

Metoda obniżenia kosztu chłodu produkowanego przez sprężarkowy agregat chłodniczy

Method for decreasing the cost of cooling capacity produced by compressor chiller

DOI: 10.15199/8.2019.4.1

dr inż. Marcin Malicki, New Energy Transfer Sp. z o.o.
dr hab. inż. Ryszard Zwierzchowski, Politechnika Warszawska

W naszym kraju zapotrzebowanie na energię elektryczną do celów chłodniczych i klimatyzacyjnych systematycznie wzrasta. Poza nowymi obiektami, które praktycznie zawsze wyposażane są w klimatyzację, widoczna jest także intensyfikacja trendu modernizacji istniejących obiektów handlowych, usługowych, biurowych czy mieszkaniowych z wykorzystaniem urządzeń klimatyzacyjnych. Wzrost jest szczególnie widoczny w dużych metropoliach, takich jak np. Londyn, gdzie do 2030 roku prognozowany jest wzrost zainstalowanej mocy chłodniczej o 40%, głównie z wykorzystaniem urządzeń zasilanych energią elektryczną. Ponad 99% planowanego wzrostu zapotrzebowania na energię ma zostać pokryte przez urządzenia zasilane właśnie energią elektryczną. W ostatnich miesiącach w Polsce wielokrotnie zostały przekroczone rejestrowane letnie wartości maksymalne zapotrzebowania na moc z systemu elektroenergetycznego, przekraczając w czerwcu tego roku po raz pierwszy 24 GW. Można spodziewać się, że w najbliższych latach dojdzie do wyrównania szczytowego zapotrzebowania na energię elektryczną w okresie zimowym z zapotrzebowaniem z okresie letnim. Obecnie, praktycznie całe światowe zapotrzebowanie na chłód jest pokrywane przez urządzenia zasilane energią elektryczną. W Polsce stanowi to również problem, ponieważ dostępność energii elektrycznej z Krajowego Systemu Elektroenergetycznego właśnie latem jest najmniejsza, a cena energii elektrycznej najwyższa. W artykule opisano metodę wytwarzania chłodu za pomocą rozwiązania hybrydowego, będącego źródłem chłodu łączącym klasyczne rozwiązanie sprężarkowe zasilane energią elektryczną, z rozwiązaniem sorpcyjnym, zasilanym ciepłem z Miejskiego Systemu Ciepłowniczego. W ten sposób, zaproponowano wykorzystanie „wolnych mocy ciepłowniczych” w sezonie letnim do produkcji chłodu ograniczając jednocześnie zapotrzebowanie na energię elektryczną. Szczegółowo przeanalizowano modele układów hybrydowych, tj. sorpcyjno-sprężarkowych do wytwarzania chłodu na potrzeby klimatyzacji budynków. Zastosowanie hybrydowych źródeł chłodu zmniejsza zapotrzebowania na moc i energię elektryczną oraz zwiększa zapotrzebowania na ciepło, przy pełnym pokryciu zapotrzebowania odbiorców na chłód. Wyniki obliczeń przedstawiono w formie tabelarycznej.

Słowa kluczowe: produkcja chłodu, układy hybrydowe, sprężarkowy agregat chłodniczy

In Poland, the demand for electricity for refrigeration and air-conditioning purposes is systematically growing. Apart new buildings, which are practically always equipped with air conditioning, the trend of modernization of existing commercial, service, office or residential buildings with the use of air conditioning devices is also increasing. The increase is particularly visible in large metropolises, such as London, where by 2030 the installed cooling capacity is forecast to increase by 40%, mainly with the use of equipment powered by electricity. Over 99% of the planned increase in energy demand has to be covered by devices powered by electricity. In recent months in Poland, the registered summer maximum demand for power from the power system has been exceeded many times, exceeding 24 GW for the first time in June this

year. It can be expected that in the coming years the peak demand for electricity in the winter period will equalize with the demand in the summer period. Currently, virtually all the global demand for cooling is covered by devices powered by electricity. In Poland, this is also a problem because the availability of electricity from the National Power System is the lowest in summer and the price of electricity is the highest. The paper describes the method of cold generation using a hybrid solution, which is a source of cold that combines a classic compressor solution powered by electricity, with a sorption solution powered by heat from the Municipal Heating System. In this way, it was proposed to use "free heating capacity" in the summer to produce cold while reducing the demand for electricity. Models of hybrid systems, i.e. sorption-compressor systems for generating cold for the needs of air conditioning of buildings were analyzed in detail. The use of hybrid sources of cooling reduces the demand for power and electricity and increases the demand for heat, while fully meeting the demand of consumers for cooling. The calculation results are presented in tabular form.

Keywords: cooling capacity, hybrid systems, compressor chiller

WSTĘP

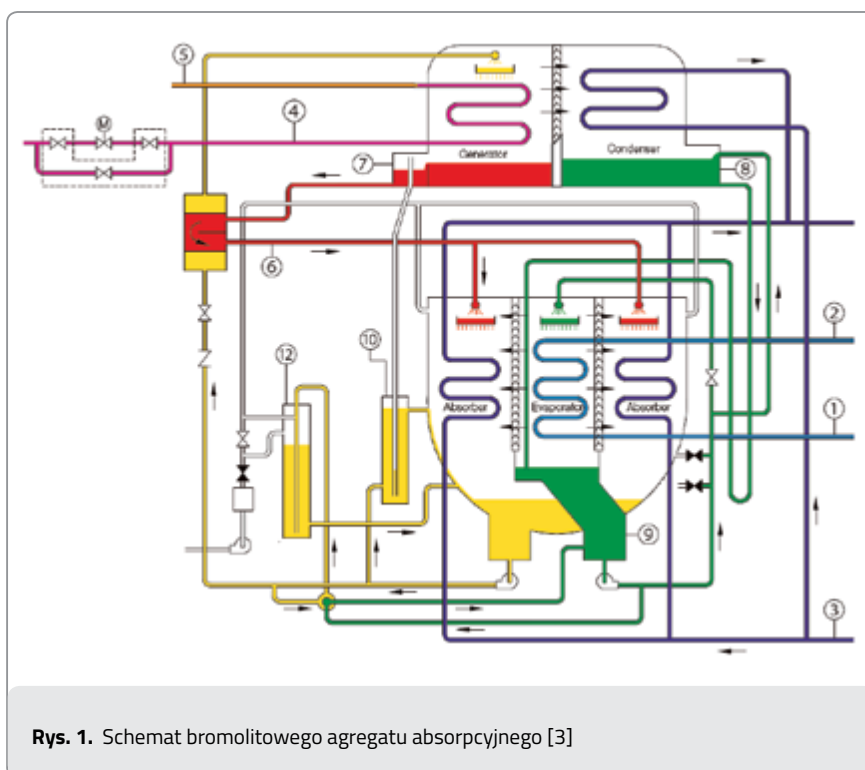
Działania mające na celu ograniczenie wpływu wykorzystania paliw nieodnawialnych na środowisko jak dotąd koncentrowały się głównie na poprawie efektywności energetycznej w przemyśle. Na przykład w przemyśle energochłonnym zużywa się 69% globalnej ilości energii pierwotnej w przemyśle [8], co odpowiada za 45% emisji CO₂ do atmosfery. Większość tej energii służy do wytwarzania energii elektrycznej i ciepła [9], z czego prawie 17%, to ciepło o temperaturze nie wyższej niż 120°C [1], które jest odprowadzane bezpośrednio do atmosfery. Szczególne miejsce w światowym zużyciu energii ma produkcja chłodu, której znaczenie w ciągu ostatnich dekad wyraźnie wzrosło. W 2016 roku zużycie energii na potrzeby chłodzenia budynków wyniosło 150 TWh w Europie i 2000 TWh na świecie, a więc było ono prawie 2,5-krotnie wyższe niż zapotrzebowanie na energię całej Afryki i trzykrotnie wyższe niż światowe zapotrzebowanie na energię do chłodzenia budynków w 1990 r. [5]. W budynkach zapotrzebowanie na energię do chłodzenia jest najszybciej rosnącą składową łącznego zużycia energii [12]. Niestety, praktycznie całe zapotrzebowanie na chłód jest pokrywane z wykorzy-

staniem urządzeń zasilanych energią elektryczną (mniej niż 1% to inne źródła), co dodatkowo podnosi prognozy zapotrzebowania na energię elektryczną na świecie do roku 2050.

Jest to szczególnie istotne w warunkach naszego kraju, ponieważ dostępność energii elektrycznej z Krajowego Systemu Elektroenergetycznego jest najmniejsza właśnie w okresie lata. Od ponad dekady widać wyraźny trend wypełniania tzw. „doliny letniej”, tj. mniejszego niż zimowe zapotrzebowanie na energię elektryczną. Uwzględniając średnioroczny wzrost zapotrzebowania na energię, trend wypełniania „doliny letniej” jest ponad dwukrotnie bardziej intensywny. Dodatkowo, co roku pobijany jest rekord letniego zapotrzebowania na moc elektryczną – w 2018 roku wyniósł on 23 245 MW (4/6/2018) w porównaniu z zapotrzebowaniem na poziomie 19 150 MW w czerwcu 2008. Wykorzystując wyniki analiz odniesionych do 2015 roku, każdy przyrost temperatury powietrza zewnętrznego o 1 K ponad 22,5°C oznacza dodatkowe zapotrzebowanie na moc w ilości od 100 do 200 MW z Krajowego Systemu Elektroenergetycznego, przy czym w najcieplejsze dni ponad 2 GW wykorzystywane jest tylko na potrzeby klimatyzacji.

Jednocześnie w okresie letnim znaczącej redukcji ulega zapotrzebowanie na ciepło, dostarczane w większości aglomeracji miejskich za pomocą miejskich sieci ciepłowniczych [9], co w połączeniu ze znacząco niższą dynamiką wzrostu ceny ciepła w stosunku do ceny energii elektrycznej oraz preferencjami w stosunku do źródeł kogeneracyjnych (wytwarzających jednocześnie ciepło i energię elektryczną) stwarza duży potencjał wykorzystania sieci ciepłowniczej w okresie letnim do zasilania, np. źródeł chłodu. Ciepło dostarczane do odbiorców za pomocą sieci ciepłowniczych pochodzi najczęściej z dużych źródeł cechujących się korzystnymi wskaźnikami sprawności skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepła. Dzięki temu w Polskich miastach scentralizowane systemy ciepłownicze pokrywają średnio 72% ogólnego zapotrzebowania na ciepło; w Europie dostarczają one ciepło dla ponad 100 milionów mieszkańców [2]. Dodatkowo, działania mające na celu zwiększenie ilości ciepła pochodzącego ze źródeł odnawialnych, prowadzą do pojawiania się w Miejskich Sieciach Ciepłowniczych (MSC) „zielonego” ciepła pochodzącego np. ze spalania biopaliwa.

Zwiększenie zapotrzebowania na ciepło w okresie letnim ograniczyłoby wiele problemów związanych z eksploatacją sieci ciepłowniczych przy minimalnej mocy, mających wpływ na średnioroczną cenę ciepła (w okresie letnim udział kosztów związanych ze stratami przesyłania jest bardzo istotnym składnikiem). Krajowe MSC projektowane były przy założeniu pokrycia zapotrzebowania na ciepło w warunkach najbardziej niekorzystnych, tj. przy minimalnej obliczeniowej temperaturze zewnętrznej. Oznacza to, że średnice rurociągów dobierane były w warunkach występujących tylko przez



Rys. 1. Schemat bromolituowego agregatu absorpcyjnego [3]

kilka najzimniejszych dni w roku. Przez pozostały czas MSC eksploatowane są z mocą mniejszą niż nominalna. Sytuacja pogarsza się w miesiącach letnich, gdy sieć dostarcza ciepło praktycznie tylko na potrzeby przygotowania ciepłej wody użytkowej, co związane jest z eksploatacją sieci z mocą często dziesięciokrotnie mniejszą niż nominalna; powoduje to prawie dwukrotne zwiększenie strat dostawy ciepła [13]. A zatem zwiększenie zapotrzebowania na ciepło z miejskiej sieci ciepłowniczej w okresie letnim, np. do zasilania chłodziarek sorpcyjnych, doprowadziłoby do wzrostu efektywności energetycznej systemu w wyniku ograniczenia strat przesyłania ciepła [6] oraz do obniżenia jego średniorocznej ceny.

CHŁODZIARKI SORPCYJNE

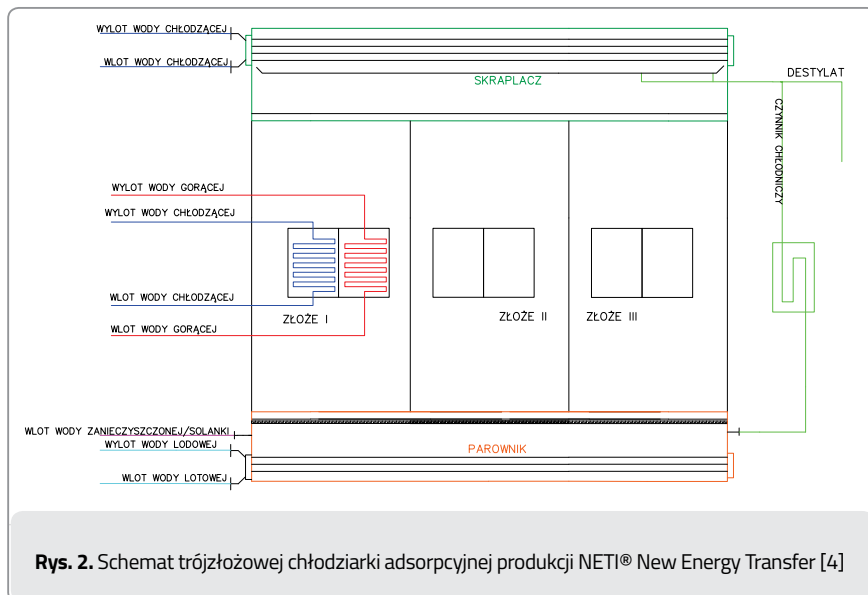
W chłodziarce absorpcyjnej woda lodowa na potrzeby klimatyzacyjne wytwarzana jest w wyniku krążenia czynnika chłodniczego między absorberem (jest w nim pochłaniana para czynnika), a desorberem (generatorem), którym następuje jego odgazowanie z roztworu roboczego. Energią zasilającą urządzenie i potrzebną do wykonania obiegu chłodniczego może być gorąca woda z miejskiej sieci ciepłowniczej. Układ absorbera i desorbera w urządzeniu absorpcyjnym zastępuje sprężarkę zasilaną energią elektryczną stosowaną w konwencjonalnym agregacie chłodniczym. Czynnikiem chłodniczym wykorzystywanym w agregacie bromolituowym jest woda, która tworząc roztwór z bromkiem litu – nieszkodliwą solą, stanowi czynnik roboczy w absorpcyjnym urządzeniu chłodniczym. Stosowane obecnie bromolituowe agregaty absorpcyjne w zasadzie nie mają części ruchomych, dzięki czemu ich eksploatacja jest możliwa przez okres dłuższy niż sprężarkowych urządzeń chłodniczych.

Na rys. 1 pokazano zasadę działania bromolituowego absorpcyjnego agregatu wody lodowej.

W chłodziarce zasilanej gorącą wodą, dzięki ciepłu dostarczanemu do generatora 7 (zasilanie 4, powrót 5) z wodnego roztworu LiBr, przy bardzo niskim ciśnieniu, odparowuje czysta woda. Para wodna przez separator dopływa do skraplacza, w którym skrapla się, a ciepło skraplania odbiera woda chłodząca. Następnie skropliny rozbryzgiwane są w parowniku, gdzie odparowują kosztem ciepła pobranego z wody lodowej przepływającej przez rurki wymiennika ciepła (zasilanie 1, powrót 2). Powstała para wodna płynie przez separator do absorbera, gdzie jest pochłaniana przez rozbryzgiwany stężony roztwór bromku litu dopływający z generatora. Ciepło absorpcji odprowadzone jest przez wodę chodzącą absorber. Chłodziarka dodatkowo wyposażona jest w elementy zwiększające sprawność:

regeneracyjny wymiennik ciepła 6 do wykorzystania ciepła gorącego roztworu odpływającego z generatora oraz automatyczny system utrzymywania próżni 12 i zapobiegania krystalizacji LiBr z roztworu 10. Powszechnie stosowane są agregaty adsorpcyjne, których zasada działania nieznacznie różni się od agregatów absorbcyjnych.

W obiegu chłodziarki adsorpcyjnej wykorzystano właściwości higroskopijne stałego sorbentu, który jest substancją nietoksyczną. Sorbent, w poszczególnych fazach obiegu, jest nasycany parą wodną, a następnie osuszany za pomocą doprowadzanego ciepła. Ze względu na bardzo niskie ciśnienie bezwzględne, czynnik chłodniczy odparowuje w niskiej temperaturze, dzięki czemu możliwe jest uzyskanie użytecznego efektu chłodzenia. Woda lodowa zasilająca parownik ochładza się, oddając ciepło konieczne do odparowania czynnika chłodniczego, który w postaci cieczy dopływa ze skraplacza. Para czynnika chłodniczego powstająca w parowniku płynie do złożeń adsorpcyjnych, spełniających zadania „sprężarki chemicznej”. Złoże adsorpcyjne wypełnione jest higroskopijnym sorbentem, pochłaniającym parę wodną za pomocą sił elektrostatycznych i wiązań van der Waalsa. Proces adsorpcji (pochłaniania pary przez złoże) jest procesem egzotermicznym, więc konieczne jest odprowadzanie powstającego ciepła. Po fazie adsorpcji złoże zostaje odseparowane od parownika oraz skraplacza, a następnie doprowadzane jest ciepło w celu podniesienia ciśnienia panującego w złożu do ciśnienia panującego w skraplaczu. Po wyrównaniu ciśnienia woda zakumulowana w żelu krzemionkowym odparowuje, a powstająca para doprowadzona jest do skraplacza, gdzie w wyniku schłodzenia i odbioru ciepła kondensacji zostaje skroplona. Skropliny zgromadzone w dolnej sekcji skraplacza dopływają do parownika, przy czym za pomocą elementów dławiących zostaje obniżone ciśnienie od wartości ciśnienia w skraplaczu do ciśnienia w parowniku. Istotną zaletą trójzłożowych agregatów adsorpcyjnych jest możliwość produkcji chłodu w sposób ciągły, bowiem każde ze złożeń w tym samym momencie znajduje się w innej fazie cyklu, tak więc przejścia między fazami adsorpcji, podgrzewania, desorpcji i ochładzania są skonfigurowane w taki sposób, aby proces chłodzenia wody



Rys. 2. Schemat trójzłożowej chłodziarki adsorpcyjnej produkcji NETI® New Energy Transfer [4]

w parowniku przebiegał w sposób jednakowy w każdej fazie cyklu. Obecnie dostępne są na rynku urządzenia mogące wytwarzać chłód przy zasilaniu ich wodą ciepłą osiągając wskaźnik efektywności COP = 0,75 [4]. W agregatach adsorpcyjnych nie ma ryzyka krystalizacji LiBr z roztworu, co znacznie ułatwia konfigurację i eksploatację systemu. Na rys. 2 zaprezentowano schemat trójzłożowego agregatu adsorpcyjnego umożliwiającego produkcję wody lodowej na potrzeby technologii i klimatyzacji.

MODEL HYBRYDOWEGO ŹRÓDŁA CHŁODU

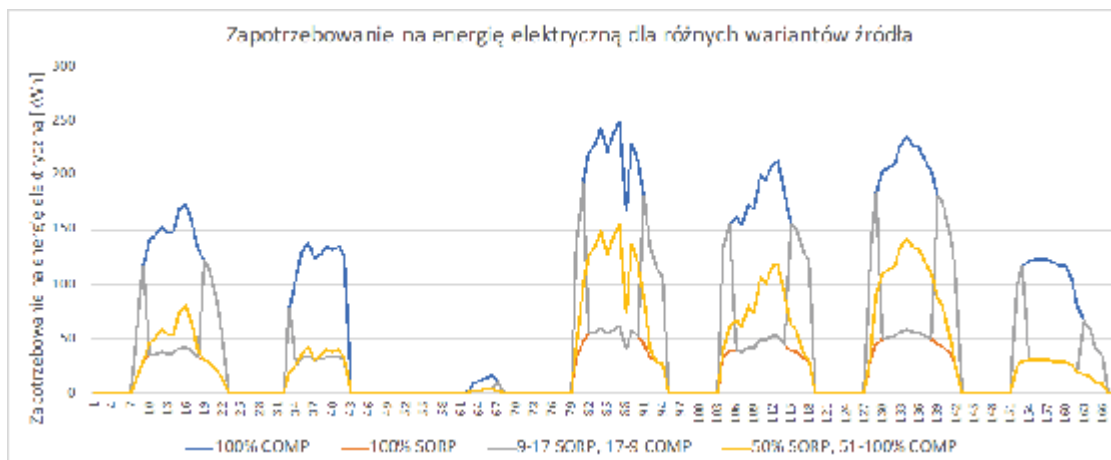
Uwzględniając narastający problem rosnącego zapotrzebowania na moc z systemu elektroenergetycznego do zasilania urządzeń chłodniczych w okresie letnim, zaproponowano model źródła wykorzystującego ciepło pochodzące z Miejskiej Sieci Ciepłowniczej do produkcji chłodu. Tego rodzaju modele były już wielokrotnie analizowane, a ich wyniki potwierdziły możliwość zastąpienia chłodziarki sprężarkowej przez sorpcyjne [7], co zapewni korzyści nie tylko lokalne, ale także systemowe [14]. Nie zostały jednak przeanalizowane źródła hybrydowe, składające się z chłodziarek sprężarkowych i sorpcyjnych produkujących chłód na potrzeby klimatyzacji.

Model hybrydowego źródła chłodu został opracowany na podstawie rzeczywistych danych uzyskanych z eksploatacji budynku biurowego zlokalizowanego w Warszawie o szczytowym zapotrzebowaniu na moc chłodniczą wynoszącym 1000 kW. Budynek wyposażony był w agregat sprężarkowy ze skraplaczem chłodzonym powietrzem i wytwarzający wodę lodową zasilającą odbiorniki końcowe (klimakonwektory). Wykorzystano dane zapotrzebowania budynku na chłód, stanowiące obciążenie godzinowe (przez 365 dni, 24h) oraz przeanalizowano zużycie energii przez źródło chłodu oraz niezbędne do jego pracy elementy zewnętrzne (w wypadku agregatów sorpcyjnych układ wody chłodzącej wraz z wieżą) w czterech wariantach pracy:

- Wariant I: zapotrzebowanie na chłód jest pokrywane w 100% przez agregat sprężarkowy zasilany z Krajowego Systemu Elektroenergetycznego;

- Wariant II: zapotrzebowanie na chłód jest pokrywane w 100% przez agregat sorpcyjny zasilany z Miejskiej Sieci Ciepłowniczej;
- Wariant III: zapotrzebowanie na chłód w godzinach „szczytu”, tj. w godz. 9:00 – 17:00 jest pokrywane przez agregat sorpcyjny, a „poza godzinami szczytu” (godz. 17:00 – 9:00) przez agregat sprężarkowy;
- Wariant IV: zapotrzebowanie na chłód do 500 kW pokrywane jest przez agregat sorpcyjny, a obciążenie większe niż 500 kW jest pokrywane przez agregat sprężarkowy stanowiący źródło szczytowe.

szynownia wg wariantu IV. W wariantcie tym sprężarkowe urządzenie chłodnicze jest źródłem szczytowym; do pokrycia rocznego zapotrzebowania na chłód budynku urzędnia zużywały 67 MWh/a energii elektrycznej, przy poborze mocy szczytowej wynoszącym 156 kW oraz 4403 GJ/a ciepła. Wariant IV jest także bardzo atrakcyjny pod względem nakładów inwestycyjnych, ponieważ nie ma potrzeby dublowania urządzeń, co w zasadzie miałyby miejsce w wariantcie III. Dodatkowo, dokładna analiza umożliwiłaby podział



Rys. 3. Zapotrzebowanie na energię elektryczną w różnych wariantach pracy źródła

W każdym z wariantów obliczono roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną oraz ciepło (rys. 3).

WYNIKI ANALIZY HYBRYDOWEGO MODELU ŹRÓDŁA CHŁODU

Największa ilość energii elektrycznej zużywana jest oczywiście w wariantcie I. Do pokrycia rocznego zapotrzebowania na chłód budynku w maszynowni wyposażonej tylko w agregat sprężarkowy zużyje się ok. 228 MWh/a energii elektrycznej przy szczytowym poborze mocy z Krajowego Systemu Elektroenergetycznego wynoszącym 250 kW. Najmniej energii elektrycznej zużywa się w wariantcie II, w którym zastosowano rozwiązanie sorpcyjne; w maszynowni tej zużyje się tylko 56 MWh/a energii elektrycznej, przy zapotrzebowaniu na moc elektryczną wynoszącym 61 kW. Dodatkowo, do zasilania agregatu sorpcyjnego niezbędne jest dostarczenie 4700 GJ/a ciepła z Miejskiej Sieci Ciepłowniczej, głównie w okresie letnim. Bardzo ciekawych wyników dostarcza analiza wariantów hybrydowych: w maszynowni chłodniczej wg wariantu III, a więc wytwarzającej chłód w agregacie sorpcyjnym w godzinach pracy biura (9:00 – 17:00) i w agregacie sprężarkowym w pozostałym okresie (godz. 17:00 – 9:00) zużyje się do pokrycia zapotrzebowania na chłód 95 MWh/a energii elektrycznej oraz 3648 GJ/a ciepła. Niestety, z powodu wysokiego szczytowego zapotrzebowania na chłód (dochodzącego do 777 kW), występującego w okresie pracy agregatu sprężarkowego, zapotrzebowanie na moc elektryczną było dość wysokie i wynosiło 193 kW. Najbardziej atrakcyjnym rozwiązaniem była ma-

mocy na szczytową i podstawową w sposób maksymalizujący uzyskiwany efekt ekonomiczny bądź energetyczny instalacji. Na rys. 3 porównano zużycie energii elektrycznej w każdym z wariantów podczas przykładowego letniego miesiąca.

WPŁYW PRODUKCJI CHŁODU NA SEKTOR CIEPŁOWNICZY

Wprowadzenie hybrydowego źródła wytwarzania chłodu powoduje określone skutki w sektorze energetycznym oraz ciepłowniczym. Wpływ na sektor ciepłowniczy polega przede wszystkim na wzroście produkcji i sprzedaży ciepła (dodatkowa produkcja i sprzedaż ciepła na potrzeby wytwarzania chłodu) w lecie, a także zmniejszeniu względnych strat przesyłania ciepła w tym okresie. Te dwa czynniki mają pozytywny wpływ zarówno na eksploatację Miejskich Sieci Ciepłowniczych, jak i ekonomikę funkcjonowania Przedsiębiorstw Energetyki Ciepłej [15]. Obecnie nie ma dokładnych danych umożliwiających wiarygodną ocenę zużycia energii przez urządzenia klimatyzacyjne w naszym kraju. Jednak pewne jest, że zapotrzebowanie na moc elektryczną w najcieplejsze dni może wynosić nawet 2000 MW. Zamiana części sprężarkowych źródeł chłodu na rozwiązanie hybrydowe doprowadziłoby z jednej strony do redukcji zapotrzebowania na moc i energię elektryczną, a z drugiej – do wzrostu zapotrzebowania na ciepło i moc cieplną z Miejskiej Sieci Ciepłowniczej, głównie w okresie letnim. Redukcja zapotrzebowania na moc elektryczną, w zależ-

ności od wariantu źródła oraz wielkości zamienianej mocy chłodniczej, wynosiłaby odpowiednio 75,6% w wariantcie II; 22,8% w wariantcie III oraz 37,6% w wariantcie IV. Dodatkowo zapotrzebowanie na ciepło z Miejskiej Sieci Ciepłowniczej, przy 10% udziale nowych bądź zamienianych źródeł w ogólnym zapotrzebowaniu na chłód, wynosiłoby 3 760 000 GJ/a w wariantcie II, 2 918 400 GJ/a w wariantcie III oraz 3 522 400 GJ/a w wariantcie IV. W tabeli zaprezentowano wyniki szczegółowych obliczeń każdego wariantów.

W tabeli przedstawiono wyniki analizy poszczególnych wariantów maszynowni (oznaczonych kolejno w wierszach tabeli jako „W I-IV”) odniesione do modelu budynku biurowego, które zostały przeniesione na skalę krajową przy założeniu 10, 30, 50 i 100% udziału zamienianej mocy elektrycznej (umieszczone w kolejnych kolumnach tabeli) zużywanej jak dotąd do celów klimatyzacyjnych. Jednostkowe zapotrzebowania na moc i energię z Krajowego Systemu Elektroenergetycznego oraz na energię z Miejskiej Sieci Ciepłowniczej dla budynku modelowego oraz poszczególnych wariantów maszynowni zostały szczegółowo opisane w rozdziale 4. Dla przykładu W IV (źródło hybrydowe składające się z chłodziarki sorpcyjnej o mocy 500 kW oraz chłodziarki sprężarkowej także o mocy 500 kW pełniącej rolę źródła szczytowego) do pokrycia rocznego zapotrzebowania na moc chłodniczą wynoszącą 1 MW zużywa rocznie 67 MWh/a energii elektrycznej, przy poborze mocy szczytowej z KSE wynoszącym 156 kW oraz 4403 GJ/a ciepła z MSC.

W wypadku zamiany 30% mocy chłodniczej zainstalowanej w kraju, a więc zgodnie z przyjętym założeniem ESEER = 4, 2400 MW na maszynownię zgodne z W IV, zapotrzebowanie na moc elektryczną zostałyby ograniczone do 374,4 MW (-225,6 MW) przy jednoczesnym wzroście zapotrzebowania na ciepło z MSC wynoszącym 10 567 200 GJ/a oraz ograniczeniu zużycia energii elektrycznej z KSE do 160 800 MWh (-4 13 400 MWh). W I jako maszynownia oparta w 100% na agregatach sprężarkowych może być traktowana jako poziom porównawczy dla kolejnych wariantów.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Zastosowanie hybrydowego, sorpcyjno-sprężarkowego, źródła chłodu spowoduje zmniejszenie zapotrzebowania na moc i energię elektryczną oraz wzrost zapotrzebowania na ciepło i moc cieplną przy jednoczesnym pełnym pokryciu zapotrzebowania na chłód, prowadząc do obniżenia kosztu wytworzenia chłodu. Przeanalizowano wpływ zastosowania źródła hybrydowego pracującego w dwóch wariantach: hybrydowych oraz po jednym w pełni sprężarkowym oraz sorpcyjnym, do pokrycia zapotrzebowania budynku biurowego na chłód, szacowano możliwe do osiągnięcia zmniejszenie zapotrzebowania na energię elektryczną oraz wzrost zapotrzebowania na ciepło zarówno samego źródła, jak i całego systemu. Szczegółowe

Tabela. Zapotrzebowanie na moc i energię elektryczną oraz ciepło w zależności od wariantu pracy hybrydowego źródła chłodu

Ilość zamienianych mocy chłodniczych	10%	30%	50%	100%	
Moc z KSE	200	600	1000	2000	[MWe]
Moc chłodnicza dla ESEER	800	2400	4000	8000	[MWch]
W I – Moc elektryczna	200	600	1000	2000	[MWe/MWch]
W I – Energia elektryczna	182400	547200	912000	1824000	[MWh]
W I – Energia cieplna	0	0	0	0	[GJ/a]
W II – Moc elektryczna	48,8	146,4	244	488	[MWe/MWch]
W II – Energia elektryczna	44800	134400	224000	448000	[MWh/a]
W II – Energia cieplna	3 760 000	11 280 000	18 800 000	37 600 000	[GJ/a]
W III – Moc elektryczna	154,4	463,2	772	1544	[MWe/MWch]
W III – Energia elektryczna	76000	228000	380000	760000	[MWh/a]
W III – Energia cieplna	2 918 400	8 755 200	14 592 000	29 184 000	[GJ/a]
W IV – Moc elektryczna	124,8	374,4	624	1248	[MWe/MWch]
W IV – Energia elektryczna	53600	160800	268000	536000	[MWh/a]
W IV – Energia cieplna	3 522 400	10 567 200	17 612 000	35 224 000	[GJ/a]

wyniki obliczeń podano w tabeli. Należy zaznaczyć, że zastosowanie źródła hybrydowego powinno być w każdym przypadku poprzedzone dokładną analizą zapotrzebowania na energię i moc chłodniczą w celu doboru optymalnej konstrukcji i algorytmu pracy układu. Różnice doskonale widać porównując wariant III oraz wariant IV pod względem nakładów inwestycyjnych oraz zapotrzebowania na energię i ciepło.

LITERATURA

- [1] Element energy. The potential for recovering and using surplus heat from industry, https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/294900/element_energy_et_al_potential_for_recovering_and_using_surplus_heat_from_industry.pdf. 20.10.2016.
- [2] Euroheat & Power: District heating and cooling country by country – 2005 Survey, Brussels 2005.
- [3] Instrukcja instalacji, obsługi i konserwacji bromolitowego agregatu absorpcyjnego SL Eco Energy Systems 2016.
- [4] Instrukcja instalacji, obsługi i konserwacji trójzłożowej chłodziarki adsorpcyjnej NETI®.
- [5] International Energy Agency: The Future of Cooling, 07/2018.
- [6] Malicki M. 2013. „Chłodziarki na poprawę efektywności”. *Energetyka Ciepła i Zawodowa* 2.
- [7] Malicki M. 2017. „Ograniczenie zużycia ciepła w budynku dzięki zastosowaniu chłodziarek sorpcyjnych Case Study”. *Rynek Instalacyjny* 10..
- [8] Międzynarodowa Agencja Energii, World energy outlook. http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2012_free.pdf. 20.10.2016.
- [9] Międzynarodowa Agencja Energii, CO₂ emissions from fuel combustion highlights. www.iea.org/publication/freepublication/publication/co2emissionfrom-fuelcombustionHIGHLIGHTS_March2013.pdf. 20.10.2016
- [10] Niemyjski O., R. Zwierzchowski. 2017. „Heat Losses of a Distribution Network Under Different Operating Conditions for a District Heating and Cooling System”. International conference on advances in energy systems and environmental engineering (ASEE17)-Wrocław.
- [11] Rubik M. 2012. „Techniczne aspekty wykorzystania ciepła systemowego do wytwarzania chłodu przykłady zastosowania w kraju i zagranicą”. *Nowoczesne Ciepłownictwo*12 (243): 20 – 45.
- [12] Wojdyga K. 2007. *Prognozowanie zapotrzebowania na ciepło*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- [13] Zwierzchowski R., S. Mańkowski, O. Niemyjski. 2003. „Heat losses of the district heating network in different operation conditions”, *The 6th ASME-JSME Thermal Engineering Joint Conference*, March 16 – 20.
- [14] Zwierzchowski R., M. Malicki. 2018. „Wpływ produkcji chłodu z ciepła sieciowego na sektory energetyki i ciepłownictwa systemowego w Polsce”. *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo Wentylacja* 49 (2): 43 – 48.
- [15] Zwierzchowski R., M. Malicki. 2018. „District Heating Network with Electricity Grid integration for Cooling Source combined energy supply”. *Energy Systems Conference* 2018, London 19–20 June, UK.