

CHŁODNICTWO & klimatyzacja

15 lat na rynku
ponad 150 wydań

MIESIĘCZNIK TECHNICZNY DLA PRAKTYKÓW

MAJ 2011 5 (152)

CHŁODNICTWO • KLIMATYZACJA • WENTYLACJA • POMPY CIEPŁA

W NUMERZE: • Agregaty wody lodowej chłodzone wodą • Wieże chłodnicze, chłodnie wyparne
• Instalacje z R744 • Płyny niezamarzające w klimatyzacji i chłodnictwie • Systemy centralno decentralne
• Wentylacja garaży zamkniętych • Wentylatory promieniowe

TOSHIBA Leading Innovation >>>



TOSHIBA AIRCONDITIONING
Advancing the **eco**-evolution



**Jakość.
Prestiż.
Komfort.**

Carrier Polska Sp. z o.o., ul. Postępu 14, 02 - 676 Warszawa, tel. (022) 33 60 800, fax (022) 33 60 801, www.carrier.com.pl



Nowoczesne energooszczędne technologie w klimatyzacji i wentylacji – cz. 1

Tomasz WĄLEK^{*)}, Jarosław JUSZCZYK^{**)}

Przyjęcie przez Polskę dyrektyw w zakresie poszanowania energii, a także wprowadzenie krajowych regulacji dotyczących redukcji zużycia paliw pierwotnych i ochrony środowiska [1-4] oraz podwyższenie standardów w budownictwie [5], spowodowało powstanie priorytetów ukierunkowanych na ograniczenie energochłonności nowoprojektowanych budynków oraz podniesienie komfortu i ergonomii przebywających tam osób.

Coraz skuteczniejsza izolacja termiczna budynków powoduje w efekcie znaczne podwyższenie bilansu cieplnego w okresie letnim i wymaga zmiany podejścia projektantów do zagadnień związanych z prawidłową klimatyzacją i wentylacją nowoczesnych obiektów.

Przed projektantami branży HVAC i architektami stało nowe wyzwanie związane z projektowaniem i nadzorowaniem wykonania skutecznych układów klimatyzacji i wentylacji. Dodatkowym istotnym aspektem, stało się uwzględnianie ograniczeń, jakie występują w odniesieniu do dostępności energii elektrycznej zasilającej układy klimatyzacyjne. Wymusza to odejście od energochłonnych układów klimatyzacji elektrycznej. Nowoczesne rozwiązania klimatyzacyjno-wentylacyjne proponują wentylację mechaniczną z wykorzystaniem blokowego akumulacyjnego odzysku ciepła, powiązaną z energooszczędną, zcentralizowaną klimatyzacją wielostrefową, wykorzystującą jako źródło energii gaz ziemny (rys. 1).

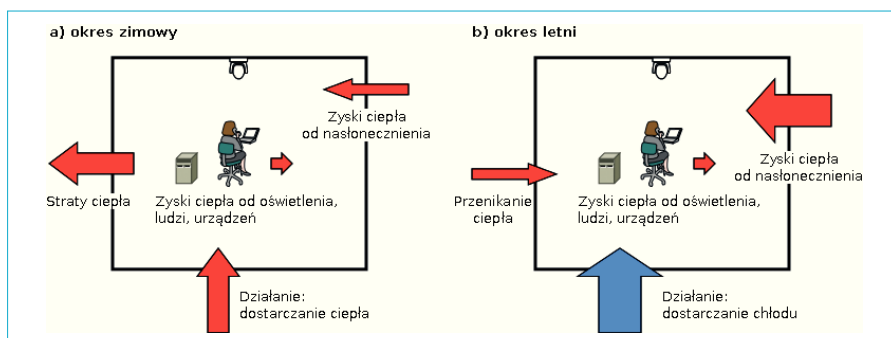
Pojawienie się na rynku nowoczesnych materiałów budowlanych o niskich współczynnikach przenikalności cieplnej, a także zaostrożenie wymogów w odniesieniu do strat cieplnych budynku spowodowało



Rys. 1. Jedna z największych instalacji gazowych pomp ciepła na świecie – około 3,3 MW mocy chłodniczej i 3,8 MW mocy grzewczej – zainstalowana na jednym z obiektów w Korei Południowej

zmianę w stylu projektowania budynków, zwłaszcza obiektów takich jak biurowce, banki, salony sprzedaży, hale wystawienne, hotele itp. W tego typu obiektach straty ciepła w okresie zimowym zostały znacznie zredukowane (rys. 2a), jednak wzrosły zyski cieplne w okresie letnim ze względu na zwiększenie udziału przeszklonych powierzchni ścian budynków (rys. 2b).

Prowadzi to do sytuacji, w której nowo projektowane budynki coraz częściej charakteryzują się zapotrzebowaniem na chłód znacznie przewyższającym zapotrzebowanie na ciepło, a projektowanie wydajnych i energooszczędnych układów klimatyzacji pomieszczeń powiązane ze sprawnym wentylowaniem staje się koniecznością a nie tylko sprawą komfortu [6].



Rys. 2. Wymiana ciepła z otoczeniem w nowoczesnym budownictwie

AUTOR

^{*)} dr inż. Tomasz WĄLEK – Instytut Inżynierii Produkcji, Politechnika Śląska

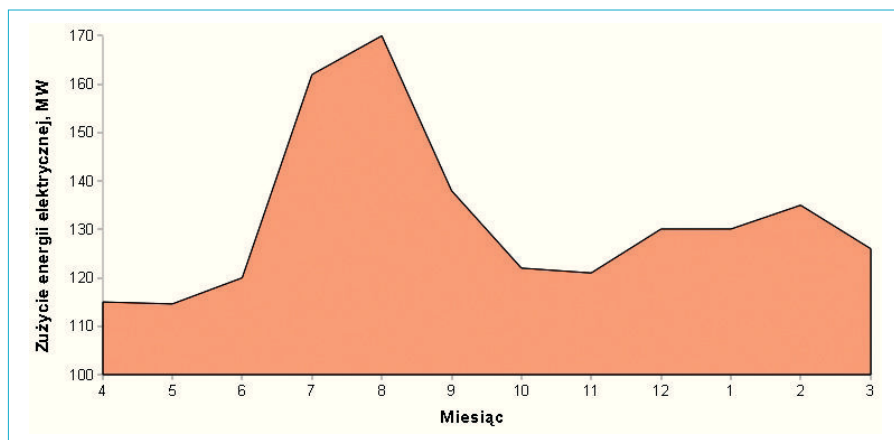
^{**)} mgr inż. Jarosław JUSZCZYK – GHP Poland sp. z o.o.

Zdecydowana większość stosowanych do tej pory w Polsce rozwiązań klimatyzacyjnych działa w oparciu o wykorzystanie energii elektrycznej. Zaspokajana w ten sposób potrzeba klimatyzowania pomieszczeń w godzinach dziennych w okresie letnim wiąże się coraz częściej z powstawaniem pików nasilonego wzrostu obciążenia sieci energetycznej (rys. 3).

Głównie z tego powodu moc dostępna obecnie w elektrowniach staje się niewystarczająca dla dalszego rozwoju przemysłu i budownictwa. Prowadzi to do ograniczania mocy przyłączeniowej energii elektrycznej dla nowopowstających obiektów i do wzrostu jej cen. Powiązanie tej sytuacji z rosnącym zapotrzebowaniem na klimatyzację budynków oznacza, że rozważanie perspektywy rozwoju technologii klimatyzacyjnych musi być powiązane z analizą dostępności energii zasilających te technologie.

Klimatyzacja z wykorzystaniem gazu

Rosnące potrzeby klimatyzacji, a jednocześnie występowanie ograniczeń w dostępnej mocy przyłączeniowej energii elektrycznej obserwowane były w Japonii w latach 80-tych XX wieku. Spowodowało to zlecenie i finansowanie przez rząd japoński projektu badawczego mającego na celu opracowanie nowego rozwiązania pozwalającego na wytworzenie wymaganej ilości energii chłodniczej i ciepłej przy jednoczesnym ograniczeniu zużycia energii elektrycznej oraz redukcji emisji zanieczyszczeń do atmosfery. W tym czasie badano również możliwości wykorzystywania układów absorbcyjnych pomp ciepła, lecz charakter tego rozwiązania kwalifikował je raczej do zastosowań w przemyśle, gdzie



Rys. 3. Piki wzmoczonego zużycia energii elektrycznej w miesiącach letnich [7]

występują duże ilości ciepła odpadowego, aniżeli do zastosowań w budownictwie użytkowym.

W wyniku kilkuletnich prac badawczych opracowana została nowa technologia gazowych pomp ciepła (GHP – Gas Heat Pumps), polegająca na wykorzystaniu gazowego silnika spalinowego w układzie pompy ciepła działającej w systemie zmiennego przepływu czynnika chłodniczego (VRF – Variable Refrigerant Flow). Gazowe pompy ciepła umożliwiły realizację funkcji ogrzewania i chłodzenia oraz produkcję ciepłej wody użytkowej w obrębie jednego urządzenia, z wykorzystaniem gazu ziemnego lub LPG. Pozwoliło to na znaczne zmniejszenie zużycia energii elektrycznej w okresach największego zapotrzebowania na energię. Dodatkowo uzyskano zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych oraz obniżenie kosztów projektowania i wykonania instalacji zapewniającej realizację funkcji ogrzewania i klimatyzacji w jednym układzie. Przez kolejne lata technologia GHP

była rozwijana i dopracowywana w laboratoriach badawczych AISIN TOYOTA i na przestrzeni dwudziestu lat znalazła zastosowanie w ponad 60% wszystkich obiektów instytucjonalnych i przemysłowych w Japonii.

W roku 2001 rząd japoński udostępnił technologię GHP Europie, gdzie do dnia dzisiejszego zostało zaprojektowanych i wykonanych ponad 2000 instalacji z wykorzystaniem gazowych pomp ciepła GHP. Skuteczność technologii GHP potwierdziła się w Japonii i w Europie, a w chwili obecnej trafia ona także do Polski, gdzie istnieje duży potencjał jej zastosowań zarówno ze względu na możliwości zmniejszenia zużycia energii elektrycznej i redukcji kosztów eksploatacji, jak i na znaczne ograniczenie emisji zanieczyszczeń gazowych do atmosfery.

Zasada działania gazowych pomp ciepła

Technologia gazowych pomp ciepła GHP polega na wykorzystaniu silnika spa-



GAZOWE POMPY CIEPŁA GHP

- ogrzewanie, klimatyzacja i produkcja c.w.u.
- zasilanie gazem ziemnym lub LPG
- wysoka wydajność układu
- obniżenie kosztów eksploatacji
- trwałość i niezawodność urządzeń
- rozszerzona gwarancja do 5 lat

KOGENERACJA MAŁEJ MOCY

- produkcja energii elektrycznej i ciepłej
- zasilanie gazem ziemnym lub LPG
- modulacja mocy wyjściowej
- kompaktowa budowa jednostki
- wbudowany układ chłodzenia
- rozszerzona gwarancja do 5 lat



AISIN

member of **TOYOTA** group

Energooszczędne rozwiązanie dla:

- hoteli, biurowców, banków,
- urzędów, obiektów sportowych,
- zakładów produkcyjnych
- salonów samochodowych,
- centrów handlowych,
- innych obiektów

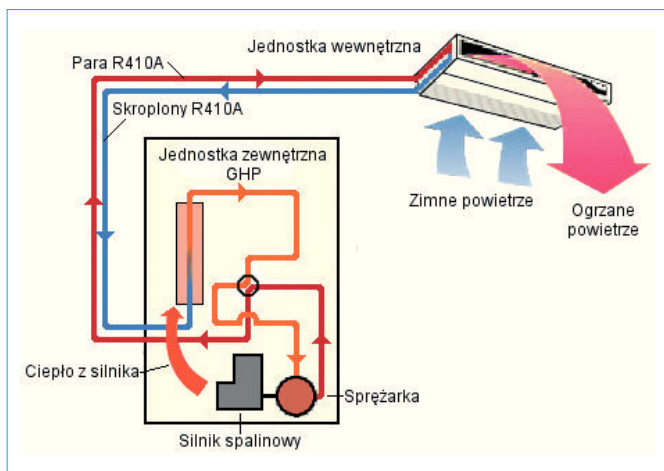
GHP POLAND

Gas Heat Pumps - Gazowe pompy ciepła

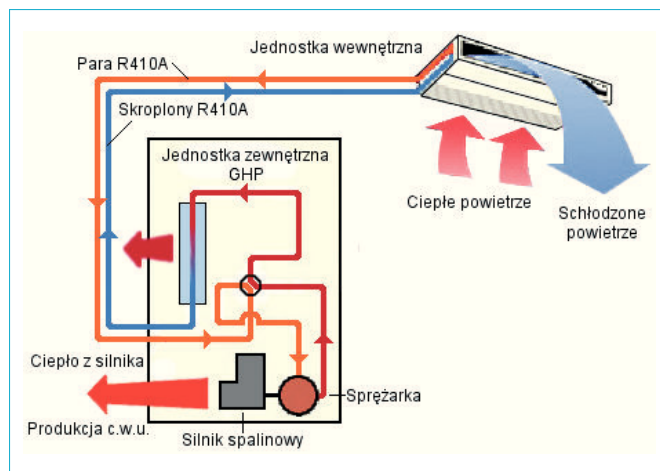
www.aisin.pl

Dystrybucja w Polsce, doradztwo techniczne i handlowe:

GHP Poland Sp. z o.o., ul. Bojkowska 37, 44-100 Gliwice, tel.: 32 700 7875, biuro@ghp-poland.com, www.aisin.pl



Rys. 4. Zasada działania gazowej pompy ciepła GHP w trybie ogrzewania



Rys. 5. Zasada działania gazowej pompy ciepła GHP w trybie chłodzenia

linowego zasilanego gazem do napędu zespołu sprężarek pracujących w wysokowydajnym układzie pompy ciepła ze zmiennym przepływem czynnika chłodniczego VRF. Ciepło powstające podczas pracy silnika wykorzystywane jest w tym układzie jako źródło ciepła zasilającego obieg pompy ciepła w trybie ogrzewania, a w trybie chłodzenia pozwala na wyeliminowanie strat związanych z procesem odszraniania parownika, które występują w tradycyjnych układach elektrycznych pomp ciepła. Zastosowany w układzie GHP silnik spalinowy różni się od konstrukcji stosowanych w branży motoryzacyjnej. Został on zaprojektowany w Centrum Badawczo-Rozwojowym TOYOTA specjalnie do zastosowania jako napęd w gazowych pompach ciepła. Silnik ten pracuje w cyklu Millera, który charakteryzuje się skróconym suwem sprężania oraz niższym ciśnieniem sprężania, i w związku z tym niższymi wartościami temperatury spalania. Konstrukcja umożliwia znaczne podniesienie wydajności silnika oraz redukcję emisji NO_x w porównaniu z tradycyjnymi silnikami spalinowymi pracującymi w cyklu Otto. Silnik w układzie GHP może być zasilany gazem ziemnym lub LPG. Wysoka wydajność całego układu pompy ciepła dodatkowo jest tu zwiększona poprzez zastosowanie modulacji obrotów silnika i współpracę z dołączanymi za pomocą sprzęgieł elektromagnetycznych sprężarkami, w zależności od bieżącego obciążenia układu. W układzie pompy ciepła GHP zastosowano czynnik chłodniczy R410A najnowszej generacji, co pozwala na najbardziej efektywny przebieg procesu skraplania i odparowania w cyklu grzewczym i chłodniczym.

Podczas pracy pompy ciepła w trybie ogrzewania czynnik R410A podgrzewany jest z wykorzystaniem ciepła pochodzącego z układu chłodzenia silnika spalinowego, który w tym przypadku działa jako dolne

źródło ciepła. Zasada działania gazowej pompy ciepła GHP w trybie ogrzewania i chłodzenia została przedstawiona na rysunkach 4 i 5.

W trybie chłodzenia ciepło wytwarzane w trakcie pracy silnika może być wykorzystywane do produkcji ciepłej wody użytkowej, a także pozwala na ciągłą pracę układu bez przerw na odszranianie.

Współczynniki wydajności układów klimatyzacyjnych

W celu porównania różnych systemów grzewczych i klimatyzacyjnych działających z wykorzystaniem mechanizmu pompy ciepła zasilanej elektrycznie, określone zostały współczynniki charakteryzujące proces przetwarzania energii pierwotnej i jej konwersji na energię wykorzystywaną do napędu sprężarek oraz dostarczania wytworzonej energii do budynku.

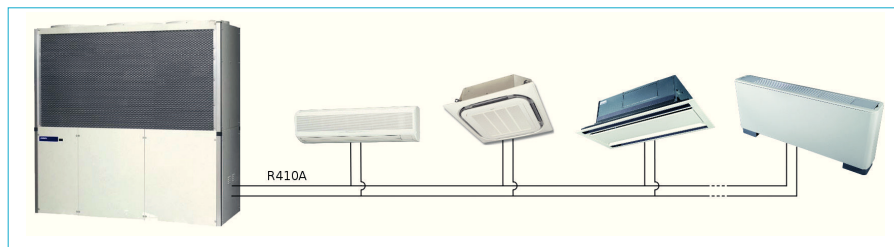
Współczynnik wydajności COP obliczany jest jako stosunek uzyskanej na wyjściu zmiany ciepłej do pracy wymaganej do napędu sprężarki. Uwzględnia on sprawność termodynamiczną układu (ma na niego wpływ sprężanie czynnika, parametry czynnika, skraplanie, odparowanie, wymiana ciepła itp.). Nie obejmuje jednak bilansu sposobu wytworzenia energii napędzającej sprężarkę. Tak więc nie jest tu brane pod uwagę jak wytworzona została energia napędzająca sprężarkę i jakie były związane z tym nakłady energetyczne.

Jeśli porównamy przy użyciu COP elektryczne pompy ciepła EHP i gazowe pompy ciepła GHP, oba układy pracujące na czynniku R410A i o analogicznej budowie wymienników, sprężarek etc., to de facto jest to identyczny obieg termodynamiczny, o takim samym współczynniku COP. Natomiast różnica będzie polegała na tym, że w przypadku GHP mniej energii jest zużywane do uzyskania takiej samej mocy potrzebnej do zasilania sprężarki.

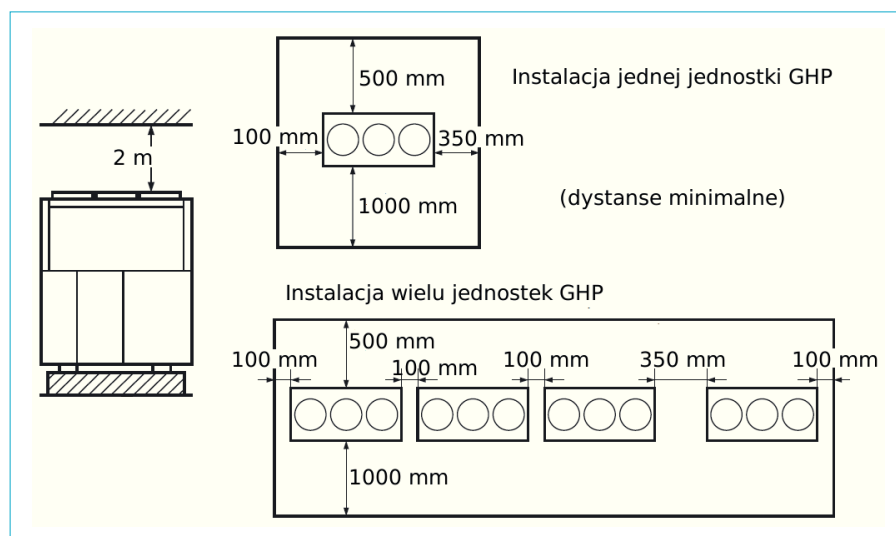
Dodatkowo ciepło z chłodzenia bloku silnika spalinowego wykorzystywane jest jako dolne źródło ciepła w obiegu termodynamicznym pompy ciepła oraz służy do podgrzewania ciepłej wody użytkowej. Powoduje to znaczne zwiększenie wartości COP układów GHP w zakresie niskich wartości temperatury, gdzie wydajność układów EHP drastycznie spada. Przy temperaturze otoczenia poniżej $+7^\circ\text{C}$ powietrze zewnętrzne staje się niewystarczające jako dolne źródło ciepła. W celu podniesienia wydajności układów EHP przy niskich wartościach temperatury stosowane są wymienniki omywane ciepłą wodą. Takie rozwiązanie wymaga jednak doprowadzenia do pętli wodnej ciepła z zewnętrznego źródła (np. PEC), co radykalnie zmniejsza efektywność ekonomiczną takiego układu.

Współczynnik COP obliczany jest jako wartość chwilowa. Różni się pod tym względem od współczynnika efektywności energetycznej EER i sezonowego współczynnika efektywności energetycznej SEER, które obliczane są dla pewnego czasu pracy urządzenia (kilkanaście godzin pracy w stałych warunkach dla EER i okres całoroczny w zmiennych warunkach dla SEER).

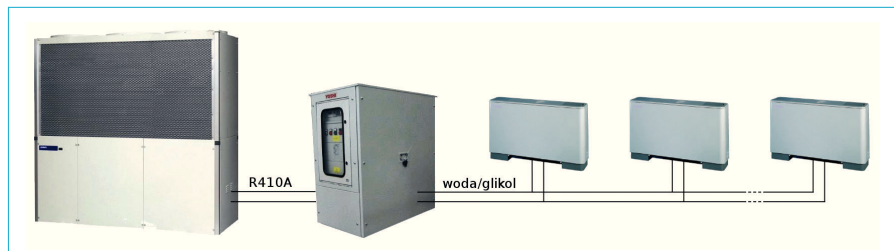
Współczynniki EER i SEER z definicji mogą być stosowane do porównywania układów elektrycznych. Gdyby jednak próbować odnieść je do gazowej klimatyzacji GHP, gdzie energia pierwotna w postaci gazu przetwarzana jest bezpośrednio na miejscu jej wykorzystania, to aby porównanie było całościowe należałoby elektryczne układy objąć szerszym bilansem obliczeń. Bilans taki musiałby uwzględniać także ilość węgla spalonego w elektrowni, przetworzenie ciepła na parę, pary na energię mechaniczną w turbinie, przekazanie energii mechanicznej do generatora elektrycznego i wreszcie straty przesyłu



Rys. 6. Połączenie jednostki zewnętrznej GHP z różnymi typami odbiorników bezpośredniego odparowania Dx



Rys. 7. Dystanse montażowe gazowych pomp ciepła GHP



Rys. 8. Połączenie jednostki zewnętrznej GHP z odbiornikami układu wodnego poprzez jednostkę wymiennikową AWS

energii na drodze do użytkownika końcowego. Taki zakres bilansu uwzględniany jest we współczynniku Resource COP [8]. W przypadku gazowych pomp ciepła mamy do czynienia ze znacznie mniejszą liczbą konwersji energii – jedynie spalanie gazu i wytworzenie w ten sposób energii mechanicznej napędzającej już bezpośrednio sprężarki.

Przy takim zakresie bilansu gazowe pompy ciepła pozostają bezkonkurencyjne w układach klimatyzacji. Jednak tak całościowe współczynniki wydajności uwzględniające zużycie zasobów pierwotnych nie są kalkulowane i podawane ze względu na dotychczasową dominację układów elektrycznych w klimatyzacji. Dlatego też producenci poszczególnych rozwiązań elektrycznych starają się często wykorzystywać wybrane fragmentaryczne

współczynniki, w których dane rozwiązanie wypada pozornie najkorzystniej.

Odbiór energii wytwarzanej w gazowych pompach ciepła

Energia wytwarzana w układzie gazowych pomp ciepła może być przekazywana do pomieszczeń w budynku poprzez układ bezpośredniego odparowania Dx (Direct Expansion), układ wodny AWS (Air-Water System) lub układ powietrzny z wykorzystaniem central wentylacyjnych. Ponadto energia cieplna z silnika spalinowego może być wykorzystywana do produkcji ciepłej wody użytkowej z zastosowaniem układu HWK (Hot Water Kit). Układy Dx, AWS i powietrzny mogą być wykorzystywane niezależnie lub mogą być łączone w zależności od specyfiki projektu.

Układ bezpośredniego odparowania Dx

W układzie bezpośredniego odparowania gazowa pompa ciepła GHP jest podłączona bezpośrednio do układu wewnętrznych odbiorników ciepła/chłodu za pomocą instalacji z czynnikiem R410A (rys. 6). Czynnik ten transportowany jest na całej długości instalacji do odbiorników wewnętrznych, w których w zależności od wybranego trybu pracy (ogrzewanie lub chłodzenie) następuje odparowanie lub skroplenie czynnika, a tym samym odpowiednia wymiana ciepła. Do jednego urządzenia GHP może być podłączonych do 41 odbiorników wewnętrznych różnego typu (np. jednostki sufitowe, ściennie, przyściennowe). Każdy z odbiorników może posiadać niezależne zdalne sterowanie, a dodatkowo cały układ może podlegać kontroli i regulacji ze sterownika centralnego sterowania.

Układ rozprowadzenia czynnika R410A do odbiorników wewnętrznych może być realizowany przy użyciu rozgałęźników, kolektorów lub kombinacji tych elementów.

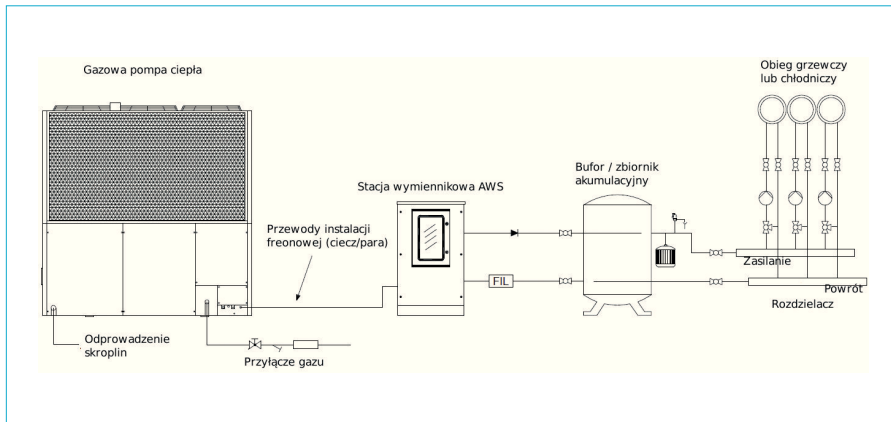
Umieszczenie jednostek gazowych pomp ciepła względem innych jednostek oraz ścian i innych płaszczyzn wymaga zachowania minimalnych odstępów przedstawionych na rysunku 7.

Układ wodny AWS

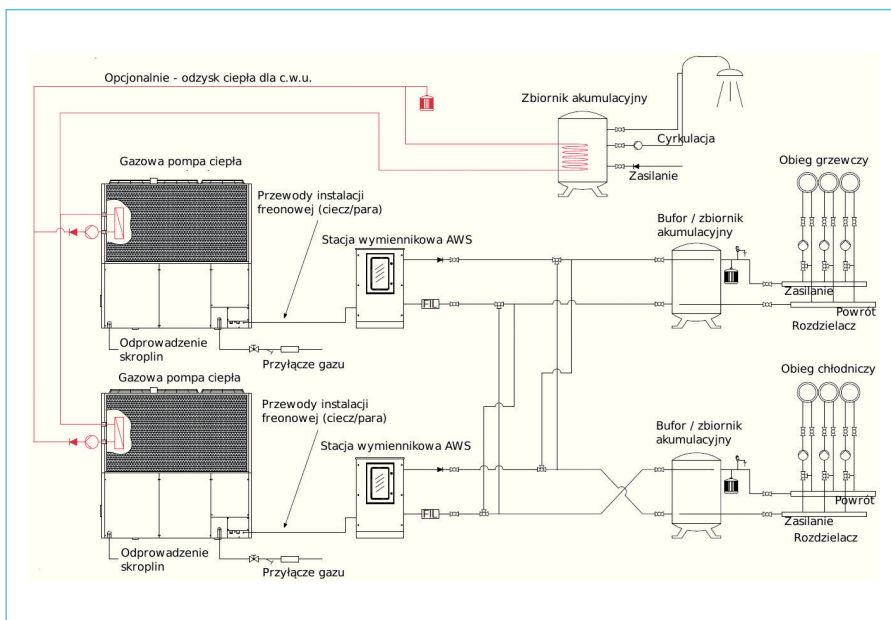
W układzie wodnym zewnętrzna jednostka GHP podłączona jest do stacji wymiennikowej AWS, która z kolei połączona jest z układem odbiorników wewnątrz budynku (rys. 8). Przepływ energii pomiędzy jednostką zewnętrzną GHP a wymiennikiem AWS realizowany jest za pomocą obiegu czynnika R410A, natomiast za wymiennikiem AWS następuje przekazanie energii do budynku za pomocą obiegu wody/glikolu. Układ ten, ze względu na temperaturę wylotu/powrotu czynnika w układzie wodnym, idealnie nadaje się do zastosowania w połączeniu z wymiennikami podłogowymi lub konwektorami wentylatorowymi. W trybie ogrzewania wymiennik AWS produkuje wodę gorącą (45,5/40°C), natomiast w trybie chłodzenia wytwarza wodę lodową (7/12°C). Jedna jednostka AWS może być podłączona do jednej jednostki GHP o odpowiedniej mocy.

Na rysunku 9 przedstawiono przykład instalacji standardowej w układzie AWS z jedną pompą ciepła. W systemie tym możliwe jest realizowanie w jednym czasie albo ogrzewania, albo chłodzenia. Zbiornik akumulacyjny równoważy hydraulicznie przepływy.

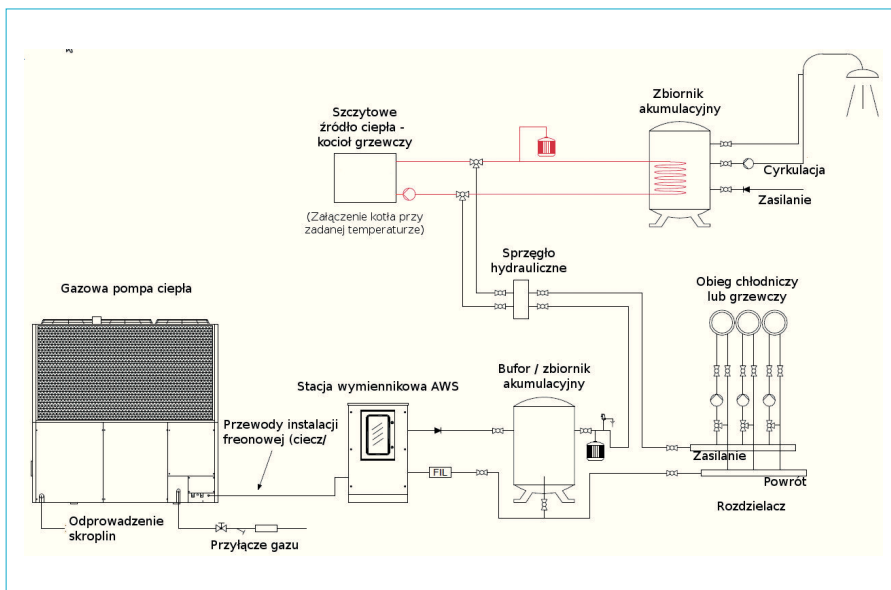
Na rysunku 10 przedstawiono instalację kaskadową gazowych pomp ciepła. Jest to przykład rozdzielenia obiegu ogrzewania od obiegu chłodzenia, które mogą jed-



Rys. 9. Podstawowy schemat podłączenia gazowej pompy ciepła GHP w układzie wodnym AWS



Rys. 10. Schemat podłączenia kaskady gazowych pomp ciepła GHP w układzie wodnym AWS



Rys. 11. Schemat podłączenia gazowej pompy ciepła GHP w układzie wodnym AWS ze szczytowo załączanym kotłem grzewczym

nocześnie zasilać różne strefy budynku. Obydwie gazowe pompy ciepła pozwalają dodatkowo w tym układzie na odzysk energii cieplnej z silnika na potrzeby produkcji ciepłej wody użytkowej z użyciem modułu HWK.

Na rysunku 11 przedstawiona została instalacja gazowej pompy ciepła w układzie AWS z równolegle podłączonym zbiornikiem akumulacyjnym oraz szczytowo załączanym źródłem w postaci kotła grzewczego.

Układ powietrzny

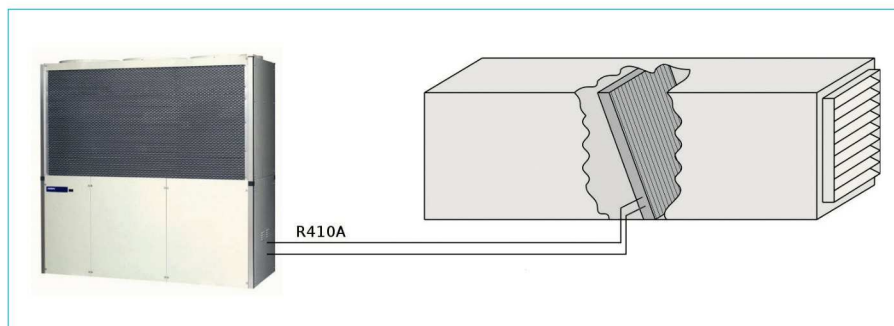
W systemie powietrznym zewnętrzna jednostka GHP pracująca z czynnikiem R410A podłączona jest do wymiennika Dx umieszczonego w centrali wentylacyjnej, przez co przekazanie energii do budynku następuje za pomocą systemu nawiewu przez kanały wentylacyjne (rys. 12). Jest to najbardziej wydajny energetycznie układ klimatyzacyjny i idealnie nadaje się do zastosowania w ogrzewaniu/chłodzeniu dużych hal lub obiektów. Jeden wymiennik centrali wentylacyjnej może być podłączony do jednej jednostki GHP o odpowiedniej mocy.

Połączenie gazowych pomp ciepła z centralami wentylacyjnymi o dużych zdolnościach odzysku energii pozwala na zapewnienie wydajnej i ekonomicznej klimatyzacji w projektowanych budynkach. Istotne staje się tu położenie nacisku na wykorzystanie nowoczesnych central z wydajną rekuperacją realizowaną np. w układzie blokowych wymienników akumulacyjnych, które charakteryzują się sprawnością odzysku ciepła powyżej 90%, tzn. dużo większą niż powszechne układy wymienników krzyżowych. Układy blokowych wymienników akumulacyjnych pozwalają dodatkowo na redukcję zużycia energii elektrycznej w stosunku do wymienników rotacyjnych. Rozwiązania tego typu są obecnie udostępniane przez największych europejskich producentów central wentylacyjnych, takich jak Euroklima.

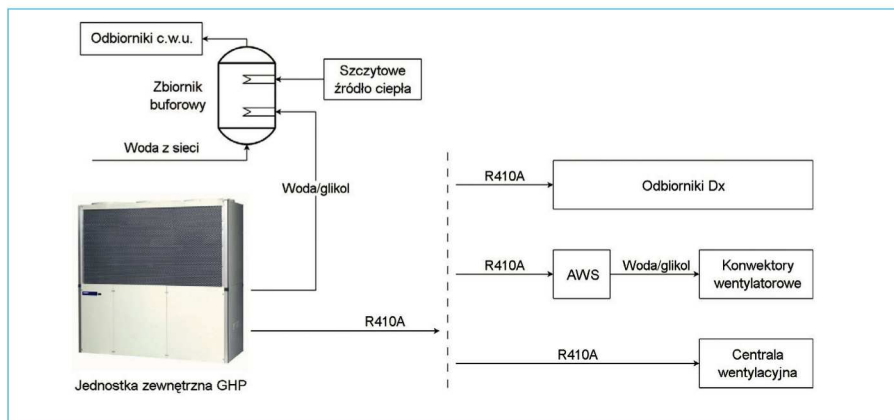
W układzie połączenia gazowej pompy ciepła z wymiennikiem centrali wentylacyjnej, GHP dostarcza do centrali zarówno chłód jak i ciepło, co oznacza możliwość rezygnacji z palnikowych układów stosowanych w centralach.

Moduł ciepłej wody użytkowej HWK

Każda z zewnętrznych jednostek GHP, niezależnie od tego, w jakim układzie odbioru energii zostanie zastosowana (Dx, AWS, układ powietrzny), może zostać wykorzystana jednocześnie do produkcji ciepłej wody użytkowej (rys. 13). Układ odzysku ciepła z obiegu chłodzenia silnika gazowego wbudowany jest opcjonalnie w urządzeniu GHP. Realizowany w ten spo-



Rys. 12. Połączenie jednostki zewnętrznej GHP z wymiennikiem centrali wentylacyjnej



Rys. 13. Połączenie jednostki zewnętrznej GHP pracującej w dowolnym układzie odbioru energii z układem produkcji ciepłej wody użytkowej HWK

sób odzysk ciepła pozwala na maksymalizację korzyści możliwych do osiągnięcia przy stosowaniu gazowych pomp ciepła. Przekierowanie strumienia ciepła do obiegu ciepłej wody użytkowej możliwe jest zarówno w trybie chłodzenia jak i ogrzewania, jednak w trybie ogrzewania część ciepła silnika gazowego wykorzystywana jest jako źródło ciepła pobieranego przez obieg pompy ciepła i przy niskiej temperaturze zewnętrznej większa część ciepła wykorzystywana jest na potrzeby zasilania cyklu pompy ciepła. W tym przypadku ciepło nie jest przekazywane do układu ciepłej wody użytkowej i dlatego też stosuje się w tym układzie dodatkowe, szczytowe źródło ciepła. Układ HWK wytwarza ciepłą wodę użytkową o parametrach 60/55°C w ilości od 1700 do 4300 dm³/h (w zależności od zastosowanego modelu urządzeń GHP). Uzyskanie tej ilości c.w.u. umożliwia rezygnację w projekcie z kosztownych instalacji alternatywnych źródeł energii, np. kolektorów słonecznych.

Literatura zostanie dołączona do drugiej części artykułu.

