

dr inż. ANNA BOGDAN
Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy

Wentylacja hybrydowa

– rozwiązanie przyszłości w budownictwie



Obecnie stosowane systemy wentylacji i klimatyzacji są nastawione albo na zapewnienie komfortowego środowiska użytkownikom, albo na minimalizację zużycia energii przez wykorzystanie grawitacyjnego przepływu powietrza poprzez budynek.

Wentylacja hybrydowa, opracowana jako połączenie najistotniejszych zalet wentylacji naturalnej i mechanicznej, jest rozwiązaniem, które jednocześnie stwarza przyjazne człowiekowi środowisko pracy i umożliwia dostosowanie działania systemu do zmiennych warunków klimatycznych, a w konsekwencji – do racjonalizacji zużycia energii na cele eksploatacji budynku.

W artykule opisano możliwości zastosowania wentylacji hybrydowej, a także przedstawiono kilka wybranych przykładów budynków wyposażonych w system wentylacji hybrydowej.

Hybrid ventilation – a future solution in architectural engineering

Currently used ventilation and air-conditioning systems are designed either to create a comfort environment or to minimize energy consumption. Hybrid ventilation, developed to combine the advantages of natural and mechanical ventilation, is a solution which provides both a work-friendly environment and makes it possible to customize the system to variable climate conditions and, consequently, to rationalize energy consumption. This paper presents the opportunities offered by hybrid ventilation and several examples of buildings equipped with a hybrid ventilation system.

W ostatnich latach zaczęto zwracać uwagę na minimalizację ilości zużywanej przez ludzi energii, zauważono przy tym, iż zużycie energii do celów wentylacji i klimatyzacji wynosi nawet 50% ogólnego zapotrzebowania na energię dla danego budynku. Z tego powodu w sierpniu 1997 r. zainicjowano w Międzynarodowej Agencji Energetyki (IEA) projekt o nazwie „Wentylacja hybrydowa dla biur i szkół” (Aneks 35), którego celem było opracowanie systemów wentylacji, nastawionej na zmniejszenie zużycia energii oraz jednocześnie obniżenie kosztów eksploatacji, przy zachowaniu wysokich standardów odnośnie do jakości powietrza w pomieszczeniach. Uczestnikami projektu były jednostki naukowe oraz firmy projektowe i wykonawcze z 15 krajów, m.in. Australii, Belgii, Kanady, Finlandii, Grecji, Japonii, Wielkiej Brytanii. Liczba krajów przystępujących do projektu była tak duża, gdyż prawidłowe działanie wentylacji hybrydowej uzależnione jest od warunków klimatycznych panujących w danym rejonie, a jednocześnie w każdym kraju istnieją pewne standardy i normy dotyczące systemu klimatyzacji, które muszą być uwzględniane przy projektowaniu.

Określono ogólne oczekiwania wszystkich uczestników wobec nowego systemu wentylacji. Stwierdzono mianowicie, że należy:

- stworzyć możliwość dopasowania systemu do warunków klimatycznych występujących we wszystkich strefach
- zredukować hałas wywołany działaniem wentylatorów, poziom zużycia energii w czasie eksploatacji budynku oraz ilości ditlenku węgla emitowanego do atmosfery

- stworzyć możliwość kontroli i regulacji przez użytkowników warunków panujących w pomieszczeniu (np. zastosować otwierane okna)
- zapewnić jakość powietrza na satysfakcjonującym użytkownika poziomie, tzn. dostosowaną do rodzaju i warunków pracy.

Na podstawie tych założeń zaprojektowano i zbudowano ponad 20 budynków na całym świecie. Budynki te są zazwyczaj niewysokie (z wyjątkiem Meiji University Tower w Tokio), rozlokowane na powierzchniach o niewielkim zanieczyszczeniu powietrza.

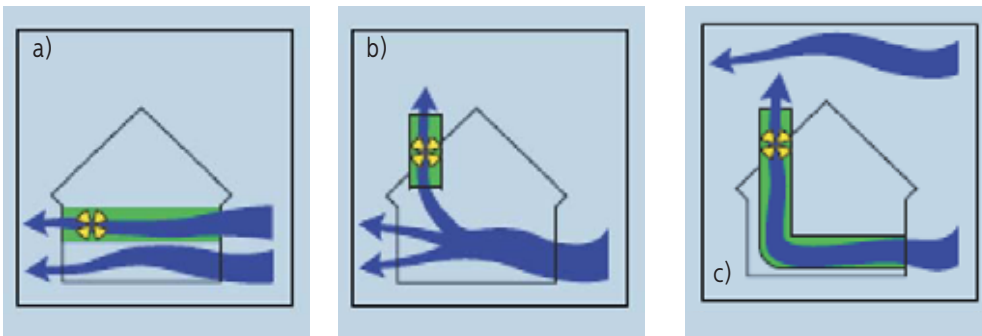
Wentylacja hybrydowa

Wentylacja hybrydowa łączy w sobie zalety obu proponowanych dotychczas rozwiązań. Z jednej strony wykorzystane są takie walory wentylacji naturalnej, jak możliwość kontroli warunków powietrza wewnętrznego przez użytkowników (możliwość zamykania i otwierania okien), a przez to tolerancja lokalnych wzrostów prędkości powietrza (np. naturalne przepływy powietrza powodowane przez otwarte okna) i szerszego zakresu temperatur wewnętrznych odpowiadających temperaturom zewnętrznym (użytkownicy budynków wykazują mniejszą tolerancję wobec odchył temperatury w zaizolowanych i klimatyzowanych budynkach, gdzie nie mają możliwości kontroli swojego środowiska oraz nie odczuwają warunków zewnętrznych). Z drugiej strony, wykorzystane są wszystkie zalety wentylacji mechanicznej, tj.: możliwość filtracji powietrza dostarczanego do pomieszczeń z zewnątrz, skuteczne usuwanie przykrych zapachów, zmniejszenie poziomu hałasu napływającego do pomieszczeń z zewnątrz, zapewnienie stałego dopływu świeżego powietrza na poziomie kontrolowanym i regulowanym, możliwość zastosowania systemów do odzysku ciepła usuwanego z pomieszczeń wraz z powietrzem wywiewanym.

Największą wadą wentylacji mechanicznej jest znaczna ilość zużywanej energii niezbędnej do prawidłowego działania systemu. Odpowiedzią na ten problem jest właśnie wentylacja hybrydowa, w której odpowiednio zaprojektowana instalacja dostosowana jest do zmieniających się w ciągu roku, a nawet w ciągu dnia, parametrów powietrza zewnętrznego. Zaawansowane projekty wentylacji hybrydowej spełniają kryteria dotyczące również jakości środowiska wewnętrznego przy jednoczesnej oszczędności energii.

W wentylacji hybrydowej stosowane są trzy podstawowe rozwiązania:

- *współdziałanie wentylacji naturalnej i mechanicznej* (rys.1a) przez zaprojektowanie dwóch w pełni autonomicznych układów, w których regulacja odbywa się za zasadzie przełączania pomiędzy systemami lub też wykorzystania jednego i drugiego systemu do określonych zadań (np. wentylacja naturalna ustawiona jest dla okresów przejściowych, a system wentylacji mechanicznej dla zimy i lata)



Rys. 1. Możliwości łączenia wentylacji naturalnej z mechaniczną [2]

Fig. 1. Possibilities of combining natural and mechanical ventilation [2]

- *wentylacja naturalna wspomagana mechanicznie* (rys. 1b) przez zastosowanie wentylatora nawiewnego lub wywiewnego w okresach, kiedy różnica pomiędzy ciśnieniem w środowisku na zewnątrz a wewnątrz budynku nie wystarcza do zapewnienia odpowiedniego przepływu powietrza

- *wentylacja mechaniczna wspomagana działaniem wyporu ciepłego i wiatru* (rys. 1c) pozwalająca na optymalne wykorzystanie naturalnych sił, wspomagających przepływ powietrza w budynku.

Zasady projektowania budynków z wentylacją hybrydową

Zastosowanie wentylacji hybrydowej wymaga od projektantów spojrzenia na budynek jako na całość ściśle powiązanych ze sobą elementów. Niezbędna jest więc współpraca zarówno architektów, jak i specjalistów od instalacji wewnętrznych (wentylacji, wodociągów i kanalizacji, elektryków i automatyków), którzy zintegrują w pełni cały obiekt. Zadaniem takich zespołów ekspertów, jest w pierwszej kolejności redukcja źródeł zanieczyszczeń w budynku (co przekłada się na objętość strumienia świeżego powietrza doprowadzanego do budynku), ustalenie optymalnej wartości higienicznej ilości powietrza przypadającej na jedną osobę, redukcja wymaganej ilości zapotrzebowania na ciepło/chłód przez zastosowanie urządzeń do odzysku ciepła oraz wykorzystania pasywnego chłodzenia/grzania powietrza wentylacyjnego, zmniejszenie ilości energii dostarczanej do wentylatorów przez zaprojektowanie instalacji generującej niskie straty ciśnienia na przewodach i urządzeniach, a także wykorzystanie naturalnych sił wywołanych efektem kominowym lub też oddziaływaniem wiatru.

W okresach przejściowych, kiedy nie ma potrzeby schładzania lub ogrzewania powietrza zewnętrznego, powietrze świeże dopływa do pomieszczeń w ilości większej niż podczas lata czy zimy. Zwiększenie objętości strumienia świeżego powietrza wpływa pozytywnie na jakość powietrza w budynku oraz odczucia użytkowników. Zastosowanie wentylacji hybrydowej nie powinno dodatkowo powodować takich problemów związanych z komfortem, jak przeciągi, wysoka wartość gradientu temperatury oraz hałas.

Ponieważ wentylacja budynku jest częścią całkowitej strategii stworzenia zdrowego i stymulującego środowiska wewnętrznego, przy zminimalizowaniu zużycia energii ważne jest, aby projekty architektoniczne i inżynierskie powstawały we współpracy wspomnianych specjalistów. Zastosowanie wentylacji naturalnej powinno być zatem przewidziane już w fazie projektowania budynku.

Poniżej przedstawiono podstawowe najczęściej stosowane rozwiązania wentylacji naturalnej w systemie hybrydowym.

Możliwość otwierania okien przez użytkowników

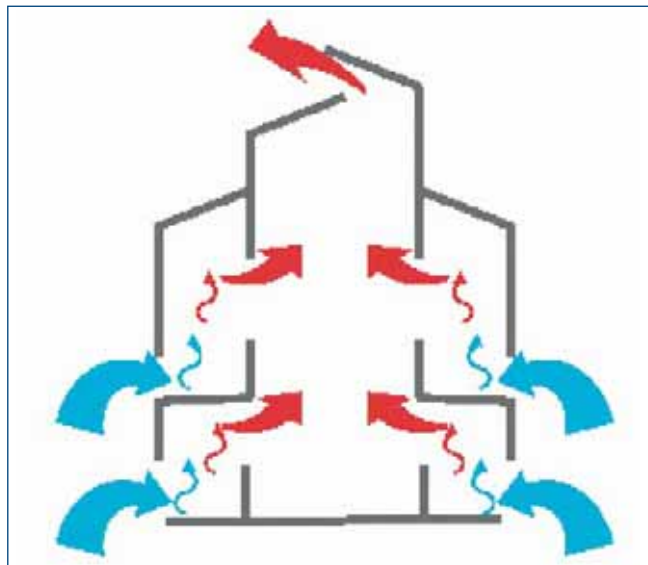
Pozwolenie użytkownikom na dowolne otwieranie okien w mechanicznie chłodzonych i wentylowanych budynkach możliwe jest przy zastosowaniu czujników, które automatycznie wyłączą wentylatory na okres otwarcia okien. W bardziej zaawansowanym układzie projektuje się automatycznie otwierane okna (w okresach o odpowiednich warunkach zewnętrznych). Należy pamiętać jednak o bezpieczeństwie użytkowników budynku, a także chronić powietrze wewnętrzne przed przegrzaniem lub wychłodzeniem.

Zintegrowanie otworów w budynku

Często, ze względu na projekt architektoniczny budynku, w części płaszczyzn zewnętrznych nie można otwierać okien, można jednak zastosować wloty będące integralną częścią budynku, np. żaluzjowe otwory z mechanicznie działającymi przepustnicami, wprowadzające powietrze zewnętrzne do pomieszczeń oraz nawiewniki szczelinowe. Należy jednak zachować odpowiednie środki bezpieczeństwa zapobiegające przedostaniu się do budynku owadów oraz filtry powietrza zatrzymujące zanieczyszczenia powietrza zewnętrznego.

Atrium

Budynki z centralnie położonym atrium (rys. 2.) są często wyposażone w wentylację hybrydową, gdyż efekt wyporu termicznego,



Rys. 2. Schemat grawitacyjnego przepływu powietrza w budynku z atrium
Fig. 2. Schema of natural air flow in a building with a atrium

występujący w atrium i unoszący strumień ciepłego powietrza ku górze, może także usuwać znaczące ilości zanieczyszczonego powietrza na zewnątrz.

Komin słoneczny

W budynkach, gdzie nie ma możliwości wykonania centralnie położonego atrium najlepszym rozwiązaniem jest zbudowanie komina (rys. 3.), w którym strumień powietrza będzie przepływał pionowo do góry przez cały przez budynek. Komin ten powinien być zbudowany z takich materiałów przepuszczalnych dla promieniowania słonecznego, jak szklane ściany, dzięki którym wewnątrz powstaną dodatkowe zyski ciepła od nasłonecznienia, ogrzewające powietrze i przyspieszające przepływ usuwanego powietrza



Rys. 3. Schemat grawitacyjnego przepływu powietrza w budynku z kominem słonecznym

Fig. 3. Schema of natural air flow in a building with a solar chimney

System podwójnego szklenia

System ten przewiduje dodatkowe, zewnętrzne pokrycie budynku szklaną warstwą. Pomiędzy tą warstwą a ścianami budynku powstaje zaizolowana przestrzeń, redukująca niekontrolowaną infiltrację powietrza. Jednocześnie w powstałej przestrzeni powietrze ogrzewane jest przez zyski ciepła od nasłonecznienia i unosi się ku górze. W tym rozwiązaniu okna są wbudowane w ściany budynku. Dzięki temu rozwiązaniu użytkownicy mogą swobodnie otwierać okna, wypuszczając do wnętrza budynku ogrzane już powietrze, zmniejsza się poziom hałasu napływającego z otoczenia budynku, a także zwiększa się stopień zabezpieczenia budynku.

Dodatkowymi rozwiązaniami stosowanymi w budynkach z wentylacją naturalną oraz hybrydową, wspomagającymi przepływ powietrza w pomieszczeniach, są:

- wykorzystanie materiałów budowlanych o wysokim stopniu akumulacji ciepła, takich jak beton i kamień, które akumulują ciepło podczas dnia i oddają do powietrza wewnętrznego w budynku w okresie nocnym
- korzystanie z oświetlenia naturalnego, dzięki czemu zmniejsza się nie tylko ilość zużywanej energii elektrycznej, ale również ilość powietrza doprowadzanego w celu odzyskiwania ciepła z pomieszczeń
- zastosowanie żaluzji i innych elementów zaciemniających, które redukują zyski ciepła od nasłonecznienia oraz odgrywają ważną

rolę w planowaniu wykorzystania naturalnego oświetlenia; w rozbudowanych projektach wykorzystuje się elementy zewnętrzne, które zmieniają swoje położenia w zależności od pozycji słońca oraz intensywności zysków ciepła

- maksymalne wykorzystanie wiatru, przez odpowiednie usytuowanie budynku, uwzględniające prędkość oraz kierunki lokalnie dominujących wiatrów
- zaprojektowanie odpowiednich stref w budynku, powiązanych wartością wytwarzanych zysków ciepła, które umieszczone w niedalekiej odległości pozwalają na projektowanie krótkich przewodów dostarczających klimatyzowane powietrze lub też, jeżeli są to strefy o niższych wartościach zysków ciepła, mogą być one wentylowane jedynie za pomocą wentylacji naturalnej
- kontrolowanie infiltracji zapobiegające możliwości wystąpienia ciągu wstecznego przy zbyt niskiej temperaturze powietrza zewnętrznego
- kontrolowanie poziomu zanieczyszczenia powietrza zewnętrznego, pozwalające na optymalne dostosowywanie rodzaju i stopnia filtracji zarówno w centrali klimatyzacyjnej, jak i w otworach w bryle budynku.

Przegląd zastosowanych rozwiązań wentylacji hybrydowej

Jednym z pierwszych obiektów zmodernizowanych dla potrzeb wentylacji hybrydowej jest PROBE – belgijski budynek biurowy, znajdujący się w miejscowości Limette w Belgii (fot. 1.). Na parterze tego budynku znajdują się biura, na piętrze – archiwa. W budynku działają naprzemiennie dwa systemy wentylacji: wentylacja dostarczająca ilość powietrza niezbędnego do celów higienicznych (strumień powietrza wielkości 25 m³/h dla każdego pomieszczenia) oraz chłodzenie nocne w okresie letnim. Wentylacja uruchamiana jest przez czujniki podczerwieni umieszczone w każdym pomieszczeniu, reagujące na obecność ludzi. Chłodzenie nocne odbywa się przez otwieranie przez pracowników części ruchomej trójdzielnych okien (fot. 1. – dwie części zewnętrzne okna są uchylane, część środkowa przytwierdzona jest na sztywno). W uchylonych częściach zamocowane są także białe rolety zabezpieczające pomieszczenia przed owadami, deszczem oraz włamaniami, a jednocześnie pozwalające na kontrolowanie ilości światła słonecznego napływającego do pomieszczenia.



Fot. 1. Widok okien zainstalowanych w budynku PROBE [1]

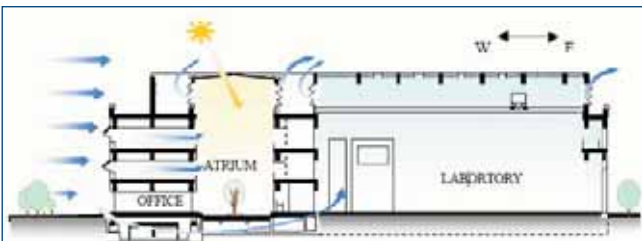
Photo. 1. View of windows in PROBE building [1]



Fot. 2. Fujita Technology Center w Atsugi [1]
 Photo. 2. Fujita Technology Center in Atsugi [1]

Innym interesującym obiektem jest budynek Fujita Technology Center w Atsugi w Japonii (fot. 2.), składający się z części biurowej, atrium oraz pomieszczeń laboratoryjnych. W budynku zastosowano: instalację wentylacyjno-klimatyzacyjną VAV (ze zmienną ilością powietrza) oraz nocne chłodzenie. Przy wznoszeniu obiektu zastosowano lekką konstrukcję przegród oraz niskoemisyjne szkło. Użytkownicy korzystają z systemu BEMS umożliwiającego dostosowanie warunków w pomieszczeniach do indywidualnych upodobań. Jednocześnie system ten zapewnia automatyczne zamykanie i otwieranie żaluzji zainstalowanych na oknach, dzięki czemu poziom nasłonecznienia pomieszczeń jest zgodny z wartościami projektowanymi. Część biurowa budynku wyposażona jest w system ogrzewania i chłodzenia przez klimakonwektory wentylatorowe lub klimatyzatory z rewersyjnymi pompami ciepła (których działanie ustaje w momencie uruchomienia wentylacji naturalnej).

Schemat ideowy przepływu powietrza przy wentylacji naturalnej przedstawiony został na rys. 4.



Rys. 4. Schemat przepływu powietrza w Fujita Technology Center [1]
 Fig. 4. Schema of air flow in Fujita Technology Center [1]

Jak przedstawiono na rys. 4. świeże powietrze zewnętrzne napływa do pomieszczeń poprzez otwory w ścianach zewnętrznych budynku, następnie przepływa przez atrium i wypływa z budynku otworami wywiewnymi znajdującymi się w górnej części atrium oraz w laboratorium. Stopień otwarcia okien regulowany jest za pomocą sygnałów dostarczanych przez przenośne bezprzewodowe czujniki temperatury znajdujące się na każdym piętrze oraz czujniki monitorujące warunki atmosferyczne znajdujące się na dachu budynku.

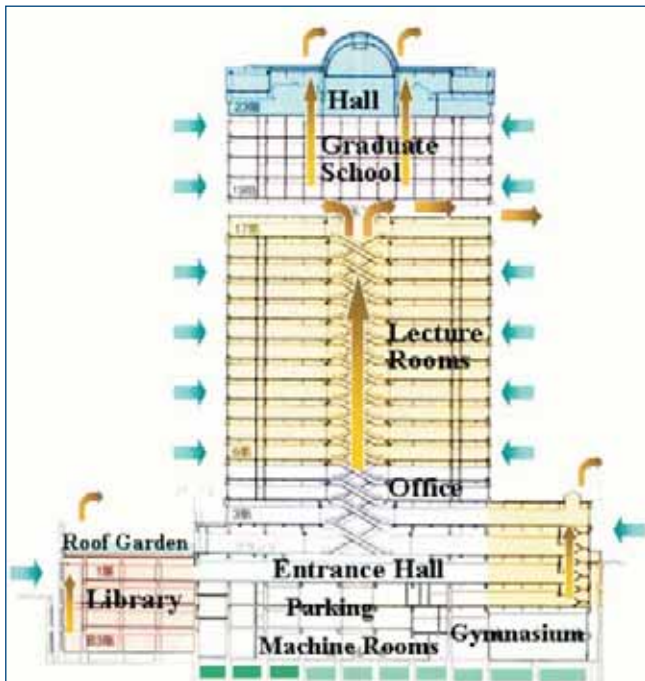
Kolejnym budynkiem z zaprojektowaną wentylacją hybrydową jest Liberty Tower of Meiji University (fot. 3.). Jest to gmach uniwersytecki z 23 piętrami usytuowany na silnie zurbanizowanym obszarze Tokio. Koncepcja wentylacji w tym obiekcie polega na zastosowaniu wentylacji naturalnej wspomaganej działaniem wentylatorów. Wentylacja naturalna stosowana jest w okresach przejściowych oraz w czasie nocnego chłodzenia budynku latem. Wentylacja mechaniczna włączana jest latem, w ciągu dnia, w celu usunięcia nadmiernych zy-



Fot. 3. Liberty Tower of Meiji University w Tokio [1]
 Photo. 3. Liberty Tower of Meiji University in Tokyo [1]

sków ciepła, a także zimą, kiedy powietrze jest ogrzewane za pomocą rewersyjnych pomp ciepła. Na 18. piętrze budynku zaprojektowano tzw. kondygnację wiatrową, przez którą swobodnie przepływa wiatr, tworząc podciśnienie, które wraz z centralnym rdzeniem wywiewnym pobudza efekt grawitacyjnego przepływu powietrza przez pomieszczenia znajdujące się na niższych kondygnacjach.

Przeływ powietrza w trybie wentylacji naturalnej przedstawiony został schematycznie na rys. 5. Powietrze zewnętrzne napływa do pomieszczeń poprzez otwory, znajdujące się pod oknami (wyposażo-



Rys. 5. Schemat przepływu powietrza w Liberty Tower of Meiji University [1]
 Fig. 5. Schema of air flow in Liberty Tower of Meiji University [1]

nymi w regulowany stopień otwarcia w zależności od temperatury powietrza oraz stężenia CO₂ w pomieszczeniach) na każdej kondygnacji. Z pomieszczeń powietrze wypływa przez kratki wywiewne zamontowane w sufitach i przewodami wentylacyjnymi dopływa do centralnego rdzenia wywiewnego, którym jest klatka schodowa prowadząca od parteru do 18. piętra. Na tej kondygnacji powietrze jest usuwane wraz z przepływającym wiatrem. Powyżej 18. piętra znajdują się dwa mniejsze rdzenie wywiewne doprowadzające powietrze do wyrzutni usytuowanych na dachu. W czasie pracy wentylacji mechanicznej realizowany jest system VAV z higieniczną ilością powietrza dostarczanego do pomieszczeń.

Szkołę w Tångą w Szwecji (fot. 4.), zbudowano w 1968 r., a w 1989 r. rozpoczęto jej modernizację, w wyniku której jeden z czterech budynków wyposażono w wentylację hybrydową realizowaną jako połączenie wentylacji grawitacyjnej z wentylatorami wspomagającymi.



Fot. 4. Szkoła w Tångą [1]
Photo. 4. School in Tångå [1]

Powietrze (w ilości higienicznej) wpływa do pomieszczeń poprzez przewód rozprowadzający zakończony otworami nawiewnymi umieszczonymi pod oknami. W każdej klasie zainstalowano grzejniki radiacyjne i konwekcyjne, wyposażone w zawory termostacyjne, ogrzewające powietrze zimą. W lecie chłodzenie odbywa się za pomocą nocnego przewietrzania budynku, dodatkowo w oknach zainstalowano elementy zacieniające zmniejszające ilość zysków ciepła od nasłonecznienia. Zanieczyszczone powietrze wypływa z klas przez otwory wywiewne umieszczone na przeciwnej, w stosunku do nawiewu, ścianie pomieszczenia, skąd transportowane jest siecią przewodów do kominów słonecznych umieszczonych na dachu.

Kominy słoneczne, wyposażone w wentylatory wywiewne i przepustnice, zbudowane są z przezroczystych materiałów przepuszczających promienie słoneczne i jednocześnie podgrzewających wewnętrzne powietrze, co potęguje działanie sił wyporu ciepłego powietrza. Układem wentylacji steruje komputer nadzorujący zużycie energii cieplnej i elektrycznej w rozbiu na poszczególne składniki: c.o., przygotowanie c.w.u., wentylację, elektryczność – w tym na oświetlenie i wentylację. Wielkościami monitorowanymi są: temperatura powietrza wewnątrz i na zewnątrz pomieszczeń, temperatura w kominie słonecznym, wilgotność względna i stężenie CO₂.



Rys. 6. Waterland w Leidschenveen [1]
Fig. 6. Waterland in Leidschenveen [1]

Ostatnio stworzonym budynkiem jest szkoła Waterland w Leidschenveen w Holandii (rys. 6.), wyróżniająca się oryginalnym kształtem dachu. W budynku tym zastosowano wentylację naturalną wspomaganą wentylacją mechaniczną. Każda klasa budynku wyposażona została w odrębny układ wentylacji składający się z elektronicznie sterowanych kratki wlotowych umieszczonych w ścianie zewnętrznej, wentylatora współpracującego z „kominem wywiewnym” oraz czujników temperatury i stężenia CO₂ zlokalizowanych w każdym pomieszczeniu. Usuwanie powietrza zużytego odbywa się poprzez kratki wywiewne połączone siecią przewodów z wentylatorami. Przy budowie szkoły szczególną uwagę zwrócono na izolacyjność cieplną i szczelność pomieszczeń, decydujące o zapotrzebowaniu na ciepło.

Najczęściej spotykanym w Polsce rozwiązaniem wentylacji hybrydowej jest stosowanie deflektorów na przewodach wywiewnych lub też automatycznych wywietrzników (fot. 5.), które powodują mechanicznie wymuszoną intensyfikację przepływu powietrza przez budynek w okresach o niekorzystnych warunkach pogodowych. Urządzenia takie wyposażone są zazwyczaj w czujniki prędkości wiatru w otoczeniu budynku, dzięki czemu zachowana jest stała wydajność urządzenia i efektywne usuwanie zanieczyszczonego powietrza.



Fot. 5. Turbowent
hybrydowy [4]
Photo. 5. Darco hybrid fan [4]

Urządzenia te stosowane są zazwyczaj w obiektach modernizowanych, w których zastosowano wcześniej wyłącznie system wentylacji grawitacyjnej.

Podsumowanie

Zakończenie omówionego w artykule projektu nie wyczerpało tematu tworzenia systemów wentylacji i klimatyzacji z uwzględnieniem minimalizacji zużycia energii. Badania są kontynuowane w ramach projektu RESHYVENT (realizowanego w Norwegii, Szwecji, Holandii, Belgii/Francji) [3]. W projekcie tym, bazując na doświadczeniach zdobytych przez twórców wentylacji hybrydowej, naukowcy i firmy wykonawcze koncentrują się zarówno na projektowaniu budynków niskoenergetycznych, jak również zwracają uwagę na wykorzystanie źródeł energii odnawialnej przez zastosowanie ogniw fotowoltaicznych lub energii wiatru czy słonecznej. Dzięki tym pracom w przyszłości będziemy mogli mieszkać w domach i pracować w biurach w pełni samowystarczalnych, a nadwyżkę produkowanej energii będzie można przekazywać sąsiadom.

PIŚMIENICTWO

- [1] *Hybrid ventilation STATE-OF-THE-ART REVIEW*, Angelo Delsante, Tor Arvid Vik, Energy Conservation in Buildings and Community Systems; Annex 35 Hybrid Ventilation in New and Retrofitted Office Buildings; 2000
- [2] Per HEISELBERG *Principles of hybrid ventilation*, IEA-ECBCS Annex 35 Final Report, Hybrid Ventilation Centre, Aalborg University, August 2002
- [3] Materiały informacyjne ze strony <http://www.reshyvent/>
- [4] katalog produktów firmy Darco (<http://www.darco.com.pl/>)