedniego pola A, B, C

na wykresie: $w_{x,\text{dop}} = \frac{1}{8}(\vartheta_{\text{dop}} - \Delta t_{\text{rzecz}})$, [m/s], [3, 5]

Fig. 2. Rydberg's criteria

Dopuszczalną prędkość dla zadanej (przyjętej) zdolności chłodzącej (mieszczącej się w polu A, B lub C) przy $\Delta t_x \neq 0$ przelicza się wówczas następująco:

$$w_{x,\text{dop}} = \frac{v_{\text{dop}} - \Delta t_{x,\text{rzecz}}}{8} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Badania **Norböka** potwierdziły, że zmiany wartości Δt_x i w_x dopóty nie wywołują odczucia dyskomfortu, dopóki zmiany te mieszczą się w granicach v_{dop} .

Za szacunkowe kryterium dobrego działania wentylacji i klimatyzacji można uważać **zdolność chłodzącą** v strumienia powietrza przedostającego się do strefy przebywania ludzi. Zdolność ta nie może być większa od dopuszczalnej (odczuwalnej) zdolności v_{dop} , co można zapisać nierównością:

$$v_x = \Delta t_x + 8w_x \leq v_{dop}$$

Można zatem w pierwszym przybliżeniu dobierać właściwe nawiewniki powietrza do pomieszczenia biorąc pod uwagę oszacowanie parametrów dla tego kryterium.

5.4. Wskaźniki PMV i PPD jako metoda oceny komfortu cieplnego pomieszczeń o środowisku termicznie umiarkowanym

Od roku 2006, zgodnie z Dyrektywą 2002/91/EC [15] istnieje konieczność wdrożenia procedury oceny i klasyfikacji obiektów użyteczności publicznej pod względem efektywności i zapotrzebowania energii. Ważnym elementem tego procesu jest określenie warunków dla klasyfikacji obiektów pod względem wymagań klimatu wewnętrznego.

Wprowadzona w roku 2002 metodą uznaniową norma PN-EN ISO 7730 [13] uwzględnia problem komfortu cieplnego bardziej szczegółowo, wprowadzając nowe wskaźniki komfortu jakimi są PPD i PMV oparte o bilans cieplny całego ciała człowieka (PMV i PPD według normy europejskiej) pomieszczeń o środowisku termicznie umiarkowanym.

Wprowadzone dwa wskaźniki oceny komfortu cieplnego: **PMV** – (*Predicted Mean Vote*) – prognozujący ocenę średnią oraz **PPD** – (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) – prognozujący odsetek ludzi niezadowolonych. (P.O. Fanger¹ wprowadzone ok. 30 lat temu). Zaleca się aby PMV było $-0,5 < PMV < 0,5$, co gwarantuje że wskaźnik PPD $< 10\%$, a dopuszczalne prędkości powietrza, przy których znaczny procent użytkowników odczuwa przeciąg (wskaźnik przeciągu DR $< 15\%$).

Zgodnie z tą normą ustanowiono siedmiostopniową skalę odczuć komfortu:

- +3 – gorąco,
- +2 – ciepło,
- +1 – dość ciepło,
- 0 – obojętnie,
- 1 – dość chłodno,
- 2 – chłodno,
- 3 – zimno.

Do wyznaczenia PMV należy zmierzyć: temperaturę powietrza, średnią temperaturę promieniowania, względną prędkość powietrza, ciśnienie cząstkowe pary wodnej, a także określić aktywność fizyczną człowieka oraz oporność cieplną odzieży. W środowisku umiarkowanym termoregulacja ciała automatycznie dostosowuje temperaturę skóry oraz wydzielanie potu, aby utrzymać równowagę termiczną. Wskaźnik PMV opracowano na podstawie fizjologicznej odpowiedzi systemu termoregulacji organizmu człowieka.

¹ P. O. Fanger – Poul Ole Fanger z Duńskiego Uniwersytetu Technicznego.

PMV oblicza się według wzoru:

$$\begin{aligned} \text{PMV} = & (0,303 e^{-0,036M} + 0,028) \{ (M - W) - 3,05 \times 10^{-3} \times [5733 - 6,99 (M - W) - p_a] - \\ & + 0,42 \times [(M - W) - 58,15] - 1,7 \times 10^{-5} M(5867 - p_a - 0,0014 M (34 - t_a) - \\ & + 3,96 \times 10^{-8} f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \} \end{aligned}$$

gdzie:

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 (M - W) - I_{cl} \{ 3,96 \times 10^{-8} f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \}$$

$$h_c = \begin{cases} 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} & \text{dla } 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} > 12,1\sqrt{v_{ar}} \\ 12,1\sqrt{v_{ar}} & \text{dla } 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} < 12,1\sqrt{v_{ar}} \end{cases}$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 I_{cl} & \text{dla } I_{cl} \leq 0,078 \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]} \\ 1,05 + 0,645 I_{cl} & \text{dla } I_{cl} > 0,078 \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]} \end{cases}$$

Wskaźnik PPD oblicza się ze wzoru:

$$\text{PPD} = 100 - 95 \cdot \exp(-(0,03353 \cdot \text{PMV}^4 + 0,2179 \cdot \text{PMV}^2))$$

Na podstawie normy [13], opracowano raport CEN, CR 1752.1998 [20], w którym przeanalizowano różne aspekty komfortu cieplnego.

W zależności od wartości PMV i PPD pomieszczenia przeznaczone do stałego przebywania ludzi podzielono na 3 kategorie: A, B i C.

Tabela 13

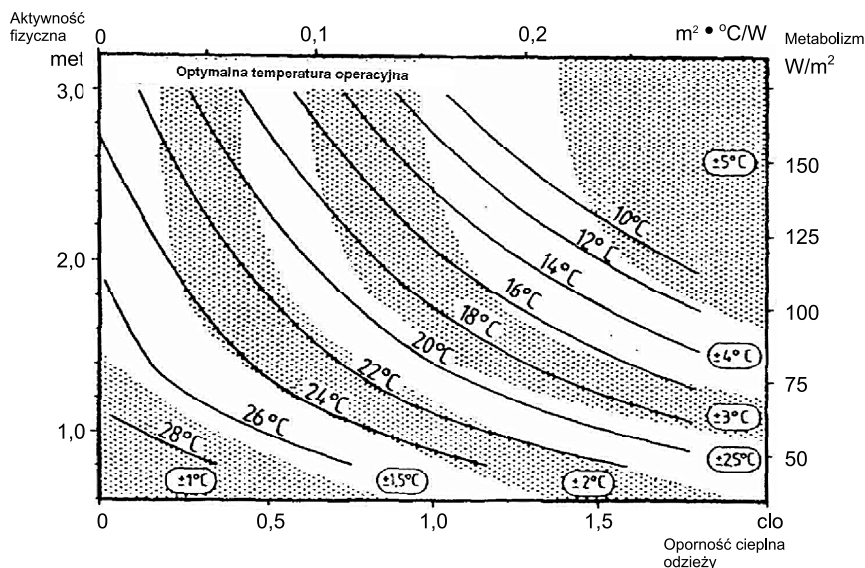
Kategorie jakości powietrza w pomieszczeniach [6]

Kategoria	PPD [%]	PMV
A	< 6	-0,2 < PMV < +0,2
B	< 10	-0,5 < PMV < +0,5
C	< 15	-0,7 < PMV < +0,7

Pomieszczenia klasyfikuje się jako: A – pomieszczenia o wysokich wymaganiach, B – o wymaganiach średnich oraz C – o wymaganiach umiarkowanych jakości powietrza.

Według normy zaleca się, aby dla komfortu cieplnego przebywających w pomieszczeniu ludzi wskaźnik PPD był mniejszy niż 10% co odpowiada zakresowi PMV od -0,5 do +0,5 (granice komfortu dla temperatury operacyjnej²). Na podany jest przykład granicy komfortu dla temperatury operacyjnej w zależności od aktywności fizycznej i rodzaju odzieży. Powierzchnie zakropkowane oznaczają strefę komfortu $\pm \Delta t$ wokół temperatury operacyjnej, wewnątrz której PMV mieści się w zakresie (-0,5; +0,5).

² Temperatura operacyjna to jednorodna temperatura termicznie czarnej kabiny, w której znajdujący się człowiek, gdzie na skutek promieniowania i konwekcji, wymienia taką samą ilość ciepła, jaką wymienia w niejednorodnym środowisku rzeczywistym; (z pewnym przybliżeniem można ją obliczyć jako średnią z temperatury powietrza i temperatury promieniowania).



Rys. 3. Zależność temperatury operacyjnej (dla PMV = 0) od aktywności fizycznej człowieka i jego ubioru [13]

Fig. 3. Human activity and operative temperature

Tabela 14

Kryteria kwalifikujące środowisko wewnętrzne do odpowiedniej kategorii [6]

Kategoria	Komfort ciepły					Jakość powietrza odsetek niezadowolonych [%]	Komfort akustyczny dopuszczalny poziom dźwięku dB(A)
	Całe ciało przewidywany odsetek niezadowolonych	Dyskomfort lokalny					
		przeciętnym DR [%]	gradientem temperatury	temperaturą podłogi	asymetrią promieniowania		
A	< 6	< 15	< 3	< 10	< 5	< 15	< 35
B	< 10	< 20	< 5	< 10	< 5	< 20	< 40
C	< 15	< 25	< 10	< 15	< 10	< 30	< 45

5.5. Przepisy i rozporządzenia związane z jakością powietrza

Odpowiednie przepisy określają zastosowanie wentylacji i klimatyzacji w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi.

- § 51. Budynek i pomieszczenia powinny mieć zapewnioną wentylację lub klimatyzację, stosownie do ich przeznaczenia, [16, 17],
- § 32.1. W pomieszczeniach pracy powinna być zapewniona wymiana powietrza wynikająca z potrzeb użytkowych i funkcji tych pomieszczeń, bilansu ciepła i wilgoci oraz zanieczyszczeń stałych i gazowych, [14],

- § 32.2. W pomieszczeniach pracy, w których wydzielają się substancje szkodliwe dla zdrowia, powinna być zapewniona taka wymiana powietrza, aby nie były przekraczane wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń tych substancji, [14].
- § 149.1. Strumień powietrza zewnętrznego doprowadzanego do pomieszczeń, nie będących pomieszczeniami pracy, powinien odpowiadać wymaganiom Polskiej Normy dotyczącej wentylacji [10], przy czym w mieszkaniach strumień ten powinien wynikać z wielkości strumienia powietrza wywiewanego, lecz być nie mniejszy niż 20 m³/h na osobę przewidywaną na pobyt stały w projekcie budowlanym, [16, 17].
- § 149.2. Strumień powietrza zewnętrznego doprowadzanego do pomieszczeń pracy powinien odpowiadać wymaganiom określonym w przepisach o bezpieczeństwie i higienie pracy, [16, 17].
- § 149.4. W pomieszczeniach przeznaczonych na stały pobyt ludzi, wentylowanych w sposób mechaniczny lub klimatyzowanych, wartości temperatury, wilgotności względnej i prędkości ruchu powietrza w pomieszczeniach należy przyjmować do obliczeń zgodnie z Polską Normą [10] dotyczącą parametrów obliczeniowych powietrza wewnętrznego.

6. Wnioski

Wymagania stawiane pomieszczeniom do stałego przebywania ludzi (tzn. pomieszczenia, w których te same osoby przebywają w ciągu doby dłużej niż 4 godziny) powinny być spełniane w zadowalającym stopniu z racji komfortu dla człowieka i ekonomiczności. Ocena warunków panujących w pomieszczeniu powinna być szybka i jednoznaczna, a ich poprawa w miarę możliwości natychmiastowa. Zapewnić to może szybki pomiar parametrów powietrza wewnętrznego i wyznaczenie wskaźników komfortu wymienionych w artykule i porównanie ich z wartościami maksymalnymi, dopuszczalnymi i krytycznymi.

Literatura

- [1] Fanger P.O., Popiołek Z., Wargocki P., *Środowisko wewnętrzne. Wpływ na zdrowie, komfort i wydajność pracy*, Gliwice 2003,
- [2] Kordecka D., *Bezpieczeństwo pracy i ergonomia*, CIOP, Warszawa 1997.
- [3] 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 2004.
- [4] Maczek K., Schnotale J., Skrzyniowska D., Sikorski-Bączek R., *Uzdatnianie powietrza w Inżynierii Środowiska dla celów wentylacji i klimatyzacji*, Politechnika Krakowska, podręcznik dla studentów wyższych szkół technicznych, Kraków 2010, wyd. poprawione i uzupełnione.
- [5] Malicki M., *Wentylacja i klimatyzacja*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1980.
- [6] Müller J., Skrzyniowska D., Wojtas K., *Standardy metod pomiaru i oceny warunków komfortu termicznego pomieszczeń termicznie umiarkowanych*, XI International Conference Air Conditioning, Protection and District Heating, Wrocław-Szklarska Poręba 2005.

- [7] Schnotale J., Müller J., Skrzyniowski D., Sikorska-Bączek R., *Instalacje urządzenia do uzdatniania powietrza dla celów wentylacji i klimatyzacji*, podręcznik dla studentów wyższych szkół technicznych, PK, Kraków 2010.
- [8] Sowa J., *Komfort cieplny pomieszczeń przy stosowaniu klimatyzacji komfortu*, Chłodnictwo i klimatyzacja, Warszawa, 12/2003.
- [9] Sylwanowicz W., Michajlik A., Ramotowski W., *Anatomia i fizjologia człowieka*, PZWL, Warszawa 1985.

Normy

- [10] PN-78/B-03421 Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi.
- [11] PN-ISO 6242-1 Budownictwo. Wyrażanie wymagań użytkownika. Wymagania termiczne.
- [12] PN-ISO 6242-2 Budownictwo. Wyrażanie wymagań użytkownika. Wymagania dotyczące czystości powietrza.
- [13] PN-EN ISO 7730 Środowiska termiczne umiarkowane – wyznaczanie wskaźników PMV i PPD oraz określanie warunków komfortu termicznego.

Rozporządzenia, ustawy, dyrektywy, raporty

- [14] Obwieszczenie MGPIPS z dn. 28 sierpnia 2003r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Socjalnej w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (Dz.U. nr 169, poz. 1650).
- [15] Dyrektywa 2002/91/EC z dnia 16 grudnia 2002 dotycząca jakości energetycznej budynków.
- [16] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 75, poz. 690).
- [17] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 7 kwietnia 2004 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 109, poz. 1156).
- [18] Rozporządzenie MSWiA z dn. 16.08.1999 w sprawie warunków technicznych użytkowania budynków mieszkalnych (Dz.U. 1999 nr 74, poz. 836).
- [19] Prawo budowlane (Dz.U. 2003 nr 207 poz. 2016).
- [20] CEN, CR 1752:1998: Ventilation for Buildings. Design Criteria for the Indoor Environment.
- [21] „Guidelines for Ventilation Requirements In Buildings”, CEC 1992.