

Kształtowanie najwyższej jakości klimatu wewnętrznego z zastosowaniem systemu wentylacji wyporowej

Marcin WYSZOMIERSKI

Głównym zadaniem systemów wentylacyjnych jest usunięcie – w jak najszybszy i najbardziej efektywny sposób – zanieczyszczeń powstających w wentylowanych pomieszczeniach. Jednocześnie bardzo ważną sprawą jest spełnienie odpowiednich warunków komfortu w pomieszczeniach, wyeliminowanie możliwości powstawania niekontrolowanych przepływów powietrza (przeciągów) oraz ograniczenie zmian temperatury w strefie przebywania ludzi. Nie jest to zadaniem łatwym, gdyż na warunki komfortu wpływa wiele czynników, takich jak prędkość nawiewu i przepływu powietrza czy temperatura otaczających przegród.

RODZAJE PRZEPŁYWU POWIETRZA PRZEZ POMIESZCZENIE

Zadaniem projektanta jest odpowiednie zwymiarowanie, dobór oraz rozmieszczenie nawiewnych i wywiewnych elementów dystrybucji powietrza w pomieszczeniu, aby skuteczność wentylacji i sprawność wymiany powietrza osiągały możliwe największe wartości.

Aby sprostać stawianym zadaniom, trzeba między innymi podjąć jedną z kluczowych decyzji, czyli wybranie rodzaju przepływu powietrza przez pomieszczenie. W praktyce projektowej stosuje się trzy podstawowe układy przepływu (rys. 1.): mieszany, wyporowy i laminarny.

Ich wnikliwa analiza pozwala wyciągnąć następujące wnioski:

- przepływ całkowicie laminarny nie jest możliwy do osiągnięcia w praktyce;

- przepływ wyporowy wymaga nawiewu z temperaturą niższą od temperatury w pomieszczeniu i zapewnia wysoką sprawność wymiany powietrza pod warunkiem prawidłowego rozmieszczenia i zwymiarowania nawiewników systemu;
- przepływ mieszający może być stosowany zarówno do ogrzewania, jak i chłodzenia pomieszczeń, a jest szczególnie przydatny do odprowadzania dużych zysków ciepła.

SPRAWNOŚĆ WYMIANY POWIETRZA – PRZEPŁYW MIESZAJĄCY VS PRZEPŁYW WYPOROWY

Wyniki prac badawczych prowadzonych na świecie w większości przypadków potwierdzają możliwość ograniczenia zużycia energii przez system klimatyzacyjny z zastosowaniem wentylacji wyporowej w porównaniu do rozwiązań tradycyjnych. Stanowi to niewątpliwą zaletę tego systemu w dobie dążenia do zmniejszenia zapotrzebowania na energię w budynkach. Dodatkowo badania dowodzą, że układ wyporowy charakteryzuje się wyższą sprawnością i jakością powietrza w strefie przebywania ludzi.

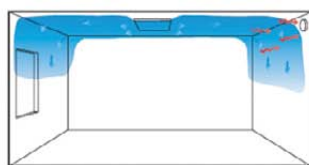
Przy przepływie mieszającym sprawność wymiany powietrza jest stała w każdym warunkach i osiąga poziom 50% (rys. 2.). Tam, gdzie wentylacja mieszająca ma taką samą wydajność niezależnie od tego, czy system jest w trybie chłodzenia czy ogrzewania, wydajność wentylacji wyporowej osiąga wartość 70% w trybie chłodzenia.

JAK DZIAŁA WENTYLACJA WYPOROWA?

Wentylacja wyporowa różni się w znaczący sposób od systemu pracującego na zasadzie mieszania poprzez 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 wyporowej opiera się na zasadzie różnicy gęstości pomiędzy powietrzem nawiewanym a zanieczyszczonym powietrzem wewnętrznym, która powoduje

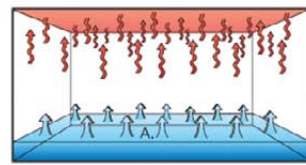
Celem wentylacji wyporowej jest kształtowanie parametrów klimatu jedynie w obrębie strefy pracy, w przeciwieństwie do tradycyjnego systemu wentylacji mieszającej, w którym warunki są jednolite w całej objętości pomieszczenia



Przepływ mieszający



Przepływ wyporowy



Przepływ laminarny

Rys. 1. Podstawowe rodzaje przepływów powietrza przez pomieszczenie

wytworzenie się w pomieszczeniu dwóch stref: górnej – zanieczyszczonej i dolnej – czystej. Osiągnięcie takiego efektu możliwe jest dzięki wprowadzaniu do pomieszczenia powietrza ze stosunkowo niewielką prędkością przy podłodze i usuwaniu zanieczyszczeń przy suficie. Celem wentylacji wyporowej 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 recykulację 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 (rys. 3).

Poprawne obliczenie ilości powietrza doprowadzonego do pomieszczenia sprawia, że podgrzane i zanieczyszczone powietrze nie powraca do strefy pracy. Niestety takiemu rozwiązaniu towarzyszy stratyfikacja temperatury powietrza, mogąca stać się przyczyną dyskomfortu (rys. 4.).

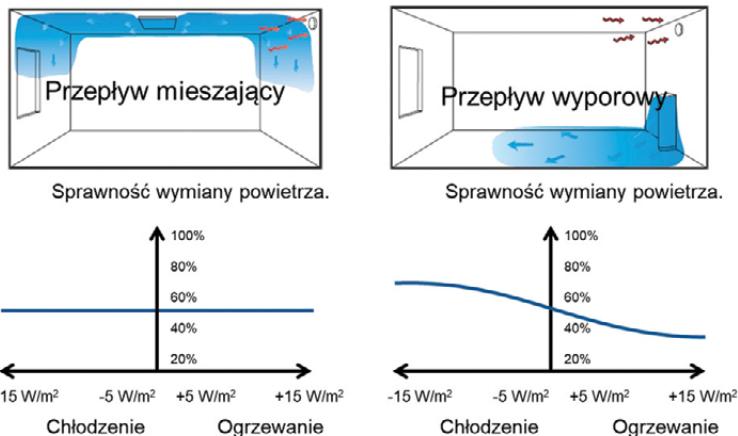
JAK UNIKNĄĆ PRZECIĄGÓW I DYSKOMFORTU

Praktyczna zasada związana jest z pionową różnicą temperatur w pomieszczeniu:

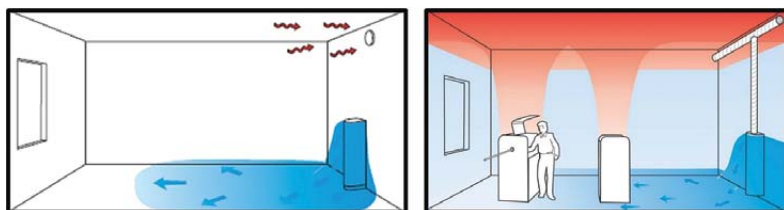
- ΔT między powietrzem nawiewanym i wywiewanym: maks. 6°C;
- ΔT na metr pionowy: maks. 1÷2°C/m.

**STREFA PRZEBYWANIA LUDZI/
STREFA ODDZIAŁYWANIA STRUMIENI**

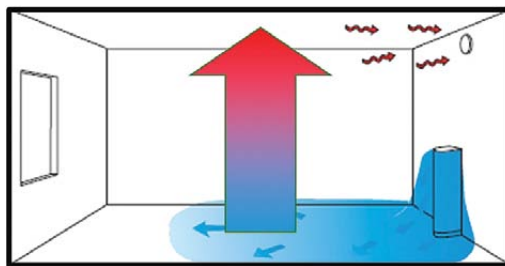
W układzie wentylacji wyporowej powietrze nawiewane jest z bardzo małą prędkością przez wielkopowierzchniowe nawiewniki. Dlatego na kształt profilu strumienia powietrza zasadniczy wpływ ma różnica gęstości powietrza nawiewanego i powietrza w pomieszczeniu, a nie – jak w wypadku wentylacji mieszającej – siła bezwładności, która jest proporcjonalna do kwadratu prędkości. Można powiedzieć, że profil



Rys. 2. Przebieg sprawności wymiany powietrza dla przepływu mieszającego i wyporowego w zależności od obciążenia cieplnego

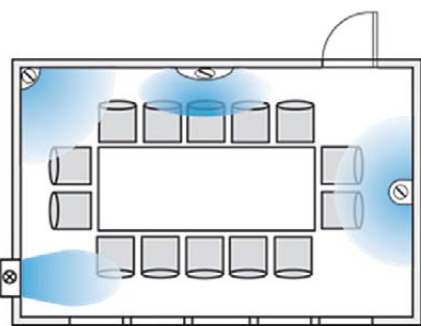


Rys. 3. Wentylacja wyporowa – powietrze o temperaturze niższej od temperatury w pomieszczeniu rozprzestrzenia się na powierzchni całego pomieszczenia, a po napotkaniu źródeł ciepła unosi się do góry

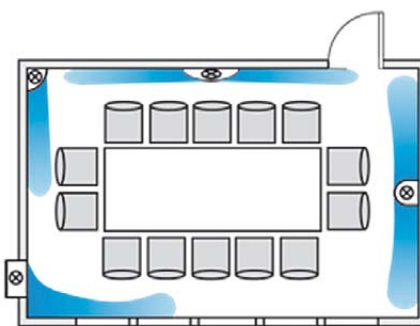


Rys. 4. Gradient temperatury w pomieszczeniu dla wentylacji wyporowej

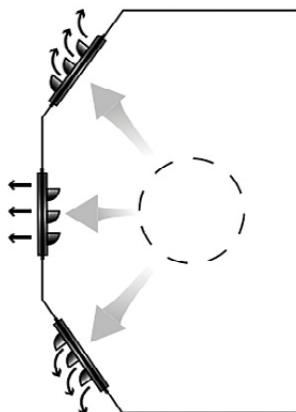
strumienia regulowany jest poprzez temperaturę. Oznacza to, że przy projektowaniu wentylacji wyporowej należy wziąć pod uwagę inne aspekty niż w przypadku wentylacji mieszającej.



Rys. 5. Przykład nieodpowiedniego ukształtowania strefy oddziaływania strumieni



Rys. 6. Przykład poprawnego rozmieszczenia nawiewników i ukształtowania strefy oddziaływania strumieni



Rys. 7. Schemat nawiewnika waporowego z ustawialnymi deflektorami systemu dystrybucji powietrza VARIZON®

DEFINICJA STREFY ODDZIAŁYWANIA STRUMIENI

Jest to obszar najbliższy nawiewnika, w którym prędkość powietrza przekracza 0,2 m/s (= punkt krytyczny, w którym prędkość powietrza może być postrzegana jako przeciąg).

Z tego powodu też nie wspominamy tutaj zbyt wiele o strefie przebywania ludzi, a zamiast tego mówimy o strefie oddziaływania strumieni. Dzieje się tak dlatego, że w przypadku wentylacji waporowej bezpośrednio do strefy przebywania ludzi wprowadzane jest zimniejsze powietrze nawiewane. Na rysunkach pomieszczeń strefa oddziaływania strumieni jest zaznaczona na niebiesko. Rysunek 5. przedstawia rozwiązanie bez możliwości kierowania powietrza z nawiewnika, zaś rysunek 6. rozwiązanie z przepływem regulowanym (patrz rys. 7. to schemat nawiewnika waporowego z ustawialnymi deflektorami systemu dystrybucji powietrza VARIZON®). Aby regulować sposób dostarczania powietrza do pomieszczenia, dysze można obrócić i skierować powietrze w żądanym kierunku.

W przypadku pomieszczeń komfortowych do poprawnego rozmieszczenia nawiewników konieczna jest znajomość

usytuowania stanowisk pracy i elementów wyposażenia. W każdej sytuacji korzystne jest rozwiązanie, które pozwala na zmianę profilu wypływającego strumienia powietrza i dopasowanie go do kształtu strefy przebywania ludzi.

NAWIEWNIKI WYPOROWE Z REGULOWANYM Kształtem STRUMIENIA POWIETRZA

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. Maksymalna moc chłodnicza dla systemu wentylacji waporowej wynosi 35÷40 W/m². Typowe rozwiązania nawiewników dla wentylacji waporowej przedstawione zostały na rysunku 8.

CHŁODZENIE I OGRZEWANIE W WENTYLACJI WYPOROWEJ, PRZEMYSŁOWEJ

Istotnym ograniczeniem systemu waporowego jest również brak możliwości realizowania funkcji ogrzewania pomieszczenia powietrzem wentylacyjnym przy zastosowaniu typowych nawiewników waporowych. Ze względu na niewielką prędkość nawiewu ciepłe powietrze po opuszczeniu elementu nawiewnego bardzo szybko przemieszczać się będzie do strefy pod-sufitowej, nie zapewniając odpowiedniego rozdziału powietrza w strefie przebywania ludzi.

Problem nawiewu ciepłego powietrza częściowo rozwiązano w urządzeniach przeznaczonych do stosowania w obiektach przemysłowych, które umożliwiają zmianę charakteru wypływu powietrza z nawiewnika. Istniejące tego typu elementy waporowe 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.

Na rysunku 10. przedstawiono dwufunkcyjny nawiewnik waporowy przeznaczony do pomieszczeń wysokich, na przykład do zakładów produkcyjnych, magazynów czy hal sportowych, gdzie można podwiesić je z sufitu lub zamontować



Nawiewnik waporowy przyścienny



Nawiewnik waporowy z płaską powierzchnią



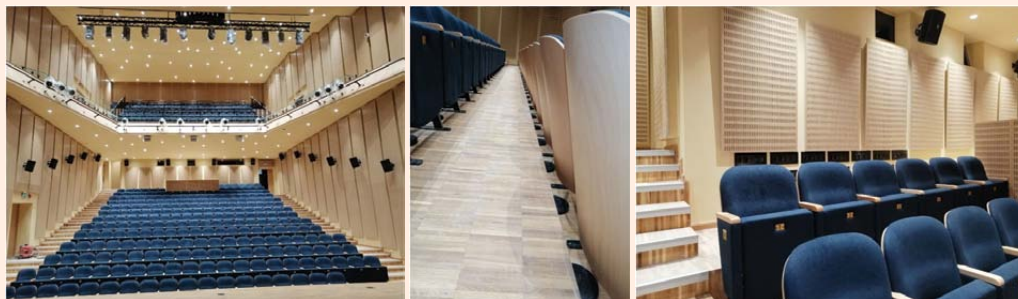
Nawiewnik waporowy montowany w stopniach schodów



Rys. 8. Typowe rodzaje nawiewników waporowych

ARCHITEKTURA WNĘTRZ

Nawiewniki powietrza do wentylacji wyporowej mogą występować w wielu różnych typach, dzięki czemu można je w bardzo atrakcyjny sposób aranżować, dostosowując je do architektury i przeznaczenia obiektów. Poniżej przedstawiono przykładowe realizacje:



Rys. 9. Sala widowiskowa z nawiewnikami wyporowymi teatralnymi, montowanymi w stopniach schodów i podłodze

na ścianie. W ten sposób nawiewnik nie zajmuje cennej powierzchni podłogi.

W przypadku chłodzenia, powietrze dostarczane jest do pomieszczenia z niską prędkością i temperaturą, przez dolną część działającą jak nawiewnik wyporowy. Dzięki zastosowaniu w dolnej części nawiewnika systemu dystrybucji powietrza VARIZON® w trybie chłodzenia unikamy efektu przeciągu. W przypadku zapotrzebowania na ciepło, podgrzane powietrze nawiewane jest do pomieszczenia przez górną część nawiewnika z dyszami kierunkowymi (wentylacja mieszająca).

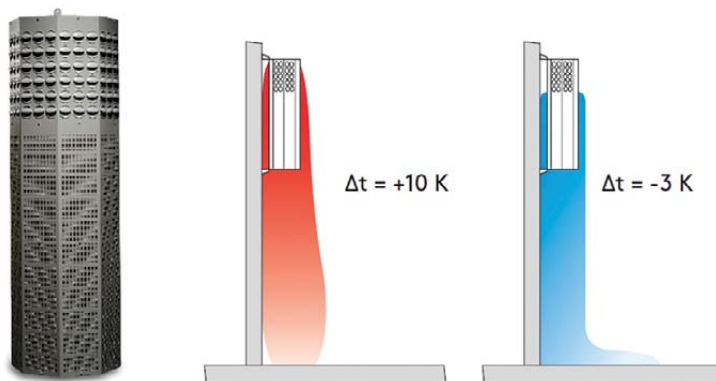
Zalety i ograniczenia

Podsumowując cechy prezentowanego systemu wentylacji wyporowej, należy podkreślić zalety opisanego rozwiązania, ale także omówić jego ograniczenia w zastosowaniu.

Zalety:

- korzyści energetyczne:
 - w przypadku pomieszczeń o wysokich sufitach → chłodzenie tylko w strefie przebywania ludzi,
 - zmniejszenie wymaganej mocy chłodniczej (do zysków ciepła nie wlicza się zysków ciepła generowanych powyżej przyjętej granicy „strefy czystej”,

- wyższa temperatura powietrza nawiewanego → Większe możliwości swobodnego chłodzenia (free cooling),
- aby osiągnąć tę samą jakość powietrza, wentylacja wyporowa wymaga mniejszej ilości powietrza;
- możliwość dostarczania do pomieszczenia dużych wydajności powietrza wentylacyjnego;



Rys. 10. Nawiewnik wyporowy BOC, łączący funkcje wentylacji wyporowej i mieszającej



Rys. 11. Hala produkcyjno-magazynowa z nawiewnikami wyporowymi, przemysłowymi typ BOC

- stratyfikacja powietrza w pomieszczeniu prowadząca do ograniczenia mieszania się czystego i zanieczyszczonego powietrza i w konsekwencji do niskiej koncentracji zanieczyszczeń powietrza w strefie pracy;
- niskie prędkości powietrza wpływające między innymi pozytywnie na hałas instalacji, niska burzliwość przepływu w pomieszczeniu.

Ograniczenia w zastosowaniu:

- duże wymiary nawiewników oraz konieczność pozostawienia wolnej przestrzeni w bezpośrednim sąsiedztwie nawiewnika;
- zwiększone wymagania w przypadku zastosowania funkcji ogrzewania;
- istnienie ryzyka „krótkiego spięcia” w przypadku nawiewu powietrza o temperaturze wyższej od temperatury pomieszczenia;
- możliwość odczuwania przeciągu w strefie przylegającej do nawiewnika;
- wymaganie dużej wysokości sufitu (co najmniej 3-4 m), aby system mógł dobrze działać;
- w przypadku dużych zysków ciepła w pomieszczeniu, wytwarzanie dużej różnicy temperatury na wys. 1,1 m i 0,1 m, co zwykle oceniane jest negatywnie przez użytkowników pomieszczeń;
- nie nadaje się w połączeniu z belkami chłodzącymi.



Swegon Sp. z o.o.
ul. Owocowa 23
62-080 Tarnowo Podgórne
tel.: +48 61 816 87 00
e-mail: pozn@swegon.pl
www.swegon.pl

Więcej informacji można znaleźć na stronie firmy Swegon oraz u doradców technicznych, którzy zapewnią również prawidłowy i łatwy dobór produktów przy użyciu programów wspomagających projektowanie (w tym programu Room Unit Design).



Marcin WYSZOMIERSKI

– Product Manager
SWEGON Sp. z o.o.

LITERATURA:

- [1] MUNDT E.: The performance of displacement ventilation systems – Experimental and theoretical studies, Ph.D. Thesis, Bulletin no. 38, Building Services Engineering, KTH, Stockholm, 1996.
- [2] SEPPANEN O.A. i in.: Comparison of conventional mixing and displacement air-conditioning and ventilating systems in U.S. commercial buildings, ASHRAE Transactions, vol. 95, pt. 2, 1989.
- [3] SKISTAD H., MUNDT E., NIELSEN P.V., i in.: Displacement ventilation in non-industrial premises, Guidebook No 1, REHVA, 2002.
- [4] ZIĘTEK P.: Zmienność charakterystyki strumienia wyporowego w warunkach nieizotermicznego nawiewu powietrza, Politechnika Warszawska, 2007.