Anna Charkowska

Zasady projektowania nawiewu – nawiewniki powietrza cz.1

Prawidłowo dobrane, charakteryzujące się optymalnymi parametrami pracy, adekwatnymi do rodzaju pomieszczenia, jego wielkości oraz przeznaczenia, nawiewniki powietrza są istotnymi elementami instalacji wentylacji lub klimatyzacji, kształtującymi nie tylko przepływ powietrza, ale także komfort cieplny oraz akustyczny w pomieszczeniu. Prędkość i temperatura powietrza nawiewanego muszą być dobrane tak, aby nie wywoływały odczucia chłodu, nadmiernego ciepła lub przeciągu...

Nawiewniki i rozdział powietrza zgodnie z prawem…

Odzwierciedlenie wyżej wymienionych funkcji nawiewników zostało uwzględnione w ich definicji, zamieszczonej w normie PN-EN 12792: 2006 [5], zgodnie z którą: nawiewnik powietrza to uzbrojony otwór, przez który powietrze dopływa do obsługiwanego pomieszczenia, jego konstrukcja ma zapewnić utrzymanie określonych warunków komfortu w zakresie temperatury, prędkości, wilgotności i poziomu dźwięku w strefie przybywania ludzi. Natomiast wywiewnik to urządzenie, przez które powietrze opuszcza obsługiwane pomieszczenie.
Pojęciem nierozłącznie związanym z nawiewnikami, wywiewnikami i ich pracą jest tzw. rozdział powietrza, czyli rozprowadzenie powietrza w pomieszczeniu w sposób zapewniający określone warunki, takie jak wielkość wymiany powietrza, ciśnienie, czystość, temperaturę, wilgotność, prędkość powietrza i poziom dźwięku, w określonej strefie tego pomieszczenia, osiągane zazwyczaj za pomocą nawiewników i wywiewników, które tworzą wspólnie granice między obsługiwanym pomieszczeniem i systemem rozprowadzenia powietrza [5].

Wstępny dobór nawiewników

Poprawny dobór rodzaju wentylacji, nawiewników powietrza oraz sposobu rozdziału powietrza prowadzi do zapewnienia w wentylowanym pomieszczeniu prawidłowego przepływu powietrza i wentylacji (bez stref martwych, charakteryzujących się bezruchem lub powolnym przepływem powietrza lub obszarów z prędkością powietrza powodującą odczucia przeciągu), odprowadzenia zysków ciepła lub wilgoci, rozcieńczenia zanieczyszczonego powietrza pyłami lub gazami, aż do uzyskania dopuszczalnej ich koncentracji w powietrzu.

W trakcie doboru nawiewników zwraca się uwagę na następujące zagadnienia:
1. Rodzaj projektowanej wentylacji:
- mieszająca
- wyporowa
- laminarna

2. Typ pomieszczenia:
- komfortowe
- produkcyjne
- specjalne (np. obiekty służby zdrowia, muzea, pomieszczenia dla zwierząt)

3. Lokalizacja nawiewnika:
- ściana
- sufit
- podłoga

4. Wymiary pomieszczenia.

Parametry pracy nawiewników

W trakcie doboru nawiewników powietrza uwzględnia się m.in. takie parametry, jak:
- strumień powietrza nawiewanego (objętościowy lub masowy),
- temperaturę powietrza nawiewanego,
- różnicę temperatury powietrza pomiędzy powietrzem w pomieszczeniu a powietrzem nawiewanym,
- zasięg strugi powietrza nawiewanego,
- prędkość efektywną wypływu powietrza z nawiewnika,
- prędkość zamierania określaną w nawie-

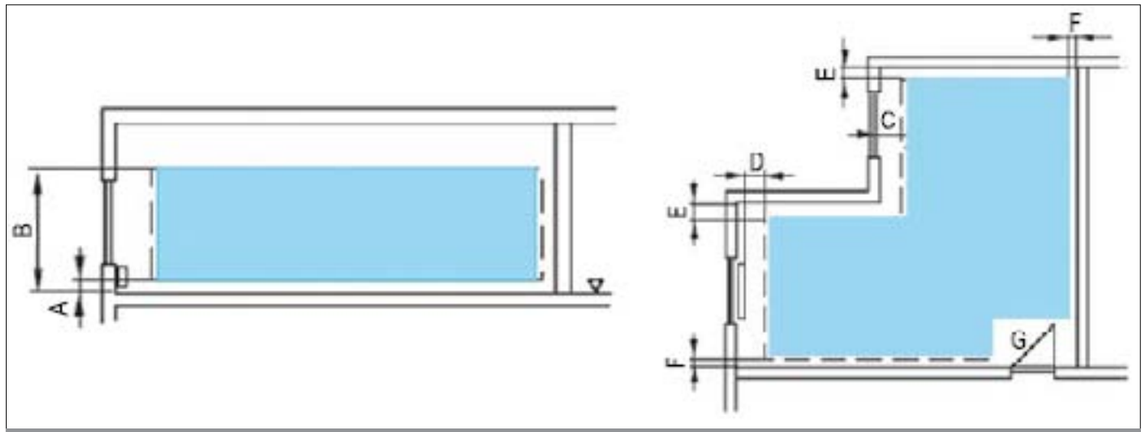
Fot. Fläkt Bovent

Nawiewniki wyporowe okrągłe

* dr inż. Anna Charkowska, Zakład Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Politechnika Warszawska

Przegroda pomieszczenia	Oznaczenie na rysunku 1 odległości pomiędzy przegrodą a SPL	Typowy zakres odległości pomiędzy przegrodą a SPL (m)	Wartość standardowa odległości pomiędzy przegrodą a SPL (m)
podłoga (dolna granica)	A	0,00-0,20	0,05
podłoga (górna granica)	B	1,30-2,00	1,80
okna i drzwi zewnętrzne	C	0,50-1,50	1,00
urządzenia grzewcze, wentylacyjne i klimatyzacyjne	D	0,50-1,50	1,00
ściany zewnętrzne	E	0,15-0,75	0,50
ściany wewnętrzne	F	0,15-0,75	0,50
drzwi, strefa ciągów komunikacyjnych, itp.	G	specjalne uzgodnienia	-

Tabela 1 Wymiary wyznaczające strefę przebywania ludzi (SPL) [6]



Rys. 1 Granice strefy przebywania ludzi [6]

wanej strudze powietrza,
- prędkość powietrza w strefie przebywania ludzi,
- ugięcie strugi nawiewanej,
- stopień indukcji powietrza z pomieszczenia,
- stratę ciśnienia powietrza podczas przepływu przez nawiewnik,
- poziom mocy akustycznej nawiewnika.

W niektórych katalogach podawana jest także różnica temperatury pomiędzy powietrzem nawiewanym a powietrzem w strefie przebywania ludzi oraz różnica temperatury pomiędzy powietrzem w osi strugi w odległości równej zasięgowi nawiewnika a powietrzem w strefie przebywania ludzi.

W przypadku wentylacji wyporowej dodatkowo należy zwrócić uwagę na istotne dla tego typu instalacji następujące parametry: gradient temperatury i strefę oddziaływania.

Strefa oddziaływania strumienia to termin stosowany do określenie strefy działania nawiewników wyporowych, w której przekroczone są dopuszczalne wartości temperatury oraz prędkości powietrza w strefie przebywania ludzi (SPL) oraz prędkości powietrza. Poza prawidłowym określeniem strumienia powietrza nawiewanego i jego zasięgu, uznaje się, że nawiewnik jest dobrany poprawnie, jeżeli [2]:

1. prędkość zamierania nie przekracza dopuszczalnej prędkości w strefie przebywania ludzi,
2. różnica temperatury pomiędzy temperaturą powietrza w strumieniu w odległości równej zasięgowi a powietrzem w strefie przebywania ludzi nie przekracza wartości przyjętej tolerancji dla temperatury wewnętrznej,
3. poziom mocy akustycznej nie przekracza dopuszczalnego natężenia dźwięku w pomieszczeniu.

Dopuszczalna prędkość powietrza w SPL zależy od przeznaczania budynku, a właściwie od przewidywanej aktywności fizycznej użytkowników (praca lekka, średnia lub ciężka) i okresu obliczeniowego (lato, zima). Wartości zalecane podane są w dwóch krajowych normach: PN-78/B-03421 [4] oraz PN-EN 15251:2007 [7]. Dla pracy lekkiej w praktyce projektowej przyjmowana jest wartość 0,2 m/s.

Zgodnie z zaleceniami zamieszczonymi w [1] powinno się dobrać nawiewnik o poziomie mocy akustycznej niższej o około 5 dB od dopuszczalnej wartości poziomu dźwięku, a w obliczeniach uwzględnić zdolność pomieszczenia do absorpcji dźwięku.

Ocena pracy wentylacji

W pomieszczeniach komfortowych należy zapewnić wymagane parametry powietrza w strefie przebywania ludzi, co oznacza, że nie gwarantuje się spełnienia warunków

rozdział powietrza	Strumień zimny ΔΘ (1) <0 K		Strumień ciepły		
	prędkość efektywna (2)	efektywność wentylacji	ΔΘ (1)	pomieszczenie niskie	pomieszczenie wysokie
strumień z poziomą indukcją (4)	>1,5 m/s	0,9÷1,1	<10 K	0,8÷1	niezalecany
	<0,5 m/s	0,7÷0,9	>15 lub 20 K	0,4÷0,8	niezalecany
strumień pionowy z indukcją	wszystkie nawiewniki	0,9÷1,1	<10 K	0,6÷0,8	0,8÷1 (3)
			>15 K	0,4÷0,8	
wentylacja wyporowa		1,0÷2		0,2÷0,7	niezalecany

(1) – różnica pomiędzy temperaturą powietrza nawiewanego i temperaturą powietrza w strefie przebywania ludzi
(2) – prędkość odniesiona do powierzchni efektywnej (netto) nawiewnika, czyli sumy wszystkich powierzchni nieosłoniętych obszarów, przez które powietrze wypływa z nawiewnika [5]
(3) – stosując tę wartość, rozumie się, że nawiewniki są wyposażone w sterowane urządzenia do zmiany geometrii wypływu lub kierownice powodujące ruch wirowy. Jeśli stosowane są nawiewniki o stałej geometrii wypływu, ich działanie ogranicza się tylko do ogrzewania (nie do chłodzenia), a ich dobór powinien być prawidłowy i staranny, z uwzględnieniem ΔΘ
(4) – nawiewnik indukcyjny – powietrze pierwotne wypływające z nawiewnika indukuje strumień powietrza z obsługiwanego pomieszczenia (powietrze wtórne) w taki sposób, aby pojawił się wysoki stopień mieszania powietrza z tych dwóch źródeł; takie urządzenie nie zawiera żadnych elementów do uzdatniania powietrza [5]

Tabela 2 Przykładowe wielkości efektywności wentylacji dla wentylacji mieszającej i wyporowej [6]

Fot. Swegon

Nawiewnik SWIFT C – sufitowy wirowy

komfortu poza jej granicami. Także w tej strefie przeprowadzane są pomiary dotyczące kryteriów komfortu cieplnego.
Zgodnie z zapisem w normie PN-EN 13779:2008 [6] strefa przebywania ludzi jest to zawarty w pomieszczeniu obszar, którego płaszczyzny boczne są odległe od powierzchni wewnętrznych przegród budowlanych o parę do parunastu centymetrów, zależnie od przeznaczenia pomieszczenia (tabela 1, rys. 1).
Do opisu pracy wentylacji – nawiewu i sposobu rozdziału powietrza, stosuje się pojęcie „efektywność wentylacji".
Jest ono związane z rodzajem wentylacji (mieszająca lub wyporowa) i wzajemnym rozmieszczeniem nawiewników i wywiewników w pomieszczeniu. Służy do opisu zależności pomiędzy stężeniem zanieczyszczeń powietrza w powietrzu nawiewanym do pomieszczenia a ich stężeniem w powietrzu wywiewanym i wewnętrznym w strefie oddychania ludzi, znajdującej się wewnątrz SPL.
W tabeli 2 zamieszczono przykładowe wielkości efektywności wentylacji dla wentylacji mieszającej i wyporowej.

Klasyfikacja strumieni nawiewanego powietrza

Podczas napływu powietrza wentylacyjnego do pomieszczenia wypełnionego powietrzem powstaje strumień zatopiony, który w technice wentylacyjnej nazywany jest po prostu strumieniem powietrznym [3].
W zależności od kształtu rozwijającego się strumienia powietrznego, zdefiniować można strumień [3]:

- **swobodny,** który po wypływie z otworu nawiewnego rozwija się w ośrodku powietrznym będącym w stanie względnego bezruchu i w przestrzeni nieograniczonej powierzchniami przegród budowlanych pomieszczenia (także stosuje się nazwę „bez oddziaływania sufitu"),
- **półograniczony** (przyścienny, przylepiony), który rozwija się wzdłuż powierzchni ściany lub sufitu, przy opisie strumienia półograniczonego uwzględnia się efekt Coandy, który pojawia się, gdy odległość górnej krawędzi kratki od sufitu ≤ 0,3 m, występuje wówczas zjawisko przylepiania się strumienia do przegrody budowlanej w wyniku podciśnienia, powodującego wydłużenie strumienia powietrza nawiewanego.

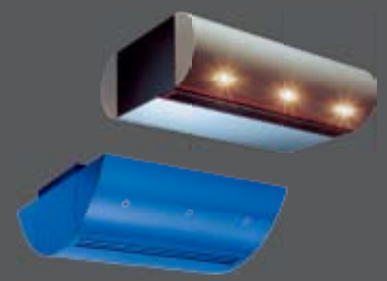
Inny podział strumieni powietrza związany jest z temperaturą powietrza nawiewanego w porównaniu z temperaturą powietrza w strefie przebywania ludzi. Z tego względu nawiewane strumienie powietrza dzieli się na:

- izotermiczne – o temperaturze równej temperaturze powietrza w pomieszczeniu w SPL,
- nieizotermiczne – o temperaturze różnej od

REKLAMA

BSH Klima POLSKA
BSH Klima Polska Sp. z o.o., ul. Kolejowa 13, Stara Iwiczna, 05-500 Piaseczno
tel.: (0-22) 737 18 58, fax: (0-22) 737 18 59, biuro@bsh.pl, www.bsh.pl

eurocilma We care for better air
Centrale wentylacyjne, klimatyzacyjne
innowacyjność i ekologia
wysoka jakość

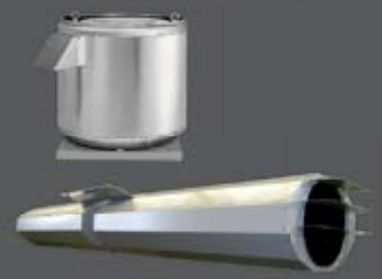


TTL Luftschleieranlagen
Kurtyny powietrzne
Funkcjonalność i estetyka.
Ponad 100 wielkości różnych typów kurtyn.

AL-KO
Aparaty grzewczo -wentylacyjne
Ponad 100 wielkości w wersjach przemysłowych i komfortu.

EICHELBERGER
Nadciśnieniowe systemy zapobiegania zadymieniu
Zgodnie z normą PN-EN 12101-cz.6 (< 3 sek. max 50 Pa) utrzymujemy niezadymione drogi ucieczki

SCHAKO KLIMA-LUFT
Osprzęt wentylacyjny
- nawiewniki
- tłumiki
- regulatory przepływu
- fan coile
- belki i stropy chłodzące



TLT-Turbo GmbH
Wentylatory
Pełny program wentylatorów do wentylacji ogólnej, oddymiającej (certyfikowanych wg PN EN 12101-3) i przemysłowej

Kryteria doboru nawiewników

Krotność wymiany powietrza (h^{-1})	Typ instalacji	Kratki	Nawiewniki szczelinowe	Nawiewniki wirowe	Anemostaty	Nawiewniki z płytą perforowaną
≤ 10	CAV	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +
	VAV	+	+	+ +	+	+
10-20	CAV	-	+ + (*)	+ +	+ +	+ +
	VAV	-	+ + (*)	+ +	+	+
20-30	CAV	-	-	+ +	-	-
	VAV	-	-	+ +	-	-

(*) – nawiew poziomy, naprzemienny
+ + - szczególnie zalecane
+ - zalecane
- - niezalecane

Tabela 3 Wstępny dobór rodzaju nawiewników powietrza dla wentylacji mieszającej dla pomieszczeń o wysokości do 4,0 m [10]

System wentylacji i chłodzenia	Maksymalne zyski ciepła [W/m²]	
	klasa komfortu TQ1	klasa komfortu TQ2
System powietrzny		
Wentylacja mieszająca		
Umieszczenie nawiewników:		
na suficie	60	80
na ścianie wewnętrznej	40	60
na ścianie zewnętrznej	50	70
pod parapetem	50	70
Wentylacja wyporowa		
na podłodze	30	35
na ścianie ³ 0,6 m nad podłogą	35	40
System wodny		
ścienne zespoły indukcyjne	50	70
wentylokonwektory ścienne	50	70
sufit chłodzący – promieniowanie: wentylacja mieszająca wentylacja wyporowa	 100 70 (1)	 120 85
sufit chłodzący – konwekcja: wentylacja mieszająca wentylacja wyporowa	 70 50 (1)	 85 60

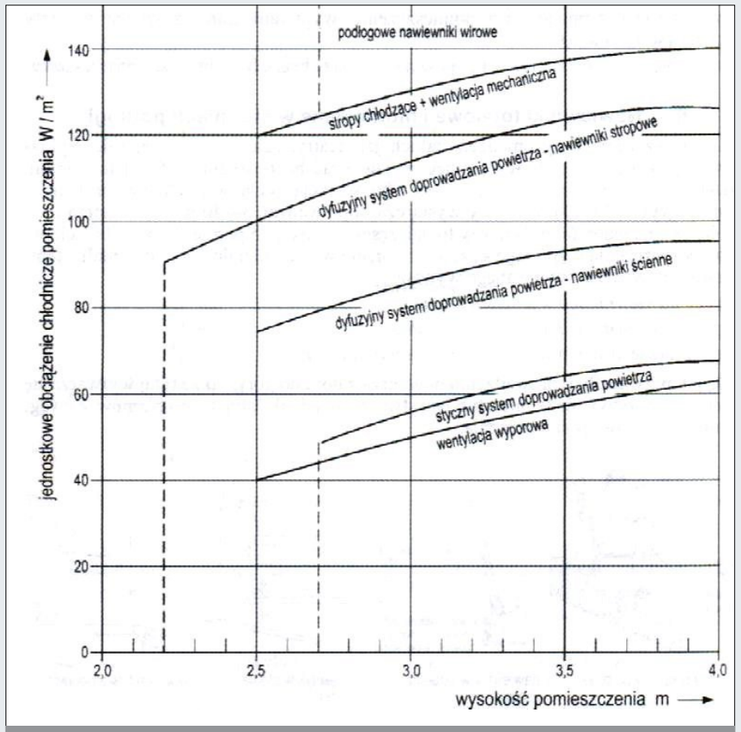
(1) Zalecane maksymalne zyski ciepła przy wentylacji 20 W/m² (nawiew powietrza nie schłodzonego)

Tabela 4 Zalecane maksymalne wartości zysków ciepła przy różnych systemach wentylacji i chłodzenia (z wykorzystaniem systemów powietrznych oraz wodnych) [11]

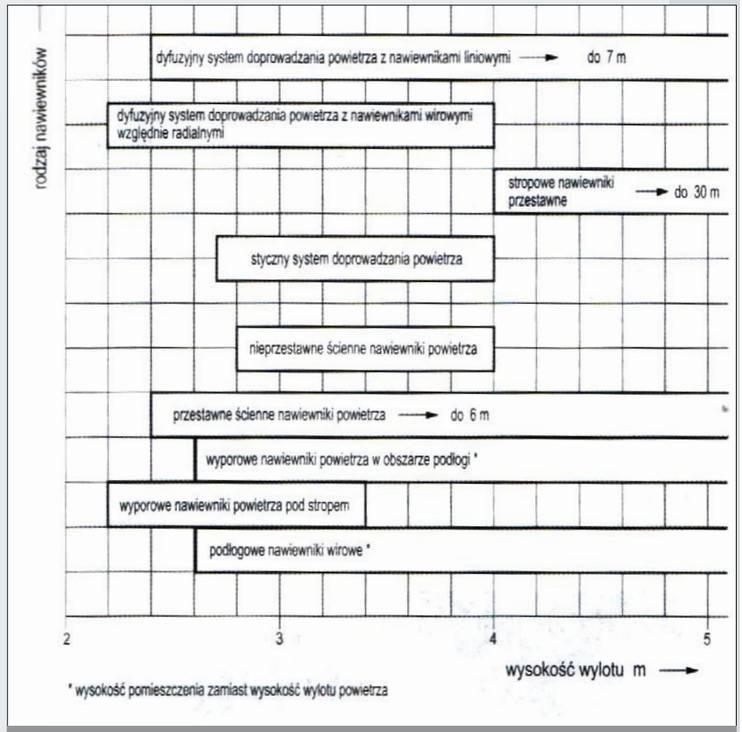
W [9] zamieszczono wykresy ułatwiające wstępny dobór rodzaju nawiewników, zależnie od jednostkowego obciążenia chłodniczego pomieszczenia i wysokości pomieszczenia (rys. 2) oraz wysokości wylotu strumienia powietrza z nawiewnika (rys. 3). W [10] znajdują się natomiast zalecenia dla systemów wentylacji mieszającej wiążące krotność wymian powietrza, typ instalacji (o stałym CAV lub zmiennym wydatku powietrza VAV) z rodzajem nawiewników, z zastrzeżeniem, że dobór dotyczy pomieszczeń o wysokości do 4,0 m, a tabela została przygotowana dla produktów [10] – tabela 3. W [11] znajdują się jeszcze inne zalecenia ułatwiające wstępny dobór i rozmieszczenie nawiewników powietrza w zależności od obciążenia chłodniczego pomieszczenia odniesionego do jednostkowej powierzchni podłogi [W/m²] (tabela 4). Podane w tabeli wartości odnoszą się do pomieszczeń o wysokości około 2,8 m, w których strefa przebywania ludzi rozpoczyna się w odległości 0,2 m od ścian wewnętrznych, 0,5 m od ścian zewnętrznych z oknami, a jej wysokość wynosi 1,8 m. Znajdujące się w tabeli 4 klasy komfortu TQ1 oraz TQ2 związane są ze wskaźnikiem komfortu cieplnego PPD – przewidywanym odsetkiem osób niezadowolonych z warunków cieplnych otoczenia (ang.: Predicted Percentage of Dissatisfied). Do ich zdefiniowania przyjęto następujące wartości graniczne:

- klasa komfortu TQ1: PPD < 10%
- klasa komfortu TQ2: PPD = 10%
- klasa komfortu TQ3: PPD = 20%

Wymagania stawiane klasie TQ1 w odniesieniu do wskaźnika PPD, odpowiadają klasie komfortu według normy PN-EN 15251:2007 określonej dla pomieszczeń kategorii II (dawniej B) o normalnym poziomie oczekiwań; rekomendowanym dla budynków nowych i modernizowanych.



Rys. 2 Maksymalne wartości odprowadzanego jednostkowego obciążenia chłodniczego przy zachowaniu warunków komfortu cieplnego [9]



Rys. 3 Maksymalne wartości odprowadzanego jednostkowego obciążenia chłodniczego przy zachowaniu warunków komfortu cieplnego [9]

Fot. BSH Klima

Nawiewnik podłogowy

temperatury temperaturze powietrza w pomieszczeniu w SPL.
Strumienie nieizotermiczne dzieli się z kolei na: chłodzące – o temperaturze powietrza niższej niż temperaturze powietrza w pomieszczeniu w SPL i grzejne – o temperaturze powietrza wyższej od temperatury powietrza w pomieszczeniu w SPL.

Kształt otworu wylotowego powietrza z nawiewnika oraz jego budowa wpływają na kształt strumienia powietrza wpływającego do pomieszczenia.
Z tego powodu rozróżnia się strumienie: osiowo-symetryczne, liniowe płaskie, wachlarzowe promieniowe, niepełne wachlarzowe, stożkowe, wirowe.

Rozmieszczenie nawiewników

W trakcie projektowania rozdziału powietrza, przy planowaniu lokalizacji nawiewników powietrza powinno się wziąć pod uwagę takie ich rozmieszczenie, aby uzyskać równomierny przepływ powietrza przez cały wentylowany obszar z uniknięciem stref martwych i stref o zbyt wysokiej prędkości powietrza.
Np. w przypadku anemostatów sufitowych (okrągłych z radialnym wypływem powietrza lub kwadratowych z wypływem powietrza w czterech kierunkach) powinno się w miarę możliwości rozmieścić je regularnie, uzyskując w przybliżeniu jednakowy we wszystkie strony zasięg strumieni powietrza.
W [1] zaleca się, aby nie kierować strumienia powietrza nawiewanego w kierunku ścian, lecz przeciwnie – od ściany do wnętrza pomieszczenia. Trzeba także starać się zachować zgodność kierunku nawiewu z naturalnym ruchem powietrza, wywołanym przez źródła ciepła (grzejniki, konwektory itp.).
Aby uzyskać optymalny przepływ powietrza najlepiej byłoby, aby sufit był poziomy oraz jednolity. Należy upewnić się, że w zasięgu nawiewu nie znajdują się przeszkody, jak np: belki, elementy konstrukcyjne, elementy instalacji oświetleniowej. W przeciwnym razie podczas planowania rozmieszczenia nawiewników należy je uwzględnić, gdyż strumień nawiewanego powietrza może zmieniać swój kierunek pod wpływem przeszkód.

Fot. BSH Klima

Nawiewnik talerzowy

Literatura

1. www.venture.pl
2. Isańska-Ćwiek A., Napiórkowska A., Nawiewniki powietrza w instalacjach wentylacyjnych i klimatyzacyjnych, Chłodnictwo&Klimatyzacja, nr 3/2007
3. Malicki M., Wentylacja i klimatyzacja, PWN, Warszawa, 1980
4. PN-78/B-03421, Wentylacja i klimatyzacja – Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi
5. PN-EN 12792: 2006, Wentylacja budynków – Symbole, terminologia i oznaczenia na rysunkach.
6. PN-EN 13779:2008, Wentylacja budynków niemieszkalnych - Wymagania dotyczące właściwości instalacji wentylacji i klimatyzacji
7. PN-EN 15251:2007 (ang.), Kryteria środowiska wewnętrznego, obejmujące warunki cieplne, jakość powietrza wewnętrznego, oświetlenie i hałas
8. PN-EN ISO 7730:2006 Ergonomia środowiska termicznego – Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego
9. Recknagel H., Sprenger E., Schramek E.R., Kompendium wiedzy: Ogrzewnictwo, klimatyzacja, Ciepła woda, chłodnictwo, Wyd. Omni Scala. Wrocław, 2008
10. www.trox.pl
11. Teoria, Swegon

Fot. Swegon

Nawiewnik kanałowy z dyszami IBIS

Fot. Fläkt Bovent

Nawiewnik liniowy NLW