

► Piotr Ziętek

# Analiza różnych systemów grzewczych Wentylacja wporowa a problem ogrzewania



Wentylacja wporowa jest stosunkowo nowym rozwiązaniem zyskującym na świecie coraz szersze zastosowanie zarówno w obiektach przemysłowych, jak i budynkach użyteczności publicznej. Ten sposób rozdziału powietrza w pomieszczeniu jest od wielu lat badany i z powodzeniem stosowany w rozwiniętych krajach europejskich, zwłaszcza w Skandynawii, a także w Stanach Zjednoczonych. Wyniki prac badawczych prowadzonych na świecie w większości przypadków potwierdzają możliwość ograniczenia zużycia energii przez system klimatyzacyjny z zastosowaniem wentylacji wporowej w porównaniu do rozwiązań tradycyjnych. Stanowi to zaletę systemu w dobie dążenia do zmniejszenia zapotrzebowania na energię w budynkach. Dodatkowo badania analityczne i eksperymentalne dowodzą, że system wporowy charakteryzuje się wyższą sprawnością i jakością powietrza w strefie przebywania ludzi.

## ■ Sprawność wentylacji wporowej

Wentylacja wporowa odznacza się wyższą sprawnością wymiany powietrza w pomiesz-

czeniu. Dla strumienia łokowego (idealny strumień wporowy) skuteczność może osiągnąć wartość 100%. Prowadzone analizy wskazują, że skuteczność wentylacji wporowej w prak-

tyce osiąga wartość 70%. Sprawność tradycyjnych systemów wentylacji mieszającej wynosi 50%. Poprawa sprawności w odniesieniu do systemu mieszającego objawia się również w

Wentylacja wporowa różni się znacznie od systemu procującego na zasadzie mieszania się przez indukcję nawiewanego powietrza świeżego z zanieczyszczonym powietrzem wewnętrznym w całej kubaturze pomieszczenia. W systemie tym powietrze najczęściej nawiewane jest przy podłodze bezpośrednio do strefy przebywania ludzi. Działanie wentylacji wporowej opiera się na zasadzie różnicy gęstości pomiędzy powietrzem nawiewanym a zanieczyszczonym powietrzem wewnętrznym, która powoduje wytworzenie się w pomieszczeniu dwóch stref: górnej – zanie-

## Jak działa wentylacja wporowa?

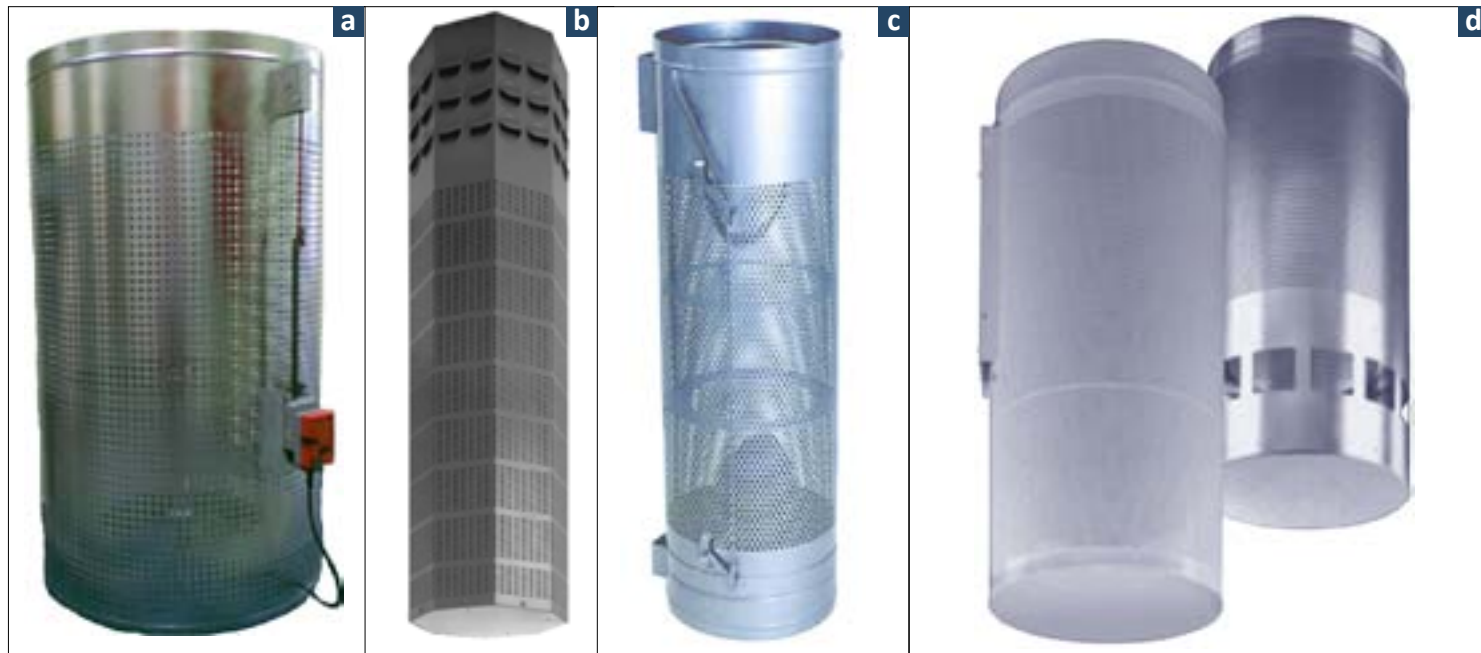
czyszczonej i dolnej – czystej. Osiągnięcie takiego efektu możliwe jest dzięki wprowadzaniu do pomieszczenia powietrza ze stosunkowo niewielką prędkością przy podłodze i usuwaniu zanieczyszczeń przy suficie [10].

**Celem wentylacji wporowej jest kształtowanie parametrów klimatu jedynie w obrębie strefy pracy, w przeciwieństwie do tradycyjnego systemu wentylacji mieszającej, w którym warunki są jednolite w całej objętości pomieszczenia.**

Powietrze nawiewane w dolnej części pomieszczenia jest podsysane w obrębie występowania źródeł ciepła przez tworzące się nad nimi strumienie konwekcyjne i unoszone ku górze. Wraz z wysokością objętość strumienia konwekcyjnego rośnie i na określonej wysokości nad źródłem ciepła osiąga wielkość równą objętości strumienia nawiewanego. Dalsze powiększanie się strumienia konwekcyjnego powoduje recyrkulację powietrza w górnej części pomieszczenia. Źródło ciepła jest często również źródłem zanieczyszczeń (np. ludzie), co powoduje, że zanieczyszczenia transportowane są wraz z ciepłem do strefy podsufitowej, w której znajduje się otwór wyciągowy.

tym, że niejednokrotnie ilość powietrza wentylacyjnego może zostać ograniczona bez pogorszenia jakości powietrza wewnątrz strefy przebywania ludzi [2, 3, 4, 5, 6, 8].





2 Nawiewniki dwufunkcyjne: a) WO-Z (FläktWoods), b) BOCa (Swegon), c) PUSH (Schako), d) QSH i ISH (Trox)

### System waporowy a ogrzewanie...

Istotnym ograniczeniem systemu waporowego jest również brak możliwości realizacji funkcji ogrzewania pomieszczenia powietrzem wentylacyjnym przy zastosowaniu typowych nawiewników waporowych. Ze względu na niewielką prędkość nawiewu ciepłe powietrze po opuszczeniu elementu nawiewnego bardzo szybko przemieszcza się będzie do strefy podsufitowej, nie zapewniając odpowiedniego rozdziału powietrza w strefie przebywania ludzi [2, 3, 6, 8]. Problem nawiewu ciepłego powietrza rozwiązano częściowo w urządzeniach przeznaczonych do stosowania w obiektach przemysłowych, które umożliwiają zmianę charakteru wyptywu powietrza z nawiewnika. Istniejące elementy waporowe tego typu umożliwiają nawiew mieszający (turbulentny) w funkcji ogrzewania i składają się najczęściej z perforowanego odcinka przewodu oraz elementu kierującego przepływem powietrza. Zwykle należy je instalować w górnej części pomieszczenia. Tego typu nawiewniki znaleźć można w ofercie większości producentów urządzeń wentylacyjnych (rys. 2). W chwili obecnej nie istnieją konstrukcje na-

wiewników waporowych przeznaczone dla obiektów użyteczności publicznej, które umożliwiałyby zarówno chłodzenie, jak i ogrzewanie pomieszczenia przy użyciu powietrza wentylacyjnego. Problem ogrzewania rozwiązywany jest przez zastosowanie oddzielnego najczęściej wodnego systemu ogrzewania [8].

### ...grzejnikami radiacyjnymi

Dobrym sposobem zapewnienia ogrzewania w obiektach z wentylacją waporową jest zastosowanie jako instalacji grzewczej systemu z grzejnikami radiacyjnymi (rys. 3) – czyli np. typowych grzejników płytowych bez konwektora. Grzejniki powinny być umieszczone pod najniższym elementem w pomieszczeniu, czyli pod oknem lub przy ścianie zewnętrznej. Większość ciepła przekazywana jest przez grzejnik na drodze promieniowania, natomiast powstający nad grzejnikiem strumień konwekcyjny przeciwdziała rozprzestrzenianiu się opadającego strumienia zimnego powietrza tworzącego się przy powierzchni okna lub ściany.

### ...grzejnikami konwekcyjnymi

Ogrzewanie pomieszczenia może być także

### Chłodzenie w wentylacji waporowej

Konieczność zapewnienia parametrów komfortu cieplnego oraz cechy nawiewu waporowego powodują, że system wentylacji waporowej, przeznaczony do stosowania w obiektach użyteczności publicznej, charakteryzuje się ograniczoną mocą chłodzącą, niższą niż w wentylacji mieszającej. Jeżeli w pomieszczeniu występuje większe obciążenie cieplne, zachodzi konieczność zastosowania – oprócz wentylacji waporowej – dodatkowych systemów chłodzenia. Najczęściej projektuje się wtedy panele radiacyjne np. sufity chłodzące. Stosunkowo niewielka moc chłodząca wentylacji waporowej jest jedną z wad omawianego systemu, a uzupełnienie układu o dodatkowe chłodzenie znacząco podnosi koszty inwestycyjne w porównaniu do kosztów tradycyjnych systemów wentylacji mieszającej.

dzi konieczność zastosowania – oprócz wentylacji waporowej – dodatkowych systemów chłodzenia. Najczęściej projektuje się wtedy panele radiacyjne np. sufity chłodzące. Stosunkowo niewielka moc chłodząca wentylacji waporowej jest jedną z wad omawianego systemu, a uzupełnienie układu o dodatkowe chłodzenie znacząco podnosi koszty inwestycyjne w porównaniu do kosztów tradycyjnych systemów wentylacji mieszającej.



3 Wentylacja waporowa z grzejnikami radiacyjnymi



4 Wentylacja waporowa z grzejnikami konwekcyjnymi



5 Wentylacja waporowa i sufitowe panele grzejne





6 Wentylacja wyporowa i ogrzewanie podłogowe



7 Element grzejny zintegrowany z nawiewnikiem wyporowym: a) DLE-H (Price), b) Q-SH (Krantz)

realizowane za pomocą grzejników konwekcyjnych umieszczonych pod oknami (rys. 4). Najlepsze efekty osiągnąć można, gdy ciepło rozprowadzane jest równomiernie wzdłuż całej „zimnej” ściany lub okna. Zastosowanie jednego skupionego źródła ciepła wytwarzającego duży strumień konwekcyjny może prowadzić do intensyfikacji mieszania się powietrza w pomieszczeniu, co jest niekorzystne z punktu widzenia działania wentylacji wyporowej.

#### ...panelami grzejnymi

Bardzo dobrym rozwiązaniem jest zastosowanie w pomieszczeniu z wentylacją wyporową sufitowych paneli grzejnych (rys. 5). W trakcie typowej pracy systemu wentylacyjnego, gdy ogrzewanie nie jest konieczne, powierzchnia sufitu (ze względu na cechy wentylacji wyporowej) jest o ok. 3-4 K cieplejsza od powierzchni podłogi, co może zapewnić przepływ ciepła pomiędzy sufitem a podłogą na poziomie 20 W/m<sup>2</sup>. W tej sytuacji nieznaczne podniesienie temperatury sufitu może zagwarantować wystarczające ogrzewanie dla pomieszczenia.

Część ciepła, która jest generowana przez sufit grzejny na drodze konwekcji będzie niwelować ewentualne straty ciepła przez strop. Zastosowanie sufitowych paneli grzejnych powoduje także stabilizację stratyfikacji termicznej w pomieszczeniu, co jest korzystne dla działania wentylacji wyporowej.

#### ...podłogowe

Do ogrzewania pomieszczenia z wentylacją wyporową zastosować można także instalację ogrzewania podłogowego (rys. 6). Część ciepła przekazywana jest przez ciepłą podłogę na drodze promieniowania w kierunku chłodnych powierzchni w pomieszczeniu. Pozostałe ciepło, przekazywane przez konwekcję, podgrzewa powietrze wentylacyjne rozprzestrzeniające się wzdłuż podłogi.

Stosując ogrzewanie podłogowe, należy zwrócić uwagę, że zbyt wysoka temperatura podłogi może prowadzić do nadmiernego podgrzania powietrza i spowodować wystąpienie efektu mieszania, co najmniej w dolnej części pomieszczenia. Jednakże praktyka wskazuje, że w pomieszczeniach o tem-

peraturze podłogi poniżej ok. 25°C i nawiewie powietrza o temperaturze o ok. 2 K (lub więcej) niższej od temperatury w pomieszczeniu, nawiewany strumień wyporowy przemieszcza się wzdłuż podłogi.

#### Urządzenia wyporowe z elementem grzejnym

Na świecie prowadzone są również prace nad zintegrowaniem nawiewników wyporowych z elementami grzejnymi, czego przykładem są konstrukcje firmy Price i Krantz. Nawiewnik wyporowy połączono w nich z grzejnikiem konwekcyjnym (rys. 7). Ciekawym rozwiązaniem jest dostosowanie podokiennych klimakonwektorów indukcyjnych, wyposażonych w wymienniki ciepła do nawiewania strumienia wyporowego (rys. 8 i 9).

Istotną zaletą tego rozwiązania jest możliwość indywidualnej regulacji parametrów powietrza w każdym pomieszczeniu oraz ograniczenie ilości powietrza wentylacyjnego dostarczanego przez system centralny. Jednakże urządzenia te nie umożliwiają

wprowadzania strumienia turbulenta, a zatem w funkcji grzewczej działają podobnie do nawiewnika wyporowego wspomaganego przez ogrzewanie konwekcyjne. W takim rozwiązaniu utrudnione może być zapewnienie właściwego rozdziału powietrza nawiewanego w pomieszczeniu, ponieważ powietrze wentylacyjne stosunkowo szybko unosić się będzie do góry. Dodatkowo, urządzenia te przy wyższej wydajności charakteryzują się znacznymi oporami przepływu, rzędu 200-300 Pa [11].

System wentylacji wyporowej zwykle zapewnia wyższą jakość powietrza oraz komfort cieplny w strefie pracy w porównaniu z wentylacją mieszającą [2, 7, 9].

Prace badawcze prowadzone na świecie wskazują również na możliwość ograniczenia zużycia energii przez system wyporowy w porównaniu do wentylacji mieszającej, choć efekt ten nie zawsze jest możliwy do osiągnięcia.

Ze względu na wyższą temperaturę nawiewanego powietrza obserwuje się zmniejszenie zużycia energii przez agregaty wody lodowej, jednakże z uwagi na duże strumienie

powietrza wentylacyjnego rośnie zużycie energii do napędu wentylatorów [1, 2, 3]. Analizy przeprowadzone m.in. przez NISTIR [3] sugerują, że koszty inwestycyjne wentylacji wyporowej niewyposażonej w dodatko-

wy system grzewczy są niższe w porównaniu do kosztów wentylacji mieszającej. Jednakże zastosowanie dodatkowego ogrzewania powoduje wzrost kosztów powyżej występujących przy wentylacji mieszającej.

## Podziękowanie

Autor dziękuje za wsparcie otrzymane w ramach stypendium współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego, które przyznawane jest przez Centrum Studiów Zaawansowanych Politechniki Warszawskiej w ramach projektu „Program Rozwojowy Politechniki Warszawskiej”.



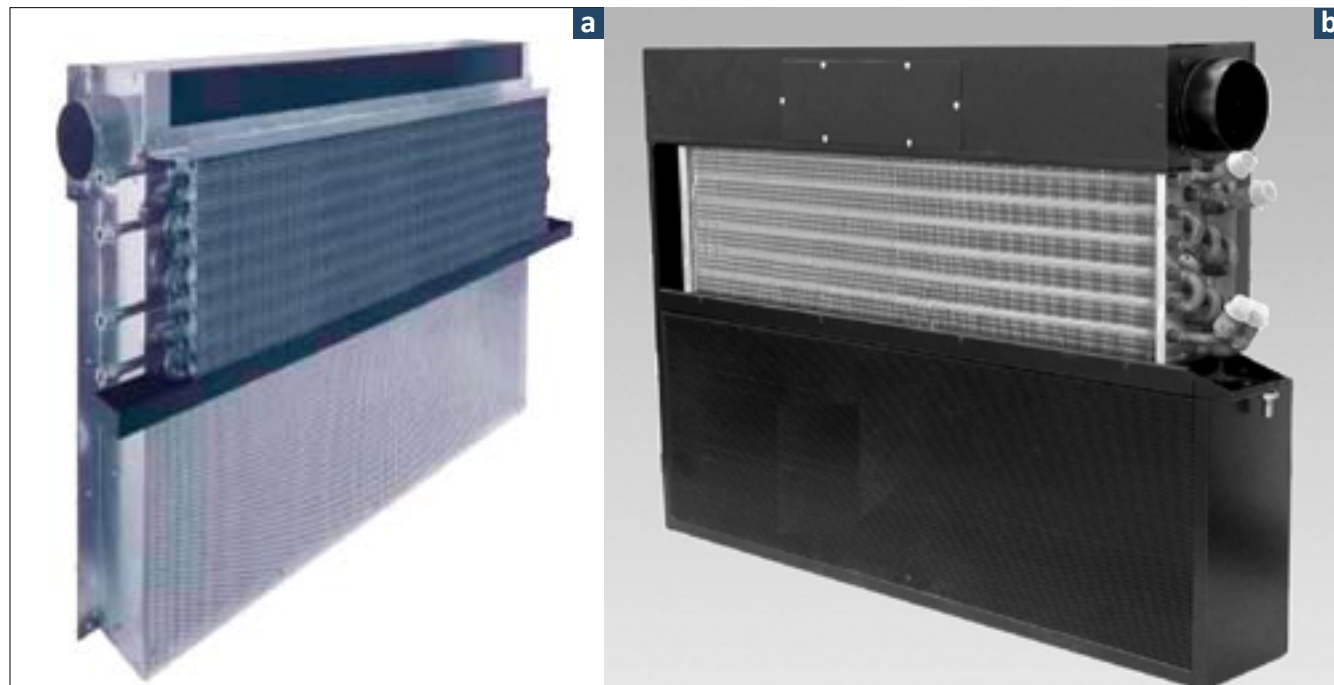
dr inż. Piotr Ziętek, Zakład Ogrzewnictwa i Wentylacji Politechniki Warszawskiej  
 Adiunkt, członek PZITS, współautor podręcznika „Wentylacja i klimatyzacja - materiały pomocnicze do projektowania”, autor rozprawy doktorskiej z roku 2007 pt. „Zmienność charakterystyki strumienia wyporowego w warunkach nieizotermicznego nawiewu powietrza”.

## Literatura:

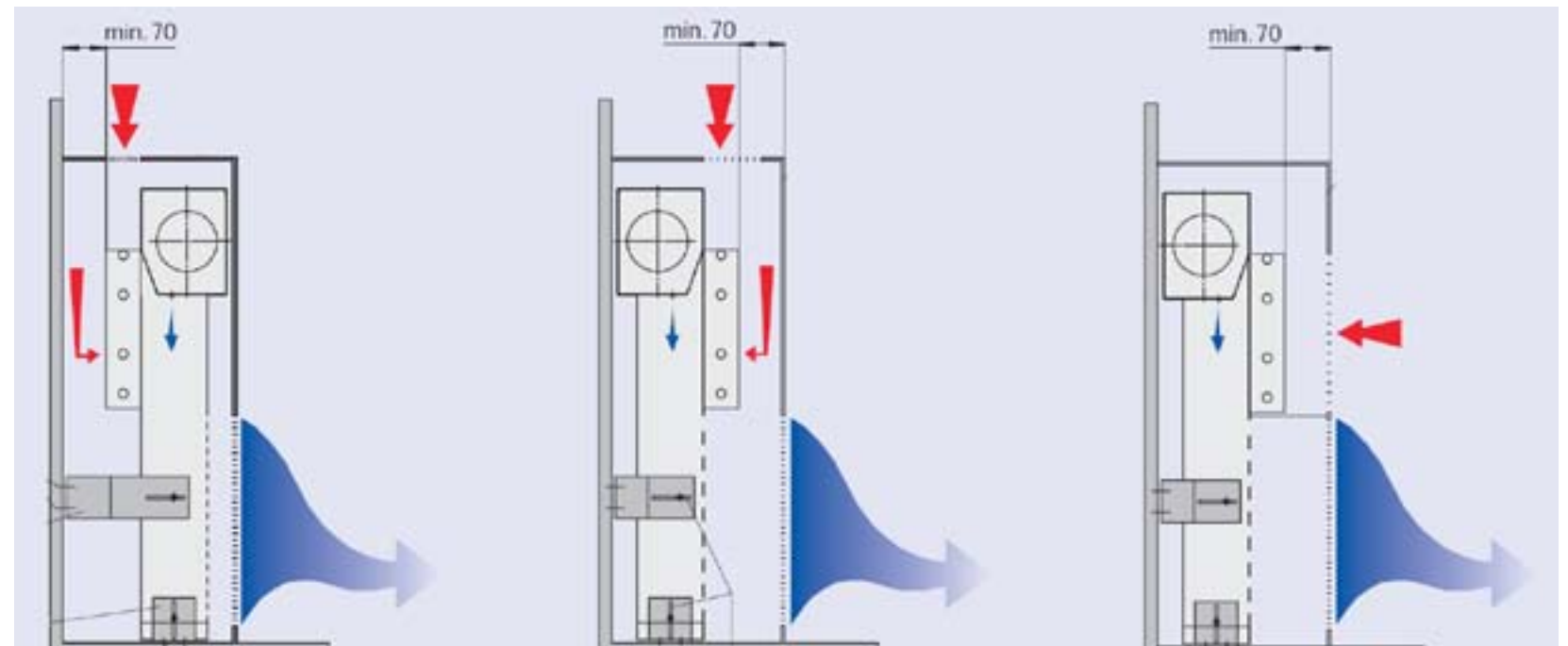
[1] Causone F., Baldinb F., et al., Floor heating and cooling combined with displacement ventilation: Possibilities and limitations, *Energy and Buildings* 42 (2010) 2338–2352.  
 [2] Chen Q., Glicksman L., Performance Evaluation and Development of Design Guidelines for Displacement Ventilation – Final Report on ASHRAE Research Project RP-949, ASHRAE 1999.  
 [3] Emmerich S. J., McDowell T., Initial Evaluation of Displacement Ventilation and Dedicated Outdoor Air Systems for U.S. Commercial Buildings, NISTIR report no. 7244, 2005.  
 [4] Etheridge D., Sandberg M., Building ventilation: theory and measurement, John Wiley & Sons Ltd., 1996.  
 [5] Mundt E., The performance of displacement ventilation systems - Experimental and theoretical studies, Ph.D. Thesis, Bulletin no. 38, Building Services Engineering, KTH, Stoc-

kholm, 1996.

[6] Nielsen P.V., Displacement Ventilation - Theory and Design, Aalborg University, 1993.  
 [7] Seppanen O.A. et al., Comparison of conventional mixing and displacement air-conditioning and ventilating systems in U.S. commercial buildings, *ASHRAE Transactions*, vol. 95, pt. 2, 1989.  
 [8] Skistad H., Mundt E., Nielsen P.V., et al., Displacement ventilation in non-industrial premises, Guidebook No 1, REHVA, 2002.  
 [9] Zhang Lin, et al., Comparison of performances of displacement and mixing ventilations. Part II: indoor air quality, *International Journal of Refrigeration*, No 28, Elsevier, 2005.  
 [10] Ziętek P., Zmienność charakterystyki strumienia wyporowego w warunkach nieizotermicznego nawiewu powietrza, Politechnika Warszawska, 2007.  
 [11] Materiały informacyjne firm: FläktWoods, Krantz, Price, Schako, Swegon, Trox. ■



8 Nawiewniki wyporowe indukcyjne z wymiennikiem ciepła: a) QLI (Trox), b) IG-Q-SB (Krantz)



9 Budowa nawiewnika wyporowego QLI wykorzystującego indukcję powietrza wtórnego ze zintegrowanym wymiennikiem ciepła (Trox)