

JAROSŁAW MÜLLER*

INSTALACJA WENTYLACYJNO-KLIMATYZACYJNA.
KLASYFIKACJA I POMIARYVENTILATION AND AIR-CONDITIONING SYSTEM –
CLASSIFICATION AND MEASUREMENTS

Streszczenie

Wymagania stawiane instalacji wentylacyjno-klimatyzacyjnej można znaleźć w normach PN-EN 12599, PN-EN 13053, PN-EN 13779, PN-EN ISO 7726, w *Wymaganiach technicznych COBRTI INSTAL* – zeszyt 5 oraz w raporcie CEN CR 1752. W wymienionych dokumentach można znaleźć zalecenia wykonania oraz pomiarów kontrolnych instalacji.

Słowa kluczowe: klimatyzacja, instalacja

Abstract

Requirements for ventilating or air-conditioning installations can be found in standards PN-EN 12599, PN-EN 13053, PN-EN 13779, PN-EN ISO 7726, in *Wymagania techniczne COBRTI INSTAL* – zeszyt 5 and also in the report CEN CR 1752.

Keywords: air conditioning, installation

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

Ważniejsze oznaczenia

a	– odległość pomiędzy punktami pomiarowymi [m]
A_d	– pole powierzchni odpowiadające przekrojowi nominalnego kanału powietrza [m ²]
A_{vo}	– pole powierzchni otworu wentylacyjnego [m ²]
A_{MC}	– pole przekroju poprzecznego komory pomiarowej [m ²]
B	– szerokość kanału [m]
d	– średnica [m]
d_h	– średnica hydrauliczna [m]
H	– wysokość kanału [m]
i	– numer porządkowy punktu pomiarowego/pierścienia licząc od zewnątrz
n	– liczba punktów pomiarowych/liczba pierścieni
P	– moc silnika wentylatora [W]
P_{SFP}	– jednostkowa (właściwa) moc wentylatora [W/m ³ · s]
\dot{V}_v	– wydajność wentylatora [m ³ /s]
v_a	– prędkość powietrza [m/s]
x_p, y_i	– współrzędne punktu pomiarowego [m]
t_a	– średnia arytmetyczna temperatury termometru suchego powietrza [°C]
t_0	– temperatura odczuwalna w pomieszczeniu [°C]
t_r	– średnia temperatura promieniowania [°C]
Dp	– całkowity spręż wentylatora [Pa]
η_{tot}	– całkowita sprawność wentylatora, silnika i przekładni [–]

1. Wstęp

Wykonana instalacja wentylacyjno-klimatyzacyjna stanowi całość, która powinna odpowiadać wymaganiom norm lub przepisów. W dostępnej literaturze, np. [1, 4, 7], zawarto zalecenia i badania zmierzające do oceny całości instalacji. W niniejszym artykule przedstawiono najważniejsze zagadnienia.

Zadaniem poprawnie wykonanej instalacji powinno być spełnienie wymagań użytkownika. Bardzo pomocnym narzędziem przy precyzowaniu wymagań użytkownika może być norma PN-ISO 6242-1, w której określono, w jaki sposób wymagania, na przykład termiczne, użytkowników budynków mogą być identyfikowane, wyrażane i określane. W normie opisano wymagania użytkownika i parametry stosowane do ich wyrażenia. Dla każdego parametru określono jednostki pomiarowe, zalecane przyrosty wartości i sposób oszacowania. Wymieniono również środowiskowe i ludzkie czynniki wpływające na wybór kryterium oceny każdego z parametrów.

Komunikacja pomiędzy użytkownikiem a projektantem jest bardzo ważnym elementem procesu budowlanego. W tym kontekście należy również rozpatrywać pomiary instalacji szczegółowo omówione w niniejszym artykule.

2. Wyrażanie wymagań użytkownika

Kryteria, które odpowiadają celom określonym przez użytkownika, powinny uwzględniać: rodzaj wykonywanych czynności, ubiór, wiek i stan zdrowia użytkowników, procent użytkowników, których wymagania będą spełnione, czas, w którym wymagania powinny być spełnione (z uwzględnieniem granicznych parametrów klimatycznych), łatwość kontrolowania przez użytkowników warunków klimatycznych w pomieszczeniu.

Parametry służące do wyrażania komfortu termicznego użytkownika to: temperatura powietrza, zyski i straty ciepła spowodowane promieniowaniem, wilgotność względna powietrza, prędkość przepływu powietrza, tempo metabolizmu, ubiór. W ocenie zmian środowiska wewnętrznego w czasie i przestrzeni istotne jest, aby wymagania użytkowników zawierały nie tylko graniczne wartości, lecz również określały miejsce i tolerancje tych wartości.

W ocenie klimatu bardzo pomocne są wskaźniki komfortu, uwzględniające więcej niż jeden parametr. Dokładne omówienie wskaźników zostało zamieszczone w innej części monografii.

Tabela 1

Parametry powietrza [1]

Parametr	Definicja	Jednostki	Sposób oszacowania
Temperatura powietrza wskazywana przez termometr suchy t_a	Temperatura powietrza wskazywana przez termometr osłonięty przed promieniowaniem	[°C]	Obliczenia: zgodnie z obowiązującymi normami krajowymi lub wytycznymi projektowania termicznego Pomiar: dowolną metodą statycznego lub dynamicznego (aspirowanego) pomiaru temperatury, umożliwiającą dokładny pomiar za pomocą suchego termometru średniej temperatury powietrza w pomieszczeniu, przestrzeni lub strefie
Średnia temperatura promieniowania t_r	Równomierna temperatura powierzchni promieniującego ciała czarnego, w którym mieszkaniec zamieniałby taką samą ilość energii promieniowania jak w rzeczywistej niejednorodnej przestrzeni	[°C]	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, pomiar pośredni

Prędkość powietrza	Prędkość powietrza o wartości i czasie trwania wystarczającym do wywarcia wpływu na komfort termiczny	[m/s]	Obliczenia: zgodnie z krajowymi normami lub wytycznymi projektowania termicznego Pomiar: dowolną metodą umożliwiającą dokładny pomiar prędkości powietrza w uśrednionym czasie od 1 do 2 s, z odróżnieniem kierunku ruchu powietrza
Temperatura obliczeniowa t_o	Równomierna temperatura powierzchni promieniującego ciała czarnego, w którym mieszkaniowiec zamieniałby taką samą ilość ciepła przez promieniowanie i konwekcję, jak w rzeczywistej niejednorodnej przestrzeni	°C	Obliczenia: zazwyczaj wystarczy określić temperaturę obliczeniową jako średnią arytmetyczną temperatury powietrza i średnią temperatury promieniowania. W celu uzyskania większej dokładności można przyjąć następujące wyrażenie $t_o = At_a + (1 - A)t_r$, w którym A zależy od prędkości powietrza w sposób podany poniżej ^{*)}
Temperatura powietrza wskazywana przez termometr wilgotny	Temperatura wskazywana przez element czujnikowy w stanie wilgotnym jako miara szybkości parowania	[°C]	Obliczenia: zgodnie z krajowymi normami lub wytycznymi projektowania termicznego Pomiar: termometrem wilgotnym lub innym przyrządem umożliwiającym ekwiwalentne pomiary

^{*)} zmiany wartości współczynnika A w funkcji prędkości powietrza

v_a	< 0,2 m/s	0,2–0,6	0,6–1
A	0,5	0,6	0,7

Wymagania użytkownika, wyrażone w odniesieniu do każdego pomieszczenia lub ich grupy i spełniane przez instalację, mogą być kontrolowane według wytycznych omówionych poniżej.

Pierwszym podejściem do oceny instalacji wentylacyjno-klimatyzacyjnej może być wybór i oszacowanie parametrów najbardziej istotnych z punktu widzenia użytkownika. Tabela 1 pokazuje najważniejsze parametry oraz sposób ich oszacowania.

Podobną procedurę prezentuje norma PN-ISO 6242-2 w zakresie wyrażania wymagań użytkownika dotyczących czystości powietrza.

3. Klasyfikacja instalacji i pomieszczeń

Norma [4] klasyfikuje instalacje ze względu na zdolność do utrzymywania jakości powietrza wewnętrznego oraz możliwość wpływu na właściwości termodynamiczne powietrza w pomieszczeniu. Norma podaje również podstawowe typy instalacji.

W tabeli 2 podano typy instalacji ze względu na sposób regulacji instalacji w pomieszczeniu. Skrót IDA pochodzi od angielskiej nazwy „Indoor Air Quality” – czyli „jakość powietrza wewnętrznego”.

Tabela 2

Typy instalacji według klasyfikacji IDA

Typ	Opis
IDA – C1	Brak regulacji Instalacja działa bez przerwy
IDA – C2	Regulacja ręczna Instalacja jest włączana i wyłączana ręcznie przez użytkownika
IDA – C3	Regulacja czasowa Instalacja działa zgodnie z zaprogramowanym czasem pracy
IDA – C4	Regulacja użytkowaniem Instalacja działa w zależności od wykorzystania pomieszczenia (włączniki światła, czujniki podczerwieni)
IDA – C5	Regulacja obecnością ludzi Instalacja działa w zależności od liczby osób przebywających w pomieszczeniu
IDA – C6	Bezpośrednia regulacja Instalacja sterowana czujnikami mierzącymi parametry termiczne powietrza lub mierzącymi wartości innych wielkości (np. stężenie CO ₂ , stężenie składników organicznych – tzw. czujnikami „mixed gas” lub „VOC”); wartości z pomiarów mogą być wykorzystane do regulacji środowiska wewnątrz pomieszczenia

Środowisko wewnętrzne w pomieszczeniu może być kształtowane za pomocą instalacji wentylacji lub klimatyzacji we współdziałaniu z innymi instalacjami, na przykład: sufitami grzewczymi/chłodzącymi, ogrzewaniem podłogowym itp.

W związku z tym można wyróżnić dwa systemy: **wentylacyjno-klimatyzacyjny**, gdzie wszystkie parametry są kształtowane wyłącznie przez instalację wentylacji i klimatyzacji, oraz **mieszany** – współdziałający z innymi instalacjami.

Według normy [4] instalacje wentylacyjno-klimatyzacyjne dzielą się (tab. 3) w zależności od możliwości kontrolowania temperatury i wilgotności powietrza w pomieszczeniu. Działanie instalacji w postaci niekontrolowanego odwilżania powietrza nie jest traktowane jako „kontrolowanie wilgotności”, ponieważ klasyfikacja obejmuje tylko procesy uzdatniania powietrza, nad którymi system ma pełną kontrolę.

Podstawowe typy instalacji w zależności od funkcji

Typ	Procesy kontrolowane w instalacji					Nazwa
	wentylacja	ogrzewanie	oziębienie	nawilżanie	odwilżanie	
THM – C0	×	–	–	–	–	wentylacja mechaniczna
THM – C1	×	×	–	–	–	ogrzewanie powietrzem
THM – C2	×	×	–	×	–	częściowa klimatyzacja z nawilżaniem
THM – C3	×	×	×	–	(×)	częściowa klimatyzacja z oziębieniem
THM – C4	×	×	×	×	(×)	częściowa klimatyzacja z oziębieniem i nawilżaniem
THM – C5	×	×	×	×	×	pełna klimatyzacja

Oznaczenia wykorzystane w tabeli 3:

- proces niekontrolowany przez system wentylacji, klimatyzacji lub inny
- × proces kontrolowany i gwarantowany w pomieszczeniu
- (×) proces kontrolowany ale niegwarantowany w pomieszczeniu

Ciśnienie powietrza w pomieszczeniu

Kolejnym podziałem proponowanym przez normę [4] jest podział pomieszczeń na kategorie ze względu na ciśnienie panujące w pomieszczeniu w stosunku do pomieszczeń sąsiadujących.

Zróżnicowane ciśnienie w pomieszczeniach w stosunku do pomieszczeń sąsiednich służy do ukierunkowania (lub zapobiegania) rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń pomiędzy pomieszczeniami.

W tabeli 4 podano proponowane kategorie pomieszczeń.

Tabela 4

Wartości ciśnienia w pomieszczeniu

Kategoria pomieszczenia	Opis
PC1	Podciśnienie (≥ -6 Pa)
PC2	Lekkie podciśnienie ($-2 \div -6$ Pa)
PC3	Równowaga ($-2 \div +2$ Pa)
PC4	Lekkie nadciśnienie ($2 \div 6$ Pa)
PC5	Nadciśnienie (> 6 Pa)

Jednostkowa moc wentylatora

Norma [4] wprowadza również pojęcie jednostkowej (właściwej) mocy wentylatora (*Specific Fan Power* – skrót SFP) w celu kategoryzacji instalacji w zależności od energochłonności przyjętych rozwiązań dystrybucji powietrza.

Wskaźnik SFP jest definiowany jako

$$P_{\text{SFP}} = \frac{P}{q_v} = \frac{\Delta p}{\eta_{\text{tot}}} \quad (1)$$

Tabela 5

Kategorie pomieszczeń w zależności od wskaźnika SFP

Kategoria	P_{SFP} [W/m ³ · s]
SFP 1	< 500
SFP 2	500–750
SFP 3	750–1250
SFP 4	1250–2000
SFP 5	> 2000

4. Pomiary – zakres i dopuszczalna niepewność

Wg normy [1] wykonane instalacje wentylacji i klimatyzacji powinny podlegać pomiarom i badaniom w zależności od pełnionych funkcji. W tabeli 6 podano pomiary kontrolne.

Tabela 6

Pomiary kontrolne [1] (skrótowe nazwy procesów uzdatniania powietrza użyte w tabeli przedstawiono poniżej)

Miejsce pomiaru	Instalacja/urządzenie				Pomieszczenie				
Parametry Typ instalacji/funkcje	Pobór prądu silnika	Strumień powietrza *	Temperatura powietrza *	Opór przepływu na filtrze	Strumień powietrza nawiewanego i wywiewanego	Temperatura powietrza nawiewanego ** Temperatura powietrza w pomieszczeniu	Wilgotność względna powietrza	Poziom natężenia dźwięku (A)	Prędkość powietrza w pomieszczeniu
Instalacja wentylacji									
F Z	1	1	0	1	2	0	0	2	0
FH	1	1	1	1	2	2	0	2	2
FC	1	1	1	1	2	2	2	2	2
M/D	1	1	1	1	2	2	1	2	2

Instalacja częściowej klimatyzacji									
F HC	1	1	1	1	2	1	2	2	2
F HM/HD/CM/CD	1	1	1	1	2	1	1	2	2
F MD	1	1	1	1	2	2	1	2	2
F HCM/MCD/CHD/HMD	1	1	1	1	2	1	1	2	2
Instalacja klimatyzacji									
F HCMD	1	1	1	1	2	1	1	2	2

* powietrze zewnętrzne, nawiewane i wywiewane

** w zależności od sposobu regulacji, jeśli ma zastosowanie

Oznaczenia wykorzystane w tabeli 6:

- 0 – pomiar nie jest konieczny
- 1 – wykonać w każdym przypadku
- 2 – wykonać tylko w przypadku wymagań w umowie
- C – ziębienie
- D – odwilżanie
- F – filtracja
- H – ogrzewanie
- M – nawilżanie
- Z – bez uzdatniania

Dokumentacja pomiarów kontrolnych powinna zawierać dokładny opis położenia punktów pomiarowych, metody pomiarów oraz rodzaj przyrządów pomiarowych. Punktu pomiarowe powinny być zlokalizowane w strefie przebywania ludzi (w pomieszczeniach do 20 m² przynajmniej jeden, w pomieszczeniach większych – odpowiednio więcej).

Wykonywane pomiary powinny spełniać warunki niepewności podane w tabeli 7.

Tabela 7

Dopuszczalna niepewność pomiarów [1]

Parametr	Dopuszczalna niepewność
Strumień powietrza w pojedynczym pomieszczeniu	±20%
Strumień powietrza w całej instalacji	±15%
Temperatura powietrza nawiewanego	±2%
Wilgotność względna	±15%
Prędkość powietrza w strefie przebywania ludzi	±0,05 m/s
Temperatura powietrza w strefie przebywania ludzi	±1,5°C
Poziom natężenia dźwięku (<i>A</i>) w pomieszczeniu	±3 dBA

Jeżeli specyfika pomieszczeń wymaga mniejszej niepewności pomiarów, należy to określić w projekcie technicznym instalacji. Niepewność podana w tabeli 7 powinna być równa lub mniejsza od odpowiedniej wartości podanej przez producenta poszczególnych urządzeń wchodzących w skład instalacji.

5. Pomiary podstawowe

5.1. Pomiar strumienia powietrza

Pomiaru strumienia powietrza dokonuje się:

- w przekroju poprzecznym kanału wentylacyjnego,
- w przekroju poprzecznym komory lub urządzenia,
- w elementach końcowych (nawiewnikach, wywiewnikach).

Zalecaną metodą jest pomiar w przekroju poprzecznym kanału wentylacyjnego, w przypadku braku możliwości ustalenia odpowiedniej długości kanału lub niespełnienia innych warunków, wyszczególnionych powyżej, można zastosować jedną z pozostałych metod.

Jeżeli w kanale powietrza, w badanym przekroju pomiarowym, nie występuje równomierny rozkład prędkości (co jest zjawiskiem bardzo częstym w istniejących instalacjach), pomiar należy przeprowadzić przez podział kanału na odpowiednią ilość pól i wyznaczyć prędkość średnią.

W tabeli 8 przedstawiono minimalną liczbę punktów pomiarowych w przypadku niepewności 10% i 20%, obejmujących błąd przyrządu pomiarowego 5% (w tabeli oznaczone jako 10/5 i 20/5), lub błąd 10% (w tabeli – 20/10) w funkcji odległości względnej a/d_h .

Tabela 8

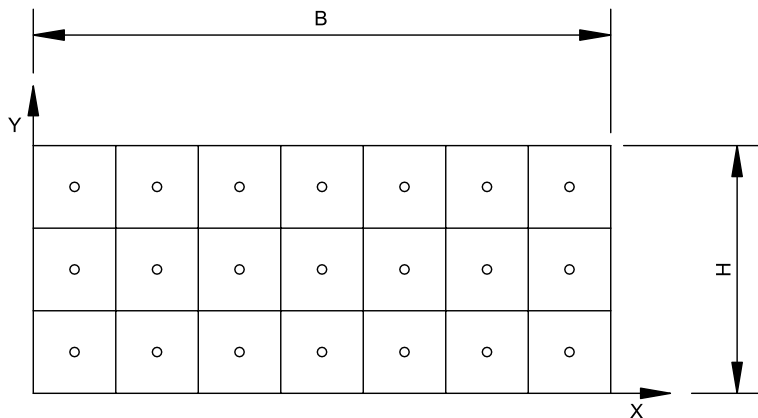
Minimalna liczba punktów pomiarowych [1]

Odległość względna a/d_h	Całkowita niepewność [%]		
	10/5	20/5	20/10
1,6	–	15	20
2,0	50	10	14
2,5	34	7	10
3,0	25	6	8
4,0	16	4	5
5,0	12	3	3
6,0	8	2	3

Metoda standardowa – kanały o przekroju prostokątnym

W kanałach prostokątnych zaleca się podział na elementy o równej powierzchni (rys. 1), a względną odległość punktu pomiarowego od ścianki przewodu określa się według:

$$\frac{y_i}{H} = \frac{x_i}{B} = \frac{2i-1}{2n} \quad (2)$$



Rys. 1. Podział prostokątnego kanału na równe elementy
 Fig. 1. Dividing of the rectangular duct into equal fragments

Wyliczone wartości podano w tabeli 9.

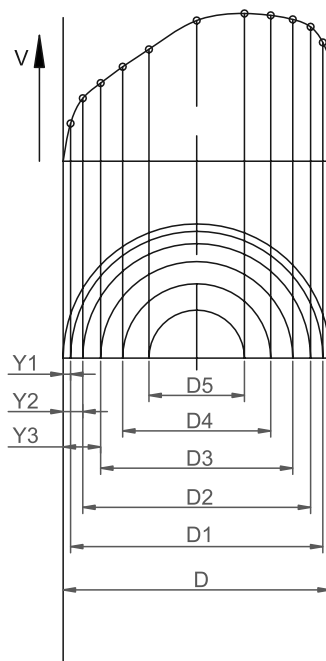
Tabela 9

Wartości względnej odległości punktu pomiarowego od ścianki przewodu

Liczba punktów pomiarowych na każdej linii pomiarowej	Punkt pomiarowy i , oraz wartości x_i/B lub y_i/H										
	n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3		0,167	0,500	0,833							
4		0,125	0,375	0,625	0,875						
5		0,100	0,300	0,500	0,700	0,900					
6		0,083	0,250	0,417	0,583	0,750	0,917				
7		0,071	0,214	0,357	0,500	0,643	0,786	0,929			
8		0,062	0,187	0,312	0,438	0,563	0,688	0,813	0,938		
9		0,056	0,167	0,278	0,389	0,500	0,611	0,722	0,833	0,944	
10		0,050	0,150	0,250	0,350	0,450	0,550	0,650	0,750	0,850	0,950

Metoda linii środków ciężkości – kanały o przekroju kołowym

W metodzie tej należy określić profil prędkości wzdłuż co najmniej dwóch prostopadłych do siebie osi przekrojów. Każdy pomiar odpowiada pierścieniowi o równym polu powierzchni. Jeśli rozkład prędkości jest liniowy, to prędkość reprezentatywna nie leży na linii środkowej, lecz na linii środków ciężkości pierścienia. Wyniki pomiarów wyznacza się, obliczając średnią arytmetyczną poszczególnych pomiarów prędkości w liniach środków ciężkości (rys. 2).



Rys. 2. Podział kanału kołowego na pierścienie o równej powierzchni

Fig. 2. Dividing of the round duct into the rings of equal area

Średnicę linii środków ciężkości d_i lub odległość od ścianki kanału y_i należy obliczać z następujących wzorów:

$$\frac{d_i}{d} = \sqrt{1 - \frac{2i-1}{2n}} \quad (3)$$

$$\frac{y_i}{d} = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2i-1}{2n}} \right) \quad (4)$$

Obliczone wartości przedstawiono w tabelach 10a i 10b.

Tabela 10a

Względna odległość linii środka ciężkości od ścianki kanału y_i/d (n – liczba linii środków ciężkości, i – numer porządkowy linii, licząc od zewnątrz)

$n \setminus i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,1464									
2	0,0670	0,2500								
3	0,0436	0,1464	0,2959							
4	0,0323	0,1047	0,1938	0,3232						
5	0,0257	0,0817	0,1464	0,2261	0,3419					
6	0,0213	0,0670	0,1181	0,1773	0,2500	0,3557				
7	0,0182	0,0568	0,0991	0,1464	0,2012	0,2685	0,3664			
8	0,0159	0,0493	0,0854	0,1250	0,1693	0,2205	0,2835	0,3750		
9	0,0141	0,0436	0,0751	0,1091	0,1464	0,1882	0,2365	0,2959	0,3821	
10	0,0127	0,0390	0,0670	0,0969	0,1292	0,1646	0,2042	0,2500	0,3064	0,3882

Tabela 10b

Względna odległość linii środka ciężkości od ścianki przewodu y_i/d (n – liczba linii środków ciężkości, i – numer porządkowy ciężkości, licząc od zewnątrz)

$n \setminus i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,7071									
2	0,8660	0,5000								
3	0,9129	0,7071	0,4082							
4	0,9354	0,7906	0,6124	0,3536						
5	0,9487	0,8367	0,7071	0,5477	0,3162					
6	0,9574	0,8660	0,7638	0,6455	0,5000	0,2887				
7	0,9636	0,8864	0,8018	0,7071	0,5976	0,4629	0,2673			
8	0,9682	0,9014	0,8292	0,7500	0,6614	0,5590	0,4330	0,2500		
9	0,9718	0,9129	0,8498	0,7817	0,7071	0,6236	0,5270	0,4082	0,2357	
10	0,9747	0,9220	0,8660	0,8062	0,7416	0,6708	0,5916	0,5000	0,3873	0,2236

Pomiar za pomocą elementów dławiących

Jeżeli jest dostępna jednoznaczna i określona zależność pomiędzy strumieniem powietrza a spadkiem ciśnienia na częściach składowych instalacji, takich jak wymienniki ciepła, tłumiki hałasu, wtedy elementy te można wykorzystywać jako wzorcowane urządzenia dławiące. Warunkiem przeprowadzenia pomiaru jest zachowanie tych samych warunków przepływu powietrza jak w czasie ich wzorcowania.

Pomiar w przekroju poprzecznym komory lub urządzenia

Do pomiaru można wykorzystać chłodnicę, nagrzewnicę lub filtr. Pomiaru można dokonać tylko wtedy, gdy wpływ przyrządu pomiarowego na przepływ powietrza oraz na efektywną wielkość przekroju pomiarowego jest pomijalny. Przed pomiarem należy zweryfikować równomierny rozkład prędkości powietrza oraz dokonać odpowiedniego podziału na pola. Zaleca się przy tym, aby nagrzewnica lub chłodnica nie były napełnione czynnikiem grzewczym lub chłodzącym (aby rozkład temperatury nie spowodował dodatkowych błędów pomiarowych).

W przypadku stosowania metody wodzenia, podczas której czujnik pomiarowy jest przesuwany ruchem okrężnym w płaszczyźnie pomiarowej, należy go przesuwac z prędkością mniejszą niż 1/5 przewidywanej prędkości przepływu powietrza.

Pomiar w elementach końcowych

Niektóre sposoby pomiaru zezwalają na potraktowanie elementu końcowego jako wzorcowanego urządzenia dławiącego, jeżeli spadek ciśnienia jest większy od 30 Pa oraz jeżeli dostępna jest jego dokładna charakterystyka określona przez producenta. Można również wykorzystać wzorcowane przyrządy do pomiaru przepływu zamontowane w niektórych typach skrzynek rozprężnych, w przypadku gdy element końcowy jest w takowe wyposażony.

Jeżeli wypływ powietrza z nawiewnika jest rozproszony, wówczas nie sposób jest określić rozkładu prędkości powietrza. Jest to możliwe w przypadku działania niektórych dysz nawiewnych.

5.2. Pomiar prędkości powietrza w pomieszczeniu

Pomiary prędkości powietrza w pomieszczeniu należy uzupełnić o pomiary stopnia burzliwości (turbulencji) powietrza. Można w tym celu wykorzystać krzywe intensywności burzliwości powietrza o wartości wyższej niż 40%. W tym przypadku wystarczy zmierzyć średnią prędkość powietrza. Dopuszczalne wartości średniej prędkości powietrza w pomieszczeniu w funkcji stopnia burzliwości i temperatury powietrza podano w CR 1752 [6].

W celu uwzględnienia wahań prędkości powietrza pomiary należy wykonywać przez co najmniej 100 s. W przypadku dużych wahań prędkości (powyżej 10% różnicy średnich wartości z dwóch kolejnych pomiarów) pomiar należy wykonywać przez co najmniej 180 s.

Do pomiarów prędkości powietrza w pomieszczeniach do 20 m² wystarczy jeden punkt pomiarowy, w pomieszczeniach większych – odpowiednio więcej punktów zlokalizowanych w miejscach reprezentatywnych lub intensywnego wykorzystania pomieszczenia, np. przy biurkach.

We wszystkich punktach pomiarowych, oprócz prędkości, należy mierzyć temperaturę (termometru suchego) powietrza. Zaleca się również pomiar temperatury powietrza nawiewanego.

Podczas wykonywania pomiarów należy zanotować lub zwrócić szczególną uwagę na:

- położenie urządzeń przeciwsłonecznych,
- temperaturę okien, ścian, sufitu, podłogi,
- sposób użytkowania pomieszczenia,
- rozkład stałych i zmiennych źródeł ciepła (oświetlenie, urządzenia),
- położenie i tryb pracy urządzeń sterujących,

- szczelność przegród budowlanych pomieszczenia,
- typ i umiejscowienie mebli, osprzętu, urządzeń domowych.

5.3. Pomiar temperatury

Pomiary temperatury mogą być wymagane w pomieszczeniu, w elemencie końcowym wywiewnym lub w kanale powietrza.

Zgodnie z normą PN-EN ISO 7726 [5] w czasie pomiaru temperatury należy zastosować środki zapewniające zmniejszenie wpływu promieniowania cieplnego i bezwładności czujnika sondy. Ze względu na bezwładność czujnika pomiar należy wykonywać przez co najmniej 1,5 wartości stałej czasowej czujnika. Do pomiaru w kanałach o nierównomiernym rozkładzie temperatury przekrój pomiarowy należy podzielić na odpowiednią liczbę pól.

Punkty pomiarowe średniej temperatury powietrza należy uzgodnić z zainteresowanymi stronami.

Jeżeli w pomieszczeniu występują przegrody o temperaturze niższej lub wyższej od temperatury powietrza, w pomieszczeniu należy, zgodnie z normą PN-EN ISO 7726 [5], określić temperaturę odczuwalną.

Temperatura odczuwalna t_0 jest jednorodną temperaturą doskonale czarnej obudowy, w której człowiek wymieniałby tę samą ilość ciepła przez promieniowanie i konwekcję jak w rzeczywistym i niejednorodnym pod względem temperatury otoczenia środowisku wewnętrznym. W większości praktycznych przypadków, gdy prędkość powietrza jest mała ($< 0,2$ m/s) lub gdy różnica między temperaturą promieniowania i temperaturą powietrza jest mała ($< 4^\circ\text{C}$), temperaturę odczuwalną można obliczyć z wystarczającą dokładnością jako średnią arytmetyczną temperatury (termometru suchego) powietrza t_a i średniej odczuwalnej temperatury promieniowania t_r . W celu uzyskania większej dokładności można zastosować następującą zależność:

$$t_0 = A t_a + (1 - A) t_r \quad (5)$$

w którym stałą A można określić w zależności od prędkości powietrza v_a (tab. 11).

Tabela 11

Wartości stałej A w zależności od prędkości powietrza

Prędkość powietrza v_a [m/s]	A
$< 0,2$	0,5
$0,6 > v_a \geq 0,2$	0,6
$0,6 \geq v_a \leq 1,0$	0,7

5.4. Pomiary innych parametrów

Pomiar wilgotności względnej powietrza należy wykonać zgodnie z normą PN-EN ISO 7726 [5]. Łącznie z pomiarem wilgotności powietrza należy w tym samym miejscu zmierzyć także temperaturę termometru suchego. Zastosowanie urządzeń rejestrujących umożliwi dokonywanie pomiaru w wymaganym okresie 24 godzin.

Pomiar natężenia dźwięku należy wykonać zgodnie z PN-EN ISO 3740, PN-EN ISO 3746 oraz PN-EN ISO 3747. W trakcie przeprowadzania pomiarów należy pamiętać o wykonaniu pomiarów natężenia dźwięku tła (przy wyłączonej instalacji). Wymagane warunki poziomu natężenia dźwięku w pomieszczeniach podano w CR 1752 [6].

Pomiar pobieranego prądu przez silniki central wentylacyjnych i klimatyzacyjnych należy mierzyć za ostatnim bezpiecznikiem każdej fazy.

Do pomiaru różnicy ciśnienia na filtrze można wykorzystać presostaty różnicowe lub manometry dołączone do filtrów.

Pomiary towarzyszące

W celu określenia jak najdokładniej warunków działania instalacji podczas kontroli działania należy uwzględnić następujące wielkości:

- temperaturę (termometru suchego) i wilgotność względną powietrza zewnętrznego,
- temperaturę wody grzewczej lub ziębiącej,
- strumień wody w rurociągu wody grzewczej lub ziębiącej,
- przyrost ciśnienia w pompach.

6. Pomiary specjalne

Wykonanie pomiarów specjalnych wymaga dodatkowych ustaleń w umowie, ponieważ niektóre z nich wiążą się ze wzrostem nakładu pracy oraz kosztów. Pomiary specjalne są uzasadnione, gdy pomiary kontrolne nie wystarczają do oceny jakości instalacji (w granicach wymaganego przedziału niepewności).

W ramach pomiarów specjalnych przewiduje się pomiary części składowych instalacji. Pomiary mogą być dokonywane na miejscu lub, jeśli jest to niemożliwe, na stanowisku laboratoryjnym.

Pomiary specjalne mogą obejmować:

- a) wentylatory,
- b) filtry,
- c) wymienniki ciepła,
- d) nawilżacze powietrza,
- e) sprawdzenie systemów regulacji, sterowania i przełączania.

6.1. Wentylatory

W ramach sprawdzenia kompletności wykonanych prac zaleca się:

- sprawdzenie, czy elementy urządzenia zostały połączone w prawidłowy sposób,
- sprawdzenie tabliczki znamionowej,
- badanie przez oględziny szczelności urządzeń i łączników elastycznych,
- zainstalowanie amortyzatorów drgań,
- zamocowanie silników, pasów klinowych, osłon przekładni pasowych.

W ramach ogólnego badania wentylatora należy sprawdzić:

- kierunek obrotu wirnika,
- regulację prędkości obrotowej lub innego sposobu regulacji wydajności,

- działanie wyłącznika,
 - działanie elementów zabezpieczających silnik.
- Podczas szczegółowego badania wentylatora należy określić następujące wielkości:
- strumień powietrza,
 - spiętrzenie całkowite (spręż),
 - ciśnienie i temperaturę w przekroju pomiarowym,
 - pobór mocy elektrycznej,
 - prędkość obrotową.

Pomiar strumienia powietrza

Metody [1]:

- pomiar prędkości powietrza w przekroju pomiarowym z zastosowaniem metody podziału przekroju pomiarowego za pomocą siatki pomiarowej lub metodą wodzenia (opisana w punkcie 4.1),
- metoda kompensacji (zerowania) w otworach wentylacyjnych,
- z zastosowaniem urządzeń dławiących,
- z zastosowaniem gazomierzy,
- metodą gazu znacznikowego.

Metoda kompensacji

W celu zastosowania metody kompensacji do otworu wentylacyjnego należy przyłączyć komorę pomiarową. Pomocniczy wentylator doprowadza powietrze do (lub odprowadza z) komory pomiarowej z przepływomierzem (rys. 3). Wydajność wentylatora ustala się w ten sposób, aby ciśnienie statyczne w komorze równało się ciśnieniu otoczenia (membrana ciśnieniowa). Rozwiązanie alternatywne stanowi pomiar strumienia powietrza za pomocą gazomierza lub urządzenia pływakowego (rotametry).

Należy zachować następujące zależności między przekrojami poprzecznymi:

- nawiewnik $A_{MC} > A_{vo}$
- wywiewnik $A_{MC} > 10A_{vo}$

Oznaczenia według tab. 1.

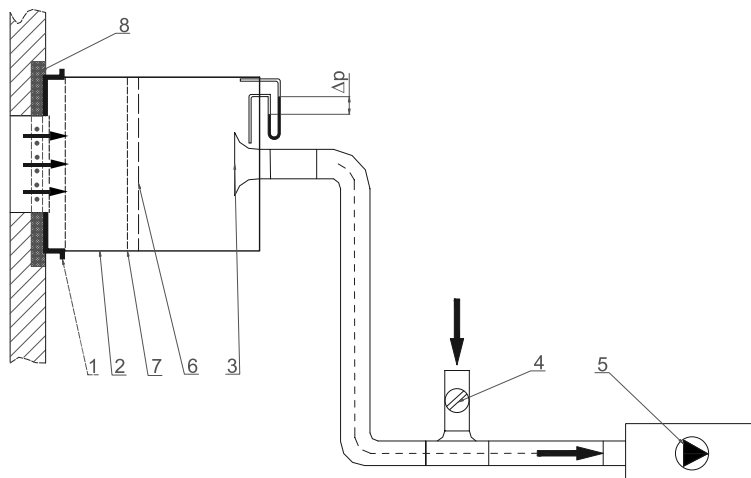
Pomiar ciśnienia powietrza

Wielkością mierzoną jest różnica ciśnień przed i za wentylatorem (spręż wentylatora). Zaleca się, aby punkt pomiarowy był umiejscowiony w odpowiednim przekroju. Zaleca się w uzasadnionych przypadkach uwzględnienie wpływu temperatury, gęstości płynu przekazywanej energii i wpływu wysokości wykonywanych pomiarów.

W przypadku pomiaru ciśnienia statycznego zaleca się, aby otwory stanowiące punkty pomiarowe były wykonane pod kątem prostym do powierzchni wewnętrznej przewodu. Wewnętrzne zakończenie każdego otworu powinno mieć ostre krawędzie. Zaleca się, aby średnica tego otworu była możliwie mała (1 do 3 mm). Zaleca się, aby pomiar ciśnienia przepływającego płynu był wykonywany w miejscu, w którym przepływ powietrza jest równoległy do ścianki przewodu.

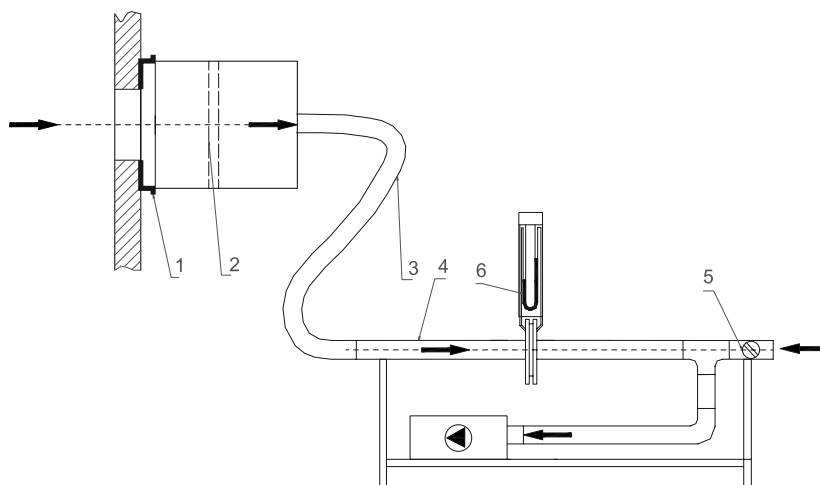
Pomiar poboru mocy elektrycznej

Pomiaru poboru mocy elektrycznej dokonuje się za pomocą miernika poboru mocy (watomierza) lub na podstawie licznika elektrycznego (wykonując odczyty przed i po badaniu).



Rys. 3a. Urządzenie do pomiaru przepływu powietrza z dyszą wlotową [1]: 1 – membrana ciśnieniowa, 2 – komora pomiarowa, 3 – Dp dysza, 4 – obejście, 5 – wentylator wspomagający, 6 – siatka, 7 – blacha perforowana, 8 – płaszczyzna przyłączeniowa

Fig. 3a. Device for airflow measurement equipped with input nozzle: 1 – pressure membrane, 2 – measurement chamber, 3 – Dp nozzle, 4 – bypass, 5 – supporting fan, 6 – grid, 7 – perforated plate, 8 – connecting surface



Rys. 3b. Urządzenie do pomiaru przepływu powietrza z nakładką [1]: 1 – membrana ciśnieniowa, 2 – komora pomiarowa, 3 – połączenie elastyczne, 4 – odcinek pomiarowy, 5 – przepustnica obejściowa

Fig. 3b. Device for airflow measurement equipped with cover plate: 1 – pressure membrane, 2 – measuring chamber, 3 – flexible connection, 4 – measuring section, 5 – by-pass damper

Moc silnika trójfazowego określa się metodą dwóch watomierzy, a dla silników jednofazowych metodą jednego watomierza.

Moc silników prądu stałego określa się standardowo przez pomiar natężenia i napięcia prądu.

Zaleca się, aby urządzenie pomiarowe było przyłączone możliwie blisko zacisków badanych elementów. Urządzenia należy rozmieścić tak, aby nie występowały błędy wynikające z zakłócającego wpływu pola magnetycznego, oraz należy dobrać kable tak, aby nie powodowały zakłóceń lub błędnych pomiarów.

6.2. Filtry

W ramach ogólnej oceny sprawdzić należy:

- zgodność typu i klasy filtra na podstawie oznaczeń,
- poprawność zainstalowania i uszczelnienia w obudowie,
- ogólne sprawdzenie stanu filtra (brak uszkodzeń),
- sprawdzenie działania wskaźnika różnicy ciśnienia,
- sprawdzenie czystości filtra.

W ramach kontroli działania filtrów określa się wskazania różnicy ciśnień i monitorowanie jego działania.

Podczas badań zainstalowanych filtrów należy zmierzyć następujące parametry:

- strumień przepływającego powietrza,
- rozkład prędkości w filtrze,
- spadek ciśnienia.

W przypadku filtrów o wysokiej skuteczności, zgodnie z PN-EN 1822, należy udowodnić, że nie występują przecieki powietrza przez materiał filtracyjny, przez złącze filtra z ramą oraz przez samą ramę.

6.3. Wymienniki ciepła

W ramach ogólnej oceny należy sprawdzić:

- tabliczkę znamionową,
- szczelność zamocowania w obudowie,
- w przypadku oziębiacza powietrza – szczelność tacy ociekowej, prawidłowość zainstalowania odpływu skroplin,
- materiał wykonania wymienników ciepła oraz ewentualne uszkodzenia, np. lamel,
- prawidłowość podłączenia króćca zasilania i powrotu płynu wymieniającego ciepło,
- sposób zainstalowania zaworów regulacyjnych oraz zabezpieczeń przeciwzamrożeniowych.

W ramach kontroli działania sprawdzane jest:

- działanie i kierunek regulacji rządu regulacyjnych,
- kierunek obrotów pomp cyrkulacyjnych,
- działanie regulacji obrotowych regeneratorów ciepła,
- doprowadzenie czynnika grzewczego/ziębniczego.

W ramach badań określa się wydajność wymiennika ciepła (stopień ogrzania lub oziębnienia powietrza) jako różnicę temperatury w funkcji masowego strumienia nośnika energii (np. wody) oraz spadek ciśnienia od strony powietrza w funkcji strumienia powietrza.

W przypadku chłodnic należy przebadać również działanie urządzenia na mokro, z uwzględnieniem wykrapłania się wilgoci na całej powierzchni wymiennika ciepła.

Podobnym badaniom podlegają również regeneracyjne, obrotowe wymienniki ciepła.

W uzasadnionych przypadkach wskazane jest także badanie równomierności rozkładu temperatur w całym przekroju poprzecznym za wymiennikiem ciepła.

W trakcie badań należy mierzyć następujące parametry:

- strumień powietrza i jego temperaturę na dopływie i odpływie z wymiennika ciepła,
- maksymalne odchyłki temperatury powietrza od średniej wartości na dopływie i odpływie z wymiennika ciepła,
- spadek ciśnienia powietrza,
- strumień przepływającego płynu wymieniającego ciepło oraz różnicę temperatur,
- dla nagrzewnic – wilgotność względną powietrza dopływie lub odpływie,
- dla chłodnic i regeneracyjnych wymienników ciepła – różnicę wilgotności względnej przed i za wymiennikiem,
- dla regeneracyjnych wymienników ciepła – strumień nośnika energii (również w sposób pośredni przez prędkość obrotową wirnika) oraz moc pobieraną przez silnik (wirnika lub pompy).

Jeżeli dostępne są charakterystyki urządzenia, wystarczy wykonać pomiary tylko w jednym punkcie charakterystyki działania.

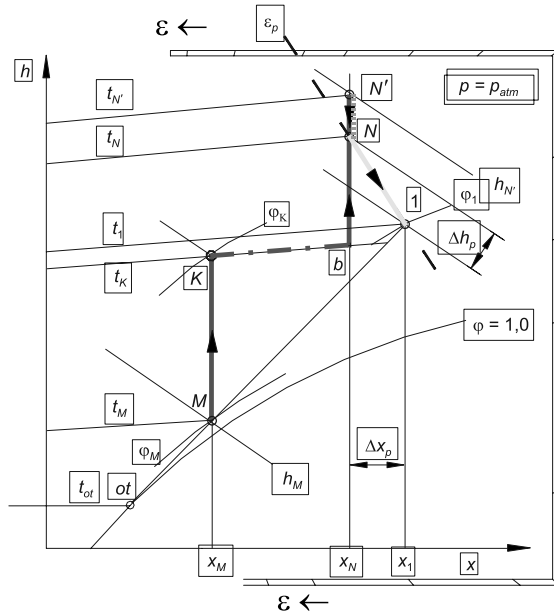
W przypadku gdy nie ma charakterystyk, a zmierzone wartości strumienia powietrza różnią się znacznie (więcej niż 30%) od wartości nominalnej, zaleca się pomiarowe określenie stopnia ogrzania lub stopnia oziębienia dla co najmniej trzech wartości strumienia powietrza i ich przeliczenie na warunki projektowe. W tym czasie strumień płynu wymieniającego ciepło powinien być utrzymywany w granicach wartości projektowych z tolerancją $\pm 20\%$.

Pomiary nagrzewnic zamontowanych przed i za nawilżaczem są z zasady wykonywane łącznie z pomiarami nawilżacza. Nie jest wymagane wykonywanie odrębnych pomiarów poszczególnych wymienników ciepła i jednocześnie działającego nawilżacza. Zakłada się, że w warunkach wyrównanych wartości temperatury powietrza na dopływie do nagrzewnicy wartości temperatury na odpływie z nagrzewnicy nie odbiegają od średniej temperatury o więcej niż 10% w całym przekroju poprzecznym. W tym przypadku wystarczy zmierzyć strumień nośnika energii i różnicę jego temperatur w jednym z wymienników ciepła. Moc cieplną poszczególnych nagrzewnic oblicza się na podstawie całkowitej mocy cieplnej i różnic entalpii powietrza odczytanych z wykresu $h - x$ (rys. 4a i 4b).

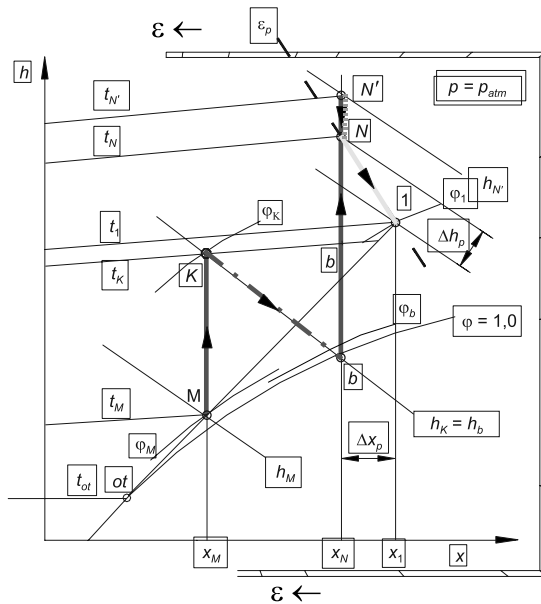
Przebieg zmian stanu powietrza w nawilżaczu jest określony przez temperaturę powietrza na dopływie oraz:

- dla komór zraszania – przez temperaturę termometru mokrego na odpływie*,
- dla nawilżaczy parowych – przez temperaturę pary

* w przypadku nawilżaczy z zamkniętym obiegiem wody zakłada się proces izentalpowy (adiabatyczny) w stanie ustalonym. Wystarczy wówczas zmierzyć temperaturę wody zamiast temperatury powietrza.



Rys. 4a. Proces nawilżania parą na wykresie $h - x$ (odcinek $K-b$)
 Fig. 4a. Air humidifying with vapor in $h - x$ diagram (section $K-b$)



Rys. 4b. Uzdatnianie powietrza w przypadku nawilżania wodą na wykresie $h - x$ (odcinek $K-b$)
 Fig. 4b. Air humidifying with water in $h - x$ diagram (section $K-b$)

6.4. Nawilzacze powietrza

Podobnie jak dla wentylatorów oraz wymienników ciepła, przy ogólnej ocenie urządzenia należy sprawdzić tabliczkę znamionową, poprawność zainstalowania, właściwy dobór wielkości zainstalowanego urządzenia, kompletność poszczególnych elementów (pomp, zaworów pływakowych, spust) oraz sprawdzić system rozprowadzania wody lub pary.

W zakresie pomiarów nawilzaczy powietrza należy stosować te same zasady, które wymieniono dla wymienników ciepła. Najlepiej jest wykonać badania wymienników ciepła i nawilzaczy łącznie.

W przypadku nawilzaczy wodą (komór zraszania) zakłada się, że są dostępne charakterystyki, które określają efektywność nawilżania w postaci różnicy zawartości wilgoci w powietrzu lub jako parametru względnego, odniesionego do maksymalnej różnicy zawartości wilgoci i spadku ciśnienia od strony powietrza (łącznie z odkraplaczem) w funkcji strumienia powietrza. Właściwości nawilzaczy określają również:

- liczba i układ dysz,
 - strumień wody do nawilżania,
 - ciśnienie i temperatura wody,
- dla nawilzaczy parą:
- temperatura, ciśnienie i strumień pary.

Zaleca się również badania stopnia zmieszania strumienia pary wodnej ze strumieniem nawilżanego powietrza, określonego na przykład przez niezbędną odległość umieszczenia filtrów lub innych części składowych za nawilżaczem dla różnych wartości strumienia pary odniesionych do strumienia powietrza. Inną wielkością zalecaną do badań przy nawilżaczach jest pomiar równomierności rozkładu zawartości wilgoci w powietrzu w przekroju poprzecznym za nawilżaczem.

Dodatkowe parametry zalecane przez normę [1] do pomiarów to:

- parametry stanu powietrza przed i za nawilżaczem z wykorzystaniem wykresu $h-x$,
- maksymalne odchyłki zawartości wilgoci w powietrzu od wartości średniej na wylocie powietrza z nawilzacza,

dla nawilzaczy wodą:

- temperatura i ciśnienie wody przed dyszami,
- moc pobierana przez silnik napędzający pompę obiegową,

dla nawilzaczy parą odpowiednio:

- temperatura, ciśnienie i strumień pary.

Podobnie jak dla wymienników ciepła, jeżeli dostępne są charakterystyki urządzenia, wystarczy wykonać pomiary tylko w jednym punkcie charakterystyki działania. Jeżeli nie ma charakterystyk, a zmierzone wartości strumienia powietrza różnią się znacznie (więcej niż 30%) od wartości nominalnej, zaleca się pomiarowe określenie wzrostu lub obniżenia temperatury (termometru suchego) powietrza dla co najmniej trzech wartości strumienia powietrza i ich przeliczenie na warunki projektowe. W przypadku nawilzaczy rozpylających zaleca się pomiar strumienia wody. W przypadku nawilzaczy zraszających strumień wody powinien być utrzymywany w granicach projektowych z tolerancją $\pm 20\%$.

6.5. Systemy regulacji i sterowania

W celu sprawdzenia charakterystyki regulacji automatycznej i umożliwienia sprawdzenia, czy elementy automatyki działają prawidłowo w połączeniu z odpowiednim obiektem regulacji, nie wystarczy wykonanie badań poszczególnych urządzeń systemu, ponieważ prawidłowe działanie regulacyjne zależy nie tylko od charakterystyki przekazywania elementu regulacji, lecz również od charakterystyki samego obiektu regulacji.

Czujniki umieszczone w rurach i przewodach wentylacyjnych powinny mieć bezpośrednio obok siebie dogodny punkt pomiarowy lub, lepiej, powinny być wyposażone w odpowiedni przyrząd wskazujący, pozwalający na sprawdzenie aktualnie mierzonej wartości.

W przypadku czujników lub regulatorów różnicy ciśnienia niezawierających przyrządu wskazującego zaleca się zapewnienie co najmniej dwóch zamykanych otworów impulsowych do pomiarów kontrolnych ciśnienia.

W celu kontroli systemów regulacji norma [1] zaleca:

- sprawdzenie kompletności każdego obwodu regulacji na podstawie schematu,
- sprawdzenie rozmieszczenia czujników,
- sprawdzenie kompletności i rozmieszczenia regulatorów,
- sprawdzenie szaf sterowniczych w aspekcie zgodności z projektem odnośnie do:
 - lokalizacji szafy i dostępu do niej,
 - rozmieszczenia części zasilających i części regulacyjnych,
 - systemu zabezpieczeń,
 - wentylacji, oznakowania, uziemienia,
 - typów kabli,
 - schematów połączeń w obudowach.

Kontrola działania systemów regulacji automatycznej i blokad polega na wyrywkowym sprawdzeniu działania w różnych warunkach eksploatacyjnych przy różnych wartościach zadanych nastaw regulatorów, a zwłaszcza:

- zadanej temperatury wewnętrznej,
- zmierzonej temperatury zewnętrznej,
- włącznika rozruchowego,
- działania układu przeciwarzamroziowego,
- kłap pożarowych (wyzwalanie i sygnalizowanie),
- regulacji strumienia powietrza,
- systemu odzyskiwania ciepła,
- współdziałania z instalacjami ochrony przeciwpożarowej.

Działania sprawdzające

Działania te obejmują:

- kierunek działania organu wykonawczego (siłownika)

Należy zmieniać wartość zadaną regulatora w kierunku zwiększających się i zmniejszających się wartości i sprawdzać, czy zmiana kierunku położenia siłownika odpowiada prawidłowemu kierunkowi;

- wartość zadana regulatora
Należy sprawdzić dla jednej wartości zadanej lub kilku (w zależności od wymagań), czy po regulacji wartość rzeczywista odpowiada wartości zadanej. Jeśli są stosowane regulatory typu P, należy ustalić stan właściwego obciążenia;
- wpływ głównego układu regulacji
W przypadku stosowania głównych układów regulacji należy sprawdzić, dla zależności liniowej, czy gradient, kierunek działania i punkt charakterystyki siłownika spełniają wymagania. W przypadku zależności nieliniowej krzywą należy sprawdzić w uzgodnionych warunkach;
- kaskadowy układ regulacji
Ze względu na to, że kaskadowy układ regulacji składa się z dwóch układów regulacji: układu pilotowego i nadążnego, należy wykonać sprawdzenie stabilności każdego z tych układów.

6.6. Inne urządzenia

Dla **czerpni powietrza** należy sprawdzić wymiary, materiał, odporność na warunki atmosferyczne, prawidłowość usytuowania ze względu na ewentualne zanieczyszczenia powietrza zasysanego.

Dla **przepustnic** należy sprawdzić rodzaj przepustnic, uszczelnienie, kierunek ruchu siłowników.

Dla **klap przeciwpożarowych** należy sprawdzić poprawność i warunki zainstalowania, znak certyfikacji oraz właściwości urządzenia wyzwalającego. Ponadto należy zbadać urządzenie wyzwalające i sygnał wyzwalający oraz kierunek i położenie graniczne klap i wskaźnika.

Dla **skrzynki mieszania i skrzynki rozprężnej** należy wrywkowo sprawdzić ich zgodność z danymi projektowymi.

Dla **nawiewników** należy sprawdzić typ, liczbę, rozmieszczenie oraz przeprowadzić próbę dymową do wstępnej oceny przepływów powietrza w pomieszczeniu, jak również cyrkulacji powietrza w poszczególnych punktach pomieszczenia.

Sieć przewodów należy sprawdzić w zakresie szczelności, zgodności wykonania wrywkowo wybranych kształtek z projektem oraz działanie elementów regulacyjnych (dławiących). Należy sprawdzić dostępność do otworów rewizyjnych, izolację.

Literatura

- [1] PN-ISO 6242 1 Budownictwo. Wyrażanie wymagań użytkownika. Wymagania termiczne.
- [2] PN-EN 12599:2002 Wentylacja budynków. Procedury badań i metody pomiarowe dotyczące odbioru wykonanych instalacji wentylacji i klimatyzacji.
- [3] PN-EN 13053 Wentylacja budynków. Centrale klimatyzacyjne. Wzorcowanie i charakterystyki działania urządzeń, elementów składowych i sekcji.
- [4] PN-EN 13779:2005 Wentylacja budynków niemieszkalnych. Wymagania dotyczące właściwości instalacji wentylacji i klimatyzacji.
- [5] PN-EN ISO 7726 Ergonomia środowiska termicznego. Przyrządy do pomiaru wielkości fizycznych.

- [6] CEN, CR 1752:1998 Ventilation for Buildings. Design Criteria for the Indoor Environment.
- [7] Wymagania techniczne COBRTI INSTAL – zeszyt 5. Warunki techniczne wykonania i odbioru instalacji wentylacyjnych – zalecane do stosowania przez Ministerstwo Infrastruktury.