

Modernizacja sprężarkowej maszynowni chłodniczej na sorpcyjną zasilaną z miejskiej sieci ciepłowniczej

Modernization of electrical compressor based cooling source to sorption one supplied by district heating network

Zastosowanie agregatów sorpcyjnych zasilanych z miejskiej sieci ciepłowniczej umożliwia wykorzystanie w okresie letnim „zamrożonej” mocy węzła ciepłownego i spożytkowanie jej na potrzeby chłodzenia dzięki zasilaniu agregatów absorpcyjnych lub adsorpcyjnych. Takie rozwiązanie optymalizuje wykorzystanie węzła ciepłownego i obniża roczną zmienność zapotrzebowania na ciepło. Ogranicza też zapotrzebowanie budynku na energię elektryczną w okresie letnim.

Klimatyzacja i chłodzenie przestały być w Polsce luksusem – jedni decydują się na przenośne układy chłodzące kupowane „z półki”, żeby po okresie letnim wyłączyć je i odstawić do początku kolejnego lata, inni inwestują w montowane na stałe klimatyzatory typu split. Od ponad dwudziestu lat zapotrzebowanie na chłód do celów klimatyzacyjnych systematycznie rośnie w naszym kraju [1]. Głównymi odbiorcami w zakresie mocy zainstalowanych są wielokubaturowe obiekty biurowe oraz handlowo-usługowe zlokalizowane w dużych miastach. W najbardziej rozpowszechnionym przypadku zapotrzebowanie na chłód jest pokrywane za pomocą centralnie zainstalowanych sprężarkowych agregatów chłodniczych (SPR) produkujących wodę lodową przesyłaną wewnętrzną instalacją hydrauliczną do odbiorników – klimakonwektorów (potocznie nazywanych fancoilami) bądź chłodziw w centralach wentylacyjnych [2]. W wypadku SPR energią zasilającą potrzebną do wyprodukowania wody lodowej jest energia elektryczna, której cena w ciągu ostatnich lat znacząco rośnie [1], a dostępność, zwłaszcza w okresie letnim, staje się ograniczona. Prowadzi to z jednej strony do nieustannego wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną latem, a z drugiej do wzrostu ceny wytworzenia chłodu dla użytkownika końcowego [3]. Oba czynniki mają negatywny wpływ na użytkowanie obiektów wielokubaturowych zlokalizowanych w dużych miastach oraz atrakcyjność wynajmu powierzchni handlowych bądź biurowych.

Na rys. 1 przedstawiono przykładowy przebieg zapotrzebowania na energię elektryczną do zasilania agregatów sprężarkowych pracujących na potrzeby pojedynczego budynku

biurowego w ciągu roku. Dla krajowych warunków klimatycznych tendencja zapotrzebowania na chłód do celów klimatyzacyjnych jest co roku podobna – występuje ono od czerwca do września, ze szczytem w lipcu/sierpniu oraz doliną w styczniu/lutym.

Rzeczywiste z punktu widzenia całego systemu elektroenergetycznego zapotrzebo-

wanie na energię elektryczną do celów klimatyzacyjnych w okresie letnim dla wybranych dni różniących się temperaturą przedstawiono na rys. 2.

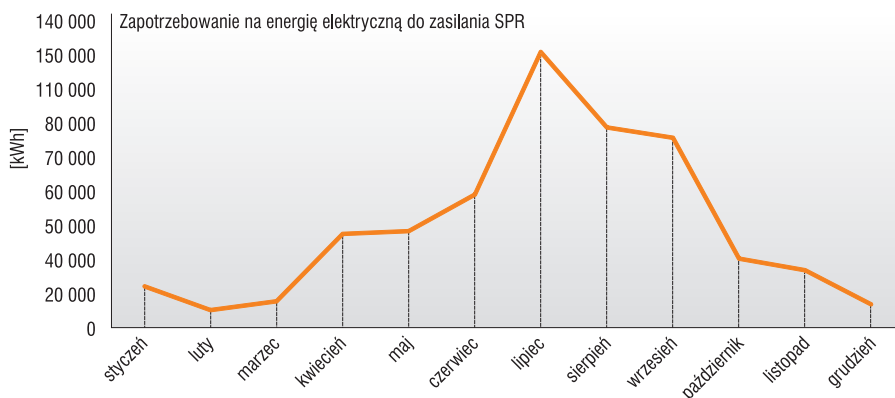
Szacuje się, że w Polsce zapotrzebowanie na moc elektryczną na cele klimatyzacyjne w lecie wynosi ok. 2000 MW. Jednocześnie moc zainstalowana w źródłach kogeneracyj-

Streszczenie

Zapotrzebowanie na energię elektryczną do celów klimatyzacyjnych systematycznie rośnie. Należy się spodziewać, że trend ten zostanie utrzymany. Na rynku dostępne są urządzenia wykorzystujące jako główne źródło produkcji chłodu ciepło, które może pochodzić z miejskiej sieci ciepłowniczej. W publikacji przedstawiono otoczenie techniczne oraz korzyści płynące z modernizacji sprężarkowej maszynowni chłodniczej na sorpcyjną.

Abstract

Air conditioning installations demand for electricity is growing steadily. It is expected that this trend will be maintained. Technology using hot water, which may come from the Municipal District Heating Network, as main energy source for producing cooling capacity, is available on the market. The publication presents the technical environment and the benefits from the modernization of standard compressor cooling source for sorption one.



Rys. 1. Zapotrzebowanie na energię elektryczną do zasilania sprężarkowego agregatu chłodniczego produkującego wodę lodową do celów klimatyzacyjnych budynku biurowego

nych wykorzystywana jest w okresie letnim na poziomie 10–15% ich mocy nominalnej. Dodatkowo szereg źródeł kogeneracyjnych jest w lecie wyłączanych, a w okresie upalnej, wyższej pogody przy niskich stanach wód połączonych z ich wysoką temperaturą ograniczeniu ulegają możliwości chłodzenia bloków elektrowni węglowych, co prowadzi do zmniejszenia mocy przez nie wytwarzanej. Należy także zauważyć, że przy bezwietrznej, upalnej pogodzie nie pracuje generacja wiatrowa. Sytuację Krajowego Systemu Elektroenergetycznego dodatkowo pogarsza wyraźnie rosnący trend zapotrzebowania na moc elektryczną w okresie letnim, głównie na potrzeby klimatyzacyjne. Jak widać na **rys. 3**, dynamika wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną latem jest znacząco większa niż w okresie zimowym.

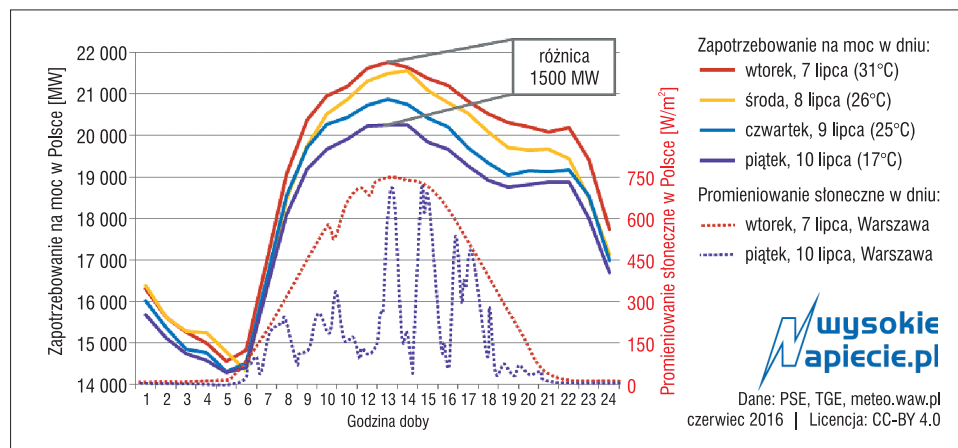
Nie tylko w Polsce zapotrzebowanie na energię elektryczną systematycznie rośnie. Widać to w szczególności w rozwiniętych metropoliach, takich jak Londyn, gdzie do 2030 r. prognozuje się wzrost zainstalowanej mocy chłodniczej do 3500 MW, tj. o 40%, głównie z wykorzystaniem urządzeń zasilanych energią elektryczną. Na świecie systemy chłodzenia są odpowiedzialne za zużycie od 16 do nawet 50% energii elektrycznej, przy ponad 40-proc. udziale zużycia energii przez sektor mieszkaniowo-usługowy. Prowadzi to bezpośrednio do występowania szczytowego zapotrzebowania na energię elektryczną do celów klimatyzacyjnych w okresie letnim, kiedy moc krajowego systemu elektroenergetycznego jest mniejsza niż zimą. Sytuacja taka może powodować lokalne deficyty mocy, których przykłady pojawiały się już niejednokrotnie w dużych miastach. Intensywność wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną jest ponad dwukrotnie większa w miesiącach letnich. Jeśli taki trend będzie się utrzymywał, to do 2030 r. zniknie „letnia dolina” (**rys. 3**) i szczytowe zapotrzebowanie wyrówna się zimą i latem. Obecnie nie ma możliwości wiarygodnego i precyzyjnego określenia udziału zapotrzebowania na moc elektryczną na cele klimatyzacji i chłodzenia w całym zapotrzebowaniu na energię elektryczną, jednak dzięki danym dotyczącym obciążenia systemu elektroenergetycznego w Polsce opublikowanym przez Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A. oraz analizom przeprowadzonym m.in. przez portal Wysokie Napięcie, który porównał zapotrzebowanie na moc elektryczną latem 2015 r. w zależności od temperatury zewnętrznej i nasłonecznienia, można szacować, że każdy 1°C temperatury zewnętrznej ponad 22,5°C to od 100 do 200 MW zapotrzebowania na moc

elektryczną na cele klimatyzacji i chłodzenia (w zależności od metody kalkulacji). Jest to bardzo duży udział, biorąc pod uwagę, że podczas upałów temperatury zewnętrzne dochodzą nawet do 35°C.

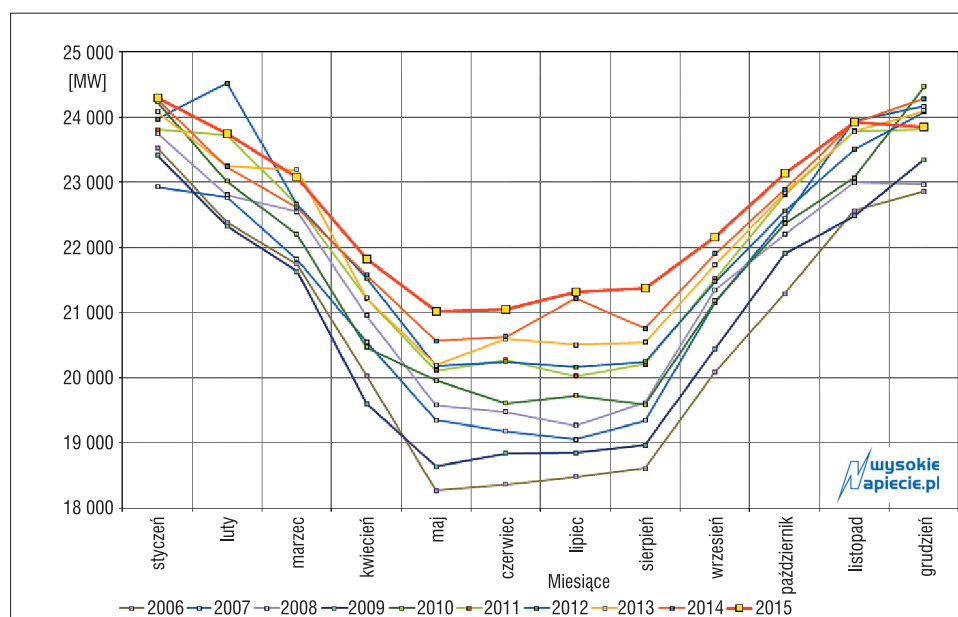
Jednocześnie w okresie letnim znaczącemu ograniczeniu ulega zapotrzebowanie na ciepło dostarczane w większości aglomeracji miejskich za pomocą miejskiej sieci ciepłowniczej [5], co w połączeniu ze znacząco niższą dynamiką wzrostu ceny ciepła oraz preferencjami dla źródeł kogeneracyjnych (wytwarzających jednocześnie ciepło i energię elektryczną) definiuje duży potencjał wykorzystania ciepłownictwa sieciowego w okresie letnim do zasilania chłodziarek sorpcyjnych. Ciepło dostarczane w ten sposób do odbiorców pochodzi najczęściej z dużych źródeł, charakteryzujących się wzorowymi wskaźnikami sprawności skojarzonej produkcji energii

cieplej i elektrycznej. Dzięki temu w polskich miastach scentralizowane systemy ciepłownicze pokrywają średnio 72% zapotrzebowania na ciepło [5], a w Europie dostarczają ciepło ponad 100 mln mieszkańców [6]. Zwiększenie zapotrzebowania na ciepło w okresie letnim ograniczyłoby szereg problemów związanych z eksploatacją miejskich sieci ciepłowniczych przy minimalnej mocy, mających wpływ na średnioroczną cenę ciepła (w okresie letnim udział kosztów związanych ze stratami jest bardzo istotnym czynnikiem) oraz zwiększenie możliwości wytwórczych źródeł kogeneracyjnych dzięki większemu zapotrzebowaniu na ciepło prowadzącemu do „odmrożenia” latem mocy wytwórczych.

Krajowe sieci ciepłownicze projektowane były do pokrycia zapotrzebowania na ciepło dla odbiorców w warunkach najbardziej niekorzystnych, tj. dla minimalnej temperatury



Rys. 2. Zapotrzebowanie na energię elektryczną do zasilania sprężarkowych agregatów chłodniczych dla dni różniących się temperaturą i nasłonecznieniem [4]



Rys. 3. Średnie miesięczne zapotrzebowanie na moc elektryczną w dobowych szczytach obciążenia [4]

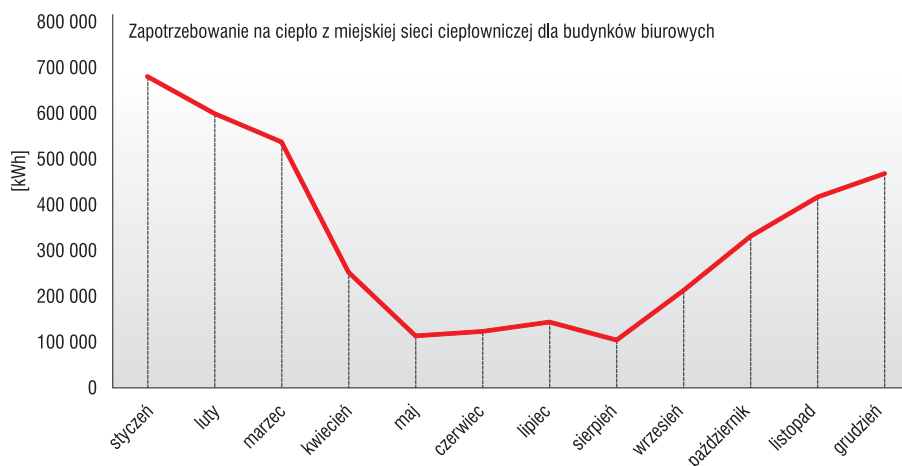
zewewnętrznej osiągananej wieloletnio w danym regionie. Oznacza to, że średnice rurociągów dobierane były dla warunków eksploatacyjnych występujących tylko przez parę najzimniejszych tygodni w roku. Przez pozostały czas miejskie sieci ciepłownicze eksploatowane są z mocą mniejszą od nominalnej. Sytuacja pogarsza się w miesiącach letnich, kiedy sieć ciepłownicza dostarcza ciepło praktycznie tylko na potrzeby ciepłej wody użytkowej, prowadząc do eksploatacji sieci z mocą często dziesięciokrotnie niższą od nominalnej, a przez to do prawie dwukrotnego zwiększenia strat dostawy ciepła [7]. Oznacza to, że znaczące zwiększenie zapotrzebowania na ciepło z miejskich sieci ciepłowniczych w okresie letnim, np. do zasilania chłodziarek sorpcyjnych, doprowadziłoby do wzrostu efektywności energetycznej poprzez ograniczenie strat dostawy ciepła [8] oraz do obniżenia średniorocznej ceny ciepła.

Na rys. 4 przedstawiono przebieg zapotrzebowania na ciepło na potrzeby c.w.u. oraz c.o. dla przykładowego budynku biurowego. W związku z istotnym zapotrzebowaniem na c.o. w naszym klimacie szczyt zapotrzebowania na ciepło występuje w miesiącach zimowych, zaczynając od września, a kończąc na maju, osiąga wartość maksymalną w styczniu, a minimalną w sierpniu, pozostawiając do wykorzystania wolne moce np. do produkcji chłodu w okresie letnim.

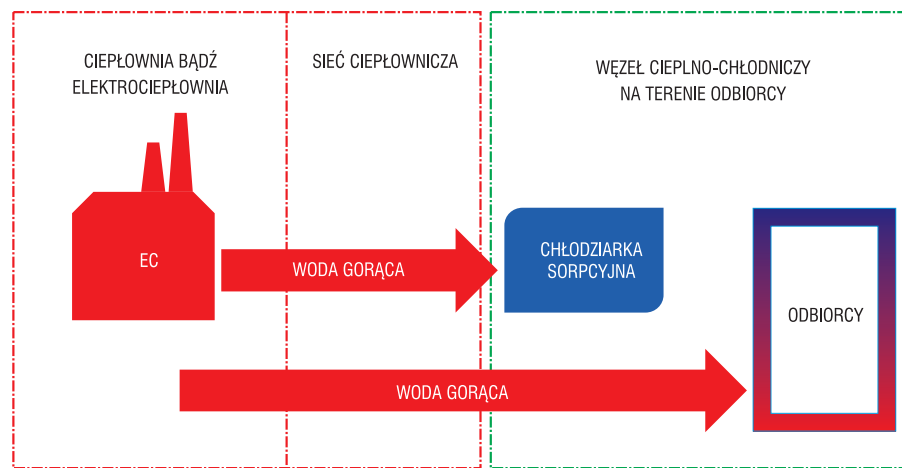
Jednym z możliwych rozwiązań problemu pojawiającego się w okresie letnim deficytu energii elektrycznej oraz niewielkiego zapotrzebowania na ciepło z systemu ciepłowniczego latem jest zastosowanie sorpcyjnych – absorpcyjnych bądź adsorpcyjnych – agregatów chłodniczych (ABS bądź 3ADS) [9]. W odróżnieniu od sprężarkowych agregatów chłodniczych wykorzystujących do produkcji chłodu energię elektryczną, ABS i 3ADS jako

energiją zasilającą wykorzystują gorącą wodę, która może pochodzić z sieci ciepłowniczej, o temperaturze już od 60–75°C dla 3ADS do 85–135°C dla ABS. W razie zastosowania ABS bądź 3ADS węzeł ciepłowniczy dostarczający ciepło sieciowe staje się głównym źródłem energii dla budynku – c.o. oraz c.w.u. zimą i c.w.u. oraz chłodu użytkowego (CHU) latem. Na rys. 5 zaprezentowano przykładowy schemat węzła ciepłowniczo-chłodniczego zlokalizowanego bezpośrednio u odbiorcy. Zastosowanie takiego rozwiązania umożliwi z jednej strony odciążenie w okresie letnim infrastruktury elektroenergetycznej, a z drugiej dociążenie infrastruktury ciepłowniczej, prowadząc do wzrostu efektywności energetycznej.

Sorpcyjne agregaty chłodnicze mają także szereg zalet eksploatacyjnych, takich jak możliwość wykorzystywania ciepła o dostępnym w okresie letnim parametrze, duża trwałość wynikająca z ich konstrukcji, niski poziom hałasu i wibracji oraz zastosowanie wody jako czynnika chłodniczego. Ze względu na różnice w budowie agregaty absorpcyjne wykorzystują jako czynnik roboczy roztwór soli (najczęściej bromku litu), a agregaty adsorpcyjne ciało stałe (najczęściej różne rodzaje krzemionki) – rodzaj zastosowanej technologii powinien zależeć od dostępnej temperatury ciepła. ABS znajduje zastosowanie wszędzie tam, gdzie dostępna temperatura ciepła wynosi od 85°C, a 3ADS już od 65°C. Przy rozważaniu modernizacji maszynowni chłodniczej wyposażonej w agregaty sprężarkowe na sorpcyjne zasilane z sieci ciepłowniczej na szczególną uwagę zasługują trójzłożowe agregaty adsorpcyjne 3ADS ze względu na cechy predysponujące je do współpracy z ciepłem z sieci miejskiej. 3ADS mogą wykorzystywać do produkcji chłodu ciepło z sieci ciepłowniczej bez potrzeby podnoszenia jego parametrów (temperatury) w okresie letnim, co jest wymagane w wypadku dużych systemów miejskich i zastosowania ABS [10]. Zwiększenie temperatury ciepła dostarczanego do odbiorców generuje bowiem szereg problemów natury eksploatacyjnej (m.in. zmniejszenie strumienia ciepła, spadek sprawności produkcji energii elektrycznej dla systemów skojarzonych) oraz ekonomicznej (np. wymóg zainstalowania konkretnej mocy chłodniczej niwelujący koszty zwiększenia temperatury). Natomiast 3ADS ze względu na wykorzystanie temperatury dostępnej w sieci w okresie letnim, utrzymywanej dla potrzeb zaopatrzenia w c.w.u., są wolne od wymienionych wcześniej uwarunkowań zastosowania technologii ABS.



Rys. 4. Zapotrzebowanie na ciepło na potrzeby c.o. i c.w.u. dla budynku biurowego



Rys. 5. Przykładowy schemat węzła ciepłowniczo-chłodniczego zlokalizowanego u odbiorcy

Zasada działania absorpcyjnych agregatów chłodniczych

Chłodzarka absorpcyjna wytwarza wodę lodową na potrzeby klimatyzacyjne dzięki krążeniu czynnika chłodniczego między absorberem (jest w nim pochłaniany) a desorberem (generatorem). Energią zasilającą dla urządzenia może być gorąca woda z miejskiej sieci ciepłowniczej. Porównując do agregatu konwencjonalnego, układ absorbera i desorbera odpowiada sprężarce elektrycznej, z tą różnicą, że nie używa jako energii zasilającej prądu, tylko ciepła. Czynnikiem chłodniczym wykorzystywanym w agregacie bromolitowym jest woda (najbardziej ekologiczny z czynników chłodniczych), która tworząc mieszaninę z bromkiem litu (nieszkodliwą solą), wykorzystywana jest jako czynnik roboczy układu chłodniczego. Stosowane dziś bromolitowe agregaty absorpcyjne praktycznie nie mają części ruchomych, dzięki czemu ich eksploatacja jest możliwa przez wiele lat, wydłużając w stosunku do rozwiązań sprężarkowych cykl życia urządzenia. **Rys. 6** ilustruje zasadę działania bromolitowego absorpcyjnego agregatu wody lodowej.

W chłodzarkę zasilanej gorącą wodą dzięki ciepłu podanemu do generatora (7) poprzez zasilanie (4) i powrót (5) z roztworu LiBr przy bardzo niskim ciśnieniu odparowuje czysta woda. Para wodna przez separator wędruje do skraplacza, w którym dzięki oddaniu ciepła do wody chłodzącej ulega kondensacji (8), aby trafić w celu rozpylenia do parownika (9) i odebrania ciepła podczas wrzenia na powierzchni rurek z wody lodowej – zasilanie (1) i powrót (2). Po odebraniu ciepła para wodna trafia przez separatory do absorbera, gdzie jest pochłaniana przez rozpylany stężony roztwór bromku litu pochodzący z generatora. Ciepło absorpcji odprowadzone jest poprzez układ wody chodzącej. Chłodzarka dodatkowo wyposażona jest w systemy zwiększające sprawność poprzez odzysk ciepła (6) oraz automatyczny system utrzymywania próżni (12) i zapobiegania krystalizacji (10).

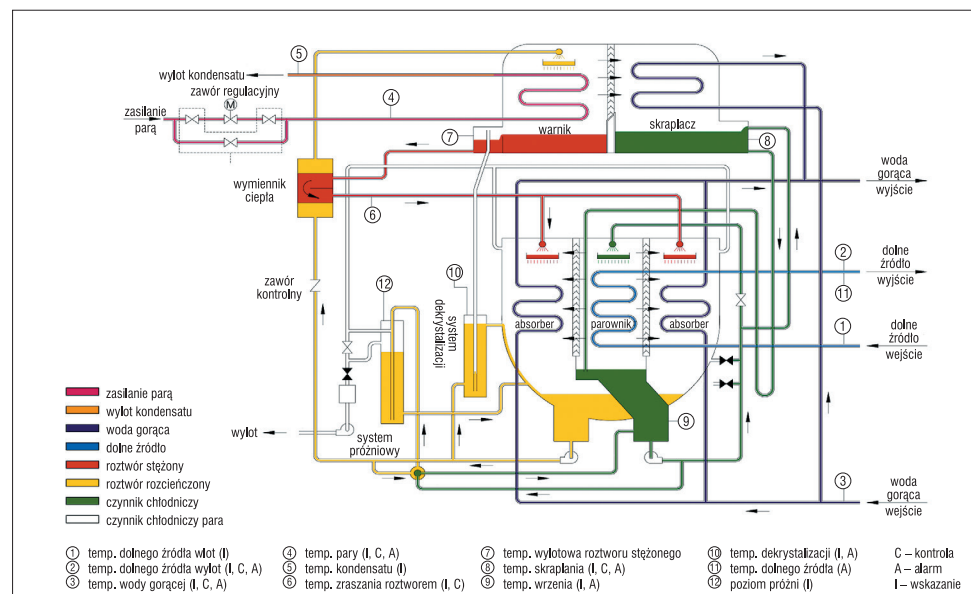
Zasada działania trójzłozowych chłodziarek adsorpcyjnych

Mechanizm działania cyklu chłodniczego opiera się na właściwościach higroskopijnych stałego sorbentu, będącego substancją nietoksyczną. Sorbent w poszczególnych cyklach swojej pracy jest nasycany parą wodną, a następnie osuszany. Ze względu na bardzo niskie ciśnienie absolutne czynnik chłodniczy odparowuje w stosunkowo niskiej temperaturze, dzięki czemu możliwe jest uzyskanie użytecznego efektu chłodniczego.

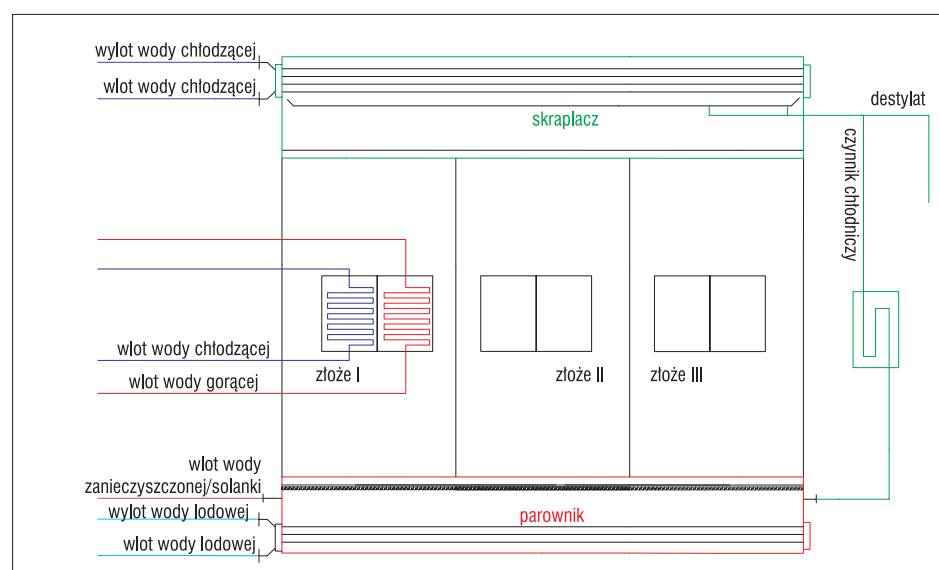
Obieg wody lodowej zasilającej parownik schładza się poprzez oddanie ciepła na potrzeby odparowania czynnika chłodniczego, który został wcześniej skroplony w skraplaczu. Powstałe pary czynnika chłodniczego trafiają następnie do złóż adsorpcyjnych, pełniących funkcję „sprężarki chemicznej”. Złóża adsorpcyjne wypełnione są silnie higroskopijnym sorbentem, pochłaniającym parę wodną za sprawą sił elektrostatycznych i wiązań van der Waalsa. Każde ze złóż jest nasycane parą powstałą indywidualnie w parowniku. Proces adsorpcji (pochłaniania par przez złożo) jest procesem egzotermicznym, więc konieczne jest odprowadzanie powstającego ciepła. Po fazie adsorpcji złożo zostaje odseparowane od parownika oraz skraplacza i następuje dopro-

wadzenie ciepła w celu zwiększenia ciśnienia panującego w złożu do ciśnienia panującego w skraplaczu. Po wyrównaniu ciśnień pary skumulowane w żelu krzemionkowym zostają zdesorbowane i trafiają do skraplacza, gdzie skraplają się w wyniku schłodzenia i odbioru ciepła kondensacji. Skropliny zgromadzone w dolnej sekcji skraplacza transportowane są z powrotem do parownika za pośrednictwem elementu dławiącego w celu utrzymywania różnicy ciśnień pomiędzy ciśnieniem panującym w skraplaczu i parowniku, zamykając cykl chłodzenia.

Istotną zaletą trójzłozowych agregatów adsorpcyjnych jest możliwość produkcji chłodu w sposób ciągły, każde ze złóż bowiem w danym momencie znajduje się w innej fazie



Rys. 6. Schemat komercyjnie dostępnego bromolitowego agregatu absorpcyjnego [11]



Rys. 7. Schemat komercyjnie dostępnej na rynku trójzłozowej chłodziarki adsorpcyjnej NETI® [12]

cyklu, a zatem przejścia pomiędzy fazą adsorpcji, podgrzewania, desorpcji i schładzania są skonfigurowane w taki sposób, żeby parownik chłodził i odsalał w sposób jednakowy pod względem parametrów pracy dla każdej chwili cyklu. Dostępne aktualnie na rynku urządzenia są w stanie produkować chłód przy zasilaniu ich wodą ciepłą, osiągając COP = 0,75 [12]. W porównaniu do agregatów absorpcyjnych są także wolne od ryzyka krystalizacji, znacząco ułatwiając konfigurację i eksploatację systemu. Na **rys. 7** zaprezentowano schemat trójzłożowego agregatu adsorpcyjnego umożliwiającego produkcję chłodu do celów technologicznych i klimatyzacyjnych.

Możliwości modernizacji maszynowni chłodniczej

Wykorzystanie na dużą skalę miejskich sieci ciepłowniczych do zasilania agregatów sorpcyjnych produkujących chłód do celów klimatyzacyjnych w budynkach biurowych prowadzi bezpośrednio do znaczącego zwiększenia zapotrzebowania na ciepło w okresie letnim. W takim przypadku to ciepło z sieci staje się głównym źródłem energii dla budynku, znacząco obniżając bilans zapotrzebowania na energię elektryczną. Należy zaznaczyć, że w razie modernizacji istniejącej maszynowni chłodniczej ze sprężarkowymi agregatami chłodniczymi na opartą na agregatach absorpcyjnych bądź adsorpcyjnych w większości wypadków zmianie ulega tylko źródło wytwarzania chłodu – w instalacji wewnętrznej opartej na wodzie lodowej nie są wymagane żadne zmiany. Powstały w ten sposób węzeł ciepło-chłodniczy dostarcza do budynku biurowego przez cały rok ciepło na potrzeby c.w.u., a letnim do zasilania ABS bądź 3ADS produkujących chłód na cele klimatyzacyjne. Przykładowy roczny przebieg zapotrzebowania na energię

do zasilania urządzenia produkującego chłód na cele klimatyzacyjne przedstawiono na **rys. 1**.

Korzyści, jakie niesie zastosowanie technologii sorpcyjnej produkcji chłodu dla systemów ciepłowniczych i systemu elektroenergetycznego, są bezsporne. Zostały one potwierdzone przez Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki (stanowisko regulacyjne z dnia 9 października 2013 r.), Izbę Gospodarczą Ciepłownictwo Polskie czy Ministerstwo Gospodarki, które w obwieszczeniu o wykazie przedsięwzięć służących poprawie efektywności energetycznej uwzględniło wyposażanie węzłów ciepłowniczych w urządzenia do produkcji chłodu z ciepła sieciowego [13].

Zastosowanie agregatów sorpcyjnych do wytwarzania chłodu z ciepła sieciowego niesie wymierne korzyści zarówno po stronie systemów ciepłowniczych, jak i systemu elektroenergetycznego, takie jak m.in.:

- poprawa efektywności ekonomicznej przedsiębiorstw ciepłowniczych poprzez zwiększenie sprzedaży ciepła i ograniczenie strat na przesyłce oraz optymalizację pracy sieci ciepłowniczej i źródeł w okresie letnim,
- możliwość zwiększenia produkcji energii elektrycznej w źródłach kogeneracyjnych w okresie letnim, a więc w okresie szczytowego zapotrzebowania na energię elektryczną, a w efekcie zwiększenie efektywności wykorzystania energii pierwotnej i zmniejszenie emisji CO₂,
- możliwość zmniejszenia zapotrzebowania na energię elektryczną na cele klimatyzacyjne w okresie letnim, a więc w okresie szczytowego zapotrzebowania na energię elektryczną.

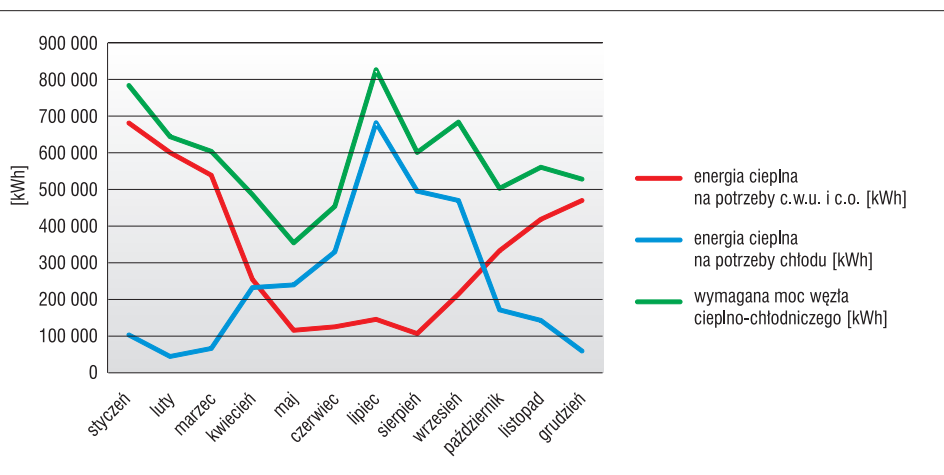
Na **rys. 8** zaprezentowano przebieg zapotrzebowania na ciepło z miejskiej sieci ciepłowniczej w wypadku zastosowania agregatu sorpcyjnego produkującego chłód na cele klimatyzacyjne dla budynku biurowego,

zapotrzebowania na ciepło na potrzeby c.o. i c.w.u. oraz chłodu.

Zastosowanie agregatów sorpcyjnych zasilanych z miejskiej sieci ciepłowniczej prowadzi do wykorzystania „zamrożonych” w okresie letnim mocy wytwórczych węzła ciepłego i ich spożytkowania na potrzeby zasilania agregatów absorpcyjnych lub adsorpcyjnych. Kształt wykresu na **rys. 8** sugeruje znaczącą optymalizację wykorzystania węzła ciepłego przy jednoczesnym obniżeniu rocznej zmienności zapotrzebowania na ciepło. Ograniczeniu ulega także zapotrzebowanie na energię elektryczną na potrzeby zasilania sprężarkowych agregatów chłodniczych, zbliżając bilans energetyczny budynku w okresie letnim do zapotrzebowania średniorocznego.

Literatura

1. *Strategia Bezpieczeństwo Energetyczne i Środowisko – perspektywa do 2020 r.*, Ministerstwo Gospodarki, 2011.
2. Adnot J., *Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners (EECCAC). Final Report*, 2008.
3. Kobyliński K., Smyk A., *Doświadczenia firmy Vattenfall w wykorzystaniu ciepła do produkcji chłodu w Europie oraz plany wdrożenia tej technologii w Warszawie*, Warsztaty projektu, Polysmart, 2010.
4. Wykres przygotowany przez portal www.wysokienapiecie.pl.
5. Wojdyga K., *Prognozowanie zapotrzebowania na ciepło*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2007.
6. *District heating and cooling country by country – 2005 Survey*, Euroheat & Power, Brussels 2005.
7. Zwierzchowski R., Mańkowski S., Niemyjski O., *Heat losses of the district heating network in different operation conditions*, The 6th ASME-JSME Thermal Engineering Joint Conference, March 16–20, 2003.
8. Malicki M., *Chłodziarki na poprawę efektywności*, „Energetyka Ciepła i Zawodowa” nr 2/2013.
9. Pietrzyk Z., Skowroński P., Smyk A., *Możliwości dostarczania ciepła na potrzeby uzyskiwania chłodu na przykładzie doświadczeń warszawskich*, materiały z konferencji „Ciepło skojarzone, komfort zimą i latem – trójgeneracja”, 2005.
10. Rubik M., *Techniczne aspekty wykorzystania ciepła systemowego do wytwarzania chłodu – przykłady zastosowania w kraju i za granicą*, „Nowoczesne Ciepłownictwo” nr 12/2012.
11. Instrukcja instalacji, obsługi i konserwacji bromolitowego agregatu absorpcyjnego SL Eco Energy Systems 2016.
12. Instrukcja instalacji, obsługi i konserwacji trójzłożowego chłodziarki adsorpcyjnej NETI®.
13. Obwieszczenie Ministra Gospodarki z dnia 21 grudnia 2012 r. w sprawie szczegółowego wykazu przedsięwzięć służących poprawie efektywności energetycznej (Monitor Polski z dnia 11 stycznia 2013 r., poz. 15).



Rys. 8. Zapotrzebowanie na ciepło na potrzeby c.o., c.w.u. i chłodu