

# Modernizacja instalacji klimatyzacyjnej w obiekcie publicznym z wykorzystaniem chłodziarek sorpcyjnych – przykład realizacji

*Air-conditioning installation modernization in public utility building using sorption chillers – case study*

**Zastosowanie technologii sorpcyjnej do produkcji chłodu przynosi nie tylko oszczędności energii elektrycznej, ale także istotne korzyści dla krajowego systemu elektroenergetycznego i miejskiego systemu ciepłowniczego.**

Aspekty techniczne, środowiskowe i ekonomiczne wykorzystania miejskiej sieci ciepłowniczej do dostawy energii zasilającej urządzenia produkujące chłód były wielokrotnie analizowane [1, 2]. Określono zalety, wady i bariery wdrożenia technologii sorpcyjnych na szeroką skalę [3, 4]. Stan techniki uwzględniający doświadczenia eksploatacyjne pierwszych w kraju instalacji potwierdza możliwości implementacji dostawy chłodu sieciowego jako usługi oferowanej przez przedsiębiorstwo energetyki ciepłej [5]. Dostępność energii elektrycznej latem na potrzeby produkcji chłodu połączona z planowanymi działaniami mającymi na celu poprawę efektywności energetycznej m.in. obiektów użyteczności publicznej prowadzi do szczegółowych analiz możliwości modernizacji budynków z wykorzystaniem chłodu sieciowego [6, 7]. W artykule przedstawiono studium przypadku modernizacji obiektu użyteczności publicznej z wykorzystaniem trójzłożowych chłodziarek adsorpcyjnych.

## Technologia produkcji chłodu z ciepła sieciowego

Najbardziej rozpowszechnionym systemem produkcji chłodu są sprężarkowe agregaty chłodnicze wykorzystujące energię elektryczną. W związku z tym oraz specyfiką zapotrzebowania na chłód szczyt zapotrzebowania na energię elektryczną na cele chłodnicze pojawia się w Polsce latem [8]. W tym czasie sieć ciepłownicza szczelnie pokrywająca centra polskich miast jest obciążona tylko w ok. 10%, dysponując wolnymi mocami do zasilania np. urządzeń produkujących chłód [9]. Technologia produkcji chłodu za pomocą wody gorącej znana jest od dekad, przeżywając w ostat-

nim czasie lawinowy rozwój i jednocześnie zmieniając kształt rynku produkcji chłodu [10]. Obecnie najszybciej rozwijają się technologie sorpcyjnej produkcji chłodu – absorpcyjne bądź adsorpcyjne agregaty chłodnicze. Agregaty te, w odróżnieniu od sprężarkowych, do produkcji chłodu na cele technologiczne czy klimatyzacyjne potrzebują ciepła o temperaturze już od 60–75°C dla ADS do 85–135°C dla ABS. W wypadku zastosowania agregatów adsorpcyjnych lub adsorpcyjnych węzeł ciepły dostarczający ciepło sieciowe staje się dla budynku głównym źródłem energii do zasilania c.o., c.w.u. zimą oraz c.w.u. i chłodu użytkowego latem. Na rys. 1 zaprezentowano przykładowy schemat węzła ciepłowniczo-chłodniczego zlokalizowanego u odbiorcy.

Adsorpcyjne agregaty chłodnicze mają także szereg zalet eksploatacyjnych, takich jak możliwość wykorzystywania ciepła o temperaturze dostępnej w okresie letnim z sieci

ciepłowniczej, duża trwałość i niezawodność, niski poziom hałasu i wibracji oraz niestosowanie freonów, ale wody jako czynnika chłodniczego [11]. Ze względu na różnice w budowie agregaty absorpcyjne wykorzystują jako czynnik roboczy najczęściej bromek litu, a adsorpcyjne różne rodzaje krzemionki. Rodzaj zastosowanej technologii powinien zależeć od dostępnej temperatury wody gorącej. Agregaty absorpcyjne znajdują zastosowanie wszędzie tam, gdzie mogą być zasilane gorącą wodą o temperaturze wyższej niż 85°C, a adsorpcyjne zadowala temperatura wody wyższa od 60°C [12].

## Chłodziarki sorpcyjne

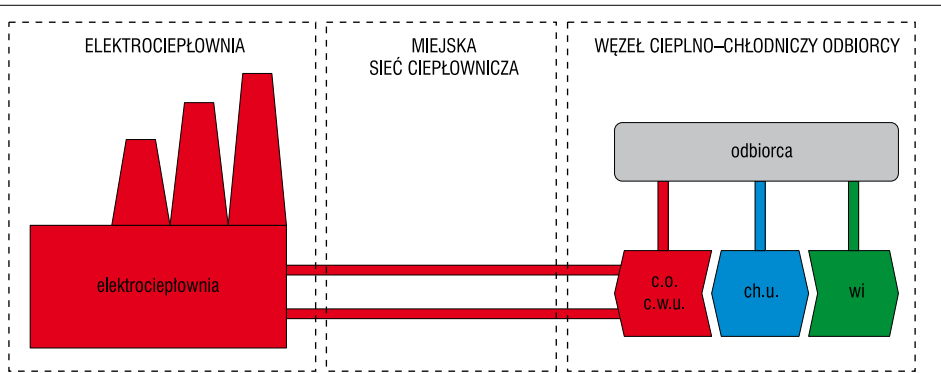
Przy rozważaniu produkcji chłodu z wykorzystaniem ciepła pochodzącego z sieci ciepłowniczej na szczególną uwagę zasługują trójzłożowe agregaty adsorpcyjne. Mogą one wykorzystywać do produkcji chłodu ciepło z sieci bez

### Streszczenie

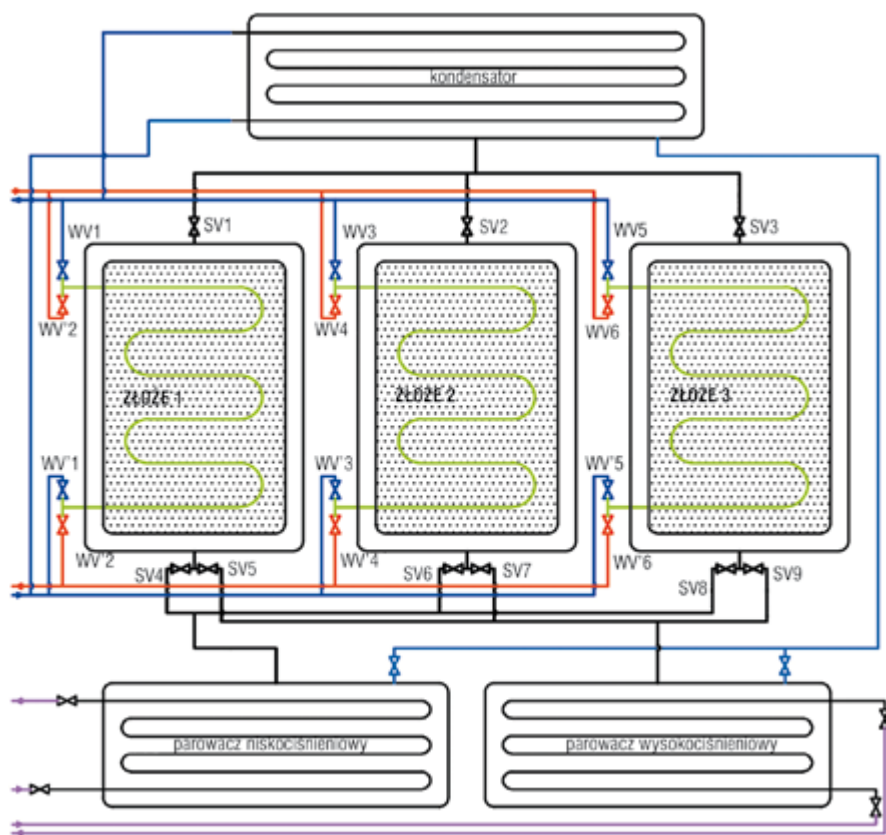
Zapotrzebowanie na energię elektryczną latem systematycznie rośnie. Utrzymanie trendu wzrostowego doprowadzi do wyrównania szczytowego zapotrzebowania na energię elektryczną zimą i latem. Istotny udział w letnim zapotrzebowaniu mają urządzenia klimatyzacyjne. Na rynku dostępna jest technologia wykorzystująca jako główne źródło energii do produkcji chłodu ciepło z miejskiej sieci ciepłowniczej. W artykule przedstawiono studium przypadku modernizacji instalacji kontroli klimatu w budynku użyteczności publicznej z wykorzystaniem trójzłożowych chłodziarek adsorpcyjnych prowadzącej do znaczącego ograniczenia zużycia ciepła oraz energii elektrycznej.

### Abstract

Electricity demand in the summer is growing steadily. Maintaining the trend will lead to the equalization of peak demand for electricity in winter and summer. Cooling equipment is an essential part of the summer demand. Technology using heat from District Heating Network to produce cooling capacity is available on the market. A case study of a modernization of the climate control system in a public utility building with the use of Three-Bed Adsorption Chiller, leading to significant reduction of heat and electricity consumption, has been presented in the paper.



Rys. 1. Schemat przykładowego węzła ciepłno-chłodniczego; c.o. – centralne ogrzewanie, c.w.u. – ciepła woda użytkowa, ch.u. – chłód użytkowy; wi – wieża chłodnicza



Rys. 2. Schemat działania trójzłozowej chłodziarki adsorpcyjnej na przykładzie chłodziarki NETI® New Energy Transfer [11]

▶▶ potrzeby podnoszenia jego temperatury w okresie letnim, co jest wymagane w wypadku dużych systemów miejskich, i zastosowania adsorpcyjnych agregatów chłodniczych. Podniesienie temperatury ciepła dostarczanego do odbiorców generuje bowiem szereg problemów natury eksploatacyjnej (m.in. zmniejszenie strumienia ciepła czy spadek sprawności produkcji energii elektrycznej dla systemów skojarzonych) oraz ekonomicznej (m.in. wymóg zainstalowania konkretnej mocy chłodniczej niwelujący koszty zwiększenia temperatury) [2].

Trójzłozowe agregaty adsorpcyjne ze względu na wykorzystanie temperatury dostępnej w okresie letnim są wolne od wymienionych

powyżej uwarunkowań zastosowania agregatów adsorpcyjnych. Wykorzystują one proces adsorpcji na powierzchni ciała stałego do produkcji par czynnika chłodniczego pod wysokim ciśnieniem. Urządzenie składa się z trzech złożów wypełnionych adsorbentem, połączonych z parownikami w taki sposób, aby mogły pracować jako urządzenie chłodnicze. Zasada działania opiera się na pracy parowników połączonych ze złożami substancji adsorbującej. Głównym źródłem energii dla układu jest ciepło mogące pochodzić z dowolnego źródła (miejskiej sieci ciepłowniczej, kolektorów słonecznych bądź źródeł odpadowych), pod warunkiem że jego temperatura przekracza 60°C. Energia elek-

tryczna potrzebna jest tylko do elektronicznych elementów sterujących oraz napędu zaworów, w które wyposażone jest urządzenie. Praca układu polega na synchronizacji cykli czasowych parowników i adsorberów w taki sposób, aby w danym momencie w każdym przedziale czasowym dwa spośród trzech złożów pracowały jako złoża adsorpcyjne, a pozostałe jako desorpcyjne. Równocześnie skraplacz i parownik, z których jeden pracuje pod wyższym, a drugi niższym ciśnieniem, gwarantują produkcję wody lodowej na cele klimatyzacyjne bądź technologiczne. Proces desorpcji sprowadza się do usunięcia pary wodnej poddanej adsorpcji z adsorbentu poprzez podanie ciepła. Desorbowana para gromadzona jest w skraplaczu. Na rys. 2 zaprezentowano schemat działania trójzłozowych agregatów adsorpcyjnych na przykładzie agregatu wody lodowej NETI®.

Przy zasilaniu urządzeń trójzłozowych ciepłem pochodzącym z miejskiej sieci ciepłowniczej zastosowanie tego rodzaju rozwiązań poprawia efektywność energetyczną dostaw ciepła do odbiorców, ograniczając zużycie energii elektrycznej na potrzeby klimatyzacyjne oraz zwiększając możliwości produkcyjne skojarzonych układów wytwórczych.

### Modernizacja systemu klimatyzacyjnego w budynku użyteczności publicznej

Szczegółowo przeanalizowano możliwość modernizacji układu kontroli klimatu (ogrzewania, wentylacji i chłodzenia) w budynku użyteczności publicznej podłączonym do miejskiej sieci ciepłowniczej. Podstawą rozwiązania jest technologia trójzłozowych agregatów adsorpcyjnych zasilanych ciepłem sieciowym i produkujących wodę lodową. Służy ona do schładzania powietrza wentylacyjnego rozprowadzanego do pomieszczeń biurowych budynku z kondygnacyjnych central rekuperacyjnych o wysokim poziomie odzysku ciepła/chłodu oraz częściowym odzysku wilgoci. Współpraca chłodziarki adsorpcyjnej z centralami rekuperacyjnymi pozwala na uzyskanie korzyści w postaci zmniejszenia zużycia ciepła systemowego w okresie zimowym i zmniejszenia zużycia energii elektrycznej w okresie letnim, połączone ze wzrostem komfortu w pomieszczeniach biurowych dzięki zwiększeniu skuteczności wymiany powietrza oraz jego nawilżaniu zimą. Analizowany budynek użyteczności publicznej, w którym praca odbywa się od poniedziałku do piątku od godziny 7.30 do 15.30, ma kubaturę 15 000 m<sup>3</sup> oraz powierzchnię ogrzewaną 3300 m<sup>2</sup> i jest wyposażony w wentylację naturalną. Chłód dostarczany jest przez zainstalowany układ

► VRF bezpośrednio do pomieszczeń (system multisplit). Produkcja chłodu jest sterowana lokalnie przez użytkowników. Aktualny stan dystrybucji energii grzewczej oraz energii elektrycznej na cele utrzymania komfortu w pomieszczeniach przedstawia się następująco:

- instalacja c.o. grzejnikowa pokrywa straty przez przegrody i wentylacyjne;
- instalacja klimatyzacji (schładzania) VRV/VRF pokrywa zyski ciepłe przez przegrody budowlane oraz wentylacyjne.

Za wymianę powietrza wentylacyjnego odpowiada obecnie centralny system mechanicznej wentylacji wyciągowej powodujący napływ powietrza świeżego kompensacyjnego przez nawietrzaki okienne. Napływające niefiltrowane powietrze jest ogrzewane lub schładzane wewnątrz pomieszczeń z wykorzystaniem niezbędnej nadmiarowej mocy grzewczej lub chłodniczej zainstalowanych systemów.

powietrza wentylacyjnego zostało odczytane z liczników będących na wyposażeniu obiektu – na chwilę obecną na potrzeby wentylacyjne zużywane jest ok. 650 GJ ciepła rocznie.

W celu obliczenia zapotrzebowania na ciepło do produkcji chłodu uwzględniono aktualną specyfikę pracy urządzeń klimatyzacyjnych (10 h dziennie), EER/COP urządzeń (zarówno sprężarkowych, jak i adsorpcyjnych) oraz roczne zużycie energii elektrycznej. W ten sposób obliczono ilość ciepła zużywanego do produkcji chłodu, co umożliwiło porównanie zużycia energii przed modernizacją i po niej (tabela).

Dzięki zastosowaniu central wentylacyjnych z odzyskiem ciepła/chłodu i wilgoci zmniejszeniu uległo zapotrzebowanie na ciepło wykorzystywane do wentylacji – z 1294 do 390 GJ rocznie, a więc ponad 3,3-krotnie. Jest to szczególnie istotne w kontekście zasilania urządzeń sorpcyjnych z istniejących węzłów

Energia	Przed modernizacją	Po modernizacji
Ciepło – zima, GJ	1294	23
Ciepło – lato, GJ	0	367
Elektryczność – zima, MWh	14	0
Elektryczność – lato, MWh	36	40

Tabela. Zużycie energii przed modernizacją i po niej

Do obliczeń zapotrzebowania na chłód do standaryzacji powietrza wentylacyjnego w zakresie higienicznym oraz doboru urządzeń przyjęto temperaturę powietrza zewnętrznego  $t_z = 32^\circ\text{C}$ , temperaturę powietrza wewnątrz budynku  $t_w = 24^\circ\text{C}$  oraz temperaturę wody lodowej  $12/18^\circ\text{C}$ , uzyskując zapotrzebowanie na chłód na cele instalacji wentylacji nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła dla budynku w ilości ok. 42 kW. W związku z dostępną temperaturą zasilania i powrotu wody sieciowej w lecie  $70/35^\circ\text{C}$  ( $\Delta T = 35^\circ\text{C}$ ) oraz efektywnie dostępną temperaturą wody zasilającej z sieci ciepłowniczej  $65^\circ\text{C}$  dobrano agregat NETI50 produkujący chłód o powyższych parametrach przy  $\text{COP} = 0,7$  oraz obliczono wymaganą moc węzła cieplnego wynoszącą 420 kW ( $70/35^\circ\text{C}$ ), spełniając kryterium możliwości agregatów trójzłozowych.

Niestety nie istnieją dane potwierdzające poziom zużycia energii elektrycznej przez obecnie zainstalowane urządzenia klimatyzacyjne, dlatego zostało ono oszacowane, bazując na porównaniu zużycia energii elektrycznej w miesiącach, kiedy klimatyzacja nie jest eksploatowana (od października do kwietnia), z miesiącami, kiedy klimatyzacja jest wykorzystywana (od maja do września). Obliczona wartość to 4450 kWh/mies. energii elektrycznej. Zużycie ciepła na potrzeby podgrzewu

ciepłych. Nieznacznemu – z 50 do 40 MWh rocznie, a więc o 20% – zmniejszeniu uległo zapotrzebowanie na energię elektryczną. Jest to głównie spowodowane wyłączeniem sprężarkowych układów klimatyzacyjnych i produkcją chłodu przy wykorzystaniu ciepła sieciowego.

### Korzyści systemowe

Zastosowanie technologii sorpcyjnej do produkcji chłodu przynosi nie tylko lokalne oszczędności energii elektrycznej, ale także istotne oszczędności dla systemu elektroenergetycznego. Od ostatniej dekady zapotrzebowanie na energię elektryczną systematycznie rośnie [13]. Intensywność wzrostu jest ponad dwukrotnie większa w miesiącach letnich [14]. Jeśli trend wzrostowy zapotrzebowania na energię elektryczną będzie się utrzymywał, to do 2030 roku zniknie „dolina letnia”, wyrównując szczytowe zapotrzebowanie na energię elektryczną zimą i latem. W 2017 roku po raz kolejny padł rekord zapotrzebowania na moc z systemu elektroenergetycznego [15].

Nie ma obecnie możliwości wiarygodnego i precyzyjnego określenia udziału zapotrzebowania na moc elektryczną na cele klimatyzacji i chłodzenia w całym zapotrzebowaniu, jednak dostępne analizy wskazują, że udział ten wynosi nie mniej niż 1500 MW. Oznacza to moc chłodniczą na poziomie 5000 MW [14]. Także naj-

wyższe ceny energii elektrycznej pochodzącej z krajowego systemu elektroenergetycznego występują właśnie w okresie letnim, dając obiektom wyposażonym w chłodnicze urządzenia sorpcyjne nie tylko możliwość uzyskania oszczędności związanych z ograniczeniem zużycia energii elektrycznej, ale także zarobku wiążącego się z odpłatnym ograniczeniem zużywanej mocy (tzw. system demand response). Z drugiej strony miejskie sieci ciepłownicze w okresie letnim z powodzeniem byłyby w stanie dostarczyć ok. 7000 MW ciepła na potrzeby produkcji chłodu, wielokrotnie zwiększając poziom letniego zapotrzebowania na ciepło. 7000 MW mocy ciepłowniczej to także 21,5 PJ dodatkowej sprzedaży ciepła rocznie z sieci, nie tylko rozwiązujące letnie problemy systemu elektroenergetycznego, ale także stanowiące istotny wkład w rozwój rynku ciepła.

### Literatura

- Kavvadias K.C., Tosios A.P., Maroulis Z.B., *Design of a combined heating, cooling and power system sizing, operation strategy selection and parametric analysis*, „Energy Conversion and Management” 51, 2010.
- Rubik M., *Techniczne aspekty wykorzystania ciepła systemowego do wytwarzania chłodu – przykłady zastosowania w kraju i zagranicą*, „Nowoczesne Ciepłownictwo” nr 12/2012 (243).
- Chorowski M., *Trigeneracja – zalety i ograniczenia*, „Nowa Energia” nr 4/2014.
- Smyk A., Pietrzyk Z., *Czy w Polsce istnieje realna szansa na chłód z central zasilanych ciepłem systemowym*, XIV Forum Ciepłowników Polskich, Międzyzdroje, 12–15 września 2010.
- Doświadczenia grupy EDF w produkcji chłodu z ciepła sieciowego na przykładzie instalacji Elektrociepłowni „Zielona Góra” S.A., prezentacja na konferencji 19.07.2016.
- Zwierchowski R., Malicki M., *Możliwości modernizacji sprężarkowej maszynowni chłodniczej na absorpcyjną zasilaną z miejskiej sieci ciepłowniczej z buforem w budynku biurowym*, „Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja” nr 10/2012.
- Zwierchowski R., Malicki M., *Zastosowanie w budynkach biurowych chłodziarek absorpcyjnych zasilanych z miejskiej sieci ciepłowniczej z akumulatorem ciepła w źródle*, „Rynek Energii” nr 2/2014.
- Dolega W., *Efektywność energetyczna w aspekcie bezpieczeństwa dostaw energii i bezpieczeństwa ekologicznego*, „Rynek Energii” nr 2/2014.
- Zwierchowski R., Dzierżgowski M., *Application of small-scale combined heat and power installations in the district heating systems*, ASME 2000 conference materials.
- Kobyliński K., Smyk A., *Doświadczenia firmy Vattenfall w wykorzystaniu ciepła do produkcji chłodu w Europie oraz plany wdrożenia tej technologii w Warszawie*, POLYSMART, Warszawa 2010.
- Instrukcja projektowania, montażu, eksploatacji i serwisowania trójzłozowych chłodziarek adsorpcyjnych NETI®*, Warszawa 2016.
- Innowacyjne technologie wykorzystania ciepła systemowego do produkcji chłodu*, Konferencja Techniczna Izby Gospodarczej Ciepłownictwo Polskie, listopad 2013.
- Strategia Rozwoju Kraju do 2020 r.*, załącznik do uchwały nr 157 Rady Ministrów z dnia 25 września 2012 r.
- Malicki M., *Modernizacja sprężarkowej maszynowni chłodniczej na sorpcyjną zasilaną z miejskiej sieci ciepłowniczej*, „Rynek Instalacyjny” nr 7/2017.
- Dane Krajowego Systemu Elektroenergetycznego z 23.06.2017.