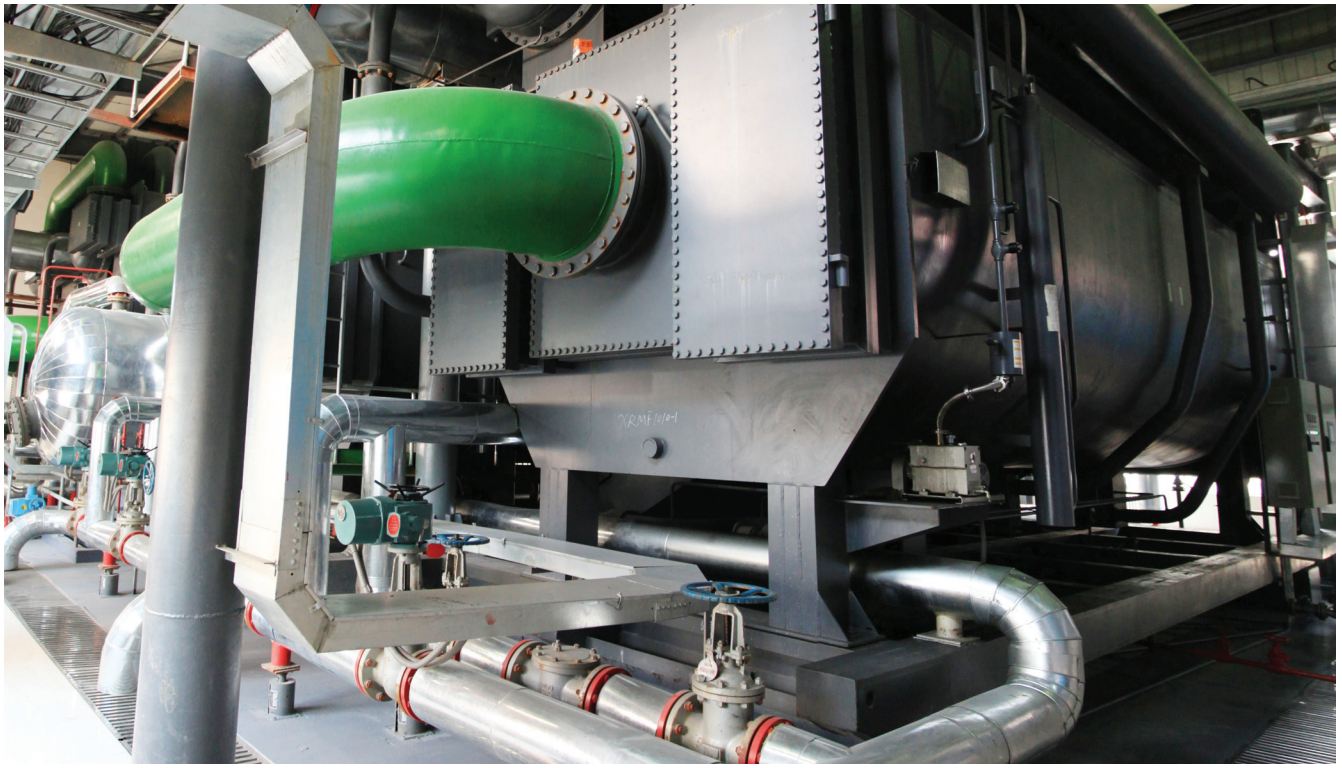


Sorpcyjne układy chłodzenia

Cz. 6. Ceny energii elektrycznej a koszt wytworzenia chłodu przy pomocy różnych technologii chłodniczych

Marcin MALICKI

W publikacji przedstawiono ogólną analizę wpływu wzrostu ceny energii elektrycznej na koszt wytworzenia chłodu do celów technologicznych oraz klimatyzacyjnych dla rozwiązań chłodniczych opartych na urządzeniach zasilanych energią elektryczną lub ciepłem. Analizy przygotowano dla szeregu wariantów uwzględniających spodziewane perspektywy wzrostu cen energii elektrycznej w kraju.

Na świecie systemy chłodzenia są odpowiedzialne za zużycie od 16% do nawet 50% energii elektrycznej przy ponad 40-procentowym udziale zużycia energii przez sektor mieszkaniowo -usługowy

Zapotrzebowanie na energię elektryczną do celów chłodniczych i klimatyzacyjnych systematycznie rośnie. Zapotrzebowanie na sam chłód będzie kontynuowało ponad 20-letni trend wzrostowy zarówno w zakresie urządzeń do klimatyzacji przemysłowej, jak i poprawy komfortu użytkowania obiektów. Widoczna jest także intensyfikacja trendu modernizacji istniejących obiektów handlowych, usługowych, biurowych czy mieszkaniowych z wykorzystaniem urządzeń klimatyzacyjnych: od rozległych systemów wody lodowej po lokalne systemy typu split. Wzrost jest szczególnie widoczny w dużych metropoliach, takich jak 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 energią elektryczną.

Na świecie systemy chłodzenia są odpowiedzialne za zużycie od 16% do nawet 50% energii elektrycznej przy ponad 40-procentowym udziale zużycia energii przez sektor mieszkaniowo-usługowy. Prowadzi to bezpośrednio do występowania szczytowego zapotrzebowania na energię elektryczną do celów klimatyzacyjnych w okresie letnim, kiedy to moc krajowego systemu elektroenergetycznego jest najmniejsza, a ceny energii najwyższe. W ostatnich miesiącach w Polsce wielokrotnie zostały przekroczone rejestrowane letnie wartości maksymalnego zapotrzebowania na moc z systemu elektroenergetycznego – w czerwcu po raz pierwszy już 24 GW. Można się spodziewać, że w najbliższych latach może dojść do wyrównania szczytowego zapotrzebowania na energię elektryczną w okresie zimowym z zapotrzebowaniem z okresie letnim.

Wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną oraz szereg fundamentalnych czynników związanych z kształtem krajowego miksu energetycznego (w Polsce nadal 86% energii elektrycznej pochodzi z węgla obarczonego wieloma kosztami środowiskowymi oraz będącego największym obciążeniem dla średniej krajowej ceny energii elektrycznej), prowadzi także do wzrostu jej ceny, odczuwalnego na razie przez przedsiębiorstwa, a docelowo przez wszystkich obywateli. Niepewność związana ze wzrostem cen energii elektrycznej jest wysoka, jednak nie ulega wątpliwości, że w najbliższych latach widoczny będzie silny trend wzrostowy. Szereg analiz wskazuje wzrost ceny

od 241,81 zł/MWh (średnia cena sprzedaży energii na rynku konkurencyjnym w I kwartale roku 2019) do 285 zł/MWh w roku 2020, zaś w roku 2025 nawet do 318 zł/MWh. Powyższe prognozy nie uwzględniają czynników innych niż fundamentalne, a więc na przykład inflacji.

Rodzaje urządzeń chłodniczych

Najpopularniejszym rozwiązaniem stosowanym w urządzeniach służących do pokrycia zapotrzebowania na chłód są centralnie instalowane sprężarkowe agregaty chłodnicze produkujące wodę lodową przesyłaną wewnętrzną instalacją hydrauliczną do odbiorników – systemów technologicznych, klimakonwektorów (potocznie nazywanych fancoilami) bądź chłodnic w centralach wentylacyjnych. W zależności od skali, tego rodzaju układy mogą także nie wykorzystywać hydraulicznej instalacji wody lodowej, a przesyłać sprężony czynnik chłodniczy bezpośrednio do odbiorników wyposażonych w chłodnice bezpośredniego odparowania. W wypadku agregatów sprężarkowych energią niezbędną do wyprodukowania chłodu jest energia elektryczna, która zasila silnik napędzający sprężarkę.

W odróżnieniu od agregatów sprężarkowych wykorzystujących do produkcji chłodu energię elektryczną, agregaty sorpcyjne jako główną energię zasilającą wykorzystują ciepło: gorącą wodę (o temperaturze od 60°C), parę nieużyteczną z systemu technologicznego (o ciśnieniu od 1 do 8 bar (G)), bezpośrednie spalanie gazu (przy pomocy wbudowanego palnika na dowolne paliwo) bądź bezpośrednio ze spalin wylotowych (o temperaturze wyższej od 400°C) dla wielostopniowych agregatów absorpcyjnych. W agregatach sorpcyjnych występuje także zapotrzebowanie na energię elektryczną do zasilania samego urządzenia (pomijalnie małe) oraz zasilania obiegów hydraulicznych (m.in. wody gorącej, chłodzącej i lodowej).

Sorpcyjne agregaty chłodnicze, w stosunku do sprężarkowych, poza wykorzystaniem ciepła do produkcji chłodu, posiadają także szereg zalet oraz wad, wśród których można wymienić brak elementów ruchomych, a więc dłuższą żywotność, większy rozmiar, wymagający większej powierzchni maszynowni, czy niski w stosunku do agregatów sprężarkowych poziom hałasu i wibracji.

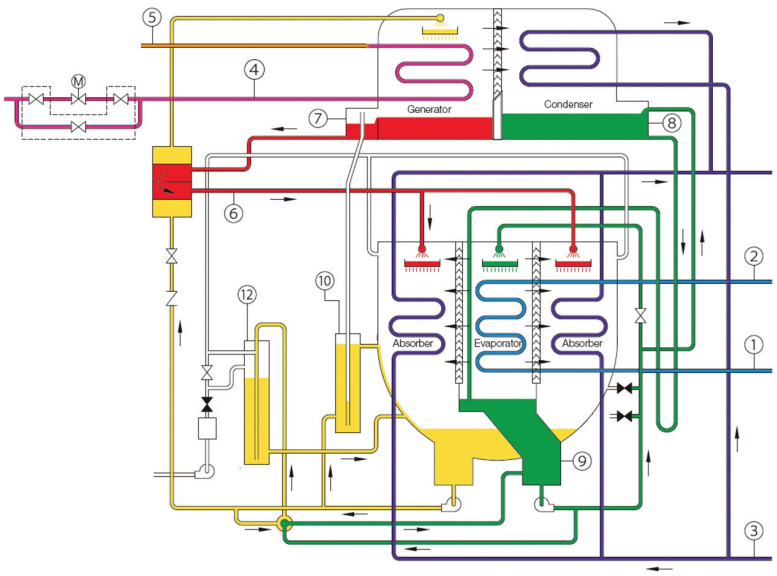
Agregaty sorpcyjne możemy podzielić na dwie podstawowe grupy ze względu na różnice w budowie:

- agregaty absorpcyjne – wykorzystują jako czynnik roboczy najczęściej roztwór soli (przeważnie bromku bitu);
- agregaty adsorpcyjne – ciało stałe (najczęściej różne rodzaje krzemionki).

Rodzaj zastosowanej technologii zależy od dostępnej temperatury ciepła. Agregaty absorpcyjne znajdują swoje zastosowanie wszędzie tam, gdzie dostępna temperatura ciepła przekracza 85°C, a agregaty adsorpcyjne zadowalają się ciepłem o temperaturze od 60°C.

Zasada działania absorpcyjnych agregatów chłodniczych

Chłodziarka absorpcyjna wytwarza wodę lodową na potrzeby chłodnicze bądź klimatyzacyjne dzięki krążeniu czynnika chłodniczego między absorberem (jest w nim pochłaniany) a desorberem (generatorem). Układ absorbera i desorbera odpowiada, porównując do agregatu konwencjonalnego, sprężarce elektrycznej, z tą różnicą, że nie używa jako energii zasilającej prądu, a ciepła. Czynnikiem chłodniczym wykorzystywanym w agregacie bromolitowym jest woda, najbardziej ekologiczny z dostępnych



Rys. 1. Schemat komercyjnie dostępnego bromolitowego agregatu absorpcyjnego

czynników chłodniczych, która tworząc mieszaninę z bromkiem litu – nieszkodliwą solą, wykorzystywana jest jako czynnik roboczy układu chłodniczego. Stosowane dziś bromolitowe agregaty absorpcyjne praktycznie nie posiadają części ruchomych, dzięki czemu ich eksploatacja jest możliwa przez wiele lat, wydłużając cykl życia urządzenia w porównaniu do rozwiązań sprężarkowych.

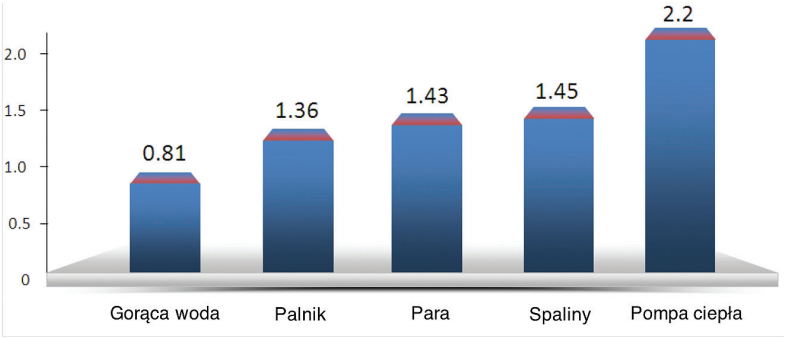
Na rysunku 1. zaprezentowano schemat bromolitowego absorpcyjnego agregatu wody lodowej.

W chłodziarce zasilanej gorącą wodą, dzięki ciepłu podanemu do generatora (7), zasilanie (4), 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), 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. Chłodziarka dodatkowo wyposażona jest w systemy zwiększające sprawność poprzez odzysk ciepła (6) oraz automatyczny system utrzymywania próżni (12) i zapobiegania krystalizacji (10).

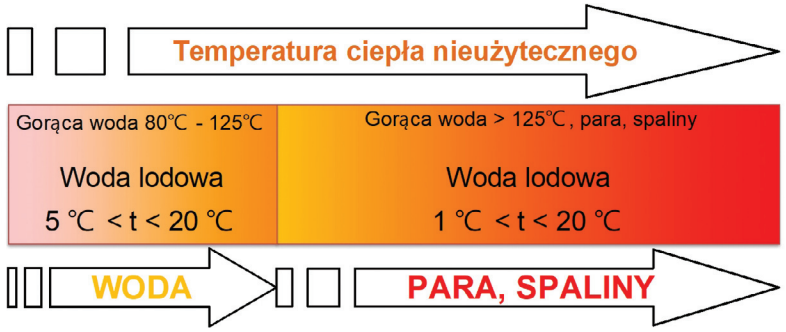
Wpływ sprawności na koszt wytworzenia chłodu

Tak istotna z punktu widzenia kosztu wytworzenia chłodu sprawność, definiowana dla agregatów sorpcyjnych jako współczynnik COP (*Coefficent of Performance*), będący stosunkiem uzyskanej mocy chłodniczej do użytecznej energii zasilającej, dla chłodziarek absorpcyjnych zasilanych gorącą wodą, kształtuje się na poziomie 0,6÷0,8 (przy idealnym wskaźniku na poziomie 1,0 – różnica spowodowana jest stratami energii w urządzeniu). Powyżej scharakteryzowany COP = 0,7 oznacza, że z jednej jednostki ciepła użytecznego wprowadzonego do układu, wyprodukowane zostanie 0,7 jednostki chłodu użytecznego. COP agregatów absorpcyjnych jest w dużej mierze zależne od ich konstrukcji – ilości „*stopni*" oraz „*efektów*" agregatu, będącej bezpośrednio zależnej od temperatury ciepła

Agregaty absorpcyjne znajdują zastosowanie wszędzie tam, gdzie dostępna temperatura ciepła przekracza 85°C, a agregaty adsorpcyjne zadowalają się ciepłem o temperaturze od 60°C



Rys. 2. Sprawność produkcji chłodu COP dla różnych rodzajów zasilania urządzeń absorpcyjnych



Rys. 3. Możliwe do uzyskania temperatury wody lodowej w zależności od temperatury zasilania

zasilającego agregat: im wyższa temperatura medium zasilającego agregat absorpcyjny tym COP wyższe. Na rysunku 2. przedstawiono wykres maksymalnych sprawności wytwarzania chłodu dostępnych na rynku rozwiązań komercyjnych, zaś na rysunku 3. możliwy do zagospodarowania zakres ciepła zasilającego.

Żeby urządzenie absorpcyjne pozostało w równowadze termodynamicznej, ilość energii wprowadzonej do układu musi być równa ilości energii odprowadzonej z układu. W agregacie absorpcyjnym energia wprowadzana jest do układu przy pomocy wody zasilającej oraz wody lodowej, a wyprowadzana z układu przy pomocy wody chłodzącej. W wypadku COP = 0,7 ilość ciepła wprowadzonego w postaci wody gorącej (1 jednostka) oraz wody lodowej (0,7 jednostki), a więc 1,7 jednostki energii, musi zostać odprowadzone do atmosfery przy pomocy systemów zewnętrznych, takich jak chłodnice wentylatorowe bądź wieże chłodnicze, połączone z chłodziarką absorpcyjną instalacją hydrauliczną. Im wyższe COP chłodziarki absorpcyjnej, tym ilość energii niezbędnej do odprowadzenia przy pomocy instalacji wody chłodzącej jest mniejsza – a więc wpływająca pozytywnie na koszty eksploatacji całego układu. To właśnie koszty eksploatacji układu wody chłodzącej, na które składają się koszty pracy pomp wody, uzdatniania wody uzupełniającej oraz zużycie energii przez wieże chłodnicze, są drugim istotnym czynnikiem mającym wpływ na efektywność ekonomiczną komercyjnie eksploatowanych rozwiązaniach absorpcyjnych.

Porównanie kosztu wytworzenia 1 GJ chłodu

Analizie poddano dwa najpopularniejsze, zasilane gorącą wodą oraz parą, rodzaje chłodniczych układów absorpcyjnych o mocy 1000 kW każdy, produkujące chłód na potrzeby klimatyzacyjne oraz technologiczne: sumarycznie cztery warianty. Dodatkowo do wstępnej analizy kosztu wytworzenia 1 GJ chłodu, przyjęto dwa poziomy kosztów ciepła: cenę rynkową oraz cenę ciepła odzyskiwanego. Uwzględnienie w analizie różnych kosztów ciepła wynika z szerokiego zakresu cen rynkowych – od ceny regulowanej po często pomijalną, cenę ciepła odpadowego. Efekty analizy zestawiono z wynikami uzyskanymi dla dostępnego na rynku agregatu sprężarkowego, wykorzystującego do produkcji chłodu energię elektryczną.

Ze względu na realnie różne poziomy rocznej produkcji chłodu dla wariantu klimatyzacyjnego i technologicznego, wynikające m.in. ze zmiennych i niepowtarzalnych warunków pogodowych oraz typów budynków, do obliczenia rocznego zapotrzebowania na chłód wykorzystano wskaźnik ESEER (*European Seasonal Energy Efficency Ratio*) wyliczony przez Eurovent Certification Company.

Wskaźnik ESEER

ESEER uwzględnia obciążenia częściowe agregatu i od 2006 roku jest standardem obejmującym wszystkich producentów agregatów wody lodowej poddających swoje urządzenia certyfikacji Eurovent (*Eurovent Standard* 6-C003-2006). Wskaźnik uwzględnia zmienne w ciągu roku warunki pracy urządzeń chłodniczych i został opracowany jako element programu „SAVE" po pięcioletnich badaniach współfinansowanych przez Unię Europejską. Geneza opracowania wskaźnika leży w nieadekwatności stosowania do zmiennych obciążeń układu chłodniczego oraz temperatur w ciągu roku, wartości wskaźnika COP, nieuwzględniającego obciążenia częściowego urządzeń chłodniczych pracujących na potrzeby klimatyzacji. Tabela 1. prezentuje parametry przyjęte do obliczenia wskaźnika ESEER.

Tabela 1. Parametry obliczeniowe wskaźnika ESEER

Obciążenie	Temperatura powietrza °C	Waga
100%	35	3%
75%	30	33%
50%	25	41%
25%	20	23%

Wskaźnik obliczamy poprzez dodanie wartości EER pomnożonych przez ich wagę:

0,03 EER 100% + 0,33 EER 75% + 0,41 EER 25% + + 0,23 EER 25% = ESEER

Sprawność produkcji chłodu zarówno dla agregatów sprężarkowych, jak i absorpcyjnych zależy od wielu czynników. Należy jednak zaznaczyć, że agregaty absorpcyjne w trakcie pracy z obciążeniami częściowymi, produkują chłód ze sprawnością wyższą od nominalnej. Stąd do obliczeń przyjęto średnie COP obliczone dla dużej grupy agregatów absorpcyjnych eksploatowanych w kraju. Podobnie przyjęto sprawność produkcji chłodu dla agregatu sprężarkowego.

Dodatkowo do obliczenia kosztu 1 GJ chłodu dla użytkownika końcowego wykorzystano dostępne dane dotyczące ceny mediów: energii elektrycznej zgodnie z Informacją Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki Nr 24/2018 z dnia 28/03/2018 dotyczącą średniej ceny energii elektrycznej dla odbiorcy w gospodarstwie domowym uwzględniającej opłatę za świadczenie usług dystrybucji energii elektrycznej, obliczone na podstawie cen zawartych w umowach kompleksowych w roku 2017 zaktualizowanych o średnie kwartalne ceny energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym z dnia 01/07/2019,

Tabela 2. Zestawienie obliczeń kosztu wytworzenia 1 GJ chłodu z wykorzystaniem różnych technologii chłodniczych

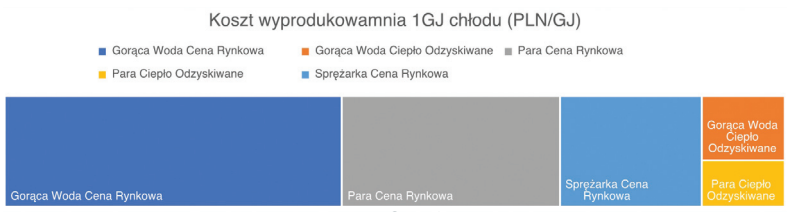
Opis	Gorąca Woda Cena Rynkowa	Gorąca Woda Ciepło Odzyskiwane	Para Cena Rynkowa	Para Ciepło Odzyskiwane	Sprężarka Cena Rynkowa	j.m.
Moc chłodnicza	1000	1000	1000	1000	1000	kW
Sprawność produkcji chłodu	0,77	0,77	1,4	1,4	4	[-]
Zapotrzebowanie na ciepło	1299	1299	714	714	0	kW
Zapotrzebowanie na energię elektryczą	58,4	58,4	44,8	44,8	250	kW
Cena ciepła	206,64	10,33	237,64	11,88		zł/MWh
Cena energii elektrycznej	500	500	500	500	500	zł/MWh
Przelicznikowy czas pracy na potrzeby klimatyzacji	1971	1971	1971	1971	1971	h/a
Przelicznikowy czas pracy na potrzeby technologii	4320	4320	4320	4320	4320	h/a
Roczne zużycie ciepła na potrzeby klimatyzacji	2559,74	2559,74	1407,86	1407,86	0	MWh/a
Roczne zużycie energii elektrycznej na potrzeby klimatyzacji	115,07	115,07	88,32	88,32	492,75	MWh/a
Roczne zużycie ciepła na potrzeby technologiczne	5610,39	5610,39	3085,71	3085,71	0,00	MWh/a
Roczne zużycie energii elektrycznej na potrzeby technologiczne	252,21	252,21	193,58	193,58	1080,00	MWh/a
Suma kosztów eksploatacji na potrzeby klimatyzacji	586479	83982	378718	60888	246375	PLN/a
Suma kosztów eksploatacji na potrzeby technologii	1285434	184070	830066	133453	540000	PLN/a
Cena 1GJ chłodu	82,65	11,84	53,37	8,58	34,72	PLN/GJ

a dla ciepła średnie ceny ciepła powiększone o średnie stawki opłaty za usługi przesyłowe z raportu pt. Energetyka Cieplna w Liczbach – 2016, Urząd Regulacji Energetyki, Warszawa, sierpień 2017. Ze względu na znacząco niższe ceny ciepła odpadowego bądź odzyskiwanego, w analizie uwzględniono także zredukowaną cenę ciepła na przykład pochodzącego w okresie letnim z układów skojarzonych oraz cenę ciepła odpadowego pochodzącego z przemysłowych układów odzysku ciepła.

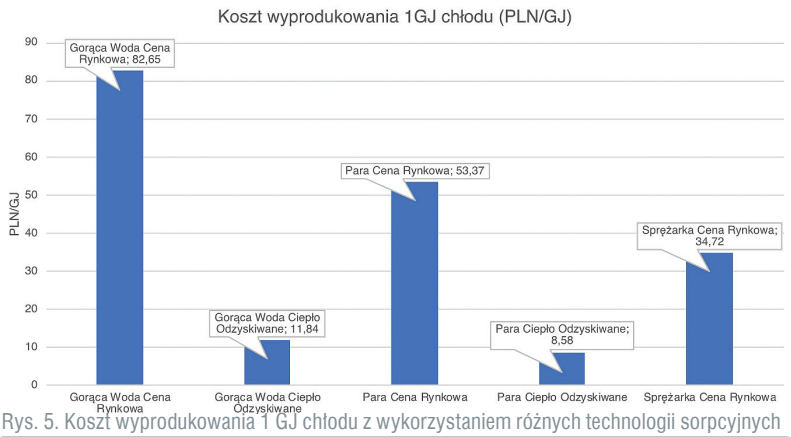
Agregaty absorpcyjne, poza ciepłem, zużywają także energię elektryczną na potrzeby systemu sterowania oraz pracy układów zewnętrznych. Ze względu na fakt zbieżnego zużycia energii elektrycznej przez układ wody lodowej – dla agregatów sprężarkowych czy absorpcyjnych o tej samej mocy zużycie energii przez system będzie takie samo – w analizie uwzględniono wpływ COP agregatu absorpcyjnego na zużycie energii elektrycznej przez układ pomp wody chłodzącej oraz wieżę chłodniczą i nie uwzględniono pracy układu pomp wody lodowej. Wartości scalone przedstawiono w tabeli 2.

Wskaźnikiem umożliwiającym porównanie opłacalności ekonomicznej eksploatacji układów absorpcyjnych i sprężarkowych jest koszt wyprodukowania 1 GJ chłodu. Efektem obliczeń, dla każdego z rodzajów agregatów absorpcyjnych zasilanych ciepłem pozyskanym po różnej cenie, jest właśnie koszt wyprodukowania 1 GJ chłodu. Poziomem odniesienia jest tutaj koszt wyprodukowania chłodu przez rozwiązanie konwencjonalne, wynoszący 34,72 zł/GJ. Na rysunku 4. zaprezentowano uszeregowane koszty wytworzenia 1 GJ chłodu dla różnych wariantów analizy.

Należy zaznaczyć, że powyższy koszt nie uwzględnia amortyzacji nakładów inwestycyjnych na urządzenia oraz ich serwisu. Koszt wytworzenia chłodu w przypadku rozwiązań absorpcyjnych zasilanych ciepłem po cenach rynkowych jest wyraźnie wyższy od ceny chłodu wyprodukowanego przy pomocy rozwiązania sprężarkowego. Jasno wskazuje to na możliwy, z ekonomicznego punktu widzenia, obszar zastosowania takich układów: w instalacjach z dostępnym tanim

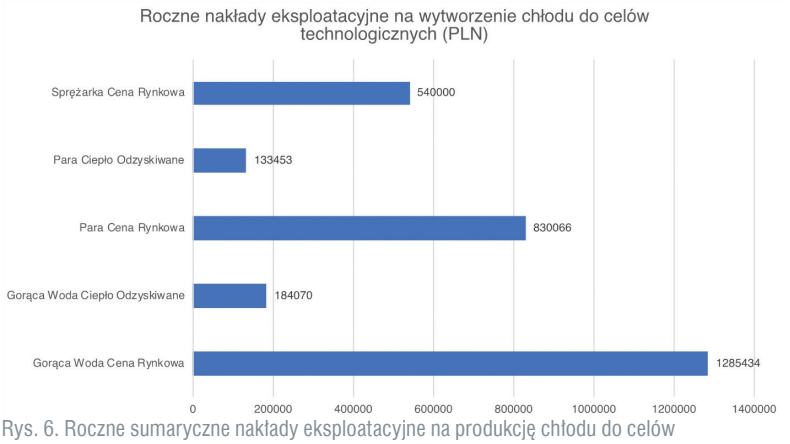


Rys. 4. Podsumowanie kosztu wytworzenia 1 GJ chłodu z wykorzystaniem różnych technologii sorpcyjnych

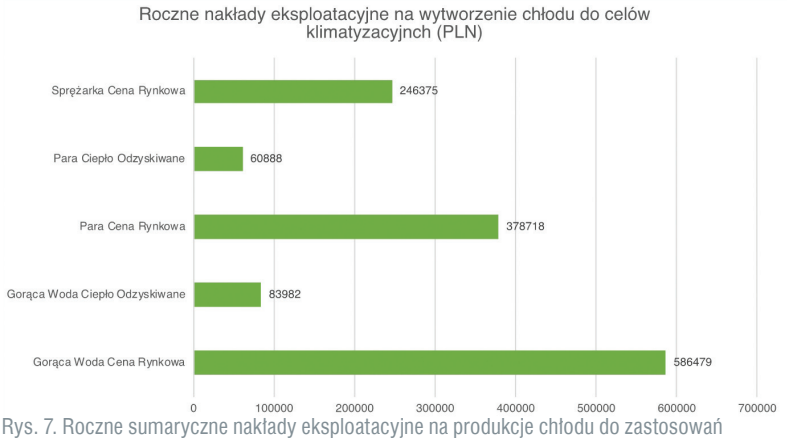


Rys. 5. Koszt wyprodukowania 1 GJ chłodu z wykorzystaniem różnych technologii sorpcyjnych

ciepłem odpadowym. W takim wypadku, zarówno agregat absorpcyjny zasilany gorącą wodą jak i parą, produkuje wodę lodową po cenie wielokrotnie niższej niż rozwiązanie sprężarkowe: odpowiednio 11,84 zł/GJ i 8,58 zł/GJ w porównaniu z 34,72 zł/GJ. Szczegółowe dane porównawcze zaprezentowano na wykresie (rys. 5.) Widoczna jest tu wyraźna tendencja zależności finalnej ceny chłodu od ceny ciepła, które – jeśli jest pozyskane po cenie niższej od ceny regulowanej – prowadzi bezpośrednio do produkcji chłodu przez układ absorpcyjny w sposób bardziej ekonomiczny od rozwiązania sprężarkowego.



Rys. 6. Roczne sumaryczne nakłady eksploatacyjne na produkcję chłodu do celów technologicznych



Rys. 7. Roczne sumaryczne nakłady eksploatacyjne na produkcje chłodu do zastosowań klimatyzacyjnych

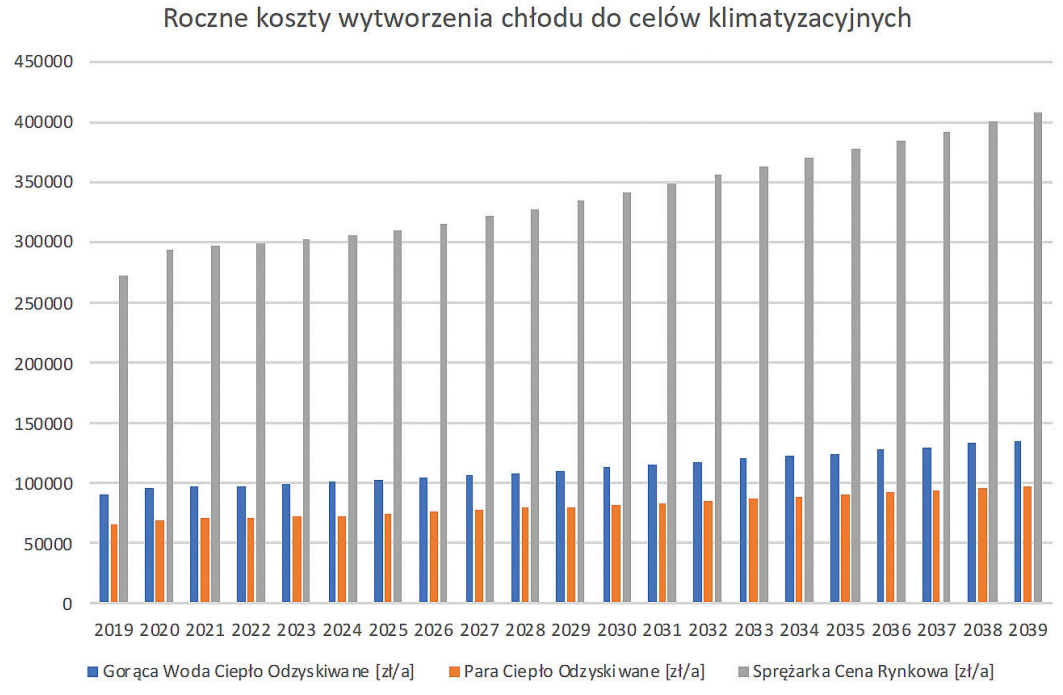
Koszty eksploatacyjne rozwiązań absorpcyjnych

Analiza opłacalności zastosowania układów absorpcyjnych i sprężarkowych produkujących chłód do celów klimatyzacyjnych bądź technologicznych, z punktu widzenia całości inwestycji, musi także uwzględniać roczne korzyści dla inwestora. Ich poziom jest funkcją różnicy kosztu wytworzenia 1 GJ chłodu oraz rocznej produkcji. W wypadku rozwiązań klimatyzacyjnych, produkcja jest zależna głównie od warunków zewnętrznych, takich jak temperatura i nasłonecznie, stąd poziom rocznych oszczędności jest w większości przypadków niższy w porównaniu z układami produkującymi chłód do celów technologicznych. Na rysunku 6. i 7. zestawiono roczne koszty eksploatacyjne poszczególnych rozwiązań absorpcyjnych z rozwiązaniem sprężarkowym, odpowiednio dla wariantu produkcji chłodu do celów technologicznych oraz klimatyzacyjnych.

W wypadku układów produkujących chłód do celów technologicznych oraz klimatyzacyjnych najwyższe oszczędności, równe 406 547 zł rocznie, uzyskujemy w wypadku zastosowania chłodziarki absorpcyjnej zasilanej parą odzyskiwaną z systemu technologicznego bądź wytwórczego. Należy zaznaczyć, że w tym wypadku zastosowanie na przykład chłodziarki absorpcyjnej zasilanej ciepłem odzyskiwanym z układu kogeneracyjnego prowadzi do rocznych oszczędności na poziomie 355 930 zł, co jest wariantem bardzo często stosowanym w wypadku zakładów produkcyjnych, ponieważ prowadzi do dodatkowych korzyści związanych z uzyskaniem wysokiej średniorocznej sprawności produkcji energii z układu skojarzonego.

Zasadność przeprowadzenia inwestycji

Niepewność związana z przyszłymi kosztami energii elektrycznej oraz potencjał wzrostowy ceny prowadzi także do rozważań dotyczących zasadności przeprowadzenia inwestycji polegającej na instalacji chłodniczych układów absorpcyjnych



Rys. 8. Podsumowanie rocznych kosztów wytworzenia chłodu przy pomocy różnych technologii chłodniczych

Tabela 3. Podsumowanie rocznych kosztów wytworzenia chłodu przy pomocy różnych technologii chłodniczych

Rok	Cena energii elektrycznej [zł/MWh]	Cena gorącej wody [zł/MWh]	Cena pary [zł/MWh]	Gorąca Woda Ciepło Odzyskiwane [zł/a]	Para Ciepło Odzyskiwane [zł/a]	Sprężarka Cena Rynkowa [zł/a]
2019	552,54	10,54	12,12	90556	65863	272263
2020	595,73	10,75	12,36	96066	70018	293545
2021	602,33	10,96	12,61	97375	70949	296797
2022	608,93	11,18	12,86	98696	71887	300049
2023	615,53	11,41	13,12	100028	72832	303301
2024	622,13	11,64	13,38	101372	73785	306553
2025	628,73	11,87	13,65	102727	74744	309805
2026	641,30	12,11	13,92	104781	76239	316002
2027	654,13	12,35	14,20	106877	77764	322322
2028	667,21	12,59	14,48	109015	79319	328768
2029	680,55	12,85	14,77	111195	80906	335343
2030	694,17	13,10	15,07	113419	82524	342050
2031	708,05	13,37	15,37	115687	84174	348891
2032	722,21	13,63	15,68	118001	85858	355869
2033	736,65	13,91	15,99	120361	87575	362986
2034	751,39	14,18	16,31	122768	89326	370246
2035	766,42	14,47	16,64	125223	91113	377651
2036	781,74	14,76	16,97	127728	92935	385204
2037	797,38	15,05	17,31	130282	94794	392908
2038	813,33	15,35	17,66	132888	96690	400766
2039	829,59	15,66	18,01	135546	98623	408782
SUMA kosztów 2019-2039:				**2360592**	**1717918**	**7130103**

w celu pokrycia zapotrzebowania na chłód do celów klimatyzacyjnych bądź sprężarkowych oraz perspektywy kosztów ich eksploatacji w cyklu życia inwestycji. W tym celu przygotowano analizę bazującą na dostępnych danych dotyczących prognozowanych cen energii elektrycznej oraz ciepła w perspektywie do 2030 roku. Przyjęto założenie rozpoczęcia produkcji w roku 2019 i prowadzenie jej do roku 2039. Dla lat 2020 oraz 2025 przyjęto prognozy cen zgodnie ze wstępem. Dla lat 2020-2025 przyjęto stały przyrost cen do osiągnięcia prognozowanych wartości, a dla lat 2025-2039 założono średnioroczny 2% wzrost ceny energii elektrycznej. W zakresie ciepła, przeanalizowano warianty uwzględniające odzysk ciepła po cenie amortyzacji instalacji odzysku oraz średnioroczny 2% wzrost jego ceny. W analizie nie uwzględniono kosztów eksploatacji instalacji rozprowadzenia chłodu i serwisu: takich samych dla układów absorpcyjnych i sprężarkowych. Wyniki zostały zaprezentowane w formie tabelarycznej (w tabeli 3.) i w formie wykresu (na rysunku 8.).

Podsumowanie wyników analizy

Sumaryczne koszty eksploatacji maszynowni chłodniczej opartej na klasycznym agregacie sprężarkowym, produkującym chłód do celów klimatyzacyjnych, w perspektywie 20 letniej to ponad 7 100 000 zł (tabela 3.). Widoczna jest wyraźna zmiana w rocznym koszcie eksploatacji tego wariantu produkcji chłodu od około 272 000 zł rocznie w roku 2019 do około 408 000 zł rocznie w roku 2039.

Sumaryczne koszty eksploatacji układu dla rozwiązań absorpcyjnych są znacząco niższe: 1 718 000 zł dla rozwiązania parowego oraz 2 360 000 dla rozwiązania wodnego. Wyraźnie mniejsze są także różnice w rocznych kosztach eksploatacji: od ok 90 000 zł rocznie w roku 2019 do 135 000 zł rocznie w roku 2039 dla wariantu wodnego. Jest to spowodowane znacząco mniejszym udziałem kosztu energii elektrycznej w sumarycznym koszcie wytworzenia chłodu z rozwiązania sorpcyjnego.

Zakres spodziewanych oszczędności związanych z eksploatacją rozwiązania opartego na produkcji chłodu przy wykorzystaniu ciepła odpadowego jest więc ogromny i wynosi od 4,7 do 5,4 mln zł w zależności od wariantu. Należy zaznaczyć, że przy większej niż na potrzeby klimatyzacyjne produkcji chłodu, oszczędności będą znacząco większe. Powyższe wartości nie uwzględniają różnicy w nakładach inwestycyjnych, jednak bazując na aktualnych cenach, można przyjąć, że różnica w kosztach wykonania maszynowni absorpcyjnej w stosunku do sprężarkowej, dla mocy podanych w analizie, nie przekroczy 750 000 zł: wartości stosunkowo niewielkiej, patrząc przez pryzmat oszczędności w cyklu eksploatacyjnym.

Zakres spodziewanych oszczędności związanych z eksploatacją rozwiązania opartego na produkcji chłodu przy wykorzystaniu ciepła odpadowego jest ogromny

O AUTORZE

dr inż. Marcin MALICKI – absolwent Wydziału Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej; Dyrektor ds. technologii i innowacji w New Energy Transfer; ekspert merytoryczny Komisji Europejskiej, Innovation Fund Republiki Serbii, Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz Solar Impulse Fundation; autor patentów i publikacji w dziedzinie poprawy efektywności energetycznej i integracji odnawialnych źródeł energii.