

URZĄDZENIA ABSORPCYJNE MAŁEJ MOCY W SYSTEMACH GRZEWczyCH, CHŁODNICZYCH I KLIMATYZACYJNYCH

mgr inż. Jakub DOROSZKIEWICZ

Postępujący rozwój techniczny powoduje ciągły wzrost zapotrzebowania na energię, która wykorzystywana jest w różnego rodzaju procesach wytwórczych, jak również na potrzeby wytwarzania ciepła i chłodu. Zwiększające się zużycie energii skutkuje wzrostem powstających zanieczyszczeń oraz odpadów przy jej produkcji. Taka sytuacja powoduje ciągłe dążenie do poprawiania sprawności wytwarzania i użytkowania oraz wykorzystywania energii dotąd marnowanej. **Pompy ciepła**, to urządzenia, które pozwalają wykorzystać ciepło niskotemperaturowe do ogrzewania i produkcji C.W.U., zapewniając przy tym wysoką sprawność działania.

1. SYSTEMATYKA I BUDOWA POMP CIEPŁA

Pompa ciepła jest urządzeniem, które pobiera ciepło o temperaturze niższej i oddaje ciepło o temperaturze wyższej. Jej działanie zapewnia energia dostarczona w postaci oleju, gazu lub energii elektrycznej. Ze względu na sposób wymuszenia obiegu czynnika niskowrzącego w układzie, można wyróżnić różne odmiany tych urządzeń. Pompy ciepła absorpcyjne i adsorpcyjne zasilane są energią w postaci ciepła, która powoduje uwalnianie czynnika z absorbera. Istnieją również termoelektryczne pompy ciepła, w których wykorzystuje się tzw. efekt Peltiera. Stałe napięcie przyłożone do obwodu zbudowanego z dwóch półprzewodników powoduje ogrzanie się jednej spiny a ochłodzenie drugiej.

Obecnie powszechnie stosowane są **sprężarkowe pompy ciepła** zasilane energią elektryczną. Podstawowe elementy takiego urządzenia, to: wymienniki ciepła - skraplacz i parownik, zawór rozprężny (dławiący) oraz sprężarka, która najczęściej napędzana jest wspomnianą energią elektryczną. W układzie pompy ciepła krąży niskowrzący płyn roboczy (czynnik chłodniczy), który realizuje lewobieżny obieg termodynamiczny (rys.1). Płyn ten pobiera ciepło niskotemperaturowe w parowniku urządzenia (z powietrza, wody lub gruntu) i odparowuje w niskiej temperaturze. Jego pary zasysane są przez sprężarkę, która podnosi ich ciśnienie. Pary te sprężone do wysokiego ciśnienia osiągają odpowiednio podwyższoną temperaturę, co pozwala podgrzać wodę użytkową. Ciepło odbierane jest w skraplaczu, gdzie następuje skroplenie par czynnika. Następnie ciekły czynnik trafia do zaworu rozprężnego, w którym dławiony jest do niskiego ci-

śnienia i odpowiednio niskiej temperatury i dalej płynie do parownika urządzenia.

Efektywność działania pompy ciepła określana jest przez współczynnik **COP** (Coefficient Of Performance), będący stosunkiem ciepła odebranego w skraplaczu urządzenia do pracy włożonej do napędu sprężarki. Na wartość tego współczynnika wpływa wiele czynników (budowa pompy ciepła – rodzaj sprężarki, wymienników, czynnika chłodniczego, dodatkowych elementów itd.), głównie jednak temperatura dolnego i górnego źródła. Ogólnie im różnica między temperaturami dolnego i górnego źródła jest mniejsza, tym bardziej wydajna jest pompa ciepła, a zatem osiąga ona wyższą wartość współczynnika COP.

Bilans energetyczny pompy ciepła:

$$Q_k = Q_0 + L \text{ lub } q_k = q_0 + l$$

$$\text{COP} = Q_k / L \text{ lub } \text{COP} = q_k / l$$

gdzie:

Q_k – ilość ciepła odebrana w skraplaczu pompy ciepła,

Q_0 – ilość ciepła pobrana z dolnego źródła (w parowniku pompy ciepła),

L – moc elektryczna włożona do napędu sprężarki,

q_k – jednostkowa wydajność grzejna obiegu,

q_0 – jednostkowa ilość ciepła pobrana z dolnego źródła w parowniku pompy ciepła,

l – właściwa praca sprężania,

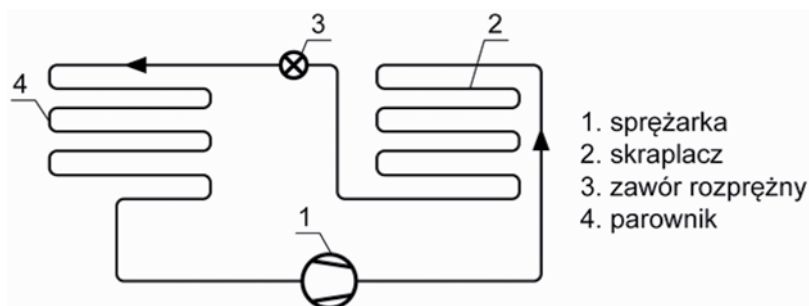
P_g – ciśnienie skraplania,

T_g – temperatura skraplania,

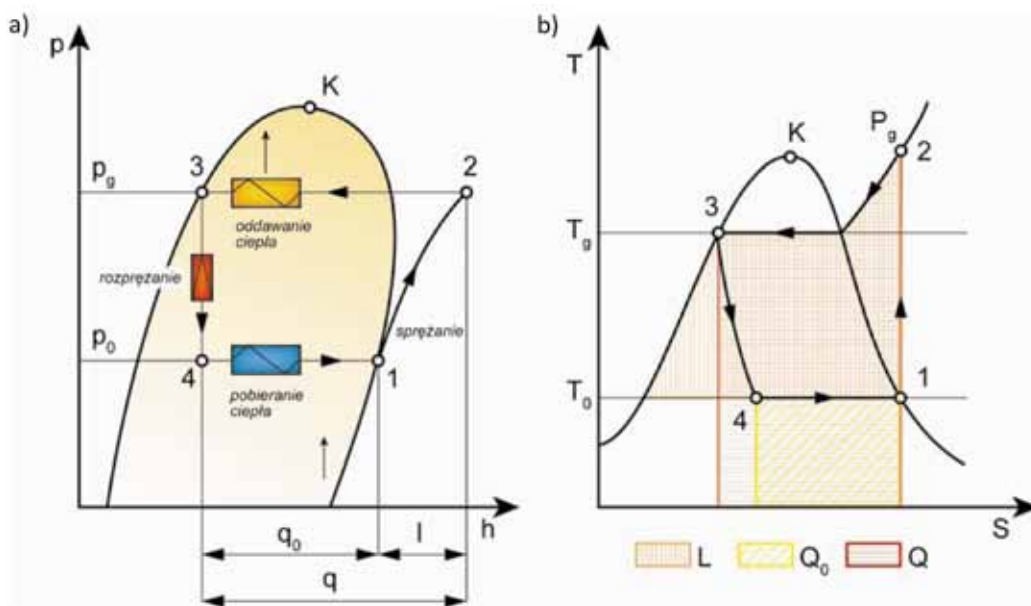
P_0 – ciśnienie parowania,

T_0 – temperatura parowania

Cykl pracy sprężarkowej pompy ciepła przedstawiany jest



Rys.1 Schemat ideowy sprężarkowej pompy ciepła



Rys.2 Obieg porównawczy Lindego w układzie współrzędnych: a) ciśnienie-entalpia jednostkowa, b) temperatura-entropia jednostkowa

zwykle na wykresie (p-h) lub (T-s), gdzie pokazane są realizowane w nim przemiany termodynamiczne (rys.2), a są to:

- 1-2 izentropowe sprężanie czynnika w sprężarce pompy ciepła,
- 2-3 izobaryczne skraplanie czynnika w skraplaczu (oddawanie ciepła do ogrzewanego medium),
- 3-4 izentalpowe dławienie czynnika w zaworze rozprężnym,
- 4-1 izobaryczne wrzenie czynnika w parowniku (pobieranie ciepła ze źródła ciepła niskotemperaturowego).

Pompy ciepła można klasyfikować według szeregu cech, a między innymi pod względem: budowy, stosowanych płynów roboczych, funkcji itd. Szereg różnych rozwiązań i dodatkowych elementów pozwala osiągnąć wysoką sprawność tych urządzeń i pozyskać ciepło z niskotemperaturowego dolnego źródła ciepła. Podstawową cechą pomp ciepła jest właśnie rodzaj dolnego źródła jakie one wykorzystują, ponieważ wpływa to na budowę zastosowanego urządzenia. Dolne źródło może stanowić woda (powierzchniowa, gruntowa, morska), grunt lub powietrze. Ciepło zawarte w dolnym źródle najczęściej pochodzi z energii słonecznej, która zostaje w nim zakumulowana lub z energii odpadowej z różnego rodzaju procesów (technologicznych, przetwórczych, wentylacji itd.). W zależności od rodzaju źródła dolnego, w rozwiązaniach technicznych tych urządzeń stosowane są różne konstrukcje parowników i skraplaczy.

1.1 Pompy ciepła wykorzystujące jako dolne źródło powietrze atmosferyczne

Powietrze atmosferyczne jest najłatwiej dostępnym zasobem energii odnawialnej i dlatego jest ono często stosowane do zasilania parowników pomp ciepła. Użyteczny przedział temperatury powietrza do zasilania parownika, to

4 do 15°C. Na rynku oferowane są również sprężarkowe pompy ciepła przystosowane do eksploatacji przy temperaturze powietrza zewnętrznego dochodzącej do -15°C. Warto zauważyć, że absorpcyjne pompy ciepła firmy Robur mogą pracować nawet do -30°C. Należy jednak pamiętać, że praca w takich warunkach jest mniej efektywna, a spadek mocy i sprawności zależy od rodzaju urządzenia. Spadek temperatury powietrza w parowniku pompy ciepła wynosi od 4 do 6 K, a jednostkowa

ilość ciepła pozyskana z 1 m³ powietrza od 1,4 do 2,2 Wh. Producenci powietrznych sprężarkowych pomp ciepła podają wartości współczynnika COP na poziomie do 4 przy sprzyjających warunkach. Należy jednak pamiętać, że takie wartości podawane są dla temperatury powietrza powyżej 7°C i temperatury wody grzewczej 35°C. Średnie wartości COP dla pomp korzystających z powietrza jako dolnego źródła wahają się pomiędzy 2 do 2,5.

Wadą powietrza jako dolnego źródła jest niestabilna temperatura, która zmienia się znacznie zarówno w trakcie doby, jak i w ciągu roku. W momencie, kiedy temperatura zewnętrzna jest najniższa i zapotrzebowanie na ciepło w budynku jest największe, pompa ciepła osiąga najniższą moc i sprawność. Problem stanowią również niskie współczynniki przejmowania ciepła po stronie powietrza, co powoduje konieczność stosowania wymienników lamelowych o znacznych powierzchniach oraz przetłaczanie dużych ilości powietrza przez parownik (ok. 10 000 m³/h w celu uzyskania 10 kW mocy grzewczej przy średniej temperaturze sezonowej). W Polsce minimalna temperatura obliczeniowa powietrza wynosi -24°C, a średnie temperatury sezonowe i miesięczne zależą od rejonu jak również od tego, jak ostra jest zima w danym sezonie i mogą również być niższe od zera. Taka sytuacja powoduje, że pompy powietrzne najczęściej dobiera się tak, aby pokryć tylko część zapotrzebowania na ciepło. W przypadku znacznego spadku temperatury załącza się źródło szczytowe, np. kocioł lub grzałkę elektryczną.

1.2 Pompy ciepła wykorzystujące wody powierzchniowe (stawy, jeziora, rzeki) i gruntowe

Woda jako źródło ciepła niskotemperaturowego posiada szczególnie korzystne właściwości, ponieważ charakteryzuje się znaczną pojemnością cieplną i wysokimi współczynnikami przejmowania ciepła. Jednostkowa ilość ciepła, jaką można uzyskać z 1 m³ wody wynosi od 4,5 do 4,9 kWh. Temperatura wody w zbiornikach otwartych w okolicach dna ma stałą wartość, która minimalnie osiąga 4°C.

W przypadku wód gruntowych, temperatura wody w zależności od rejonu oraz głębokości zalegania odpowiednich warstw wodonośnych, waha się w przedziale od 5 do 12°C. W celu pozyskania ciepła najczęściej wodę zatłacza się do parownika pompy ciepła. W przypadku wód powierzchniowych spotyka się również rozwiązania z zastosowaniem wymiennika w postaci rur rozciągniętych pod powierzchnią wody. Przy stosowaniu wody jako dolnego źródła ciepła spotykamy się z problemami, które często znacznie zwiększają koszty inwestycyjne. W celu jej poboru należy zastosować odpowiednie pompy oraz systemy oczyszczania zanim zostanie ona doprowadzona do parownika urządzenia. Należy również wystąpić o odpowiednie dokumenty zezwalające na pobór wody tj. operat wodno-prawny, czy badania geologiczne w przypadku wód gruntowych. Wody gruntowe czerpane są z pokładów warstw wodonośnych 4 rzędu i powinny być zatłaczane do tych samych warstw. Stosowanie wód jako dolnego źródła pozwala osiągnąć wysoką sprawność i stabilną moc pompy ciepła ze względu na stałą temperaturę tego źródła.

1.3 Pompy ciepła wykorzystujące ciepło gruntu

Ciepło gruntu jest często wykorzystywane jako dolne źródło ciepła. Na głębokości 10 m temperatura gruntu jest praktycznie niezmienna i wynosi około 10°C. Na grunt oddziaływują dwa strumienie ciepła: z wnętrza Ziemi (ok. 5 W/m²) oraz strumień promieniowania słonecznego o natężeniu rzędu 800 W/m² (zależnie od pory roku i pogody). W celu pozyskania ciepła z gruntu stosuje się pionowe i poziome wymienniki gruntowe. Wymiennik poziomy, to szereg rur zakopanych poniżej głębokości przemarzania, przez które przepływa płyn niezamarzający (najczęściej wodny roztwór glikolu lub alkoholu). Odległość pomiędzy poszczególnymi pętlami wynosi od 1 do 1,5 m. Takie rozmieszczenie rur pozwala uzyskać odpowiednią ilość ciepła przez cały sezon grzewczy i umożliwia regenerację zasobów ciepła w okresie letnim. W zależności od rodzaju gruntu, jego wilgotności itd., możliwe jest pozyskanie około 10 do 15 W/m rury. Wymiennik pionowy stanowi szereg sond pionowych zainstalowanych w odwiertach na głębokości do 150 m. Pozwala on uzyskać nawet 50 W/m rury. Sondy umieszcza się w odległości około 10 m od siebie.

Dokładne obliczanie poboru ciepła z gruntu przez węzłownicę jest kłopotliwe, ponieważ przewodzenie ciepła przez grunt zależy od jego struktury, wilgotności, rodzaju gleby, od tego czy grunt jest pierwotny czy też wzruszony, czy jest to piasek, czy glina itd. oraz od czasu pracy pompy ciepła w cyklu dobowym.

1.4 Wykorzystanie ciepła odpadowego

Znaczne ilości ciepła, które powstają w różnego rodzaju procesach są wypuszczane do atmosfery i marnotrawione. W budownictwie mieszkaniowym istnieje możliwość odzyskania części ciepła odprowadzanego z mieszkania w postaci zużytego powietrza wentylacyjnego i ścieków. W zależności od parametrów ciepła odpadowego można nim zasilać parowniki pomp ciepła lub wykorzystywać do napędu pompy ciepła. W przypadku wysokich temperatur (rzędu 200°C) istnieje możliwość wykorzystania ciepła odpadowego do zasilania werników absorpcyjnych pomp ciepła. W takim układzie urządzenie korzystając z ciepła odpadowego może przygotowywać chłód.

2. SZCZEGÓLNE CECHY TECHNICZNO-UŻYTKOWE AMONIAKU JAKO NISKOWRZĄCEGO PŁYNU ROBOCZEGO

Obecnie szeroko stosowane są syntetyczne czynniki chłodnicze. Ze względu na ochronę środowiska (problemy z warstwą ozonową i efektem cieplarnianym) zaostrzono wymagania odnośnie stosowanych czynników. Taka sytuacja spowodowała, że wprowadza się nowe syntetyczne płyny niskowrzące jak również wraca się do starych, naturalnych czynników, takich jak **amoniak**. Amoniak stosowany jest powszechnie w średnich i dużych układach chłodniczych. Zakres stosowanych w nich temperatur, to + 40°C dla skraplania i do – 60°C dla parowania.

Amoniak (nazwa zwyczajowa) znany także pod nazwą systematyczną **azan** (trihydrodoazot, woderek azotu(III)), to nieorganiczny związek chemiczny o wzorze NH₃ [2]. W normalnych warunkach atmosferycznych jest on gazem bezbarwnym, trującym, trudno zapalnym (temperatura zapłonu 630°C) o silnie drażniącym zapachu. Związek ten zaliczany jest do grupy drugiej, zawierającej czynniki palne o działaniu toksycznym lub drażniącym. Pary amoniaku są lżejsze od powietrza, zatem unoszą się do góry. Amoniak rozpuszcza się w wodzie praktycznie bez ograniczeń tworząc z nią tzw. wodę amoniakalną. Wodny roztwór amoniaku jest bardzo aktywny chemicznie i wchodzi w reakcje z cynkiem, miedzią i jej stopami, nie reaguje natomiast ze stopami żelaza.

Wydajność chłodnicza amoniaku jest zbliżona do wydajności czynnika R22. Wysokie ciepło parowania powoduje, że ilość amoniaku w instalacji w porównaniu do czynników syntetycznych jest znacznie mniejsza (w zestawieniu z R22 aż o rząd wielkości). Taka sytuacja przekłada się na wymiary rurociągów i występujące w nich straty ciśnienia. Pary amoniaku są niepalne i niewybuchowe w przestrzeni otwartej. Energia spalania tego czynnika jest mniejsza od energii zapłonu, stąd nie można podtrzymać jego spalania bez zewnętrznego źródła ciepła. Amoniak jest związkiem toksycznym i w skrajnych przypadkach może być groźny dla zdrowia i życia. Kontakt z ciekłym amoniakiem powoduje oparzenia i odmrożenia. Parowy amoniak jest wyczuwalny już przy stężeniu 25 ppm. Stężenie powyżej 1000 ppm jest szkodliwe dla zdrowia. Dawka śmiertelna przekracza 200-krotnie próg wykrywalności, co jest pozytywną cechą tego czynnika i pozwala na szybką reakcję w przypadku jego wycieku.

Amoniak jest czynnikiem naturalnym i jest obojętny dla środowiska naturalnego. Jego potencjał niszczenia ozonu ODP = 0 (ang. Ozone Depletion Potential), również potencjał tworzenia efektu cieplarnianego GWP = 0 (ang. Global Warming Potential). W obecności wody i dwutlenku węgla w atmosferze rozkłada się do wodorowęglanu amonu, który jest związkiem użyźniającym gleby uprawne [3].

3. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ZJAWISKA ABSORPCJI I MOŻLIWOŚCI JEGO WYKORZYSTANIA W TECHNICIE

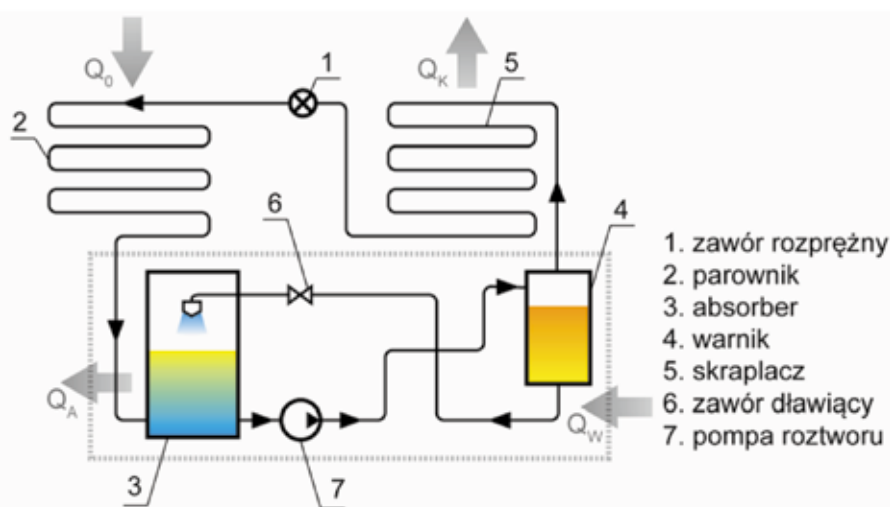
Absorpcja jest to odmiana zjawiska sorpcji, czyli pochłaniania jednej substancji tzw. sorbatu przez inną substan-

cję tzw. sorbent. Sorpcje dzielimy na adsorpcję – czynnik chłodniczy jest pochłaniany powierzchniowo przez adsorbent stały np. żel krzemowy lub adsorbujący dwutlenek siarki. Drugą odmianą sorpcji jest absorpcja, czyli proces pochłaniania substancji ciekłej lub gazowej w całą objętość substancji ciekłej lub stałej. Absorbent ciekły, to np. woda absorbująca amoniak, natomiast absorbent stały to np. chlorek wapnia absorbujący amoniak [6]. Zjawisko absorpcji wykorzystywane jest wszędzie tam, gdzie zachodzi potrzeba wydzielenia jakiegoś składnika z mieszaniny. Pozwala to pozyskać żądaną substancję lub zapobiec przedostawaniu się jej np. do atmosfery. Zjawisko absorpcji wykorzystywane jest np. w systemach ograniczających emisję tlenków azotu powstających w procesach technologicznych.

W chłodnictwie i w energetyce cieplnej stosowane są **urządzenia absorpcyjne**. Urządzenia te wykorzystują ciepło do wymuszenia pracy układu. Pod wpływem temperatury czynnik chłodniczy – absorbent odparowuje z roztworu bogatego i realizuje obieg lewobieżny. Czynnik ten po przejściu przez wymienniki i rozprężeniu do niskiego ciśnienia jest absorbowany przez absorbent. Następnie realizowany jest obieg prawobieżny - napędowy. Zastosowanie urządzeń absorpcyjnych pozwala wykorzystać ciepło odpadowe, które w normalnych warunkach jest tracone i wyrzucane do atmosfery. Wykorzystując to ciepło można wytworzyć chłód. Istnieje również możliwość wykorzystania paliw kopalnych do napędu układu. Pozwala to napędzać tzw. wytwornice wody lodowej np. gazem ziemnym podczas lata, kiedy to odbiór gazu jest znikomy w porównaniu do zimy, nie jesteśmy przy tym uzależnieni od procesów, z których pozyskujemy ciepło odpadowe. Dzięki temu ogranicza się zużycie energii elektrycznej, a przez to również emisję substancji szkodliwych, ponieważ wytwarza się chłód pracując przy sprawnościach znacznie wyższych niż te, które uzyskuje się przy tradycyjnych metodach wytwarzania energii elektrycznej (należy tu uwzględnić straty przesyłowe i sprawność wytwornicy elektrycznej). Urządzenia absorpcyjne pozwalają wykorzystać ciepło, które powstaje w elektrociepłowniach i elektrowniach, co zwiększa efektywność ich działania i redukuje degradację środowiska.

4. OGÓLNA BUDOWA I ZASADA DZIAŁANIA ABSORPCYJNEJ POMPY CIEPŁA

Obecnie stosowane są absorpcyjne pompy ciepła typu amoniak-woda oraz bromek litu – woda. Urządzenia te pracują na innych parametrach. W przypadku urządzeń bromolitowych czynnikiem jest woda, natomiast absorberem bromek litu, natomiast w przypadku urządzeń amoniakalnych czynnikiem jest amoniak, a woda stanowi absorber. Taka sytuacja powoduje, że w urządzeniach



Rys.3 Schemat ideowy absorpcyjnej pompy ciepła

amoniakalnych istnieje możliwość uzyskiwania temperatur ujemnych ochładzanego nośnika ciepła.

W amoniakalnej absorpcyjnej pompie ciepła (rys.3) podgrzany i sprężony w warkanie (4) czynnik chłodniczy odparowuje z roztworu bogatego i skrapla się w skraplaczu (5), przekazując ciepło wodzie chłodzącej ten wymiennik. Skroplony czynnik jest dławiony w zaworze rozprężnym (1), a następnie odparowuje w parowniku, pobierając ciepło z niskotemperaturowego dolnego źródła ciepła. Powstała para jest doprowadzana do absorbera (3), gdzie łączy się z roztworem ubogim dopływającym z warkana. Roztwór ubogi przepływa przez zawór dławiący (6) w celu obniżenia ciśnienia z poziomu warkana do poziomu absorbera. Powstały w absorberze roztwór bogaty jest następnie przetłaczany za pomocą pompy (7) do warkana.

W dolnej części generatora (warkana) następuje podgrzewanie roztworu bogatego i desorpcja amoniaku. Pary czynnika unoszą się do górnej części generatora, gdzie natrafiają kolejno na półki rektyfikacyjne i deflegmator, dzięki czemu następuje praktycznie całkowite oddzielenie amoniaku od roztworu ubogiego. Ma to szczególne znaczenie, aby zapobiec dostawianiu się wody do zaworów rozprężnych, gdzie mogłaby ona zamarznąć i spowodować awarię urządzenia.

W celu podniesienia sprawności działania urządzenia stosuje się dodatkowe elementy, m. innymi doziębiacz, który ma za zadanie dochłodzić ciekły czynnik za skraplaczem i podgrzać pary płynące z parownika do absorbera. Między generatorem a absorberem instalowane są rekuperatory, w których następuje obniżenie temperatury roztworu ubogiego, płynącego z warkana do absorbera i podgrzanie roztworu bogatego opuszczającego absorber. Zastosowanie rekuperatora pozwala wstępnie podgrzać roztwór bogaty do temperatury bliskiej temperaturze wrzenia.

Współczynnik wydajności grzewczej absorpcyjnej pompy ciepła:

$$COP_g = (Q_k + Q_A) / Q_W$$

Współczynnik wydajności chłodniczej absorpcyjnej pompy ciepła:

$$COP_{ch} = Q_0 / Q_W$$

gdzie:

- Q_k – ilość ciepła odebrana w skraplaczu pompy ciepła,
- Q_0 – ilość ciepła pobrana z dolnego źródła (w parowniku pompy ciepła),
- Q_w – ilość ciepła wykorzystana do zasilania wężownicy,
- Q_A – ciepło powstałe w procesie absorpcji,

5. BUDOWA I CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA TYPOSZEREGU POMP CIEPŁA FIRMY ROBUR

Firma **Robur** proponuje rozwiązania typu amoniak – woda oparte o gazowe absorpcyjne pompy ciepła i wytwornice wody lodowej, które zapewniają wydajną produkcję ciepła i chłodu przy niskim poziomie zużycia energii elektrycznej. Technologia proponowana przez tego producenta została zapoczątkowana przez firmę Servel należącą do grupy Electrolux, która zajmowała się produkcją absorpcyjnych wytwornic wody lodowej. Firma Robur przejęła w 1991 roku firmę Servel, rozwinęła wykupione rozwiązania i poszerzyła ofertę o absorpcyjne pompy ciepła. Obecnie oferowane są cztery typy pomp ciepła oraz pięć rodzajów wytwornic wody lodowej. Urządzenia proponowane są jako jednostki kompaktowe o standardowych rozmiarach. Podczas instalacji urządzenia należy doprowadzić do niego gaz, medium oraz zasilanie elektryczne.

Zwiększanie mocy „plantu” (plant stanowią wszystkie urządzenia do wytwarzania ciepła i chłodu zasilające dany obiekt) odbywa się przez dodawanie kolejnych jednostek. Tzw. „linki „ (link stanowi grupa jednostek 2 do 5, zainstalowanych na wspólnej szynie, połączonych elektrycznie i hydraulicznie) mogą być konfigurowane z różnego rodzaju jednostek, co pozwala precyzyjnie dobierać urządzenia do wyliczonego zapotrzebowania na ciepło i chłód.

Rys.4 Zespół absorpcyjnych wytwornic wody lodowej typu RTCF 300-00



5.1 Zasada działania absorpcyjnej pompy ciepła Robur

Urządzenie składa się z tradycyjnych elementów typowych dla urządzeń chłodniczych (parownik, skraplacz, zawory rozprężne itd.) oraz „sprężarki termicznej” (absorber, wężownica, pompa i zawór rozprężny), co schematycznie ilustruje rysunek 5.

Podczas spalania paliwa w palniku gazowym (urządzenia zasilane są gazem ziemnym lub LPG) w komorze spalania wytwarza się ciepło dostarczane do wężownicy. Pod jego wpływem z roztworu bogatego (amoniak/woda) następuje odparowywanie amoniaku. Pary amoniaku o wysokim ciśnieniu i temperaturze przechodzą przez półki rektyfikatora. W procesie rektyfikacji pary amoniaku kontaktują się z płynącym w przeciwnym kierunku roztworem bogatym i dzięki temu opuszczają tę część wężownicy prawie całkowicie pozostawiając parę wodną. Czynnik trafia do deflegmatora, gdzie następuje dalsze oczyszczanie pary amoniaku z pary wodnej. Następnie pary amoniaku oddają ciepło w skraplaczu (podgrzewając wodę CO/C.W.U.) i w postaci ciekłego czynnika dopływa do zaworu rozprężnego. Za zaworem cie-

ły amoniak o niskim ciśnieniu i temperaturze doprowadzany jest do parownika, gdzie pobiera ciepło z otaczającego powietrza i odparowuje. W absorberze pary amoniaku absorbowane są przez roztwór ubogi. Roztwór ten kierowany jest do absorbera z dolnej części wężownicy, zostaje on rozprężony do niskiego ciśnienia i w postaci „deszczu” rozpylony w absorberze. Amoniak pochłaniany jest przez krople wody i w ten sposób powstaje roztwór bogaty. Mieszanka bogata w amoniak kierowana jest do wymiennika rurowego (tego samego, w którym następuje skraplanie czynnika), gdzie oddaje do wody grzewczej ciepło powstałe w procesie absorpcji.

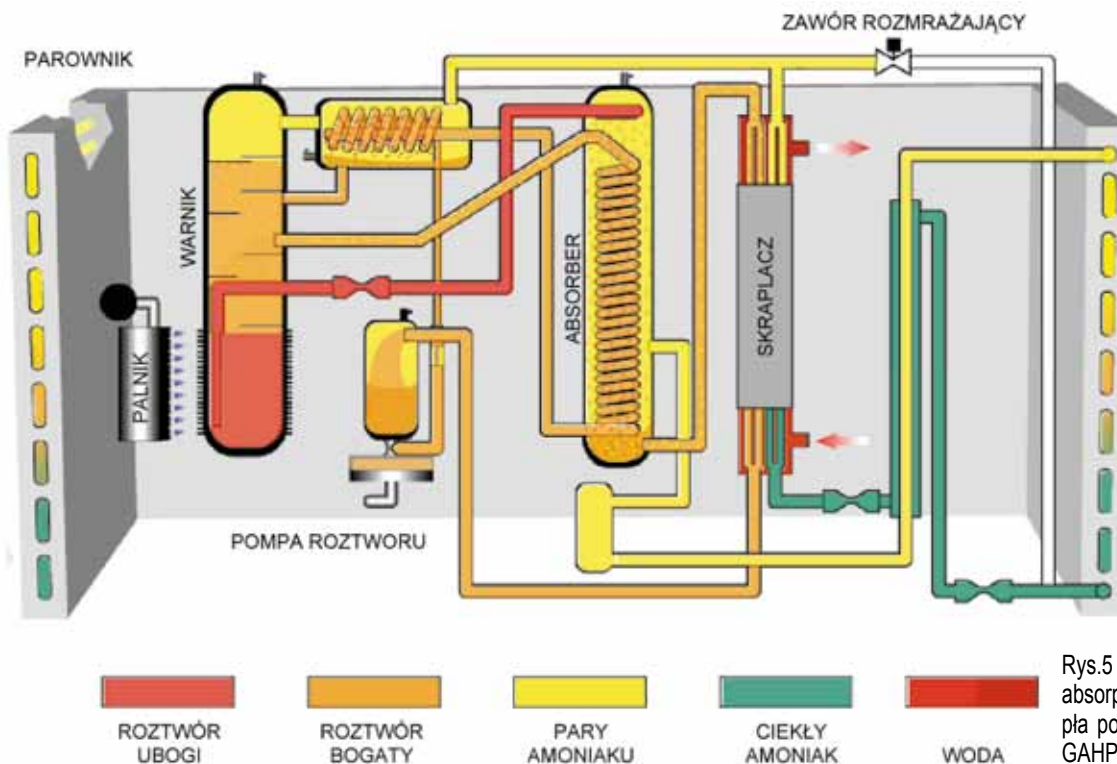
Z wymiennika roztwór bogaty kierowany jest do pompy, która wtłacza go do wężownicy. Następnie cały proces się powtarza. Ciepło oddawane w absorberze i w skraplaczu wykorzystywane jest do przygotowania ciepłej wody na potrzeby ogrzewania i użytkowe, natomiast parownik pompy może być wykorzystywany do produkcji wody lodowej.

5.1 Charakterystyka techniczna typoszeru pompy ciepła firmy ROBUR

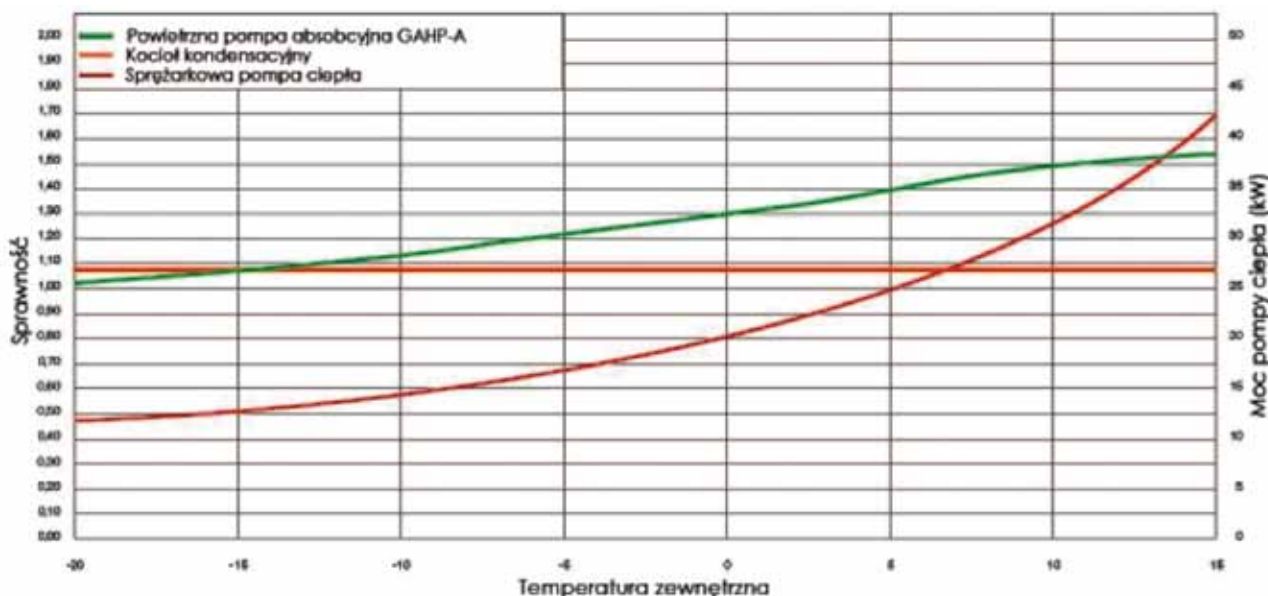
Absorpcyjne pompy ciepła typu GAHP Robur proponowane są w zależności od rodzaju dolnego źródła, jakim dysponujemy w kilku wersjach. Do dyspozycji są cztery podstawowe jednostki – wersje: A – dolne źródło stanowi powietrze, AR – dolne źródło stanowi powietrze, wersja rewersyjna grzanie/chłodzenie w układzie 2-rurowym, GS – jednostka wykorzystująca ciepło gruntu, WS – wersja woda/woda przeznaczona do jednoczesnego grzania i chłodzenia. Sprawność pomp ciepła firmy Robur podawana jest tak jak w przypadku kotłów gazowych jako wskaźnik **G.U.E.** (ang. Gas Utilization Efficiency). Wskaźnik ten stanowi stosunek energii cieplnej, jaką dostarczono do podgrzanej substancji do energii, jaka została doprowadzona poprzez palnik urządzenia. G.U.E. osiąga różną wartość w zależności od warunków pracy, rodzaju pompy ciepła, czy temperatury dolnego i górnego źródła. W sprzyjających warunkach przy skojarzonym wytwarzaniu ciepła i chłodu można uzyskać sprawność na poziomie 244%.

5.1.1 Pompa ciepła typu GAHP-A (powietrze-woda)

Pompa ciepła typu **GAHP-A**, to urządzenie wykorzystujące jako dolne źródło ciepła niskotemperaturowe powietrze atmosferyczne. Moc grzewcza pojedynczej jednostki wynosi 38,3 kW. Łączna moc jednego zestawu składającego się z 5 modułów, to 191,5 kW. Urządzenie podgrzewa wodę do temperatury 65°C. Sprawność nominalna tych urządzeń dochodzi do 165%, i tak jak w przypadku sprężarkowych pomp ciepła, zależy od temperatury zewnętrznej powietrza (rys. 6). W porównaniu do pomp sprężarkowych, których współczynnik COP spada znacząco przy temperaturach bliskich zera, pompa absorpcyjna jest mniej wrażliwa na spadek temperatury powietrza. Sytuacja taka spowodowana jest faktem, że pompa sprężarkowa w 100% wykorzystuje dolne źródło, aby wytworzyć ciepło. W przypadku gazowej absorpcyjnej pompy ciepła, część energii pochodzi z palnika gazowego. W warunkach znacznego spadku temperatury powietrza atmosferycznego, sprawność i moc tego urządzenia również spada, jednak nigdy nie będzie mniejsza niż parametry uzyskiwane w palniku urządzenia. Konstrukcja i zasada działania tej pompy pozwalają na jej pracę do temperatur zewnętrznych sięgających poziomu – 30°C.



Rys.5 Zasada działania absorpcyjnej pompy ciepła powietrze-woda typu GAHP-A firmy Robur.



Rys.6 Wpływ temperatury zewnętrznej na sprawność: absorpcyjnej i sprężarkowej pompy ciepła oraz kotła gazowego

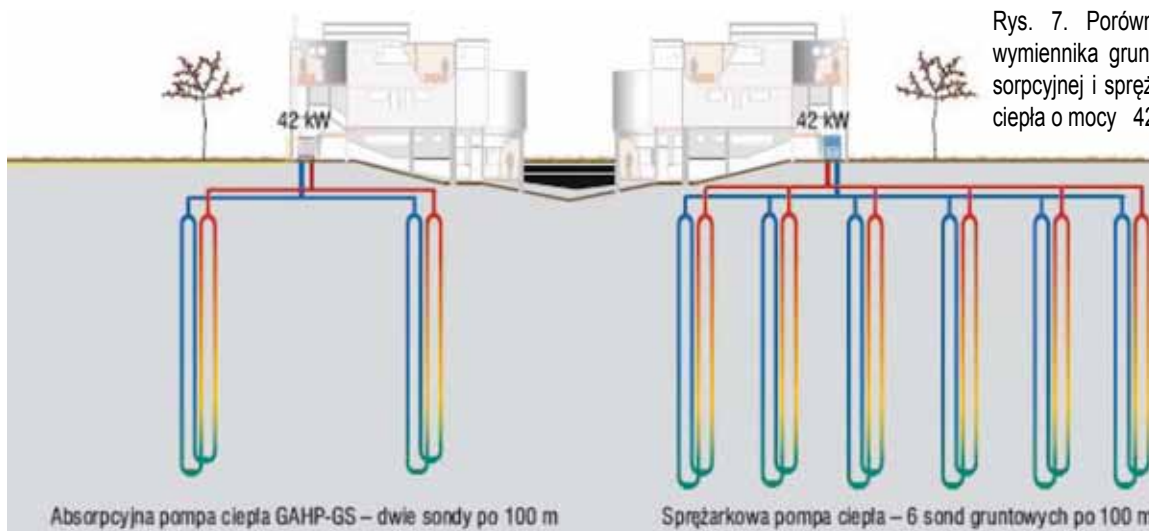
5.1.2 Pompa ciepła typu GAHP-AR (powietrze-woda, rewersyjna)

GAHP-AR to rewersyjna, absorpcyjna pompa ciepła w układzie 2-rurowym, która pozwala wytwarzać alternatywnie ciepło lub chłód. W okresie zimowym ciepło pobierane jest z otaczającego powietrza za pomocą wymiennika lamelowego, który stanowi w tym układzie parownik urządzenia. W okresie letnim, kiedy zachodzi potrzeba klimatyzowania pomieszczeń, przestawiany jest zawór 17-drogowy. Wymiennik lamelowy pełni wówczas funkcję skraplacza i przekazuje ciepło do otoczenia. W wymienniku rurowym, stanowiącym parownik urządzenia następuje ochładzanie

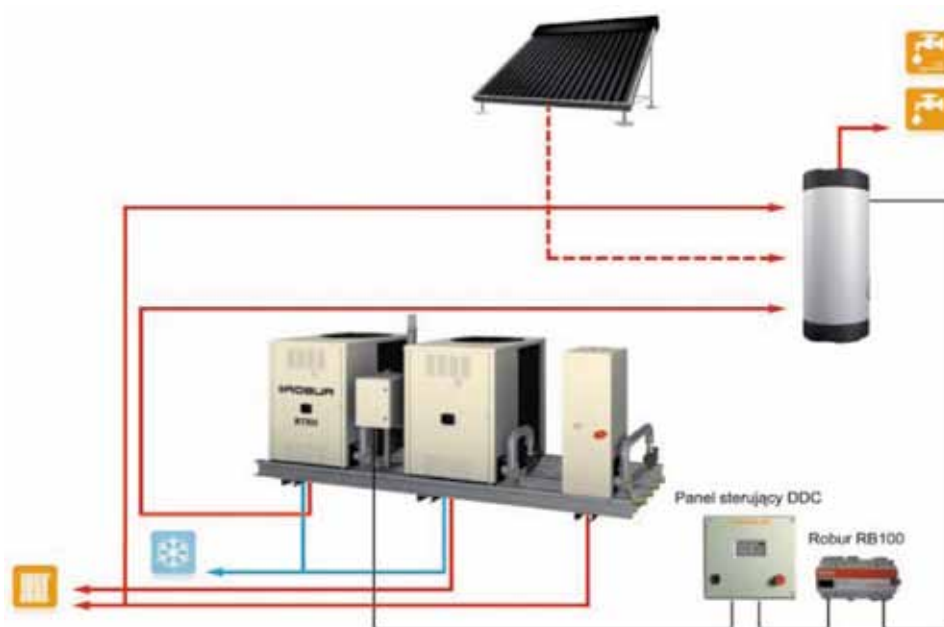
wody lodowej. Minimalna temperatura wody, jaką można uzyskać za pomocą jednostki GAHP-AR, to 3°C. Zestaw rewersyjnych pomp ciepła RTAR uzyskuje moc dla grzania od 35,3 do 176,5 kW. Moc chłodnicza jest niższa i wynosi od 16,9 do 84,5 kW. Ciepła woda podgrzewana jest do temperatury 60°C. Sprawność urządzenia dochodzi do 149%.

5.1.3 Pompa ciepła typu GAHP-GS (dolne źródło stanowi grunt)

GAHP-GS jest pompą ciepła wykorzystującą grunt, jako dolne źródło ciepła niskotemperaturowego. Moc grzewcza urządzenia wynosi 42 kW. Urządzenie zapewnia podgrza-



Rys. 7. Porównanie wielkości wymiennika gruntowego dla absorpcyjnej i sprężarkowej pompy ciepła o mocy 42 kW



Rys.8. Zespół urządzeń absorpcyjnych RTRH – wytwornica wody lodowej z odzyskiem ciepła, rewersyjna pompa ciepła i kocioł

nie ciepłej wody do temperatury 65°C. W porównaniu do sprężarkowych pomp ciepła, koszt wykonania wymiennika gruntowego jest do 60% niższy, ponieważ część energii pochodzi z palnika gazowego. Nominalna sprawność urządzenia (G.U.E.) dochodzi do 170%. Moc tego urządzenia, ze względu na niewielkie wahania temperatury gruntu, utrzymuje się praktycznie na stałym poziomie przez cały rok.

5.1.4 Pompa ciepła typu GAHP-WS (woda-woda)

GAHP-WS, to pompa ciepła typu woda - woda, przeznaczona do jednoczesnego wytwarzania ciepłej wody użytkowej i wody lodowej. Moc grzewcza pojedynczego urządzenia wynosi 43,9 kW. Wydajność chłodnicza jest o połowę mniejsza i wynosi 17,9 kW. Urządzenie dzięki jednoczesnej produkcji ciepła i chłodu jest w stanie uzyskać sprawność do 244%. Spalając taką samą ilość gazu w palniku urządzenia, odbieramy energię w postaci ciepła w skraplaczu i chłodzimy wodę na potrzeby klimatyzacji lub chłodzenia podczas procesów produkcyjnych. Urządzenie typu GAHP-WS podgrzewa ciepłą wodę użytkową do temperatury 65°C i przygotowuje wodę lodową o temperaturze do 3°C.

5.2 Przykłady zastosowania absorpcyjnych pomp ciepła firmy Robur

Absorpcyjne pompy ciepła firmy Robur mają szerokie możliwości stosowania. Ze względu na moc – najmniejsza moc grzewcza to 35 kW, urządzenia te stosowane są w obiektach o zapotrzebowaniu na ciepło rzędu kilkudziesięciu kW, jak również kilku MW. Tak jak standardowe pompy ciepła, największą sprawność osiągają one dla niskich parametrów wody grzewczej. Ten fakt powoduje, że najczęściej urządzenia te współpracują z niskotemperaturowym systemem odbiorników ciepła tj. ogrzewaniem podłogowym, ściennym czy klimakonwektorami. Dostępne są również wersje HT (wysokotemperaturowe), które pozwalają uzyskać wyższe temperatury wody i zasilać standardowe odbiorniki ciepła. Jednostki A i AR korzystające z powietrza, jako dolnego źródła ciepła przeznaczone są do instalacji zewnętrznej, co pozwala zaoszczędzić miejsce wewnątrz budynku. W przypadku zasilania central wentylacyjnych, źródło ciepła/chłodu znajduje się w niedużej odległości od odbiornika.

Absorpcyjne pompy ciepła firmy Robur są również ide-

Tabela 3. Koszt pracy pomp ciepła dla temperatury średniej sezonowej (dla COP 1,9)

ZAPOTRZEBOWANIE EN	moc kW	sprawność	zużycie paliwa	zużycie prądu	koszt jednostkowy	koszt sezonowy
Absorpcyjna pompa ciepła	292,5	133%	22,19	8,1	44,32 zł	117 005 zł
Sprężarkowa pompa ciepła	292,5	1,9	brak	153,95	83,13 zł	219 467 zł
Kocioł gazowy	292,5	102%	28,94	b.d.	52,09 zł	137 508 zł
Kocioł olejowy	292,5	94%	26,15	b.d.	64,06 zł	169 130 zł
Oszczędność sezonowa w porównaniu do:						
Sprężarkowa pompa ciepła	102 463 zł					
Kocioł gazowy	20 503 zł					
Kocioł olejowy	52 125 zł					

*Dane z dnia 23.07.2009 zaczerpnięte z PGNiG i Energa – cena nośnika zależy od regionu, ilości zużywanego paliwa, taryfy, kosztu przesyłu itd. i może się różnić w różnych sytuacjach.

Tabela 4. Koszt pracy pomp ciepła dla parametrów temperatury (dla COP= 3), w takim przypadku absorpcyjna pompa ciepła osiąga wskaźnik G.U.E. 164 %.

ZAPOTRZEBOWANIE EN	moc kW	sprawność	zużycie paliwa	zużycie prądu	koszt jednostkowy	koszt sezonowy
Absorpcyjna pompa ciepła	292,5	164%	18,00	7,0	36,19 zł	95 531 zł
Sprężarkowa pompa ciepła	292,5	3		97,50	52,65 zł	138 996 zł
Kocioł gazowy	292,5	102%	28,94	b.d.	52,09 zł	137 508 zł
Kocioł olejowy	292,5	94%	26,15	b.d.	64,06 zł	169 130 zł
Oszczędność sezonowa w porównaniu do:						
Sprężarkowa pompa ciepła	43 465 zł					
Kocioł gazowy	41 977 zł					
Kocioł olejowy	77 276 zł					

alną alternatywą w przypadku inwestycji, gdzie występuje problem z dostarczeniem odpowiedniej ilości energii elektrycznej. W niektórych przypadkach istnieje problem z wykonaniem wymiennika gruntowego lub studni do poboru wody gruntowej. W takiej sytuacji istnieje możliwość zastosowania pompy powietrze-woda, która może stanowić samodzielne źródło ciepła lub w układzie biwalentnym z kotłem, jako źródłem szczytowym. Najczęściej realizowane są rozwiązania mieszane, składające się z różnych jednostek. Tzw. „plant” – składa się z wielu urządzeń:

absorpcyjnych pomp ciepła i wytwornic wody lodowej, kotłów stanowiących źródło szczytowe oraz dodatkowo stosowane są kolektory słoneczne. Pompy ciepła firmy Robur ze sprawnością powyżej 120% klasyfikowane są w klasie A+++ , i są urządzeniami, które pozwalają realizować energooszczędne systemy grzewcze w nowoczesnych budynkach energooszczędnych.

W miejscowości Bergamo we Włoszech w hotelu Holiday Inn (rys. 9) zastosowano rozwiązanie oparte o urządzenia firmy Robur i obiekt ten stanowi pierwszą reali-

Tabela 5. Koszt pracy kotłów typu AY jako źródła szczytowego

ZAPOTRZEBOWANIE EN	moc kW	sprawność	zużycie paliwa	zużycie prądu	koszt jednostkowy	koszt sezonowy
Kotły Robur	172	102%	17,02		30,63 zł	80 860 zł
Kocioł gazowy/szczęt spr. pc	172	102 %	17,02		30,63 zł	80 860 zł
Kocioł gazowy	172	102%	17,02	b.d.	30,63 zł	80 860 zł
Kocioł olejowy	172	94%	15,38	b.d.	37,67 zł	99 454 zł
Oszczędność sezonowa w porównaniu do:						
Sprężarkowa pompa ciepła	0 zł					
Kocioł gazowy	0 zł					
Kocioł olejowy	18 595 zł					

zając w klasie A we Włoszech. Urządzenia te pokrywają zapotrzebowanie 435 kW mocy grzewczej i 406 kW mocy chłodniczej. System grzewczy oparty jest na rewersyjnych jednostkach typu GAHP-AR, które zimą zapewniają grzanie, natomiast latem pokrywają część zapotrzebowania na chłód. Resztę chłodu latem dostarczają absorpcyjne wytwornice wody lodowej, część w wersji z odzyskiem ciepła produkujące ciepłą wodę użytkową. Ciepła woda w lecie dostarczana jest głównie przez panele kolektorów słonecznych. W okresach szczytowego zapotrzebowania na ciepło, załączają się zewnętrzne kotły kondensacyjne typu Robur AY. Odpowiednio dobrany system pozwala zredukować koszty użytkowania przy odpowiednio racjonalnych kosztach inwestycyjnych, co przekłada się na szybki czas zwrotu inwestycji.

7. PODSUMOWANIE: OCENA TECHNICZNO-EKONOMICZNA URZĄDZEŃ ABSORPCYJNYCH W PORÓWNIANIU DO URZĄDZEŃ SPRĘŻARKOWYCH

W momencie wyboru źródła ciepła zasilającego dany system grzewczy rozważanych jest wiele kryteriów, które decydują o zastosowaniu danego rozwiązania. Wyjściowymi danymi są przeznaczenie budynku i jego bilans cieplny, w którym uwzględniane są temperatury powietrza, medium grzewczego, zapotrzebowania na ciepło, chłód, C.W.U, nasłonecznienie, straty wentylacyjne, położenie budynku itd. Zastosowanie konkretnych rozwiązań wymu-

szają również dostępne nośniki energii w danym rejonie, które również bezpośrednio wpływają na zakładane koszty użytkowania.

Pompy absorpcyjne posiadają szereg cech, które przemawiają za ich stosowaniem. Zasilane są gazem ziemnym, który stanowi praktycznie najczystsze paliwo kopalne. Wykorzystują energię odnawialną i uzyskują wysokie sprawności, co przekłada się na niskie koszty eksploatacji i znaczną redukcję emisji substancji szkodliwych do atmosfery. Ważną, pozytywną cechą tych urządzeń jest bardzo niskie zapotrzebowanie na energię elektryczną, która jest znacznie droższa od gazu i jej wytwarzanie przy niskich sprawnościach powoduje znaczną degradację środowiska. Obecnie zarówno w Europie jak i na całym świecie występują szczyty letnie i niedobór energii elektrycznej w tym okresie. Urządzenia zasilane gazem pozwalają rozwiązać ten problem. Bardzo ciekawe rozwiązanie stanowią absorpcyjne pompy ciepła wykorzystujące powietrze, jako dolne źródło ciepła. W przeciwieństwie do urządzeń sprężarkowych, ich moc i sprawność jest bardziej stabilna w odniesieniu do zmian temperatury zewnętrznej. Urządzenia te nie wymagają dodatkowych wymienników do pozyskiwania ciepła niskotemperaturowego, nie ma odwiertów ani studni i dzięki temu koszty inwestycyjne w ich przypadku są znacznie

Rys.9. Hotel Holiday Inn w Bergamo we Włoszech.



niższe. Nie jest wymagana również kotłownia, ponieważ urządzenia instalowane są poza pomieszczeniem.

Porównanie kosztów dla pompy ciepła sprężarkowej i absorpcyjnej

Tabela 1. Przyjęte założenia do oceny obu rodzajów pomp ciepła

Średnia minimalna zewnętrzna temperatura obliczeniowa	-16°C (I strefa)
Szacunkowe zapotrzebowanie obiektu na moc cieplną	400 kW
Obliczeniowa temperatura zasilania instalacji grzewczej grzejnikowej	55°C
Maksymalna temperatura c.w.u.	60 °C
Średnia maksymalna temperatura dla sezonu grzewczego (łagodna zima)	4,7°C
Średnia minimalna temperatura dla sezonu grzewczego (ostra zima)	- 0,7°C
Średnia temperatura dla sezonu grzewczego	2°C
Zapotrzebowanie obiektu na energię cieplną c.o.	1 049 928 kWh/a

7.1 Absorpcyjna pompa ciepła

- Wydajność cieplna pomp ciepła: 9 sztuk urządzeń typu GAHP-AR

(A5/W55): 295,2 kW
(A2/W55): 292,5 kW
(A-1/W55): 288 kW
(A-16/W55): 240 kW

A – temperatura powietrza, W – temperatura wody grzewczej

- Wydajność cieplna kotłów: 5 sztuk typu AY o mocy 172 kW
- Energia z pomp ciepła w sezonie (A2/W55): 772 200 kWh
- Energia z kotłów jako źródła szczytowego: 277 728 kWh
- Energia cieplna pozyskana z powietrza (A2/W55): 192 456 kWh
- Średnia sprawność pomp ciepła w sezonie grzewczym (A2/W55): 133 %
- Sprawność kotłów: 102 %

Założono, że pompy absorpcyjne pokrywają część zapotrzebowania na ciepło na poziomie 300 kW dla średniej temperatury otoczenia równej 2°C. W przypadku znacznego spadku temperatury, moc pomp ciepła spadnie, natomiast zapotrzebowanie na ciepło wzrośnie. W takim przypadku załączą się kotły typu AY, które zapewnią wymaganą moc cieplną.

7.2 Sprężarkowa pompa ciepła

Sprężarkowa pompa ciepła osiąga współczynnik COP do wartości rzędu 3,8 przy sprzyjających warunkach. Wartości tego współczynnika zmieniają się w zależności od temperatury wody grzewczej i temperatury zewnętrznej. Podawane przez producentów COP:

(A2/W35): 3,2 – 3,3
(A7/W50): 2,2 – 2,4

A – temperatura powietrza, W – temperatura wody grzewczej

Temperatury (A2/W55) spowodują znaczne obniżenie analizowanego współczynnika – założono jego wartość jako 1,9.

7.3 Kotły

- Sprawność kotła olejowego: 94 %
- Sprawność kotła kondensacyjnego: 102 %

7.4 Zestawienie kosztów

Tabela 2. Cena różnych nośników energii *

cena 1 m ³ gazu	1,80 zł
cena 1 kg oleju op.	2,45 zł
cena 1 kWh	0,54 zł
ilość godzin ogrzewania	2 640
1 m ³ gazu=9,97 kWh	9,97
1 kg oleju=11,9 kWh	11,9

Przedstawiona analiza ma charakter ogólny i pokazuje relację między sprawnością pompy absorpcyjnej, a współczynnikiem COP pompy sprężarkowej. W celu przeprowadzenia bardziej precyzyjnej analizy, należy wykonać dokładne obliczenia sezonowego zapotrzebowania na ciepło, wyliczyć koszty inwestycyjne – koszty urządzeń, instalacji, pomieszczeń kotłowych itd. i porównać te koszty między sobą. Koszty użytkowania i czas zwrotu dla pomp ciepła zależą od wielu czynników. Ogólnie, im większy jest obiekt tym czas zwrotu inwestycji z pompą ciepła skraca się w porównaniu do źródeł typowych, takich jak kotły gazowe czy olejowe. Absorpcyjna pompa ciepła wypada znacznie korzystniej od pompy sprężarkowej dla niższych temperaturach zewnętrznych. W momencie, gdy temperatura zewnętrzna wzrasta do wartości około 13 - 15°C, współczynnik COP urządzenia sprężarkowego znacznie rośnie. W sezonie grzewczym średnie sezonowe temperatury zewnętrzne wahają się w granicach od - 5 do 7°C w zależności od zimy, strefy itd. Taka sytuacja powoduje, że absorpcyjne pompy ciepła wypadają znacznie korzystniej pod względem ich użytkowania od pomp sprężarkowych.

LITERATURA:

- [1] Materiały firmy ROBUR
- [2] Wikipedia Wolna Encyklopedia
- [3] Z. Bonca, D. Butrymowicz, T. Hajduk, W. Targański: Nowe czynniki chłodnicze i nośniki ciepła. Poradnik, Wyd. MASTA, Gdańsk 2004
- [4] M. Rubik: Pompy ciepła. Poradnik, Wyd. Bointe „Instal”, Warszawa 1996
- [5] W. Zalewski: Pompy ciepła. Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 1995
- [6] S. Kosiak, J. Latkowski: Poradnik Chłodnictwa. Wyd. WNT, Warszawa 1960
- [7] K. Maczek, M. Mieczyski: Chłodnictwo. Wyd. Polit. Wrocławskiej, Wrocław 1981

