

Justyna STEFANIAK¹, Agnieszka ŻELAZNA¹ i Artur PAWŁOWSKI¹

ASPEKTY ŚRODOWISKOWE ZASTOSOWANIA CHŁODZIARKI ABSORPCYJNEJ W UKŁADACH KLIMATYZACYJNYCH

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF ABSORPTION CHILLER USAGE IN AIR CONDITIONING SYSTEMS

Abstrakt: Koncepcja rozwoju zrównoważonego, mówiąc o konieczności zapewnienia podstawowych potrzeb obecnego i przyszłych pokoleń, odnosi się m.in. do problemu dostępności i wyczerpywalności nośników energii. Coraz większy nacisk kładziony jest na zwiększenie efektywności procesów wytwarzania energii oraz jej zużycia. Istotne znaczenie ma również rozwój technologii korzystających z odnawialnych źródeł energii, których zastosowanie ma spowodować zwolnienie tempa zużycia tradycyjnych, kopalnych nośników energii. Wpływ środowiskowy technologii alternatywnych wiąże się nie tylko z samymi efektami eksploatacyjnymi. Ważne jest tu sprawdzenie potencjalnych wpływów na środowisko w całym cyklu życia danej technologii, poczynając od jej wytworzenia aż do likwidacji. W pracy przeanalizowano efekty zastosowania chłodziarki absorpcyjnej w danym układzie klimatyzacyjnym oraz koszty jej wytworzenia i użytkowania w aspekcie środowiskowym z wykorzystaniem techniki Oceny Cyklu Życia (LCA).

Słowa kluczowe: chłodziarka absorpcyjna, solarny system klimatyzacji absorpcyjnej, Ocena Cyklu Życia, LCA

W wielu krajach Unii Europejskiej w okresie letnim obserwuje się wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną. Dotyczy to szczególnie krajów o klimacie umiarkowanym [1]. Dążenie do utrzymania komfortu cieplnego w użytkowanych pomieszczeniach sprzyja zwiększaniu się liczby instalowanych systemów klimatyzacyjnych, z czego większość stanowią systemy wykorzystujące chłodziarki sprężarkowe o dużym zapotrzebowaniu na energię elektryczną. W niektórych krajach UE, np. w Hiszpanii, zapotrzebowanie energetyczne urządzeń tego typu obciąża krajowy system energetyczny do tego stopnia, że zużycie energii elektrycznej w lecie przekracza zapotrzebowanie na energię elektryczną w okresie zimowym [1].

Niestety Europa jest nadal silnie uzależniona od paliw kopalnych. W 2008 r. w Unii Europejskiej produkcja energii elektrycznej wyniosła 3 351 364 GWh. Aż 55,1% tej energii było wytwarzane w ciepłych elektrowniach węglowych, 28% w elektrowniach jądrowych, natomiast 16,9% korzystało z odnawialnych źródeł energii. W Polsce w elektrowniach węglowych produkuje się aż 95,9% energii elektrycznej (przy rocznej produkcji na poziomie 155 582 GWh) [2]. Rosnące zapotrzebowanie na tę energię oznacza zwiększenie zużycia paliw kopalnych, a co za tym idzie, wzmożoną emisję gazów cieplarnianych (GHG) [3, 4].

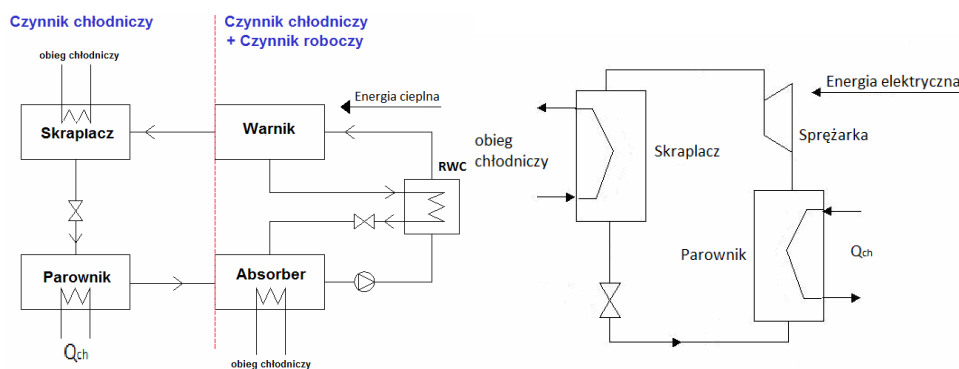
Zgodnie z koncepcją zrównoważonego rozwoju, konieczna jest ochrona naturalnych zasobów energii, która pozwoli uchronić przyszłe pokolenia przed ograniczeniem ich dostępności. Dlatego też niezmiernie ważne staje się poszukiwanie nowych rozwiązań dążących do zwiększenia efektywności wytwarzania i zużycia energii elektrycznej oraz wdrażanie technologii alternatywnych. Wszystkie te działania pomagają uchronić naturalne zasoby i nośniki energii przed szybkim zużyciem [5, 6].

¹ Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin, tel. 81 538 44 06, email: J.Stefaniak@wis.pol.lublin.pl

Jedną z możliwych alternatyw dla tradycyjnych systemów klimatyzacji są systemy klimatyzacji wykorzystujące absorpcyjne urządzenia chłodnicze. Do zasilenia chłodziarek absorpcyjnych wykorzystuje się energię cieplną, a ich zapotrzebowanie na energię elektryczną jest kilkadziesiąt razy mniejsze niż do urządzeń sprężarkowych.

Systemy absorpcyjne

Chłodziarki absorpcyjne są wykorzystywane w różnorodnych układach w zależności od dostępnych źródeł zasilania. Ich budowa przypomina budowę sprężarek tradycyjnych. Zasadniczą różnicą jest jednak to, że rolę tradycyjnej sprężarki zastępuje układ absorber-warnik, tworząc tzw. sprężarkę termalną [3]. Porównanie schematów sprężarek zostało przedstawione na rysunku 1.



Rys. 1. Porównanie budowy chłodziarki absorpcyjnej ze sprężarką termalną (po lewej stronie) i tradycyjnej chłodziarki sprężarkowej (po prawej stronie) (opracowanie własne)

Fig. 1. Construction comparison of the absorption chiller with the thermal compressor (left) and the traditional compression chiller (right) (author's work)

Chłodziarka absorpcyjna działa z wykorzystaniem zjawiska absorpcji. W układzie pracują dwie ciecze, z których jedna, będąca czynnikiem chłodniczym, jest pochłaniana całą objętością drugiej, tj. czynnika roboczego. Czynniki robocze, znajdujący się w absorberze, dzięki silnym właściwościom higroskopijnym pochłania parujący czynnik chłodniczy z parownika. Następnie roztwór dwóch czynników przetłaczany jest do warnika (desorbera). Pod wpływem dostarczonego ciepła w warniku dochodzi do odparowania czynnika chłodniczego. Czynniki chłodniczy trafia do skraplacza, natomiast stężony roztwór czynnika roboczego wraca do absorbera [7, 8]. W praktyce najczęściej wykorzystywane są dwa rodzaje chłodziarek absorpcyjnych: bromolitowe ($\text{LiBr}/\text{H}_2\text{O}$) oraz amoniakalne ($\text{H}_2\text{O}/\text{NH}_3$) [9].

Chłodziarki absorpcyjne mogą być zasilane ciepłem pochodzącym z różnych źródeł. W przypadku chłodziarek zasilanych pośrednio wykorzystuje się parę lub ciepłą wodę z bojlerów, turbin, silników lub innych źródeł. Chłodziarki zasilane bezpośrednio mają wbudowane palenisko gazu naturalnego. Coraz większym powodzeniem cieszą się technologie solarne, które do realizacji obiegu chłodniczego wykorzystują energię cieplną dostarczaną przez kolektory słoneczne. Wykorzystanie energii słonecznej do celów

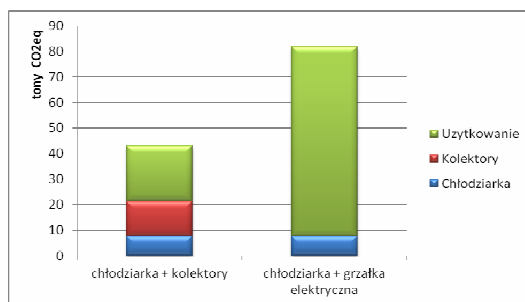
klimatyzacyjnych ma duży potencjał, bowiem największe zapotrzebowanie na chłód występuje równoległe z najwyższymi wartościami nasłonecznienia [1].

O ile *współczynnik wydajności chłodniczej* (COP) urządzeń absorpcyjnych jest mniejszy niż urządzeń tradycyjnych (dla jednostek absorpcyjnych waha się od 0,7 do 1,2, podczas gdy dla jednostek konwencjonalnych przekracza 2,0), o tyle przewagę nad chłodziarkami sprężarkowymi daje im fakt, że konsumują znacznie mniej energii elektrycznej [10]. Według niektórych producentów, chłodziarki absorpcyjne są w stanie oszczędzić do 87% elektryczności w porównaniu z tradycyjnymi systemami elektrycznymi [11].

Analiza środowiskowa

Analizę wpływu na środowisko zastosowania systemów solarnych w połączeniu z chłodziarką absorpcyjną do celów klimatyzacyjnych przeprowadzono za pomocą metodologii środowiskowej *oceny cyklu życia* (LCA) z wykorzystaniem oprogramowania SimaPro 7.2 oraz bazy danych inwentaryzacyjnych Ecoinvent 2.2. Analizowany system składał się z: chłodziarki absorpcyjnej o współczynniku COP = 0,7, 30 próżniowych kolektorów słonecznych o łącznej powierzchni absorbera 90 m² oraz sieci przewodów i armatury. System stworzony został dla sali wykładowej o kubaturze 560 m³ i rocznym zapotrzebowaniu na moc chłodniczą kształtującym się na poziomie 2274 kW. Wykorzystanie kolektorów słonecznych zapewniało pokrycie 71% mocy chłodniczej, pozostała część chłodu produkowana była za pomocą grzałki elektrycznej, zapewniającej parametry czynnika na wejściu do chłodziarki absorpcyjnej. Stworzono schemat cyklu życia opisanego systemu chłodniczego, obejmujący procesy produkcji urządzeń i armatury, ich transport, montaż i użytkowanie. W analizie pominięto kwestie zagospodarowania końcowego odpadów. Przyjęto perspektywę 30 lat użytkowania instalacji.

System chłodniczy podzielono na część związaną z urządzeniem chłodziarki absorpcyjnej oraz na zespół kolektorów i wymaganego osprzętu (przewody, pompy, armatura). W przypadku współpracy chłodziarki z kolektorami słonecznymi użytkowanie systemu związane było z pracą pomp oraz grzałki elektrycznej wykorzystywanej w okresie niedoboru energii słonecznej (chłodziarka + kolektory). System ten porównano z przypadkiem teoretycznym, w którym czynnik zasilający chłodziarkę podgrzewany jest za pomocą energii elektrycznej (chłodziarka + grzałka elektryczna).



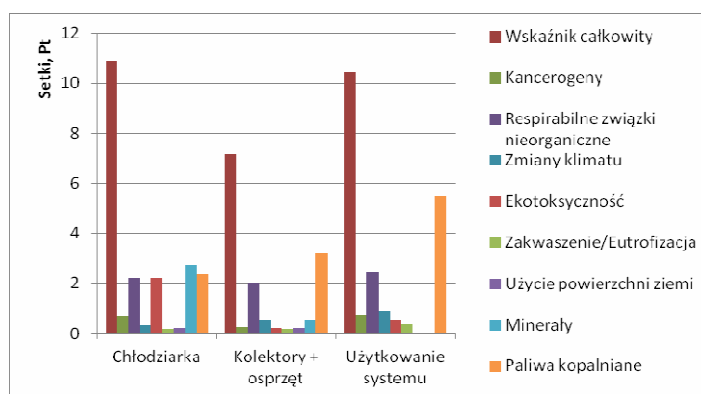
Rys. 2. Emisja ekwiwalentu CO₂ z systemów produkcji chłodu (opracowanie własne)

Fig. 2. Emissions of CO₂ equivalent from cooling systems (author's work)

Wyniki inwentaryzacji poddano analizie metodą Global Warming Potential [12, 13] w perspektywie 100 lat. Metoda ta pozwala na oszacowanie emisji ditlenku węgla oraz pozostałych prekursorów globalnego ocieplenia z analizowanych procesów. Jednostką normalizacyjną z uwagi na potencjał tworzenia efektu cieplarnianego jest $\text{kg CO}_{2\text{eq}}$, co oznacza, że według wybranej metody 1 kg pary wodnej to 4 $\text{kg CO}_{2\text{eq}}$. Wyniki przedstawiono na rysunku 2.

Widoczna jest zasadnicza różnica w ilości emisji prekursorów globalnego ocieplenia pomiędzy systemem z kolektorami (z lewej) i bez kolektorów. Zarówno w pierwszym, jak i w drugim przypadku faza użytkowania systemu stanowi największe źródło emisji spośród faz cyklu życia. System wykorzystujący kolektory słoneczne emituje jednak o prawie połowę mniej gazów cieplarnianych niż ma to miejsce w przypadku grzałki elektrycznej.

System solarny poddano dodatkowo analizie metodą EcoIndicator'99. Technika ta pozwala na określenie wpływów środowiskowych w wybranych kategoriach. Wpływ produktu na środowisko określany jest za pomocą jednostki pomocniczej, tzw. Ekopunktu (Pt). Jest to jednostka normalizacyjna, przyporządkowująca wagę poszczególnym kategoriom, co pozwala na porównanie uzyskanych wyników.



Rys. 3. Wyniki analizy systemów produkcji chłodu metodą EcoIndicator'99 (opracowanie własne)

Fig. 3. The results of cooling systems analysis carried out by EcoIndicator'99 method (author's work)

Z przedstawionych na rysunku 3 danych wynika, że główną kategorią wpływu na środowisko w cyklu życia solarnych systemów produkcji chłodu jest ciągłe zużycie paliw kopalnych. Wynika to z faktu, że udział alternatywnych źródeł energii na rynkach światowych jest ciągle mały w stosunku do paliw kopalnych, natomiast każdy proces produkcji i eksploatacji systemu wymaga nakładów energetycznych. Wysoko plasują się także kategorie ekotoksyczności, emisji respirabilnych związków nieorganicznych oraz zużycia surowców mineralnych, związane z procesami produkcyjnymi. Z perspektywy różnych kategorii wpływów środowiskowych punktem newralgicznym jest produkcja chłodziarek absorpcyjnych oraz związane z nią emisje i zużycie surowców. Świadczy to o ciągle wysokim potencjale rozwoju technologii w procesach produkcyjnych, które mogą przyczynić się do ograniczenia wpływu tych procesów na środowisko.

Wnioski

Chłodziarki absorpcyjne stanowią interesującą alternatywę dla chłodziarek konwencjonalnych. Dużą ich zaletą jest możliwość podłączenia tych urządzeń do różnych układów zasilania, w tym takich, które wykorzystują energię odnawialną.

Przeprowadzona analiza cyklu życia dwóch systemów pokazała, że największym źródłem emisji jest faza użytkowa systemów. Dlatego też kluczowe znaczenie ma dobranie odpowiedniego źródła zasilania oraz dostępność taniej energii, np. w postaci energii słonecznej.

Literatura

- [1] Gebreslassie BH, Guillen-Gosalbez G, Jimenez L, Boer D. A systematic tool for the minimization of life cycle impact of solar assisted absorption cooling system. *Energy*. 2010;35:3849-3862.
- [2] Europe's Energy Portal: <http://www.energy.eu>.
- [3] Papadopoulos AM, Oxizidis S, Kyriakis N. perspectives of solar cooling in view of the developments in the air conditioning sector. *Renewable and Sustainable Energy Rev*. 2003;7:419-438.
- [4] Izquierdo M, Moreno-Rodríguez A, Gonzalez-Gil A, Garcia-Hernandi N. Air conditioning in the region of Madrid, Spain: An approach to electricity consumption, economics and CO₂ emission. *Energy*. 2011;36:1630-1639.
- [5] Pawłowski A. Rozwój zrównoważony a inżynieria środowiska. W: Dudzińska M., Pawłowski L, redaktor. *Polska inżynieria środowiska pięć lat po wstąpieniu do Unii Europejskiej*. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN. Lublin: Komitet Inżynierii Środowiska; 2009;60(3):17-31.
- [6] Pawłowski A. Sustainable energy as a sine qua non condition for the achievement of sustainable development. *Problemy Ekorozwoju*. 2009;4(2):3-7.
- [7] Jones WP. *Klimatyzacja*. Warszawa: Arkady; 2001.
- [8] Pelech A. *Wentylacja i klimatyzacja - podstawy*. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Polit Wrocław; 2008.
- [9] Rusowicz A. Tendencje rozwojowe urządzeń chłodniczych absorpcyjnych. XXXIX Konferencja Naukowo-Techniczna „Dni Chłodnictwa”. Poznań; 2007;283-290.
- [10] Bruno JC, Valero A, Coronas A. Performance analysis of combined microgas turbines and as fired water/LiBr absorption chillers with post-combustion. *Applied Thermal Eng*. 2005;25:87-99.
- [11] Robur: <http://www.roburcorp.com/>
- [12] Żelazna A. Ocena kosztów środowiskowych termomodernizacji na przykładzie budynku jednorodzinne. W: *Rocznik Ochrona Środowiska. Środkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska*, 2012;14 (w druku).
- [13] Żelazna A, Pawłowski A. The environmental analysis of insulation materials in the context of sustainable buildings. Selected papers of 8th International Conference Environmental Engineering. *Energy for Buildings*. 2011;2:825-829.

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF ABSORPTION CHILLER USAGE IN AIR CONDITIONING SYSTEMS

Faculty of Environmental Engineering, Lublin University of Technology

Abstract: The sustainable development concept, discussing the needs of present and future generations, is *inter alia* referring to the problem of accessibility and exhaustion of energy carriers. The growing demand for electricity and declining fossil fuel resources reduce the potential availability of energy for the future generations. Therefore, improvement of energy efficiency use and energy production is needed as well as promotion of renewable energy use leading to reduction in consumption of traditional energy carriers. The environmental impact of alternative technologies is not associated with the operational effects only. The potential environmental impacts throughout the lifecycle of the technology must be also assessed - from its manufacture to decommissioning. In this papers an assessment of the absorption chiller performance is presented and the environmental aspects of its manufacture and use are assessed with the technique of Life Cycle Assessment (LCA).

Keywords: absorption chiller, solar cooling system, Life Cycle Assessment, LCA