

SYSTEMY HVAC

w kontekście nowych wymagań

Prof. PP, dr hab. inż. Mieczysław Porowski, dr inż. Radosław Górzeński, dr inż. Michał Szymański
Politechnika Poznańska

Punktem wyjścia w projektowaniu innowacyjnych rozwiązań systemów HVAC jest konieczność spełnienia dwóch kategorii wymagań: w zakresie komfortu i jakości powietrza oraz wymagań energetycznych.

Komfort cieplny i jakość powietrza są elementami szeroko rozumianego komfortu klimatycznego, do którego zalicza się również hałas i drgania, jonizację powietrza, oświetlenie i barwy. Wymagania w zakresie komfortu cieplnego i jakości powietrza ewoluowały w ciągu ostatnich dziesięcioleci, zwłaszcza w zakresie formuł opisujących poszczególne parametry. Istotne są tutaj w szczególności prace prowadzone przez Fangera [1], które wykorzystano, formułując normy opisujące warunki komfortu cieplnego i jakości powietrza (m.in. EN ISO 7730, EN ISO 77303, ASHRAE 55-74, PN-EN 15251), a także prace Nicola i Humphreysa [2] związane z komfortem adaptacyjnym.

Podstawowym systemem pozwalającym kształtować komfort cieplny i jakość powietrza w pomieszczeniach jest system ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji (HVAC – *Heating, Ventilation and Air Conditioning*). System ten jest jednym z najważniejszych elementów technicznego wyposażenia budynków, a jednocześnie najbardziej znaczącym składnikiem w bilansie zapotrzebowania na energię. Postulat zrównoważonego rozwoju, równowagi ekologicznej i energetycznej budynku z otoczeniem wymaga coraz bardziej drastycznego ograniczania zużycia energii budynków, dotyczy to zwłaszcza systemów HVAC. W tym zakresie następuje ewolucja wymagań formalnych dla poszczególnych kategorii budynków: standardowych, niskoenergetycznych, ultraniskoenergetycznych oraz budynków o niemal zerowym zużyciu energii (Dyrektywy UE 2002/91/WE + 2010/31/UE) [4]. Skojarzenie wymagań energetycznych dla nowo projektowanych budynków z wymaganiami dotyczącymi komfortu cieplnego i jakości powietrza implikuje potrzebę projektowania nowych systemów HVAC rozumianych holistycznie, spełniających obydwie kategorie wymagań. Dotyczy to zarówno struktur systemów HVAC, jak i komponentów tych systemów – w tym układów sterowania i automatycznej regulacji. Istotne jest tutaj ograniczenie zużycia nieodnawialnej energii pierwotnej i maksymalne wykorzystanie źródeł odnawialnych, ale również wybór odpowiednich nośników ciepła i chłodu. Konsekwencją ewolucji w zakresie wymagań energetycznych, a także komfortu cieplnego i jakości powietrza, są zatem przemiany strukturalne systemów HVAC. Przemiany te związane są ze zwiększeniem sprawności użytkowej tych systemów i ich komponentów oraz oparcia źródeł ciepła na energii odnawialnej w maksymalnym możliwym zakresie.

Postulat zrównoważonego rozwoju, równowagi ekologicznej i energetycznej budynku z otoczeniem wymaga coraz bardziej drastycznego ograniczania zużycia energii budynków, dotyczy to zwłaszcza systemów HVAC.

Komfort klimatyczny

Składniki komfortu klimatycznego, w tym komfortu cieplnego, przedstawiono na rys. 1. Komfort cieplny jest zatem funkcją temperatury i wilgotności względnej powietrza, promieniowania cieplnego, prędkości powietrza, stopnia aktywności i izolacyjności odzieży. Podstawowe wskaźniki komfortu cieplnego ujęte są w równaniu Fangera:

$$f(Q/A_{Du}, A_{cl}, t_w, t_{mr}, P_w, v) = 0 \quad (1)$$

gdzie:

Q/A_{Du} – ilość ciepła wewnętrznego wytwarzanego przez organizm w odniesieniu do jednostki pola powierzchni ciała nieokrytego odzieżą [met],

A_{cl} – opór przewodzenia odzieży [clo],

t_w – temperatura powietrza [°C],

t_{mr} – średnia temperatura promieniowania [°C],

P_w – ciśnienie cząstkowe pary wodnej w powietrzu [Pa],

v – prędkość przepływu powietrza [m/s].

Fanger rozwinął i wprowadził do praktyki formuły statystyczne komfortu cieplnego: przewidywaną średnią ocenę PMV (*Predictive Mean Vote*), przewidywany odsetek niezadowolonych PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) oraz wskaźnik przeciągu DR (*Draught Rate*).

Formuła określająca przewidywany odsetek niezadowolonych wyrażona jest wzorem:

$$PPD = (t_B - t_L) \cdot (w - 0,05)^{0,6223} \cdot (3,143 + 0,369 \cdot w \cdot T_u) \quad (2)$$

gdzie:

PPD – odsetek niezadowolonych [%],

t_L – temperatura powietrza w pomieszczeniu [°C],

t_B – temperatura powierzchni skóry [°C],

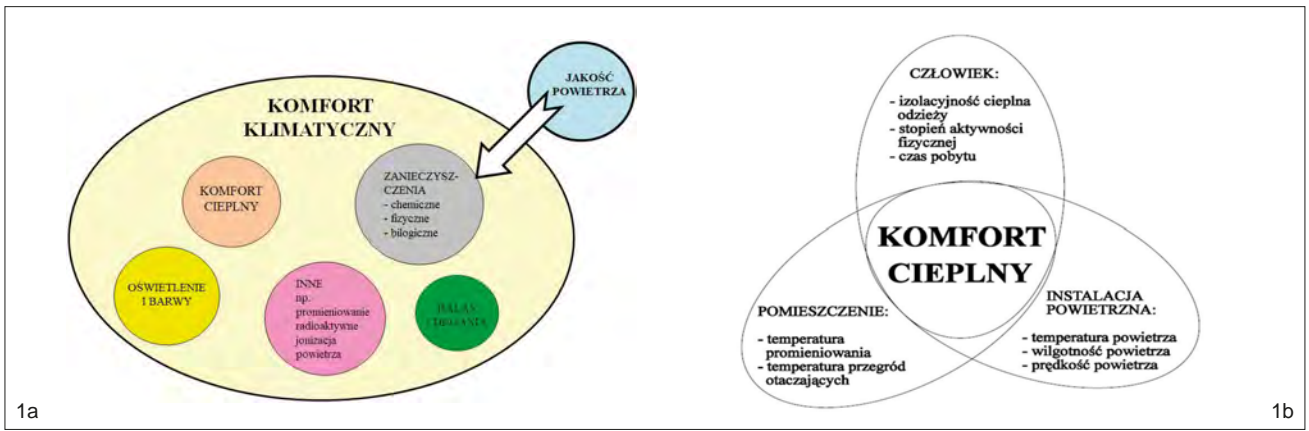
w – średnia prędkość powietrza [m/s],

T_u – stopień turbulencji [%].

Uwarunkowania formalne dotyczące komfortu cieplnego ujęte są m.in. w normach EN ISO 7730, EN ISO 77303, DIN 1946T2, ASHRAE 55-74 oraz PN-EN 15251 [6].

Współcześnie wymagania w zakresie komfortu cieplnego ewoluują w kierunku komfortu adaptacyjnego opartego na następujących założeniach [7]:

- zdolności organizmu człowieka do przystosowania się do warunków środowiskowych poprzez zmianę metabolizmu lub izolacyjności odzieży;
- wpływie odczuć cieplnych na oczekiwania człowieka, z uwzględnieniem warunków wewnętrznych: krótkoterminowych – związanych z ostatnio doświadczoną pogodą i długoterminowych – wynikających z warunków klimatycznych charakterystycznych dla danej pory roku.



Rys. 1a – Komfort klimatyczny, Rys. 1b – Komfort cieplny [5]

Syntetycznie, w ujęciu ilościowym, zagadnienie można opisać relacją [7]:

$$T_{io} = a \cdot T_{e,r} + b \quad (3)$$

gdzie:

T_{io} – operacyjna wewnętrzna temperatura komfortu,

$T_{e,r}$ – temperatura zewnętrzna,

a, b – współczynniki wyznaczane w oparciu o dane statystyczne [8]

Parametry komfortu adaptacyjnego, jako parametry operacyjne, znajdują praktyczne wykorzystanie zwłaszcza w budynkach nisko- i perspektywicznie zeroenergetycznych. Wykorzystuje się tutaj sterowanie energooszczędne w dopuszczalnych przedziałach parametrów – rys. 2.

Podstawowy postulat dotyczący wymaganej jakości powietrza w pomieszczeniach sprowadza się do uzyskania składu chemicznego powietrza wewnętrznego możliwie maksymalnie zbliżonego do czystego powietrza zewnętrznego. W pomieszczeniach, gdzie podstawowym źródłem emisji są ludzie, głównym rodzajem zanieczyszczeń jest dwutlenek węgla (CO_2) oraz zanieczyszczenia zapachowe, których miarą są: 1 olf (dla oceny strumienia zanieczyszczeń) oraz 1 decybol (dla oceny stężenia zanieczyszczeń zapachowych). Pośrednio wynikowa jakość powietrza jest funkcją jednostkowego strumienia powietrza zewnętrznego, wymagania w tym zakresie ujęte są w normie PN-EN 13779 – tablice 1. i 2.

Ewolucja wymagań energetycznych oraz struktur systemów HVAC

Wymagania energetyczne dotyczące systemów HVAC są elementem wymagań dotyczących łącznego zapotrzebowania na energię użytkową, końcową i pierwotną budynków. W tym zakresie występują jednocześnie dwa kierunki zmian (rys. 3.):

- zmniejszenie maksymalnych dopuszczalnych wskaźników zapotrzebowania na energię pierwotną dla ogrzewania i wentylacji,
 - zwiększenie udziału nieodnawialnej energii pierwotnej.
- Ewolucję wymagań dotyczących formalnych wskaźników zapotrzebowania na energię końcową w budynkach przedstawiono na rys. 4.

Standardy w zakresie zużycia energii użytkowej do ogrzewania i wentylacji budynków dla klimatu Europy Środkowej na przykładzie Niemiec zmieniały się następująco:

- 48–95 kWh/(m²a), zależnie od wartości A/V_e , wg niemieckiego rozporządzenia o ochronie energii EnEV'02;
- 40–76 kWh/(m²a), zależnie od wartości A/V_e , zgodnie z nowelizacją z roku 2009 (EnEV'09);
- 40 ÷ 60 kWh/(m²a), zależnie od wartości A/V_e , zgodnie z KfW 40 i KfW 60;
- 28-56 kWh/(m²a), zależnie od wartości A/V_e , dla budynków o małym zużyciu energii;
- 15–22 kWh/(m²a), zależnie od wartości A/V_e , wg wymagań dla budynków pasywnych.

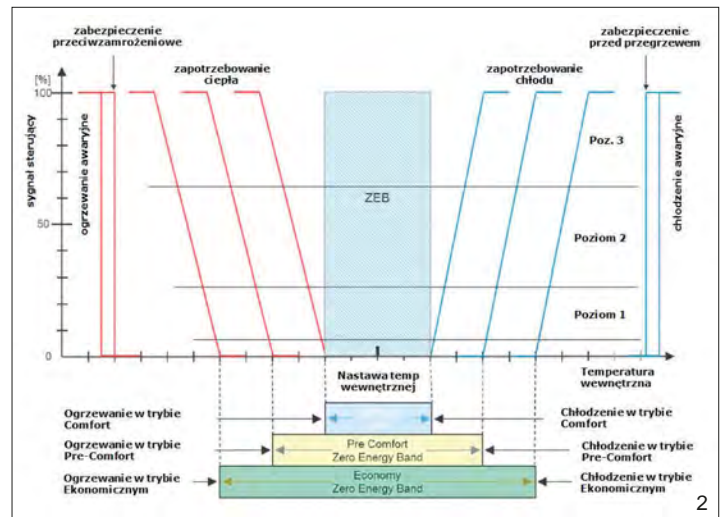
Tablica 1. Wymagane strumienie powietrza dla uzyskania jakości powietrza [5]

Jakość powietrza w pomieszczeniach	Udział niezadowolonych [%]	Jakość powietrza [dopol]	Wymagany strumień powietrza [m ³ /h olf]
Wysoka (A)	15	1,0	36,0
Standardowa (B)	20	1,4	25,2
Minimum (C)	30	2,5	14,4

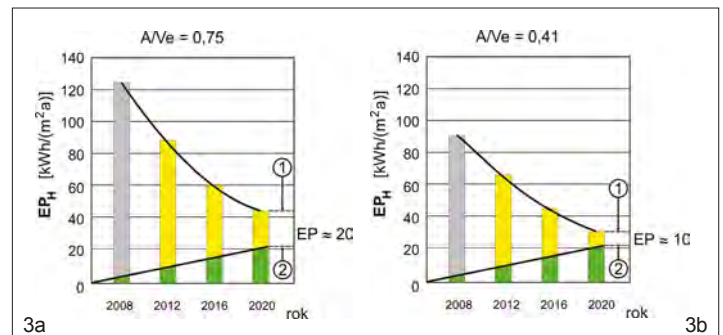
Tablica 2. Klasyfikacja jakości klimatu wewnętrznego (wg PN EN 13779) [5]

Kategoria jakości powietrza	Opis jakości powietrza – IAQ	Poziom CO_2 ponad poziom w pow. zewn. [ppm]*	Ilość pow. zewnętrznego [m ³ /h osobę]
IDA 1	wysokie	≤ 400	> 54
IDA 2	średnie	400–600	36–54
IDA 3	umiarkowane	600–1000	22–36
IDA 4	niskie	> 1000	< 22

* poziom CO_2 w powietrzu zewnętrznym: ODA1 – 350 ppm, ODA2/3 – 400 ppm, ODA4/5 – 450 ppm



Rys. 2. Przedziały nastaw dla różnych poziomów energochłonności [10]



Rys. 3. Synergia działań dla budynków – obniżanie zużycia energii dla ogrzewania i wentylacji oraz wprowadzanie energii odnawialnych – lata 2008–2020: 1 – efektywna redukcja zapotrzebowania energii, 2 – energia odnawialna dla pokrycia części zapotrzebowania [11]

Według wymagań polskich przepisów z roku 2008 maksymalne zużycie energii w budynkach dla ogrzewania i wentylacji wynosiło 58–105 kWh/(m²a), zależnie od wartości A/V_e , w przeliczeniu na energię użytkową. Aktualne przepisy definiują maksymalną wartość wskaźnika EP określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie budynku na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej dla budynków użyteczności publicznej (z wyjątkiem opieki zdrowotnej) na poziomie 60 kWh/(m²a) od 1 stycznia 2017 r. oraz 45 kWh/(m²a) od 1 stycznia 2021 r. [12].

Ewolucja struktur systemów HVAC wynika bezpośrednio z ewolucji wymagań energetycznych i komfortowych dla tych systemów. Podstawowe kierunki zmian w tym zakresie obejmują:

- rozdzielenie systemu ogrzewania i chłodzenia (z wodą jako nośnikiem ciepła lub chłodu) od systemów wentylacyjnych (tylko dla funkcji higienicznej);
- wprowadzenie wielostopniowych układów odzysku ciepła z wykorzystaniem gruntu jako źródła odnawialnego (rys. 5.);
- kontrolowany przepływ powietrza przez budynek z wykorzystaniem systemów o zmiennym przepływie dostosowanych do chwilowego zapotrzebowania (DCV – Demand Controlled Ventilation);
- zastosowanie statycznych płaszczyznowych niskotemperaturowych systemów ogrzewania i wysokotemperaturowych chłodzenia;
- projektowanie zintegrowane obejmujące:
 - optymalną lokalizację maszynowni klimatyzacyjnych (ograniczenie nakładów energetycznych na przetłaczanie powietrza),
 - wprowadzenie systemów wentylacyjnych zdecentralizowanych w zależności od struktury i funkcji budynku,
 - integracja konstrukcji budynku z elementami systemów HVAC – stropy aktywne termicznie (TABS – Thermally Activated Building Structures),
 - pale energetyczne jako element dolnego źródła ciepła;
- wykorzystanie źródeł ciepła opartych na energii odnawialnej;
- wykorzystanie chłodzenia pasywnego;
- zastosowanie układów sterowania opartych na sterownikach samoadaptacyjnych z modułami *fuzzy logic*.

Innowacyjne rozwiązania systemów HVAC

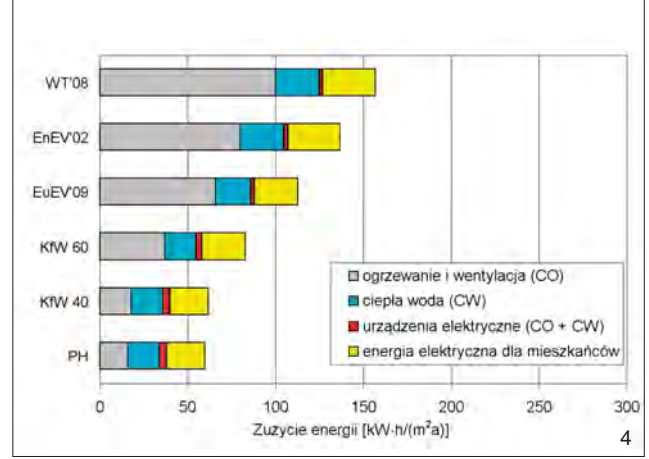
Punktem wyjścia w projektowaniu innowacyjnych rozwiązań systemów HVAC jest konieczność spełnienia dwóch kategorii wymagań: w zakresie komfortu i jakości powietrza oraz wymagań energetycznych. Spełnienie standardów energetycznych pociąga za sobą konieczność minimalizacji obciążeń dla systemów HVAC. W konsekwencji istotna jest tutaj charakterystyka energetyczna budynku, a zwłaszcza:

- obniżenie strat ciepła wentylacji;
- zwiększenie wykorzystania biernego energii promieniowania słonecznego w okresie zimowym;
- maksymalne zmniejszenie zysków od promieniowania słonecznego w okresie letnim, dla zmniejszenia obciążeń chłodniczych;
- maksymalne wykorzystanie wewnętrznych zysków ciepła zimą;
- odpowiednia pojemność cieplna budynku dla ochrony przed nadmiernym wychłodzeniem i nadmiernym przegrzewaniem, a także dla zapewnienia akumulacji energii.

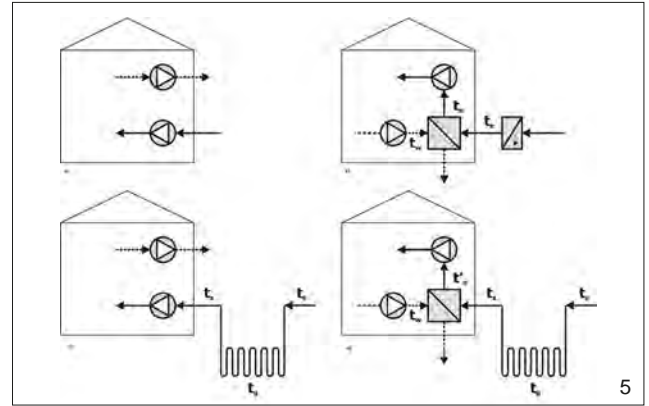
Innowacyjne systemy w zakresie instalacji HVAC powinny spełniać szereg kryteriów w zakresie techniki instalacyjnej grzewczej, instalacji wentylacyjnej, instalacji chłodniczej oraz w zakresie konwersji energii.

W zakresie **techniki instalacyjnej grzewczej** istotne są następujące elementy:

- wzrost sprawności źródeł ciepła;
- ogrzewanie płaszczyznowe niskotemperaturowe i stropy aktywne termicznie;
- obniżenie strat ciepła na dystrybucji i akumulacji, w tym z wykorzystaniem materiałów zmienno fazowych PCM (*Phase Change Materials*);
- małe zużycie energii pomocniczej (pompy).



Rys. 4. Wymagane wskaźniki rocznego zużycia energii końcowej w budynkach mieszkalnych ($A/V_e = 0,75-0,9$): WT'08 – wskaźniki wg warunków technicznych polskich WT2008; EnEV'02, EnEV'09 – wskaźniki wg przepisów niemieckich; KfW60 i KfW40 – wskaźniki dla budynków niskoenergetycznych wspomaganych w Niemczech; PH – budynek pasywny (1,5-litrowy) [11]



Rys. 5. Ewolucja zmian w zakresie rozwiązań wentylacji budynków wykorzystujących układ do odzysku ciepła i powietrze lub cieczowe wymienniki gruntowe [11]

W zakresie **techniki wentylacyjnej** kluczowe są następujące rozwiązania:

- przepływ powietrza zmienny wg potrzeb DCV,
- wysokoefektywny odzysk ciepła,
- obniżenie strat ciepła na dystrybucji,
- małe zużycie energii pomocniczej (wentylatory).

Dla **instalacji chłodniczych** konieczne jest spełnienie następujących postulatów:

- wzrost sprawności źródeł chłodu,
- wykorzystanie chłodzenia naturalnego,
- obniżenie strat chłodu na dystrybucji i akumulacji,
- małe zużycie energii pomocniczej (pompy).

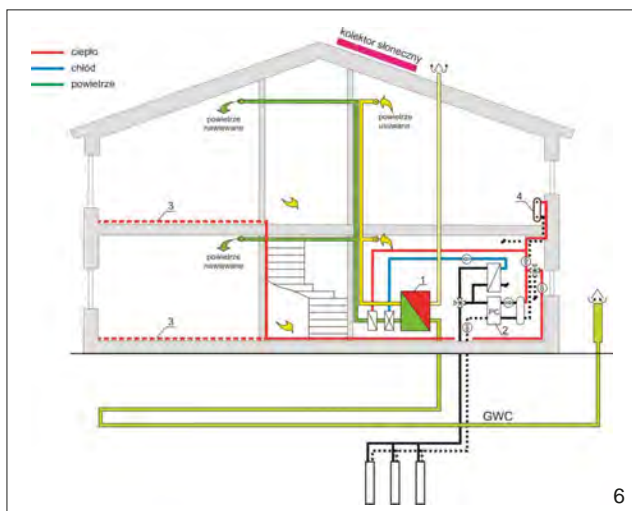
W zakresie **pochodzenia i konwersji energii** kluczowe są następujące kierunki:

- wykorzystanie energii promieniowania słonecznego (kolektory termiczne i PV),
- wykorzystanie źródeł energii odnawialnej i pomp ciepła (PC),
- wykorzystanie układów zintegrowanych: ciepło – chłód lub ciepło – energia elektryczna – chłód.

Dla każdego z wymienionych podsystemów HVAC niezbędna jest cyfrowa technika regulacji i sterowania uwzględniająca dopasowanie działania instalacji do profilu użytkownika pomieszczeń.

Innowacyjność prezentowanych rozwiązań systemów HVAC (rys. 6-12) polega na zaproponowaniu synerгии energooszczędnych rozwiązań podsystemów obróbki termodynamicznej powietrza, instalacji centralnego ogrzewania i zasilania nagrzewnic, instalacji przygotowania ciepłej wody użytkowej. Zaproponowane kompleksowe rozwiązania stanowią nową jakość i kierunek do praktycznego wdrożenia. ►

Rozwiązania dla budynków jednorodzinnych

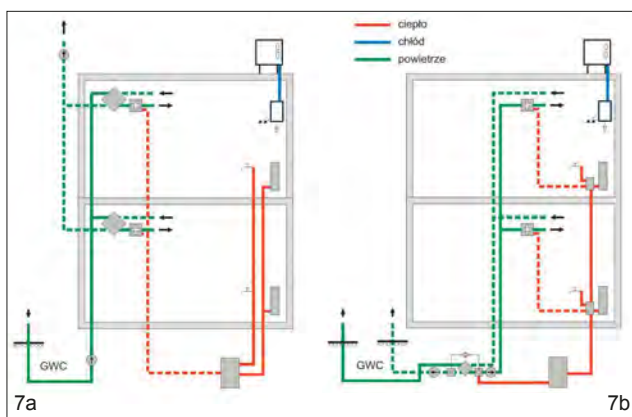


Rys. 6. System HVAC z pompą ciepła i chłodzeniem pasywnym dla domu jednorodzinnego. 1 – centrala wentylacyjna z odzyskiem, 2 – pompa ciepła, 3 – ogrzewanie podłogowe, 4 – grzejnik, GWC – gruntowy wymiennik ciepła (M. Porowski)

Elementy systemu HVAC dla budynku jednorodzinnego:

- ogrzewanie podłogowe, w niewielkim zakresie grzejnikowe;
- źródło ciepła – pompa ciepła z sondami pionowymi jako źródłem dolnym;
- kolektory słoneczne – dodatkowe źródło ciepła dla przygotowania c.w.u.;
- wentylacja mechaniczna z wysokosprawnym odzyskiem ciepła oraz gruntowym wymiennikiem ciepła (GWC), a także z chłodziwą w obiegu chłodzenia pasywnego.

Rozwiązania dla budynków wielorodzinnych



Rys. 7. System HVAC dla budynku wielorodzinnego: a) system scentralizowany, b) system zdecentralizowany

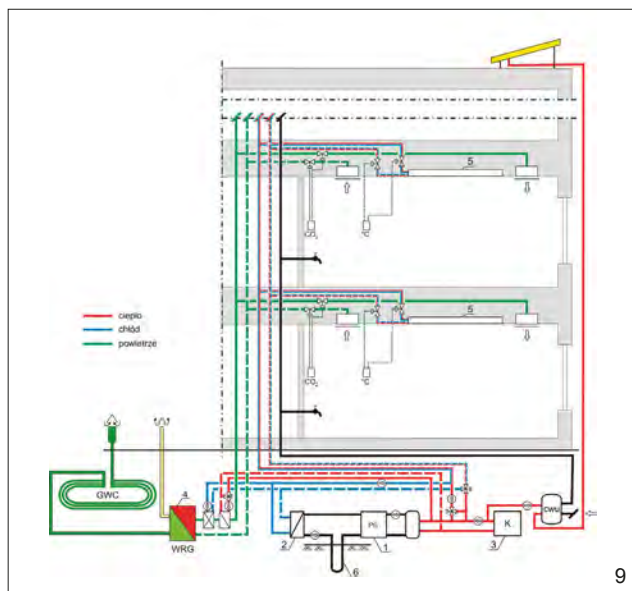
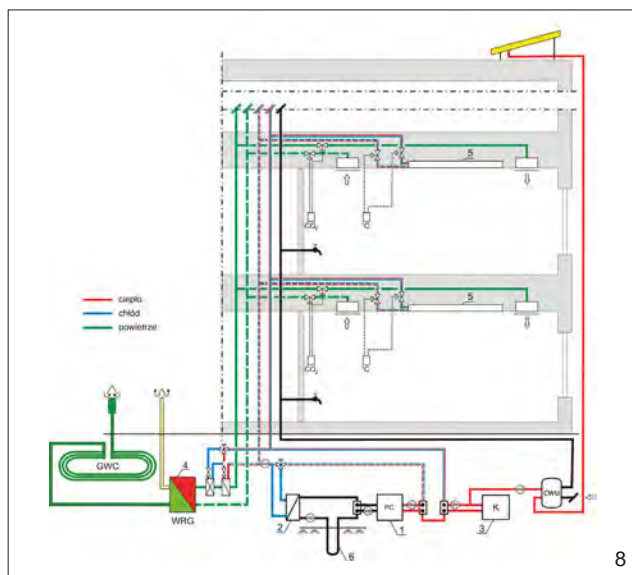
Struktury te obejmują:

- ogrzewanie niskotemperaturowe grzejnikowe;
- źródło ciepła – kocioł kondensacyjny lub węzeł cieplny zasilany z zewnętrznej sieci ciepłej;
- wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła (w tym GWC) w systemie zdecentralizowanym lub scentralizowanym;
- chłodzenie – tylko dla wybranych pomieszczeń, oparte o zdecentralizowane systemy „split”.

Rozwiązania dla budynków biurowych

Wspólnymi cechami tych rozwiązań są:

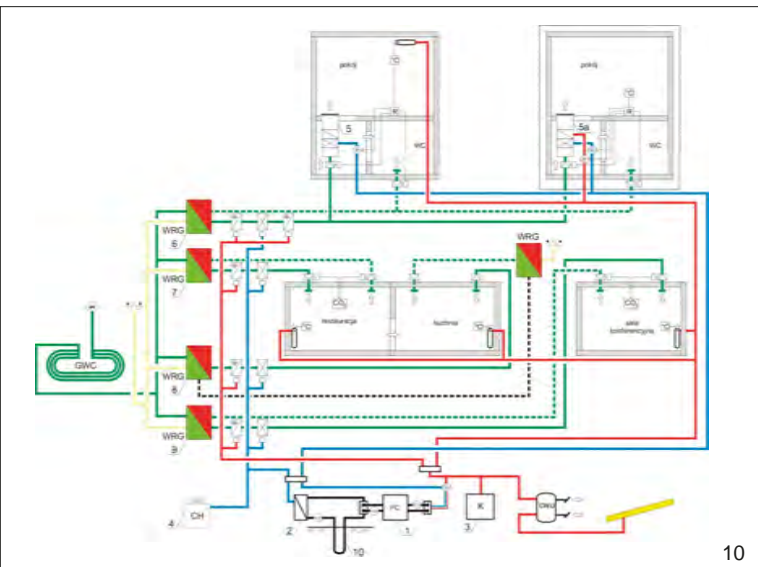
- wysokosprawny odzysk ciepła dla wentylacji oparty o gruntowe wymienniki ciepła (GWC) oraz odzysk ciepła w centrali;
- źródła ciepła:
 - pompa ciepła z sondami gruntowymi (dolne źródło ciepła), kolektory słoneczne, kocioł szczytowy i c.w.u.;
- źródła chłodu:
 - wymiennik chłodzenia pasywnego z sondami gruntowymi;
- system w pomieszczeniach: ogrzewanie i chłodzenie – stropy uaktywnione termicznie;
- energoptymalne sterowanie:
 - zmienna ilość powietrza w funkcji jakości powietrza,
 - sprzężenie funkcji ogrzewania i chłodzenia w pomieszczeniach.



Rys. 8, 9. System HVAC dla budynku użyteczności publicznej – standard ultraniskoenergetyczny, 1 – pompa ciepła, 2 – wymiennik chłodzenia pasywnego, 3 (8) – kocioł rezerwowo i c.w.u. (wariant 1), 3 (9) – kocioł szczytowy i c.w.u. (wariant 2), 4 – centrala wentylacyjna (+GWC), 5 – strop uaktywniony termicznie, 6 – pale energetyczne (M. Porowski)

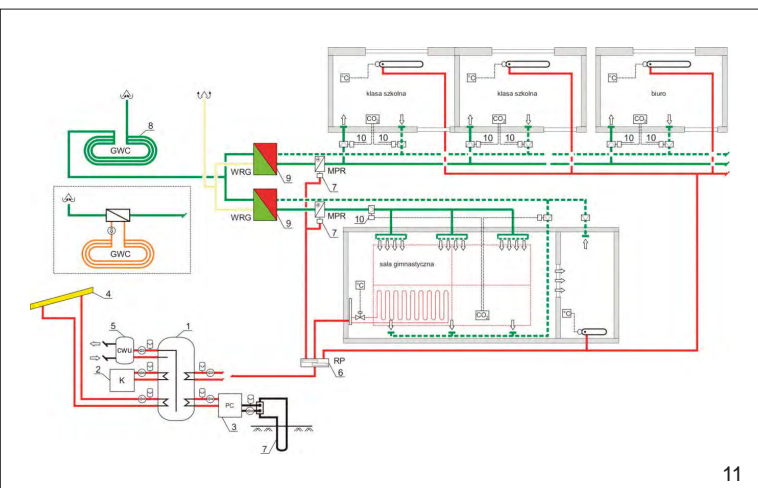
systemów HVAC dla wybranych kategorii budynków

Rozwiązania dla budynków hotelowych



Rys. 10. System HVAC dla budynku hotelowego – standard niskoenergetyczny, 1 – pompa ciepła, 2 – wymiennik chłodzenia pasywnego, 3 – kocioł szczytowy i c.w.u., 4 – agregat chłodniczy, 5 – klimakonwektor indukcyjny 2-rurowy, 5a – klimakonwektor indukcyjny 4-rurowy (alternatywa), 6-9 – centrala wentylacyjna (GWC+WRG), 10 – gruntowy wymiennik ciepła (GWC) (M. Porowski)

Rozwiązania dla budynków edukacyjnych



Rys. 11. System HVAC dla budynku edukacyjnego – standard niskoenergetyczny, 1 – zbiornik buforowy, 2 – kocioł szczytowy, 3 – gruntowa pompa ciepła (GPC), 4 – kolektor słoneczny, 5 – wymiennik c.w.u., 6 – rozdzielacz pompowy (RP), 7 – moduł pompowo-regulacyjny (MPR), 8 – gruntowy wymiennik ciepła (GWC), 9 – centrala wentylacyjna z odzyskiem ciepła (WRG), 10 – regulator przepływu, 11 – dolne źródło ciepła (grunt/woda) (M. Porowski)

Rozwiązania te obejmują:

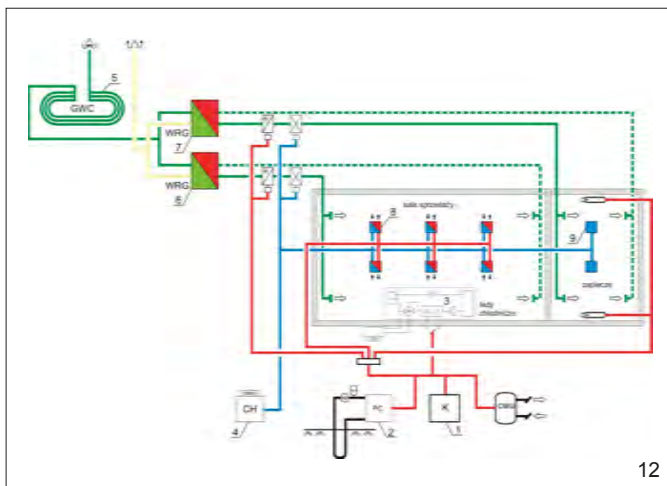
- ogrzewanie
 - źródła ciepła: gruntowa pompa ciepła (GPC), kolektor słoneczny, kocioł szczytowy kondensacyjny,
 - system ogrzewania:
 - sale lekcyjne, pomieszczenia zaplecza – grzejniki,
 - sala gimnastyczna – ogrzewanie podłogowe;

- chłodzenie
 - pasywne powietrzem wentylacyjnym (GWC),
 - brak aktywnych systemów chłodzenia;
- wentylacja
 - sale lekcyjne, pomieszczenia biurowe: system ze zmienną ilością powietrza (VAV) w funkcji jakości powietrza, oddzielna centrala wentylacyjna z wysokosprawnym odzyskiem ciepła (WRG),
 - sala gimnastyczna: system ze zmienną ilością powietrza (VAV) w funkcji jakości powietrza, nawiew źródłowy, oddzielna centrala wentylacyjna z wysokosprawnym odzyskiem ciepła (WRG).

Rozwiązania dla budynków handlowych

Rozwiązania te obejmują:

- ogrzewanie
 - źródła ciepła: gruntowa pompa ciepła, kocioł, węzeł ciepły, odzysk ciepła skraplania z lad chłodniczych,
 - system ogrzewania – sala sprzedaży
 - lokalne układy strefowe,
 - klimakonwektory w systemie 4-rurowym,
 - system ogrzewania – pomieszczenia zaplecza:
 - grzejniki;
- chłodzenie
 - źródło chłodu: agregat chłodniczy,
 - system chłodzenia – sala sprzedaży
 - lokalne układy strefowe,
 - klimakonwektory w systemie 4-rurowym,
 - system chłodzenia – pomieszczenia zaplecza:
 - klimakonwektory;
- wentylacja
 - gruntowy wymiennik ciepła (GWC) powietrzny lub ciecowy,
 - wysokosprawnny odzysk ciepła w centrali (WRG),
 - zmienna ilość powietrza w funkcji jakości,
 - usuwanie zapachów (rozdziel powietrza).



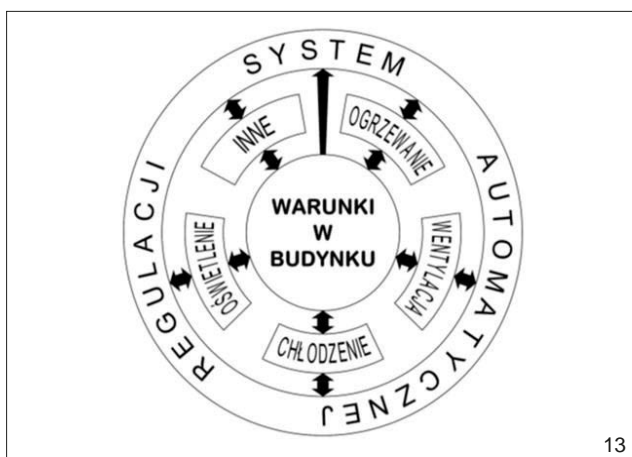
Rys. 12. System HVAC dla budynku handlowego detalicznego (market) – standard niskoenergetyczny: 1 – kocioł/węzeł ciepły, 2 – gruntowa pompa ciepła (GPC), 3 – odzysk ciepła z lad chłodniczych, 4 – agregat chłodniczy, 5 – gruntowy wymiennik ciepła (GWC), 6, 7 – centrala wentylacyjna z odzyskiem ciepła (WRG), 8 – klimakonwektor 4-rurowy, 9 – klimakonwektor 2-rurowy (M. Porowski)

Układy automatycznej regulacji i sterowania dla HVAC

Integralnym elementem każdego z rekomendowanych systemów HVAC (rys. 6-12) jest układ sterowania i automatycznej regulacji. Pełni on funkcję zabezpieczenia, energooszczędnego sterowania i monitorowania.

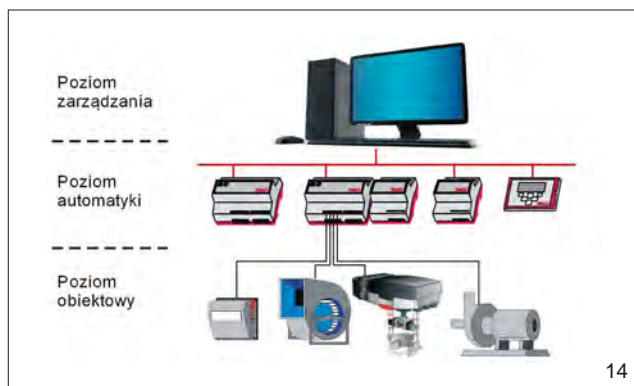
Układy sterowania pełnią jednocześnie rolę nadrzędną i służebną w stosunku do instalacji HVAC. Struktura układów sterowania silnie zależy od struktury regulowanego układu, jednak struktura nadrzędnego systemu BMS jest w dużym zakresie niezależna od struktury instalacji.

Systemy automatycznej regulacji (SAR) – rys. 13. w budynkach niskoenergetycznych muszą wypełniać typowe zadania, stawiane dotychczas tego typu systemom, oraz nowe – związane w głównej mierze z ograniczaniem zapotrzebowania na energię końcową (dotyczy to zwłaszcza budynków niemal zeroenergetycznych nZEB).



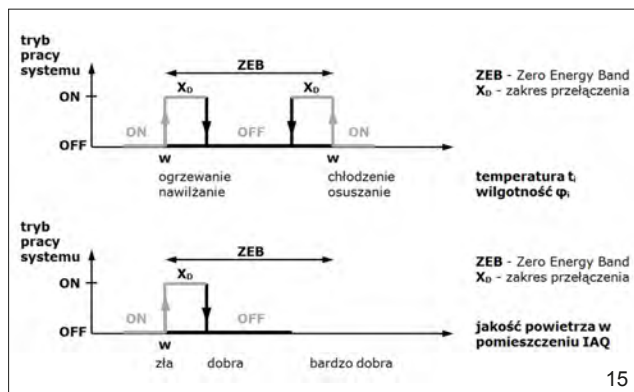
13

Rys. 13. Wpływ systemu automatycznej regulacji (SAR) na funkcjonowanie budynku



14

Rys. 14. Ogólna struktura hierarchicznego systemu BMS [5]



15

Rys. 15. Sterowanie z uwzględnieniem stref nieczułości [10]

Do podstawowych zadań SAR należy:

- utrzymanie parametrów operacyjnych w budynku na zadanym poziomie (np. temperatura powietrza, stężenie CO₂),
- zapewnienie bezpiecznej pracy instalacji w budynku.

Nowe zadania stawiane SAR w budynkach to:

- utrzymanie zużycia energii (i innych zasobów – np. wody) na możliwie niskim poziomie,
- raportowanie zużycia energii i zasobów w budynku przez poszczególne podsystemy i porównywanie ich z projektowanymi,
- zgłaszanie i wstępna obsługa usterek,
- analiza przebiegów czasowych parametrów operacyjnych i prognozowanie usterek.

Struktura systemu zarządzania budynkiem (BMS – *Building Management System*) składa się zasadniczo z trzech poziomów logicznych (rys. 14.):

- poziomu zarządzania – komputera wraz z oprogramowaniem użytkowym BMS i osprzętem; coraz częściej komunikacja z operatorem odbywa się poprzez web-serwer i przeglądarkę internetową; w ramach poziomu zarządzania można wydzielić zadania związane z bieżącą wizualizacją, archiwizowaniem i obsługą alarmów oraz dotyczące długoterminowej analizy trendów danych i optymalizacji parametrów pracy systemu;
- poziomu automatyki – sterowników swobodnie programowalnych lub regulatorów dedykowanych dla konkretnych zastosowań;
- poziomu obiektowego – czujników, siłowników itp. elementów pomiarowych i wykonawczych.

Kluczowym elementem prezentowanych systemów są algorytmy energooszczędnego sterowania. Klasykarnym sposobem sterowania jest algorytm PID, skuteczny i stabilny w przypadku jednej wielkości wejściowej i jednej wielkości wyjściowej. Sterowanie poprzez zastosowanie regulatora PID jest stabilne, ale nie jest optymalne. Regulator PID ma również inne ograniczenia, istotne w sterowaniu systemami HVAC.

W nowoczesnych budynkach systemy te są coraz bardziej skomplikowane i charakteryzują się wieloma współzależnościami, ponadto od systemu sterowania oczekuje się, aby funkcjonowanie budynku jako całości było nie tylko stabilne, ale i optymalne – często pod kątem kilku kryteriów (np. minimalizacja emisji zanieczyszczeń, kosztu eksploatacji itp.). Przekracza to możliwości oferowane przez algorytmy PID, stąd obserwuje się aktualnie stosowanie nowych, bardziej złożonych metod sterowania systemami technicznego wyposażenia budynków. Należą do nich przede wszystkim sterowanie predykcyjne, sterowanie oparte na logice zbiorów rozmytych (ang. *Fuzzy Logic*) oraz zastosowanie sieci neuronowych (ang. *Neural Networks*). Regulatory oparte na algorytmie PID mogą współdziałać z nowymi strategiami sterowania np. w ten sposób, że regulator PID utrzymuje na stabilnym poziomie parametr operacyjny instalacji grzewczej, a nadrzędne sterowanie predykcyjne dostarcza do regulatora właściwą w danym momencie wartość zadaną i ewentualnie koryguje parametry pracy regulatora. Celem jest uwzględnienie w sterowaniu stref nieczułości, które w istotny sposób prowadzą do redukcji zapotrzebowania na energię (rys. 15.).

Podsumowanie

Spełnienie coraz bardziej rygorystycznych, niekiedy krańcowo niskich, wymagań w zakresie zużycia energii dla systemów HVAC i jednocześnie wysokich standardów komfortu klimatycznego implikuje przemiany strukturalne tych systemów, a także szereg nowych wyzwań. Pierwszym z nich jest ograniczenie obciążeń cieplnych i chłodniczych dla systemów HVAC. Jest to możliwe pod warunkiem odpowiedniego zaprojektowania budynku, w tym optymalnej pojemności cieplnej i w konsekwencji uzyskania wymaganej charakterystyki energetycznej. Istotne jest tutaj uzyskanie odpowiedniej szczelności powietrznej i obniżenie strat ciepła wentylacji, zwiększenie biernego wykorzystania energii promieniowania słonecznego i wewnętrznych

zysków ciepła w okresie zimowym oraz zmniejszenie zysków od promieniowania słonecznego w okresie letnim.

Kolejne wyzwania dotyczą innowacyjnych rozwiązań systemów HVAC w zakresie techniki instalacyjnej grzewczej, chłodniczej, wentylacyjnej oraz konwersji energii. Kluczowym elementem tych rozwiązań jest zastosowanie systemów ogrzewania i chłodzenia płaszczyznowego, w tym stropów aktywowanych termicznie współpracujących z pompami ciepła lub wykorzystujących pasywne chłodzenie.

Kolejnym istotnym elementem jest tutaj system powietrzny realizujący zmienny przepływ powietrza według potrzeb DCV. Wspólnym elementem wszystkich systemów jest wysokoefektywny odzysk ciepła oraz wykorzystanie wymienników gruntowych do wstępnego ochładzania lub podgrzewania powietrza wentylacyjnego.

Bardzo ważnym i integrującym elementem we wszystkich przedstawionych innowacyjnych rozwiązaniach systemów HVAC jest system sterowania i automatycznej regulacji, który z jednej strony zapewnia utrzymanie odpowiedniego komfortu cieplnego i jakości powietrza, a z drugiej realizuje energooszczędne algorytmy sterowania. ■

Literatura

- [1] Fanger P.O.: Thermal Comfort. Analysis and Applications in Environmental Engineering, McGraw-Hill Inc., New York US, 1973.
- [2] Nicol JF, Humphreys MA, Sykes O, Roaf S.: Standards for thermal comfort: indoor air temperature standards for the 21st century. London: Chapman & Hall; 1995.
- [3] Nicol JF, Humphreys MA.: Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. Energy Build 2002;34:563-72.
- [4] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (wersja przekształcona), Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 153/13.
- [5] Mańkowski S., Szczechowiak E.: Strategiczny projekt badawczy „Zintegrowany system zmniejszenia eksploatacyjnej energochłonności budynków – Opracowanie optymalnych energetycznie typowych rozwiązań strukturalno-materiałowych i instalacyjnych budynków”, Politechnika Poznańska, Poznań 2013.
- [6] PN-EN 15251: Kryteria środowiska wewnętrznego, obejmujące warunki cieplne, jakość powietrza wewnętrznego, oświetlenie i hałas.
- [7] Ferrari S., Zanutto V.: Adaptive comfort: Analysis and application of the main indices, Building and Environment 49 (2012) 25-32.
- [8] Humphreys MA. Thermal comfort temperatures worldwide – the current position. Renew Energy 1996; 8:139-44.
- [9] Brager GS, deDear RJ. Thermal adaptation in the built environment: a literature review. Energy Build 1998; 27:83-96.
- [10] Materiały techniczne firmy Sauter, dostęp marzec 2017 <http://www.sauter-controls.com>.
- [11] Szczechowiak E.: Przemiany strukturalne systemów HVAC w budynkach przyszłości, COW 46/1 (2015), 30-36.
- [12] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz. U. 2002 r. nr 75 poz. 690, z późn. zm.

Abstract. Structural evolution of systems responsible for comfort and indoor air quality. The article presents contemporary solutions of HVAC systems (Heating, Ventilation, Air Conditioning) responsible for comfort and air quality in the rooms. The comfort requirements, especially thermal comfort and indoor air quality, as well as the evolution of HVAC requirements are outlined. Innovative solutions for HVAC systems and their components, which meet these requirements, were presented. The analysis was conducted for different categories of buildings, including residential and public buildings.

Keywords: thermal comfort, indoor air quality (IAQ), contemporary solutions of HVAC, innovative solutions for HVAC

W artykule zaprezentowano współczesne rozwiązania struktur systemów ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji (HVAC – *Heating, Ventilation, Air Conditioning*) odpowiedzialnych za komfort i jakość powietrza w pomieszczeniach. Jako punkt wyjścia przedstawiono wymagania dotyczące komfortu klimatycznego, a zwłaszcza komfortu cieplnego i jakości powietrza, a także ewolucję wymagań w zakresie obniżania zapotrzebowania na energię systemów HVAC. Następnie zaprezentowano innowacyjne rozwiązania systemów HVAC oraz ich komponentów spełniających te wymagania. Analizę przeprowadzono dla różnych kategorii budynków, w tym mieszkalnych i użyteczności publicznej.

DAIKIN Sky Air-A serii BLUEEVOLUTION

System klimatyzacyjny DAIKIN Sky Air serii BLUEEVOLUTION z funkcją automatycznego czyszczenia przeznaczony jest do obiektów komercyjnych: biur, sklepów czy restauracji. Dzięki niewielkiej przestrzeni montażowej w podwieszanych stropach zapewnia oszczędność powierzchni użytkowej. Zastosowana w nim unikalna funkcja samoczyszcząca umożliwia usuwanie kurzu ze zbiornika bez demontażu panelu. Główne cechy produktu to: wykorzystanie czynnika chłodniczego R32, redukcja GWP 675 – o 68%, większa efektywność energetyczna i łatwiejsza obsługa, wylot powietrza 360°, głośność na poziomie 27–29 dB(A), szybki, łatwy montaż i konserwacja, mniejsza ilość czynnika chłodniczego, łatwy dostęp serwisowy, najniższa wysokość instalacji – 214 mm.

Urządzenie posiada Atest Higieniczny PZH, CE.



Fot. arch. Daikin Airconditioning Poland Sp. z o.o.

Klimor EVO

Centrala wentylacyjno-klimatyzacyjna KLIMOR EVO to nowa linia produktowa, która charakteryzuje się wszechstronnością zastosowania pod kątem warunków klimatycznych, kubatury i charakteru budynku. Z uwagi na wykorzystanie do budowy KLIMOR EVO technologii kompozytowej oraz rozwiązań redukujących mostki ciepła produkt wyróżnia się wysokimi klasami izolacyjności termicznej. Dostęp do pełnej informacji technicznej o produkcie, jego konfiguracji w odniesieniu do potrzeb użytkownika oraz specyfiki budynku można uzyskać poprzez autorską platformę internetową KLIMOR AIR DESIGNER (KAD) on line. Więcej szczegółów na: www.klimor.pl

*produkt dostępny od II połowy 2018 roku



Fot. arch. Klimor Sp. z o.o. Spk.