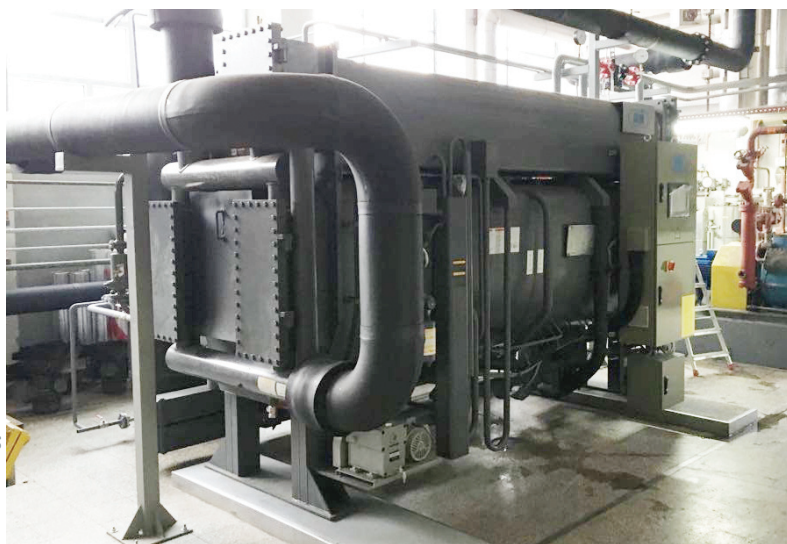


Sorpcyjne układy chłodzenia

Cz. 2. Ekonomia zastosowania agregatów absorpcyjnych zasilanych różnymi źródłami ciepła

Marcin MALICKI

Kluczowym obszarem działań prowadzących do poprawy efektywności energetycznej zakładów przemysłowych jest optymalizacja wykorzystania ciepła nadmiarowego bądź odpadowego w sposób umożliwiający jego efektywną zamianę na media, na które w danym momencie występuje zapotrzebowanie. Rozpowszechniające się zapotrzebowanie na „komfort cieplny” nie tylko zimą, ale także latem, prowadzi również do widocznego zwiększenia zapotrzebowania na energię do celów klimatyzacyjnych. Istotne miejsce w obszarze działań prowadzących do poprawy efektywności energetycznej w tym obszarze zajmują technologie chłodnicze wykorzystujące ciepło odpadowe bądź nieużyteczne do produkcji chłodu.



Fot: New Energy Transfer

Technologie sorpcyjnej produkcji chłodu stają się szczególnie istotne w kontekście znaczącego wzrostu zapotrzebowania na energię zasilającą konwencjonalne urządzenia klimatyzacyjne. Przyrost ten 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. Na świecie systemy chłodzenia są odpowiedzialne za zużycie od 16% do nawet 50% energii elektrycznej, przy ponad 40% 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. Jedną z możliwych metod zaadresowania tego wyzwania są chłodziarki sorpcyjne, które w odróżnieniu od urządzeń sprężarkowych, mogą być zasilane energią o niższej jakości, która może zostać pozyskana także ze źródeł odnawialnych np. promieniowania słonecznego, geotermii czy ciepła odpadowego bądź nieużytecznego.

Sprawność wytwarzania chłodu przez urządzenia sorpcyjne, rozumiana jako stosunek użytecznego efektu chłodzenia do energii zasilającej urządzenie, jest niższa od urządzeń sprężarkowych, jednak możliwość zasilania ich ciepłem nieużytecznym bądź odpadowym w miejscu jego powstawania sprawia, że niejednokrotnie zużycie energii pierwotnej do wyprodukowania jednostki chłodu jest niższe od rozwiązań konwencjonalnych. Podobnie można scharakteryzować koszty produkcji chłodu dla użytkownika końcowego – mimo niższej sprawności wytwarzania chłodu, niejednokrotnie całkowity koszt wytworzenia chłodu do celów klimatyzacyjnych, czy też technologicznych, może być niższy od rozwiązań konwencjonalnych.

Sprawność układu

To właśnie sprawność produkcji chłodu sprawia, że rozważania na temat ekonomiki produkcji chłodu przy pomocy różnych rodzajów chłodziarek sorpcyjnych, zasilanych z różnych źródeł ciepła, stały się bardzo istotnym tematem. W sorpcyjnych agregatach chłodniczych energia jest doprowadzana w postaci ciepła pochodzącego ze:

- spalania paliwa (np. gazu, biogazu, oleju),
- ciepłej wody (np. z sieci ciepłowniczej, jako ciepło nieużyteczne z urządzenia kogeneracyjnego bądź procesu technologicznego, kolektorów słonecznych),
- pary (np. para nieużyteczna z procesów technologicznych, albo produkowana specjalnie na potrzeby zasilania urządzenia)
- bądź energii elektrycznej (np. za pomocą grzałki).

Każde z wymienionych powyżej źródeł ma inną cenę w przeliczeniu na jednostkę energii. Chłodzonym czynnikiem najczęściej jest woda bądź jej niezamarzająca mieszanina, powietrze lub inny czynnik pośredniczący w wymianie ciepła. Szczegółowa charakterystyka różnych rodzajów agregatów sorpcyjnych, wraz z zasadą ich działania, została przedstawiona w Części 1 niniejszej publikacji pod tytułem „Sorpcyjne układy chłodzenia. Praktyczne zastosowanie agregatów sorpcyjnych”, dlatego też poniżej skoncentrowano się na analizie kosztów produkcji chłodu przy pomocy agregatów sorpcyjnych zasilanych z popularnych opisanych powyżej źródeł ciepła z uwzględnieniem różnych cen nośników energii zasilającej.

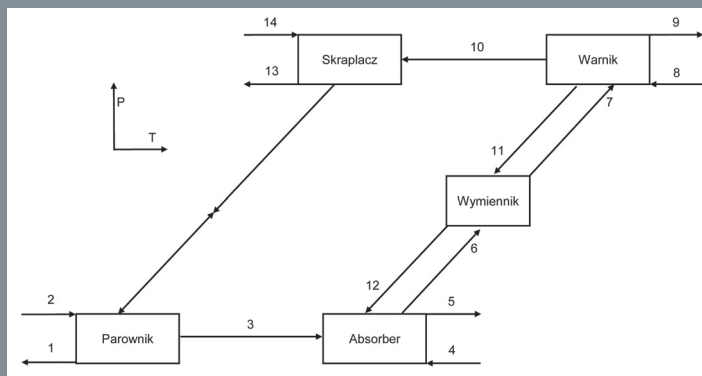
Kluczowym parametrem mającym wpływ na finalny koszt chłodu z agregatu sorpcyjnego jest sprawność samego urządzenia. Do porównania wybrano agregaty absorpcyjne zasilane gorącą wodą, parą wodną, paliwami i spalinami produkującą chłód do celów klimatyzacyjnych (o temperaturze nie niższej niż 4°C). Ze względu na wyraźnie różne sprawności przeanalizowano praktycznie wszystkie typy agregatów absorpcyjnych, a jako poziom porównawczy wybrano dostępne na rynku agregaty sprężarkowe.

Na rysunku 1 zaprezentowano schemat ideowy cyklu chłodzenia agregatu absorpcyjnego opartego na roztworze bromku litu (LiBr) jako czynnika roboczym i wodzie (H₂O) jako czynnika chłodniczym.

Tak istotna z punktu widzenia kosztu wytworzenia chłodu sprawność, definiowana dla agregatów sorpcyjnych jako współ-

W układzie tym cykl chłodzenia przebiega w następujący sposób:

Do warknika dostarczana jest energia w postaci ciepła (8), podgrzewając wodny roztwór LiBr / H₂O dzięki czemu woda z roztworu ulega odparowaniu i trafia do skraplacza (10), a stężony roztwór LiBr przez wymiennik ciepła (11) trafia do absorbera (12) wstępnie podgrzewając rozcieńczony roztwór powracający z absorbera. Ciepło zasilające opuszcza system przy temperaturze niższej niż zasilająca (9). Stężony i wstępnie ochłodzony absorbent pochłania niskoprężny czynnik chłodniczy z parownika w będącym w równowadze ciśnieniowej z parownikiem absorbera (3), ulegając rozcieńczeniu. Rozcieńczony czynnik roboczy jest następnie pompowany przez wymiennik ciepła (6), w którym ulega wstępnemu podgrzaniu, do warknika (7), w którym ponawiany jest proces odparowania H₂O z rozcieńczonego roztworu, dzięki czemu para wodna pod wysokim ciśnieniem trafia do skraplacza (10), w którym oddając ciepło skraplania (13) ulega kondensacji. Gorący skroplony czynnik chłodniczy (15) jest następnie rozprężany w parowniku, gdzie wrząc przy niskim ciśnieniu i temperaturze odbiera ciepło z chłodzonego obszaru (2), obniżając jego temperaturę (1). Zimny czynnik chłodniczy pod niskim ciśnieniem trafia następnie do absorbera (3), gdzie jest pochłaniany rozcieńczając stężony czynnik roboczy. Dla strumieni 4-5 (odebranie ciepła absorpcji) i 13-14 (odebranie ciepła skraplania) najczęściej wykorzystywane są wieże chłodnicze, a strumień 1-2 to użyteczny produkt pracy układu absorpcyjnego – woda lodowa na cele procesowe bądź klimatyzacyjne.



Rys. 1. Schemat cyklu chłodzenia jednoefektowego agregatu absorpcyjnego opartego na wodnym roztworze bromku litu przedstawiony na wykresie ciśnienie / temperatura

czynnik COP (Coefficient 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 ideowym 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 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.

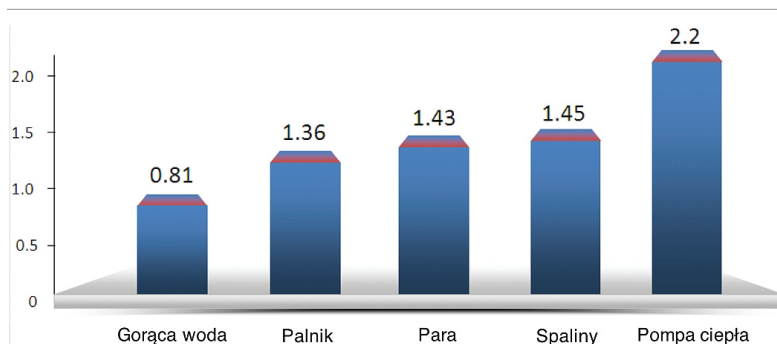
Aby urządzenie absorpcyjne pozostało w równowadze termodynamicznej, ilość energii wprowadzonej do układu (strumienie 1-2 oraz 8-9 na rysunku 1) musi być równa ilości energii odprowadzonej z układu (strumienie 4-5 oraz 13-14 na rysunku 1). W tym wypadku ilość ciepła wprowadzonego w postaci wody gorącej (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 chłodziarki wentylatorowe bądź wieże chłodnicze, połączone z chłodziarką absorpcyjną instalacją hydrauliczną. Im wyższe COP chłodziarki absorpcyjnej, tym ilość energii niezbędnej do odprowadzenia wody chłodzącej przy pomocy instalacji jest mniejsza, a więc wpływa 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 w komercyjnie eksploatowanych rozwiązaniach.

Porównanie kosztów wytworzenia 1 GJ chłodu

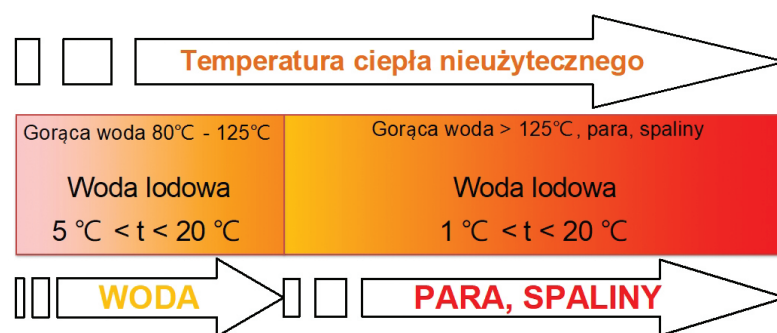
Analizie poddano cztery rodzaje chłodniczych układów absorpcyjnych o mocy 1000 kW każdy, zasilanych gorącą wodą, palnikiem, parą i spalinami, działających na potrzeby klimatyzacyjne

oraz technologiczne: sumarycznie 8 wariantów. Dodatkowo dla wariantów uwzględniających agregaty absorpcyjne zasilane gorącą wodą oraz parą przyjęto trzy poziomy kosztów ciepła, zaś dla agregatów absorpcyjnych zasilanych bezpośrednio palnikiem bądź spalinami, dwa. Uwzględnienie w analizie różnych kosztów ciepła wynika z szerokiego zakresu cen rynkowych – od ceny regulowanej po 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, wynikające m.in. ze zmiennych i niepowtarzalnych



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

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 ten 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 ESEER 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.

Wskaźnik ESEER obliczamy poprzez dodanie wartości EER pomnożonych przez ich wagę:

$$ESEER = 0,03EER100\% + 0,33EER75\% + 0,41EER25\% + 0,23EER25\%$$

Tabela 1. Parametry obliczeniowe wskaźnika ESEER

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

Koszt wyprodukowania 1GJ chłodu (PLN/GJ)

■ GW - CN ■ GW - CZ ■ GW - OC ■ Pal - CN ■ Pal - CZ ■ Par - CN
■ Par - CZ ■ Par - OC ■ Sp - CZ ■ Sp - OC ■ COMP



Rys. 4. Podsumowanie kosztu wytworzenia 1 GJ chłodu z wykorzystaniem różnych technologii sorpcyjnych. GW – agregat zasilany gorącą wodą, Pal – agregat zasilany wbudowanym palinikiem, Par – agregat zasilany parą, Sp – agregat zasilany spalinami, COMP – agregat sprężarkowy, CN – cena normalna (regulowana), CZ – cena zredukowana, OC – odzysk ciepła

rzalnych co roku warunków pogodowych oraz typów budynków, do obliczenia rocznego zapotrzebowania na chłód wykorzystano wskaźnik ESEER (European Seasonal Energy Efficiency Ratio) wyliczony przez Eurovent Certification Company. Tabela 1. prezentuje parametry przyjęte do obliczenia wskaźnika ESEER.

Jak opisano wcześniej, 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 dotyczącej 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,
- dla ciepła – średnie ceny ciepła powiększone o średnie stawki opłaty za usługi przesyłowe z raportu pt. Energetyka Ciepła 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 np. 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 pra-

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

| Opis | GW - CN | GW - CZ | GW - OC | Pal - CN | Pal - CZ | Par - CN | Par - CZ | Par - OC | Sp - CZ | Sp - OC | COMP | j.m. |
|--|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|--------|
| Moc chłodnicza | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | kW |
| Sprawność produkcji chłodu | 0,78 | 0,78 | 0,78 | 1,33 | 1,33 | 1,41 | 1,41 | 1,41 | 1,43 | 1,43 | 3,5 | [-] |
| Zapotrzebowanie na ciepło | 1282 | 1282 | 1282 | 752 | 752 | 709 | 709 | 709 | 699 | 699 | 0 | kW |
| Zapotrzebowanie na energię elektryczną | 58,0 | 58,0 | 58,0 | 45,7 | 45,7 | 44,7 | 44,7 | 44,7 | 44,5 | 44,5 | 286 | kW |
| Cena ciepła | 206,64 | 68,88 | 10,33 | 206,64 | 68,88 | 206,64 | 68,88 | 10,33 | 68,88 | 10,33 | | zł/MWh |
| Cena energii elektrycznej | 504,6 | 504,6 | 504,6 | 504,6 | 504,6 | 504,6 | 504,6 | 504,6 | 504,6 | 504,6 | 504,6 | zł/MWh |
| Przelicznikowy czas pracy na potrzeby klimatyzacji | 2365 | 2365 | 2365 | 2365 | 2365 | 2365 | 2365 | 2365 | 2365 | 2365 | 2365 | h/a |
| Przelicznikowy czas pracy na potrzeby technologii | 4320 | 4320 | 4320 | 4320 | 4320 | 4320 | 4320 | 4320 | 4320 | 4320 | 4320 | h/a |
| Roczne zużycie ciepła na potrzeby klimatyzacji | 3032,31 | 3032,31 | 3032,31 | 1778,35 | 1778,35 | 1677,45 | 1677,45 | 1677,45 | 1653,99 | 1653,99 | 0 | MWh/a |
| Roczne zużycie energii elektrycznej na potrzeby klimatyzacji | 137,17 | 137,17 | 137,17 | 108,05 | 108,05 | 105,71 | 105,71 | 105,71 | 105,16 | 105,16 | 675,77 | MWh/a |
| Roczne zużycie ciepła na potrzeby technologiczne | 5538,46 | 5538,46 | 5538,46 | 3248,12 | 3248,12 | 3063,83 | 3063,83 | 3063,83 | 3020,98 | 3020,98 | 0,00 | MWh/a |
| Roczne zużycie energii elektrycznej na potrzeby technologiczne | 250,54 | 250,54 | 250,54 | 197,35 | 197,35 | 193,07 | 193,07 | 193,07 | 192,07 | 192,07 | 1234,29 | MWh/a |
| Suma kosztów eksploatacji na potrzeby klimatyzacji | 695811 | 278081 | 100545 | 421999 | 177014 | 399967 | 168882 | 70667 | 166991 | 70150 | 340994 | PLN/a |
| Suma kosztów eksploatacji na potrzeby technologii | 1270888 | 507910 | 183644 | 770774 | 323313 | 730533 | 308460 | 129072 | 305006 | 128128 | 622821 | PLN/a |
| Cena 1GJ chłodu | 81,72 | 32,66 | 11,81 | 49,56 | 20,79 | 46,97 | 19,83 | 8,30 | 19,61 | 8,24 | 40,05 | PLN/GJ |

GW – agregat zasilany gorącą wodą, Pal – agregat zasilany wbudowanym palinikiem, Par – agregat zasilany parą, Sp – agregat zasilany spalinami, COMP – agregat sprężarkowy, CN – cena normalna (regulowana), CZ – cena zredukowana, OC – odzysk ciepła.

cy 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 zaprezentowano 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. Poziomym odniesienia jest tutaj koszt wyprodukowania chłodu przez rozwiązanie konwencjonalne, wynoszący 40,05 zł/GJ. Na rysunku 4. zaprezentowano uszeregowane koszty wytworzenia 1 GJ chłodu dla różnych wariantów analizy.

Koszt wytworzenia chłodu dla rozwiązań absorpcyjnych zasilanych gorącą wodą, palnikiem i parą, przy wykorzystaniu ciepła po cenie regulowanej, jest wyższy od rozwiązania konwencjonalnego, jednak w każdym wariantcie wykorzystującym ciepło odzyskiwane czy to z układów kogeneracyjnych czy przemysłowych, koszt wyprodukowania 1 GJ chłodu jest wyraźnie niższy – dochodząc nawet do 8,24 zł. Szczegółowe dane porównawcze zaprezentowano na rysunku 5. Widoczna jest 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.

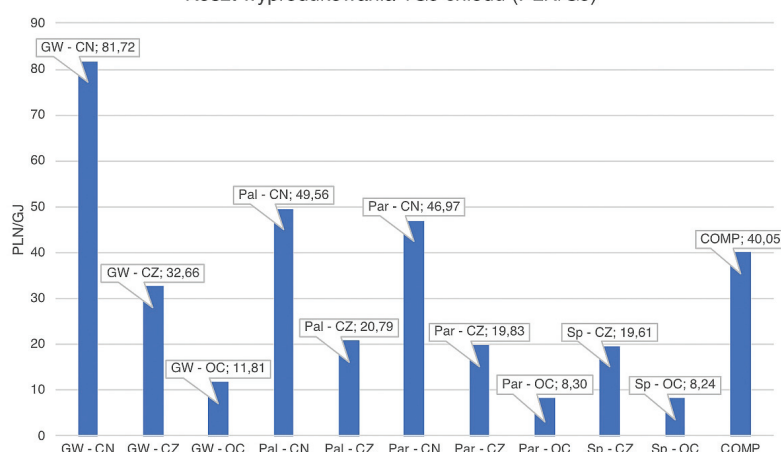
Sumaryczne nakłady eksploatacyjne

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 nasłonecznienie, 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.

Wyniki analizy kosztów dla celów technologicznych i klimatyzacyjnych

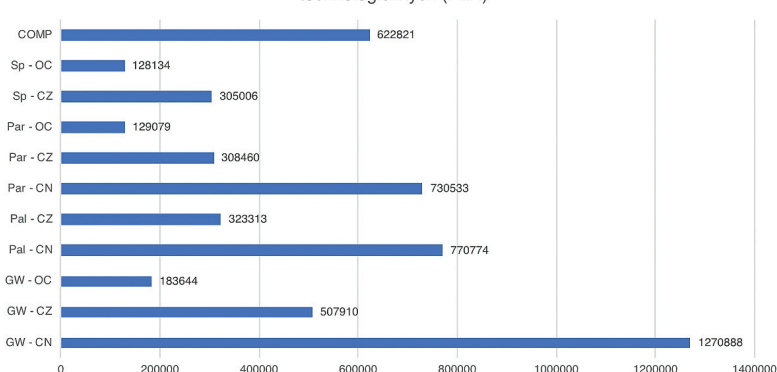
W wypadku układów produkujących chłód do celów technologicznych, najwyższe oszczędności roczne równe 494 693 zł uzyskujemy w wypadku zastosowania chłodziarki absorpcyjnej zasilanej spalinami odzyskiwanymi z systemu technologicznego bądź wytwórczego. Należy zaznaczyć, że w tym wypadku zastosowanie np. chłodziarki absorpcyjnej zasilanej ciepłem odzyskiwanym z układu kogeneracyjnego pro-

Koszt wyprodukowania 1GJ chłodu (PLN/GJ)



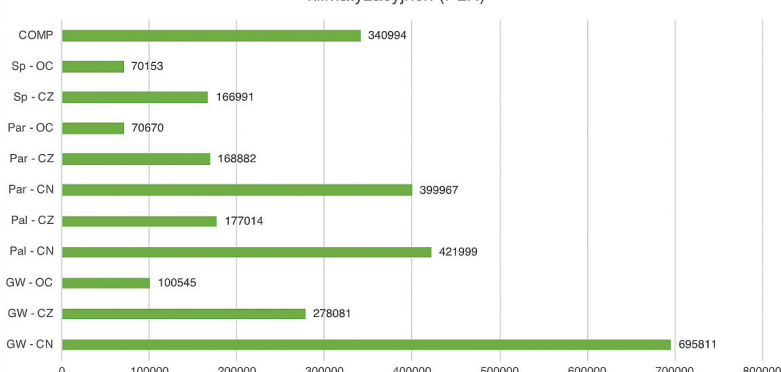
Rys. 5. Koszt wyprodukowania 1GJ chłodu z wykorzystaniem różnych technologii sorpcyjnych. GW – agregat zasilany gorącą wodą, Pal – agregat zasilany wbudowanym palnikiem, Par – agregat zasilany parą, Sp – agregat zasilany spalinami, COMP – agregat sprężarkowy, CN – cena normalna (regulowana), CZ – cena zredukowana, OC – odzysk ciepła

Roczne nakłady eksploatacyjne na wytworzenie chłodu do celów technologicznych (PLN)



Rys. 6. Roczne sumaryczne nakłady eksploatacyjne na produkcję chłodu do celów technologicznych. GW – agregat zasilany gorącą wodą, Pal – agregat zasilany wbudowanym palnikiem, Par – agregat zasilany parą, Sp – agregat zasilany spalinami, COMP – agregat sprężarkowy, CN – cena normalna (regulowana), CZ – cena zredukowana, OC – odzysk ciepła

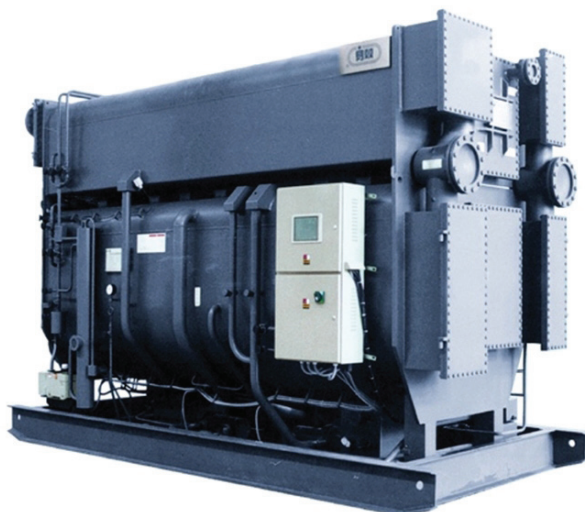
Roczne nakłady eksploatacyjne na wytworzenie chłodu do celów klimatyzacyjnych (PLN)



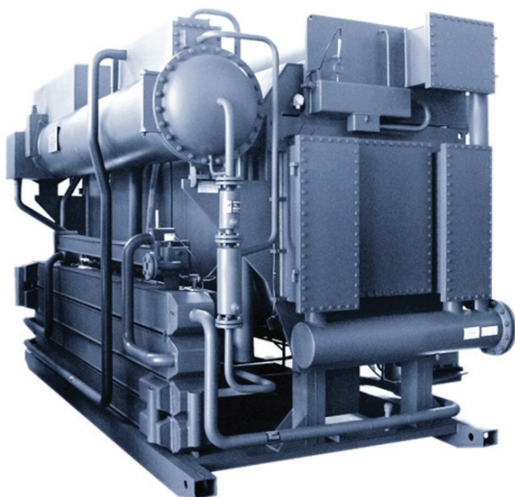
Rys. 7. Roczne sumaryczne nakłady eksploatacyjne na produkcję chłodu do zastosowań klimatyzacyjnych. GW – agregat zasilany gorącą wodą, Pal – agregat zasilany wbudowanym palnikiem, Par – agregat zasilany parą, Sp – agregat zasilany spalinami, COMP – agregat sprężarkowy, CN – cena normalna (regulowana), CZ – cena zredukowana, OC – odzysk ciepła



Rys. 8. Bromolitowy, dwustopniowy i dwuefektowy, absorpcyjny agregat chłodniczy zasilany wbudowanym palnikiem



Rys. 9. Bromolitowy, dwustopniowy, agregat chłodniczy zasilany gorącą wodą



Rys. 10. Bromolitowy dwuefektowy agregat absorpcyjny zasilany parą

wadzi do rocznych oszczędności na poziomie 114 911 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.

W przypadku układu klimatyzacyjnego najwyższe oszczędności roczne równe 270 844 zł uzyskujemy przy zastosowaniu chłodziarki absorpcyjnej zasilanej spalinami odzyskiwanymi z systemu technologicznego bądź wytwórczego. W tym wariantie zastosowanie np. chłodziarki absorpcyjnej zasilanej ciepłem odzyskiwanym z układu kogeneracyjnego prowadzi do rocznych oszczędności na poziomie 62 914 zł, co jest wariantem bardzo często wykorzystywanym w wypadku budynków użyteczności publicznej, ponieważ prowadzi do dodatkowych korzyści związanych z uzyskaniem wysokiej średniorocznej sprawności produkcji energii z układu skojarzonego.

W kontekście analizy ekonomicznej, warto także zwrócić uwagę na zastosowanie agregatów absorpcyjnych zasilanych parą, które mimo nieznacznie wyższego rocznego kosztu eksploatacyjnego przy wykorzystaniu ciepła dostępnego po cenie regulowanej (-58 972 zł), przy cenie zredukowanej oraz wykorzystaniu ciepła odzyskiwanego, zapewniają niskie koszty eksploatacji (oszczędności roczne odpowiednio 171 113 zł oraz 270 327 zł). Mimo wyższych kosztach eksploatacyjnych agregatów zasilanych parą zakupioną po cenie regulowanej, z powodzeniem znajdują one zastosowanie w miejscach, gdzie dostępność energii elektrycznej w okresie letnim jest ograniczona. W takich wypadkach można także spodziewać się redukcji ceny pary do zasilania agregatów produkujących chłód.

Podsumowanie

Przygotowany materiał porównuje koszty wytworzenia chłodu z różnych typów agregatów absorpcyjnych z rozwiązaniem sprężarkowym dla wariantu pracy układu zasilanego ciepłem po cenie regulowanej oraz ciepłem nieużytecznym bądź odpadowym. Obliczono także poziom rocznych korzyści wynikających z wdrożenia układów absorpcyjnych do systemów klimatyzacyjnych bądź technologicznych.

Wyników tej analizy nie można bezpośrednio przełożyć na inne instalacje, gdyż każdy system wymaga indywidualnej analizy i zestawienia możliwych do zastosowania wariantów, jednak potencjalnie zainteresowanym projektantom/inwestorom sygnalizuje, iż oferta rynku nie zawęża się tylko do agregatów chłodniczych sprężarkowych. Sorpcyjne układy chłodzenia są nie tylko alternatywą, ale często najefektywniejszym wyborem, zwłaszcza jeśli dysponujemy ciepłem nadmiarowym bądź odpadowym, które możemy wykorzystać.

O AUTORZE

dr inż. Marcin MALICKI – dyrektor ds. technologii i kierownik naukowy projektów badawczo-rozwojowych w New Energy Transfer, ekspert Komisji Europejskiej i Innovation Fund Republiki Serbii, autor patentów i publikacji w dziedzinie efektywności energetycznej

