

Poprawa efektywności produkcji chłodu bromolitowej chłodziarki absorpcyjnej za pomocą zmiany temperatury wody chłodzącej

Energy efficiency improvement of lithium bromate absorption chiller by changing cooling water temperature

DOI: 10.15199/8.2019.2.1

dr inż. Marcin Malicki,
NEW ENERGY TRANSFER

Oceniono możliwość poprawy efektywności energetycznej chłodziarki absorpcyjnej produkującej wodę lodową do celów klimatyzacyjnych, za pomocą zmiany temperatury wody chłodzącej. Opracowano model porównujący zużycie ciepła przed i po obniżeniu temperatury wody chłodzącej. Wyniki zestawiono i omówiono prezentując możliwe dalsze kierunki rozważań.

Słowa kluczowe: efektywność energetyczna, agregat absorpcyjny, woda chłodząca

Possibility of energy efficiency improvement of a lithium bromide absorption chiller using changing temperature of cooling water have been assessed. Model comparing heat usage before and after cooling water temperature decrease have been developed. Results have been compared, discussed and further possible steps presented.

Keywords: energy efficiency, absorption chiller, cooling water

WSTĘP

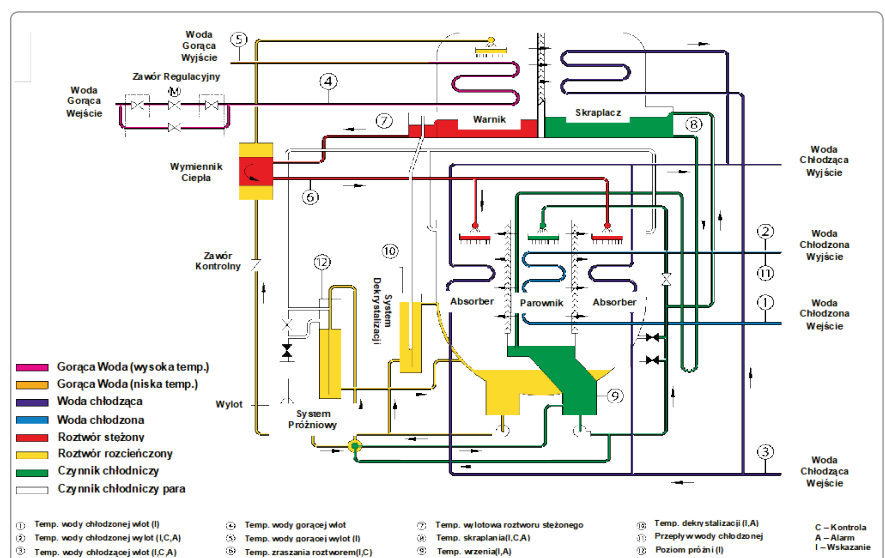
Działania mające na celu poprawę wykorzystania energii pierwotnej, nakierowane przede wszystkim na odzyskiwanie i konwersję ciepła odpadowego bądź nieużytecznego na energię w danym momencie potrzebną – elektryczność bądź chłód, doprowadziły do wzmożonego zainteresowania dostępnymi od ponad 50 lat na rynku chłodniczymi agregatami sorpcyjnymi.

W odróżnieniu od agregatów sprężarkowych, zasilanych energią elek-

tryczną, agregaty sorpcyjne są zasilane ciepłem, które może pochodzić z różnych źródeł [1]. Także czynniki chłodnicze wykorzystywane w agregatach sorpcyjnych zostały uznane za przyjazne środowisku, w odróżnieniu od czynników wykorzystywanych w agregatach sprężarkowych [2]. Niestety, sprawność produkcji chłodu urządzeń sorpcyjnych, rozumiana jako stosunek użytecznego efektu chłodzenia do energii zasilającej urządzenie, jest znacząco niższa od sprawności produkcji chłodu urządzeń sprężarkowych. Może to zostać z powodzeniem zrekompensowane przez wykorzystanie energii odpadowej bądź nieużytecznej o cenie znacząco niższej

od ceny energii elektrycznej, potwierdzając w wielu przypadkach opłacalność zastosowania rozwiązania sorpcyjnego.

Najpopularniejszym na krajowym rynku rodzajem chłodniczych agregatów sorpcyjnych są bromolitowe agregaty absorpcyjne, do zasilania których energia jest doprowadzana w postaci ciepła pochodzącego ze spalania paliwa (np. gazu, biogazu, oleju [3]), 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 urzą-



Rys. 1. Schemat absorpcyjnego agregatu chłodniczego opartego na wodnym roztworze bromku litu

dzenia) bądź energii elektrycznej (np. za pomocą grzałki). Chłodzonym czynnikiem najczęściej jest woda bądź jej niezamarzająca mieszanina, powietrze lub inny czynnik pośredniczący w wymianie ciepła.

Absorpcyjny agregat chłodniczy działa na zasadzie wykorzystania efektu absorpcji (pochłaniania czynnika chłodniczego) i desorpcji (wydzielania czynnika chłodniczego) z roztworu. Wrzenie czynnika chłodniczego pochłania, ciepło zapewniając użyteczny efekt chłodzenia [4]. Układ absorbera i desorbera w agregatach absorpcyjnych nazywany jest sprężarką chemiczną i odpowiada funkcjonalnością sprężarki zasilanej energią elektryczną w konwencjonalnych agregatach chłodniczych. Na rys. 1 przedstawiono schemat ilustrujący zasadę pracy komercyjnie dostępnego absorpcyjnego agregatu chłodniczego opartego na wodnym roztworze bromku litu.

ZASADA DZIAŁANIA

Zgodnie z rys. 1 ciepło (w postaci gorącej wody, pary, spalin, energii elektrycznej itd.) jest doprowadzane do wężownicy do celów odparowania wody z rozcieńczonego roztworu bromku litu. Powstały stężony roztwór bromku litu kierowany jest do absorbera, a para wodna pod wysokim ciśnieniem do skraplacza. Następnie para wodna pod wysokim ciśnieniem w skraplaczu ulega skropleniu na ściankach rur bądź płyt wymiennika, w którym płynie ciecz chłodząca (pochodząca najczęściej z wieży chłodniczej, źródła gruntowego, chłodnicy wentylatorowej itp.), odprowadzająca ciepło skraplania z układu. Powstały kondensat zasila parownik. Do parownika rurami wpływa woda przeznaczona do schłodzenia. Rury wymiennika zraszane są czynnikiem chłodniczym (skroploną wcześniej wodą), która parując – dzięki obniżeniu ciśnienia w parowniku – odbiera ciepło i w postaci zimnej pary wodnej pod niskim ciśnieniem trafia do absorbera, w którym stężony wcześniej w wężownicy roztwór ją pochłania. Dzięki ciągłemu i stałemu przebiegowi procesu absorpcji i desorpcji ciśnienie w absorberze i parowniku utrzymywane jest na stałe niskim poziomie, a w wężownicy i skraplaczu na stałe wysokim.

Wielu autorów przeanalizowało zastosowanie licznych czynników wykorzystywanych w agregatach absorpcyjnych [2]. Yoon i inni [5] skoncentrował się

w swoich pracach na $H_2O/LiBr$, $H_2O/LiBr + HO(CH_2)_3OH$ oraz NH_3/H_2O i $NH_3/LiNO_3$, natomiast Sun [6] na $NH_3/NaSCN$. Ich prace miały na celu określenie optymalnych warunków pracy dla poszczególnych rozwiązań. Dostępne na rynku produkty komercyjne znanych światowych producentów urządzeń chłodniczych i klimatyzacyjnych wykorzystują, w zależności od wymaganego parametru czynnika chłodniczego, mieszaniny woda / bromek litu ($H_2O/LiBr$) bądź amoniak / woda (NH_3/H_2O) [7, 8]. Wybór konkretnego rozwiązania zależy głównie od wymaganej temperatury czynnika chłodniczego oraz jakości dostępnego ciepła. Wszędzie tam, gdzie potrzebny jest czynnik chłodniczy o temperaturze nie niższej niż $4^\circ C$ (głównie klimatyzacja oraz chłodzenie procesów technologicznych i przemysłowych), wykorzystywany jest wodny roztwór bromku litu. Dla niższego zakresu temperatury (nawet do $-50^\circ C$) używany jest roztwór amoniak / woda [9].

POPRAWA EFEKTYWNOŚCI PRODUKCJI CHŁODU

Efektywność chłodziarki absorpcyjnej definiuje się jako stosunek wydajności chłodzenia (Q_{ch}) do ciepła desorpcji czynnika (Q_d) przy stałej temperaturze desorpcji (T_d) i parowania (T_p) zgodnie ze wzorem [10, 11]:

$$\xi = \frac{Q_{ch}}{Q_d} \quad (1)$$

lub uwzględniając tylko temperaturę:

$$\xi = \frac{T_d - T_s}{T_d} \cdot \frac{T_p}{T_s - T_p} \quad (2)$$

Liczbowa wartość ξ jest łatwo poznać, ponieważ zależy tylko od temperatury. Zgodnie z podanym wzorem widać także, że – przy założeniu stałej temperatury parowania oraz desorpcji – efektywność obiegu chłodziarki absorpcyjnej rośnie w wypadku obniżenia temperatury skraplania, zależnej m.in. od temperatury wody chłodzącej (w większości komercyjnie dostępnych rozwiązań przepływ wody chłodzącej przez skraplacz i absorber jest równoległy, zapewniając taką samą temperaturę wody chłodzącej dla obu wymienników).

W praktyce, temperatura skraplania i absorpcji zależy od możliwej do uzyskania temperatury wody pochodzącej z zewnętrznego układu chłodzenia (np. z wieży chłodniczej), którego parametry

dobrane są do najbardziej niekorzystnego momentu w roku (m.in. wysokiej temperatury zewnętrznej i wilgotności). Tego rodzaju parametry przez większą część roku nie występują, umożliwiając znaczące obniżenie temperatury wody chłodzącej, szczególnie w okresach niewystępowania szczytowego zapotrzebowania na chłód. Prowadzi to bezpośrednio do możliwości osiągnięcia wzrostu sprawności wytwarzania chłodu przy częściowych obciążeniach chłodziarki absorpcyjnej. Opisywana zależność wynika z faktu bezpośredniego wpływu obniżenia temperatury wody chłodzącej na ograniczenie zapotrzebowania na ciepło do zasilania chłodziarki absorpcyjnej [12].

MODEL

W celu weryfikacji możliwości poprawy efektywności produkcji chłodu przez chłodziarkę absorpcyjną za pomocą zmiany parametrów wody chłodzącej opracowano model wpływu temperatury wody chłodzącej na zużycie wody gorącej, służącej do zasilania chłodziarki. Przygotowany model składa się z: części I – rzeczywistego zapotrzebowania na chłód do celów klimatyzacyjnych budynku biurowego oraz części II – parametrów pracy chłodziarki absorpcyjnej w zakresie zapotrzebowania na ciepło.

Część I modelu została przygotowana na podstawie rzeczywistych danych eksploatacyjnych w zakresie zapotrzebowania na chłód budynku biurowego dla roku kalendarzowego. Materiał, dzięki uwzględnieniu zapotrzebowania na chłód całego budynku w odstępach godzinowych dla całego roku, umożliwia opracowanie modelu rocznego i godzinowego zapotrzebowania na chłód dla całego budynku oraz jego późniejsze wykorzystanie.

Część II modelu została przygotowana w dwóch wariantach pracy chłodziarki absorpcyjnej:

Wariant A: praca bromolitowej chłodziarki absorpcyjnej przy zmiennych obciążeniach ze stałą temperaturą wody chłodzącej urządzenie.

Wariant B: praca bromolitowej chłodziarki absorpcyjnej przy zmiennych obciążeniach ze zmienną temperaturą wody chłodzącej urządzenie.

Wynikiem pracy kompletnego modelu (dane z części I wraz z danymi z części II), czy to z uwzględnieniem wariantu A czy B części II, jest godzinowe zapotrzebowanie na wodę gorącą do zasilania bromolito-

wej chłodziarki absorpcyjnej pracującej na potrzeby klimatyzacji budynku biurowego w cyklu rocznym. Należy zaznaczyć, że komercyjnie dostępne urządzenia pracują zgodnie z wariantem A części II modelu, tj. ze stałą temperaturą wody chłodzącej niezależnie od obciążenia urządzenia.

w porównaniu z wariantem A. Stanowi to oszczędność energii na poziomie prawie 12%, przekładające się na wymierne korzyści energetyczne i środowiskowe.

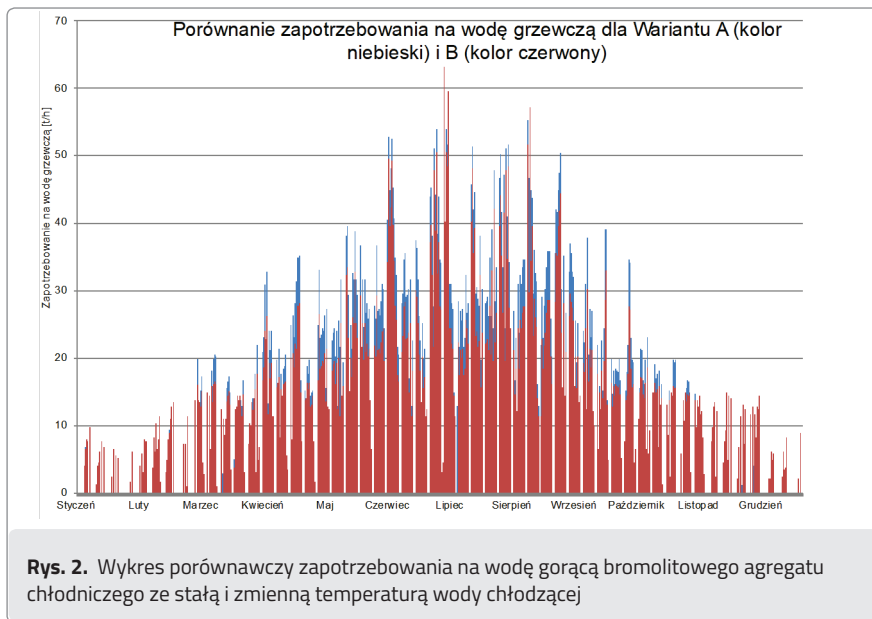
Zestawienie wyników pracy modelu umożliwia porównanie wartości zużycia ciepła na cele zasilania chłodziarki

W analizowanym przypadku roczne oszczędności są równe 6800,49 t wody gorącej o temperaturze 90°C/70°C (570,56 GJ) oszczędzonego ciepła stanowiące 11,79% całkowitego zużycia ciepła na cele produkcji chłodu).

Na rys. 3 oraz rys. 4 przedstawiono dane szczegółowe dla wybranych okresów eksploatacji budynku biurowego. Kolorem niebieskim na wykresach zaznaczono zapotrzebowanie przy sprawności nominalnej, natomiast czerwonym zapotrzebowanie po uwzględnieniu wzrostu sprawności wytwarzania chłodu związanego z obniżeniem temperatury wody chłodzącej. Widać, iż ograniczenie zapotrzebowania na ciepło może sięgać szczytowo nawet 15% w stosunku do pracy układu bez optymalizacji temperatury wody chłodzącej.

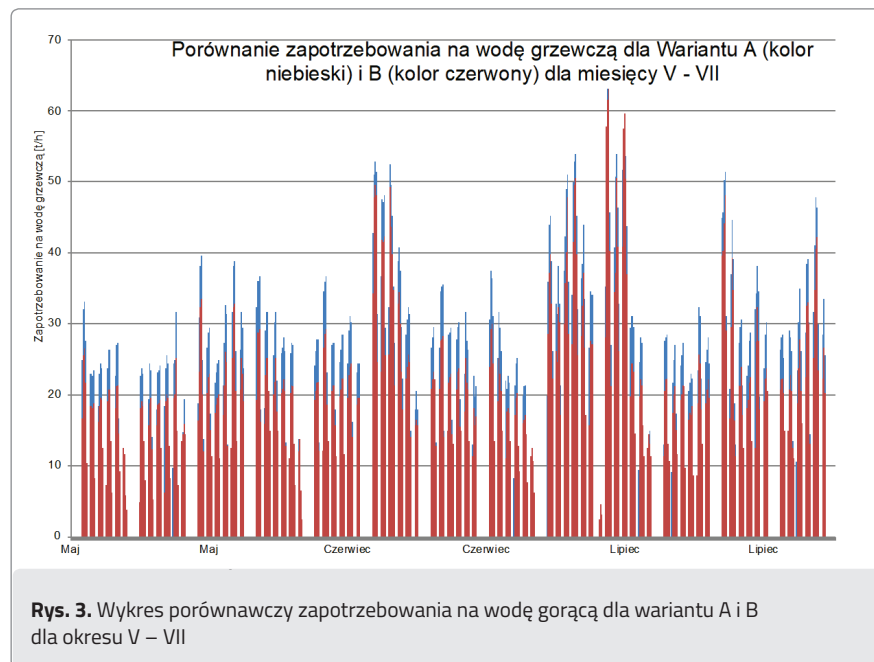
PODSUMOWANIE

W publikacji przedstawiono wpływ obniżenia temperatury wody chłodzącej na sprawność produkcji chłodu bromolitowego agregatu absorpcyjnego. Dla



Wariant A modelu został opracowany dzięki rzeczywistym danym eksploatacyjnym zużycia chłodu przez budynek biurowy z rozbiciem na poszczególne godziny w ciągu roku, uzupełnionym o zużycie ciepła na potrzeby chłodziarki absorpcyjnej zasilanej gorącą wodą, pełniącą rolę jedyne źródła chłodu dla tego budynku i pracującej przy stałej temperaturze wody chłodzącej. Przyjęto założenie, że szczytowe zapotrzebowanie na chłód, występujące w ciągu danego roku, to także szczytowa moc chłodziarki absorpcyjnej zasilanej gorącą wodą. Wykorzystano także dane producenta, gwarantujące zużycie ciepła wprost proporcjonalne do obciążenia chłodniczego. Na podstawie tych założeń obliczono zapotrzebowanie na wodę gorącą. Dla wariantu A całkowite roczne zużycie wody gorącej przez urządzenie to 57 665 t.

Wariant B modelu został opracowany na podstawie danych producenta urządzenia prezentującego zużycie wody gorącej dla obciążeń częściowych, połączone z obniżeniem temperatury wody chłodzącej. Na podstawie tych założeń obliczono zapotrzebowanie na wodę gorącą. Dla wariantu B pracy całkowite roczne zużycie wody gorącej przez urządzenie to 50 865 t, a więc o 6790 t gorącej wody mniej

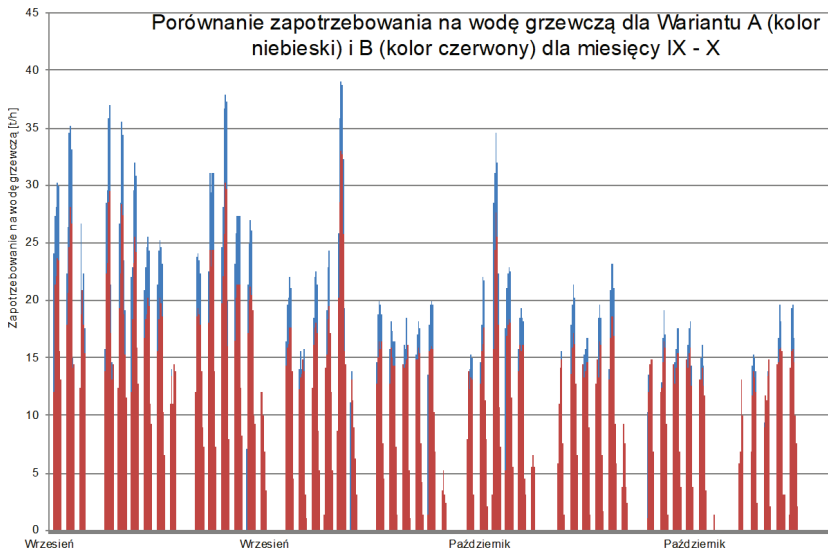


absorpcyjnej w rocznym cyklu pracy bez uwzględnienia i z uwzględnieniem poprawy parametrów pracy za pomocą obniżenia temperatury wody chłodzącej (wariant A i wariant B). Wyniki zaprezentowano na rys. 2. Kolorem niebieskim przedstawiono zapotrzebowanie na wodę gorącą dla wariantu A, a kolorem czerwonym dla wariantu B.

analizowanego w modelu przypadku, uwzględniającego zasilanie w chłód do celów klimatyzacyjnych budynku biurowego, oszczędności energii zasilającej chłodziarkę absorpcyjną sięgnęły rocznie 12% a dla poszczególnych dni w ciągu roku przekroczyły 15%. Jest to możliwe do osiągnięcia bez modyfikacji fizycznej instalacji, a tylko dzięki zmianie logiki ste-

LITERATURA

- [1] Somers C., A. Mortazavi, Y. Hwang, R. Radmacher, R. Rodgers., A. Al.-Hashimi 2011. "Modeling water/lithium bromide absorption chillers in ASPEN Plus". Applied Energy 88: 4197 – 205.
- [2] Saravanan R, M. P. Maiya. 1998. "Thermodynamic comparison of water based working fluid combinations for vapor absorption refrigeration system". Applied Thermal Engineering 18: 553 – 68.
- [3] Kotowski W., B. Doliński. 2013. „Zastosowanie oleju opałowego w nagrzewnicach sorpcyjnych”, Energia Gigawat nr 6-7.
- [4] ASHRE Handbook, Equipment, 13, Absorption Cooling, Heating, and Refrigeration Equipment, 1988.
- [5] Yoon J-I, O-K. Kwon. 1999. "Cycle analysis of air-cooled absorption chiller using a new working solution". Energy 24: 795 – 809.
- [6] Sun DW. 1998. "Comparison of Performance of NH₃-H₂O, NH₃-LiNO₃ and NH₃-NASCN absorption refrigerant systems". Energy Conversion and Management 39: 357 – 68.
- [7] Broad X non-electric chiller model selection and design manual, Broad Air Conditioning Company 2008.
- [8] Carrier Sanyo Single effect hot water absorption chiller manual, Sanyo Electric Co. Ltd.
- [9] Instrukcja instalacji i eksploatacji amoniakalnej chłodzarki absorpcyjnej, Mattes AG 2013.
- [10] Maczek K., M. Mieczyski. 1981. Chłodnictwo. Wrocław: Politechnika Wroclawska.
- [11] Chorowski M. 2014. "Trigeneracja – zalety i ograniczenia". Nowa Energia 4.
- [12] Yin H. 2006. "An absorption chiller in micro BCHP application: model-based design and performance analysis". PhD thesis, Carnegie Mellon University, School of Architecture..



Rys. 4. Wykres porównawczy zapotrzebowania na wodę gorącą dla wariantu A i B dla okresu IX-X

rowania. W związku ze znacząco różnym kosztem głównego źródła zasilania agregatu absorpcyjnego (ciepła) oraz zasilania systemów pomocniczych, takich jak pompy wody (energia elektryczna), w celu oceny wpływu na opłacalność ekonomicz-

ną eksploatacji układu należy rozważyć scenariusz ograniczenia przepływu wody chłodzącej w celu zachowania zużycia ciepła na niezmiennym poziomie i koncentracji na ograniczeniu zużycia energii elektrycznej.

DWUMIESIĘCZNIK

CHŁODNICTWO

PRENUMERATA 2019

CENA PRENUMERATY:

- normalna – 210 zł
- ulgowa – 168 zł
- PLUS – 330 zł (czasopismo w wersji papierowej + dostęp do bazy artykułów CHŁODNICTWA na portalu www.sigma-not.pl)

Podane ceny zawierają VAT

Do cen (poza prenumeratą PLUS) należy doliczyć opłatę roczną za dostawę czasopism w wysokości 30 zł.

DANE DO PRZELEWU:

Wydawnictwo SIGMA-NOT Sp. z o. o.
ul. Ratuszowa 11, 00-950 Warszawa
PKO BP 24 1020 1026 0000 1002 0250 0577

W tytule przelewu należy podać nazwę czasopisma, liczbę zamawianych egzemplarzy, okres prenumeraty i dane zamawiającego.

PRENUMERATĘ MOŻNA ZAMÓWIĆ:

- telefonicznie: 22 840 30 86 lub 22 840 35 89
- faksem: 22 891 13 74
- e-mailem: prenumerata@sigma-not.pl
- on-line: www.sigma-not.pl
- listownie: Zakład Kolportażu Wydawnictwa SIGMA-NOT Sp. z o.o.
ul. Ku Wiśle 7, 00-707 Warszawa