

# Ograniczenie emisji CO<sub>2</sub> w procesie wytwarzania ciepła na potrzeby ogrzewania zakładu przemysłowego dzięki zastosowaniu układu absorpcyjnej pompy ciepła z wbudowanym palnikiem gazowym

*Industrial Site CO<sub>2</sub> Emission Decrease Using Absorption Heat Pump With Built in Gas Burner*

DOI: 10.15199/9.2021.5.2

MARCIN MALICKI

**Słowa kluczowe:** *Absorpcyjne Pompy Ciepła, palnik gazowy, odzysk ciepła niskotemperaturowego*

## Streszczenie

Przeanalizowano możliwości zastosowania układu Absorpcyjnej Pompy Ciepła zasilanej ciepłem ze spalania gazu w zakładzie produkcyjnym oraz uzyskane dzięki temu korzyści. Podstawą analizy były rzeczywiste dane eksploatacyjne z roku 2020 dotyczące zapotrzebowania na ciepło, parametrów dolnego źródła ciepła oraz kosztów mediów. W przykładzie dobrano konkretne urządzenia techniczne oraz oszacowano koszty ich montażu i włączenia w układ produkcyjny. Podstawową korzyścią uzyskaną dzięki zastosowaniu APC jest odzyskanie ciepła niskotemperaturowego, które dotychczas było rozpraszone w otoczeniu i wykorzystanie otrzymanego ciepła użytecznego do produkcji wody gorącej na potrzeby technologii produkcji. Przeanalizowano także korzyści środowiskowe i finansowe uzyskane dzięki ograniczeniu emisji dwutlenku węgla do atmosfery.

**Keywords:** *Absorption Heat Pump, gas burner, low-temperature heat recovery*

## Abstract

The possibilities of implementation and the benefits from installing of the Absorption Heat Pump system powered by a build-in gas burner in the industrial site were analyzed. The analysis was performed based on real operational data from 2020 in terms of heat demand, available parameters of the low source and utility costs. Specific technical devices were also selected and the costs of their installation and integration into the production system were estimated. The basis of the benefits of the implementation is the recovery of low-temperature heat, which so far has been dissipated in the atmosphere, and its conversion into useful heat for the production of hot water used in the production technology. The environmental and financial benefits of greenhouse gases emissions reduction were also analyzed.

© 2006-2021 Wydawnictwo SIGMA-NOT Sp. z o.o.  
All right reserved

## 1. Wstęp

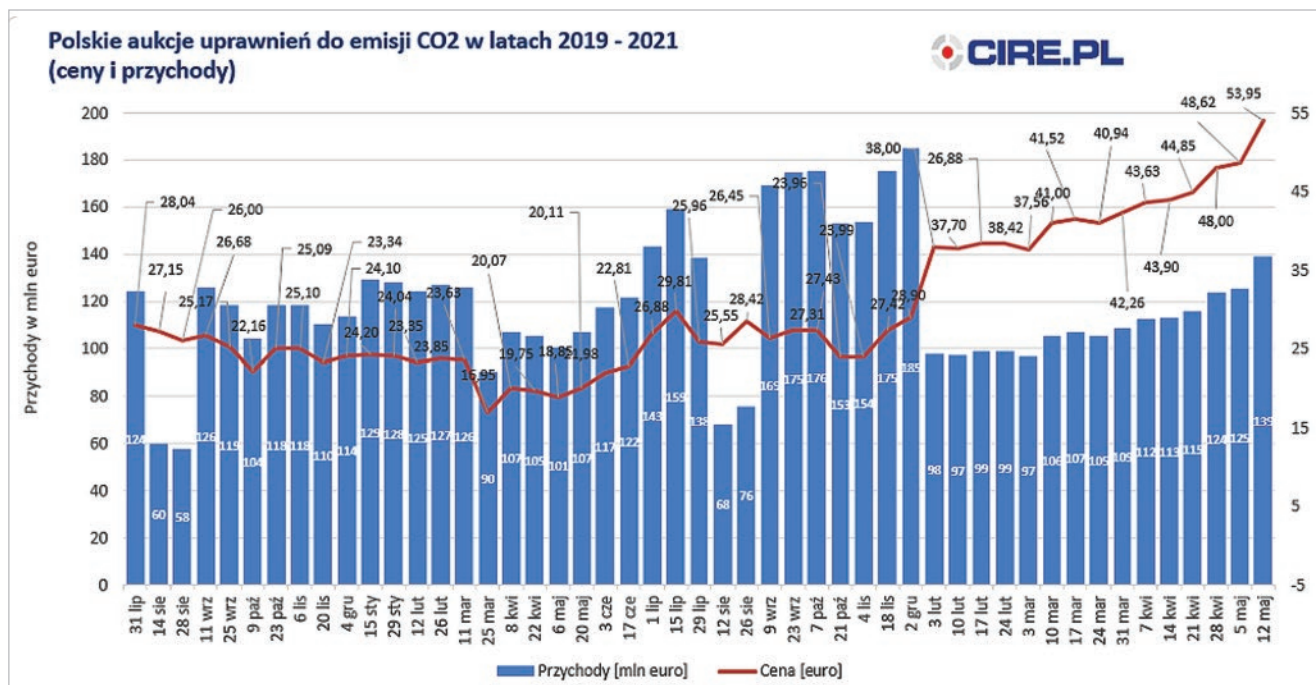
Dekarbonizacja sektora produkcji energii elektrycznej i ciepła w UE do roku 2050 stała się faktem. W ciągu najbliższych 30 lat należy spodziewać się lawinowego rozwoju bez- lub niskoemisyjnych technologii wytwarzania ciepła, chłodu i energii elektrycznej. Prace badawcze i rozwojowe nad różnymi technologiami zapewniającymi mieszkańcom komfort cieplny zimą i latem oraz dostępność energii elektrycznej, finansowane są za pomocą wielu centralnych oraz lokalnych instrumentów i programów wsparcia. Jednocześnie, technologie wytwarzania ciepła i energii, którym towarzyszy produkcja wielu gazów cieplarnianych, a m.in. dwutlenku węgla, obarczane są coraz większymi obciążeniami finansowymi. Doskonałym przykładem takich działań

jest stworzenie rynku praw majątkowych do emisji dwutlenku węgla EU ETS, w wyniku czego wielu właścicieli instalacji wytwórczych zmuszeni są do kupowania praw do emisji CO<sub>2</sub>.

Koszty uprawnień do emisji dwutlenku węgla EUA w ostatnich latach znacząco wzrosły i należy oczekiwać, że trend ten będzie się nadal utrzymywał. W poprzednim numerze miesięcznika „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja” dr Małgorzata Niestępska przeprowadziła analizę rynku EU ETS oraz opracowała prognozę zmian kosztów zakupu uprawnień. W pierwszych tygodniach maja br. potwierdzony został wzrostowy trend cen uprawnień; np. na aukcji 12 maja 2021 roku Polska sprzedawała uprawnienia do emisji CO<sub>2</sub> po koszcie jednostkowym 53,95 EUR/t CO<sub>2</sub> (rys. 1).

Realizacja celów klimatycznych Unii Europejskiej wymaga nie tylko rozwoju nowych technologii, ale także wdrażania znanych i sprawdzonych w praktyce rozwiązań. Jednym z takich rozwiązań są układy z Absorpcyjnymi Pompami Ciepła.

dr inż. Marcin Malicki; M.Malicki@NewEnergyTransfer.com  
New Energy Transfer Sp. z o.o.



Rys. 1. Polskie aukcje uprawnień do emisji CO<sub>2</sub> w latach 2019-2021 (źródło: www.cire.pl 13/05/2021 g. 10:13)

## 1. Absorpcyjne Pompy Ciepła

Podstawową funkcją Absorpcyjnej Pompy Ciepła jest pobieranie nieużytecznego ciepła niskotemperaturowego z tzw. dolnego źródła i transformacji go, za pomocą ciepła zasilanej ciepłem napędowym o dostatecznie wysokiej temperaturze uzyskanym np. ze spalania gazu w wbudowanym palniku lub dostarczonemu w postaci pary wodnej bądź gorącej wody o temperaturze wyższej niż 100°C, na poziom temperatury pośredniej umożliwiającej wykorzystanie wytworzonego ciepła użytecznego; ilość ciepła użytecznego jest sumą ciepła pobranego z dolnego źródła oraz ciepła napędowego.

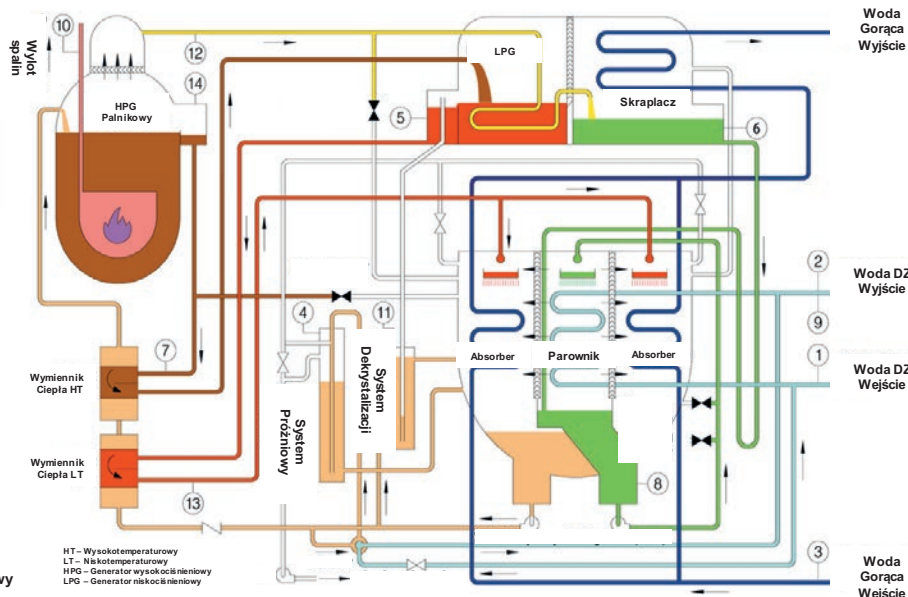
W APC czynnikiem roboczym jest najczęściej wodny roztwór bromku litu (LiBr); LiBr jest nietoksyczną solą kwasu HBr, a czynnikiem chłodniczym woda (R-718). Zasada działania obiegu APC została przedstawiona na rys. 2. W generatorze pompy, kosztem dostarczonego ciepła uzyskanego np. ze spalania gazu w wbudowanym palniku, odparowuje woda z rozcieńczonego wodnego roztworu bromku litu. W generatorze, nazywanym także warkiem, woda odparowuje z roztworu w stosunkowo niskiej temperaturze, gdyż ciśnienie w tym wymienniku ciepła jest znacznie niższe niż ciśnienie atmosferyczne. Czysta para wodna powstająca w generatorze dopływa do przeponowego wymiennika ciepła, zwanego skraplaczem, w którym następuje jej skraplanie, a ciepło skraplania przejmowane jest przez nośnik ciepła użytecznego. Skropliny ze skraplacza rozprężane są w układzie dławicowym i dopływają do parownika, gdzie w warunkach wysokiej próżni odparowują kosztem ciepła pobranego z dolnego źródła. Para wodna powstająca w parowniku płynie z kolei do absorbera, gdzie jest pochłaniana przez stężony roztwór bromku litu. Ponieważ proces absorpcji jest egzotermiczny, to absorber musi być chłodzony, a odprowadzone ciepło absorpcji stanowi dodatkową ilość ciepła użytecznego wytworzonego w APC. Na ogół absorber stanowi pierwszy stopień podgrzewania nośnika ciepła użytecznego. W absorberze stężony roztwór LiBr rozcieńcza

się w wyniku pochłaniania pary wodnej, a następnie rozcieńczony roztwór tłoczony jest przez pompę obiegową do generatora, w którym woda z roztworu zostaje odparowana. Z kolei stężony roztwór LiBr dopływa do absorbera i obieg czynnika zamyka się.

APC wymaga zatem doprowadzenia ciepła o dwóch potencjalach – wysokotemperaturowego do generatora i niskotemperaturowego do parownika. System automatyki i silniki pomp obiegowych APC wymagają zasilania w energię elektryczną, przy czym pobór mocy elektrycznej przez te urządzenia stanowi jedynie ok. 0,1% mocy cieplnej urządzenia. A zatem w porównaniu ze sprężarkową pompą ciepła (SPC) zużycie mocy elektrycznej w APC jest znikome.

Wymiary APC zależą od temperatury ciepła pobieranego z dolnego źródła oraz wymaganej temperatury ciepła użytecznego. W celu zminimalizowania wymiarów APC, a zatem i nakładów inwestycyjnych, zaleca się eksploatację APC w takich warunkach, aby różnica między temperaturą nośnika ciepła dopływającego do parownika z dolnego źródła i temperaturą nośnika ciepła użytecznego odpływającego ze skraplacza nie przekraczała 35 K. Ponieważ wielkość oraz sprawność APC zależy aż od dziewięciu, różnych parametrów (m.in. temperatury zasilania i powrotu oraz przepływów w każdym z obiegów), to poprawny dobór układu instalacyjnego wymaga każdorazowo starannej i indywidualnej analizy. Eksploatacja układu APC nie nastęrcza większych trudności, m.in. dzięki możliwości regulacji mocy cieplnej w szerokim zakresie. Na przykład moc cieplna APC może być regulowana w zakresie 20-100% mocy nominalnej przy zmianie przepływu od 50 do 120% przepływu nominalnego. Ponadto w układzie APC praktycznie nie ma elementów ruchomych. Dzięki temu układy APC charakteryzują się bardzo wysoką dyspozycyjnością przekraczającą 8500 godzin/rok oraz okresem żywotności przekraczającym 20 lat, co odpowiada charakterystyce niezawodnościowej klasycznych kotłów gazowych i stanowi znaczącą przewagę w stosunku do SPC.

- Palnik
- Spaliny
- Woda ogrzewana
- Woda dolnego źródła
- Roztwór stężony
- Roztwór pośredni
- Roztwór rozcieńczony
- Pary czynnika z HPG
- Czynnik chłodniczy
- Czynnik chłodniczy gazowy

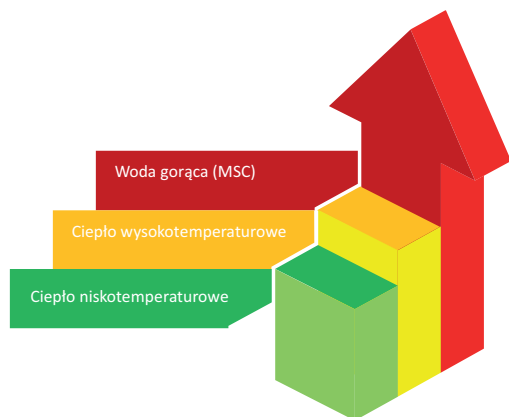


- |  |   |  |   |
|--|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>1 Temp. wody chłodzonej wlot (I)</li> <li>2 Temp. wody chłodzonej wylot</li> <li>3 Temp. wody chłodzącej wlot (I,C,A)</li> <li>4 Poziom próżni (I)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>5 Temp. roztworu stężonego LPG (C,I)</li> <li>6 Temp. skraplania (I,C,A)</li> <li>7 Temp. roztworu pośredniego HPG (A,I)</li> <li>Temp. wrzenia (I,A)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>8 Temp. wrzenia (I,A)</li> <li>9 Przepływ wody chłodzonej</li> <li>10 Temp. spalin palnika (I,A)</li> <li>11 Temp. dekrystalizacji (I,A)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>12 Ciśnienie HPG (I,C,A)</li> <li>13 Temp. zraszania roztworem(I,C)</li> <li>14 Poziom czynnika HPG (C,I)</li> </ul> |
|--|---|--|---|
- C – Kontrola  
 A – Alarm  
 I – Wskazanie

Rys. 2. Schemat bromolitowej Absorpcyjnej Pompy Ciepła na przykładzie urządzenia SL Eco Energy Systems

Ponieważ pompy ciepła umożliwiają odzyskiwanie ciepła niskoparametrowego, to główną korzyścią z zastosowania APC jest znaczące zwiększenie sprawności wytwarzania ciepła w stosunku do systemu konwencjonalnego z kotłami gazowymi, co z kolei powoduje obniżenie kosztów wytworzenia ciepła. Oprócz tego, jeśli ciepło niskoparametrowe pochodzi ze źródeł odnawialnych (np. geotermalny odwiert niskotemperaturowy) lub jest ciepłem odpadowym z instalacji przemysłowej to znacznie zwiększa się udział OZE w produkowanym strumieniu ciepła użytkowego. Poza znaczącą poprawą sprawności wytwarzania ciepła układy z APC umożliwiają istotne zwiększenie mocy cieplnej konwencjonalnych systemów kogeneracyjnych z silnikami tłokowymi bądź turbinami parowymi przy zachowaniu takiego samego zużycia paliwa jak przed modernizacją. Na rysunku 3 przedstawiono udział ciepła nieużytecznego (niskotemperaturowego) w całkowitej sprawności absorpcyjnej pompy ciepła.

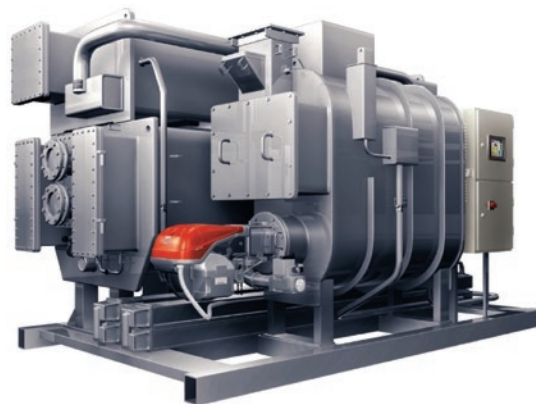
W układzie APC 1,7 jednostki ciepła użytkowego, które można wykorzystać do zasilania, np. miejskiej sieci ciepłowniczej, uzyskuje się dzięki zużyciu 1 jednostki ciepła



Rys. 3. Elementy składowe bilansu cieplnego absorpcyjnej pompy ciepła

zasilającego (napędowego) oraz 0,7 jednostki ciepła odpadowego (niskotemperaturowego).

Wielkości te dotyczą warunków krajowych zarówno w zakresie temperatury ciepła użytkowego, jak i temperatury ciepła niskotemperaturowego. Oznacza to także, że możliwa do uzyskania moc grzewcza pompy ciepła jest wprost proporcjonalna do ilości ciepła zasilającego oraz odzyskiwanego. Układy APC produkowane są jako monobloki przeznaczone do montażu wewnątrz pomieszczeń, w których temperatura przez cały rok powinna być wyższa niż 0°C, aby zapobiec zamarzaniu czynnika chłodniczego, którym jest woda. Ze względu na konstrukcję jedynymi ograniczeniami w zakresie mocy cieplnej APC są uwarunkowania logistyczne związane z transportem poszczególnych elementów. Na rynku dostępne są urządzenia o mocy cieplnej od 1 do 180 MW dostarczane jako pojedyncze elementy, a do Polski zostały dostarczone instalacje o mocy od ok. 2 MW do ok. 15 MW. Dzięki możliwości łączenia urządzeń w bloki, to w odniesieniu do mocy montowanych układów praktycznie nie występują żadne ograniczenia. Na rysunku 4 pokazano przykładową APC z wbudowanym palnikiem.



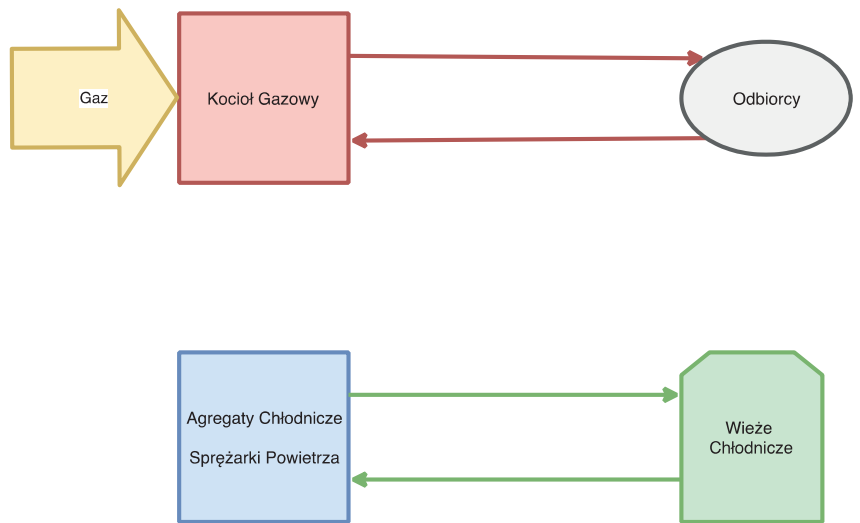
Rys. 4. Absorpcyjna Pompa Ciepła z wbudowanym palnikiem gazowym (SL Eco-Energy Systems)

## 2. Studium przypadku

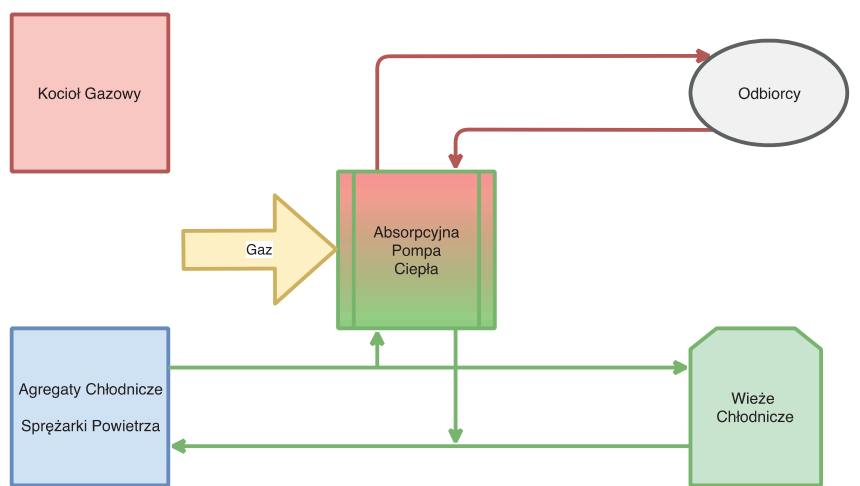
Doskonałym przykładem zastosowania układu APC jest instalacja przemysłowa przeznaczona do pokrycia zapotrzebowania na ciepło; dolnym źródłem ciepła w tej instalacji jest układ wody chłodzącej. W tym rozwiązaniu APC odzyskuje ciepło odpadowe, a więc chłodzi wodę obiegową. Dzięki temu ogranicza się zużycie energii elektrycznej do napędu urządzeń wież chłodniczych oraz zużycie wody uzupełniającej. Instalacja wody chłodzącej odbiera ciepło skraplania z agregatów wody lodowej oraz sprężarek powietrza dostarczających sprężone powietrze na potrzeby technologii produkcji. Moc grzewcza APC, uzyskana w postaci wody gorącej, zastąpiłaby moc cieplną wytwarzaną w eksploatowanych kotłach gazowych i dzięki temu zmniejszono by zużycie gazu. Na rysunku 5 przedstawiono schemat opisywanej instalacji przed jej modernizacją. W roku 2020 zapotrzebowanie na energię chemiczną zawartą w paliwie wyniosło 24 366 MWh i zostało w pełni pokryte za pomocą gazu ziemnego.

Natomiast na rysunku 6 przedstawiono schemat ideowy instalacji po modernizacji. Dzięki zastosowaniu APC zapotrzebowanie na gaz w roku 2020 wyniosłoby 13 264 MWh, co oznacza roczną oszczędność ciepła w paliwie wynoszącą ok. 11 GWh/a.

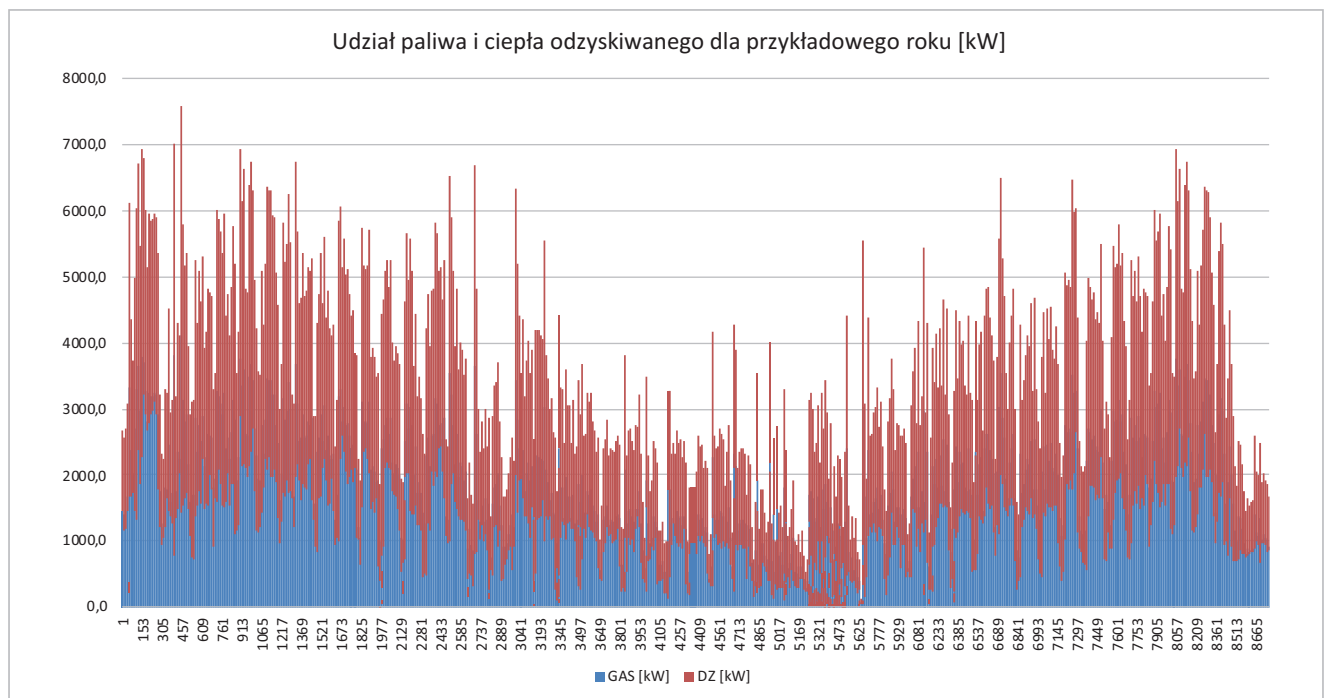
Warunki eksploatacji instalacji w analizowanym zakładzie przemysłowym umożliwiają zastosowanie APC, która pokryje w 100% zapotrzebowanie na



Rys. 5. Schemat instalacji przed modernizacją



Rys. 6. Schemat instalacji po modernizacji



Rys. 7. Roczna produkcja ciepła wraz z udziałem ciepła odzyskiwanego

ciepło. Jest to możliwe dzięki ciągłej pracy zakładu przez ok. 8650 h/a oraz występującego w tym czasie zapotrzebowania na media, przy czym są to głównie chłód i sprężone powietrze; ciepło odpadowe z procesów produkcji tych mediów stanowi główne źródło APC. Na rysunku 7 zaprezentowano roczną produkcję ciepła w APC oraz udział w tej produkcji ciepła odzyskiwanego z instalacji wody chłodzącej.

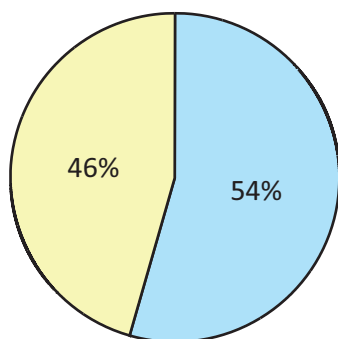
W opisywanym przykładzie dzięki zastosowaniu APC, poza oszczędnością energii zawartej w paliwie wynoszącą ponad 11 GWh, znacznie ogranicza się ilość wody odparowującej i unoszonej w układach wież chłodniczych oraz zmniejsza się zużycie energii elektrycznej. Roczne zmniejszenie zużycia wody na pokrycie jej ubytków w wyniku odparowania i unoszenia oszacowano na ok. 17 708 m<sup>3</sup>/a.

### 2.1. Oplacalność inwestycji

Jednym z kluczowych parametrów służących inwestorom do oceny projektów zapewniających poprawę efektywności energetycznej jest ich opłacalność. Oczywiście jest, że układy APC są znacznie droższe niż układy z konwencjonalnymi kotłami. Jednak są one wielokrotnie tańsze niż układy ze sprężarkowymi pompami ciepła oraz można do ich napędu stosować gaz, w odróżnieniu od SPC, przy czym ceny gazu rosną w mniejszym tempie niż ceny energii elektrycznej. Aby ocenić opłacalność powyższej inwestycji, przyjęto konkretny układ APC oraz dokładnie oszacowano koszty jego wykonania wg schematu z rys. 6. W wybranym wariantcie koszt APC to 2 mln zł, a koszt jej montażu, obejmujący wykonanie niezbędnych instalacji, automatyki oraz doprowadzenia gazu i odprowadzenia spalin, to 1,5 mln zł. Sumaryczny koszt realizacji projektu wyniesie zatem ok. 3,5 mln zł. Jednocześnie roczne oszczędności dzięki zastosowaniu APC to 1,315 mln zł wynikające z ograniczenia zużycia gazu ziemnego (1,25 zł/Nm<sup>3</sup>) oraz 75 000 zł z ograniczenia zużycia wody uzdatnionej (4 zł/m<sup>3</sup>). W rezultacie prosty czas zwrotu nakładów na inwestycję wyniesie ok. 2 lat i 6 mc oraz oszczędności uzyskane w 20-letnim okresie eksploatacji na poziomie 24,25 mln zł. Inwestycje taką można więc zaliczyć do wysoce opłacalnych, szczególnie w aspekcie możliwych przychodów z tytułu ograniczenia emisji CO<sub>2</sub>, co nie zostało uwzględnione w obliczeniach.

### 2.2. Ograniczenie emisji dwutlenku węgla

Zastosowanie APC umożliwia istotne ograniczenie energochłonności procesu produkcji, co prowadzi do redukcji zużycia paliw kopalnych, a tym samym ograniczenia



Rys. 8. Roczne udziały ilości ciepła użytecznego (54%) i całkowitego (46%)

emisji gazów cieplarnianych. Na rysunku 8 pokazano średnioroczny udział ciepła odzyskiwanego w ciepłe produkowanym na cele technologiczne.

Oznacza to także, że ograniczenie emisji gazów cieplarnianych może być premiiowane za pomocą różnych instrumentów wsparcia poprawiających także opłacalność inwestycji. Ekwiwalentne ograniczenie emisji gazów cieplarnianych obliczono za pomocą wskaźników podanych w Rozporządzeniu wykonawczym 2018/2066 z dnia 19 grudnia 2018 r. w sprawie monitorowania i raportowania w zakresie emisji gazów cieplarnianych na podstawie dyrektywy 2003/87/WE Parlamentu Europejskiego i Rady oraz zmieniające rozporządzenie Komisji (UE) nr 601/2012. Według tego rozporządzenia średnia emisyjność gazu ziemnego wykorzystywanego do produkcji ciepła wynosi 202 kgCO<sub>2</sub>e/MWh, co przy średniej sprawności produkcji ciepła w kotłach gazowych wynoszącej 90% sprawia, że wartość wskaźnika zintegrowanego wyniesie 224,44 kgCO<sub>2</sub>e/MWh. W przypadku analizowanego zakładu przemysłowego zastosowanie APC ograniczy emisję CO<sub>2</sub> o 2492 tCO<sub>2</sub>e, zatem uwzględniając koszt prawa do emisji EUA na poziomie 53,95 EUR/t zapewni to dodatkowy przychód w wysokości 605 000 zł rocznie, co skraca prosty czas zwrotu nakładów na inwestycję do 1 roku i 10 mc. W pewnym zakresie przedsięwzięcie to mogło być sfinansowane z wykorzystaniem mechanizmu tzw. „Białych certyfikatów” promującego inwestycje służące do poprawy efektywności energetycznej. W odniesieniu do kosztu tony oleju ekwiwalentnego, wynoszącego 1900 zł/t, jednorazowy przychód możliwy do uzyskania dzięki zastosowaniu tego mechanizmu to 1,65 mln zł, co dodatkowo skraca prosty czas zwrotu nakładów do 11 mc.

### 3. Podsumowanie

Zastosowanie APC umożliwia znaczące ograniczenie emisji gazów cieplarnianych przy jednoczesnym bardzo atrakcyjnym czasie zwrotu nakładów na inwestycje. Proponowana technologia jest sprawdzona i dostępna na rynku, co ułatwia jej szybkie wdrożenie. W analizowanym studium przypadku, inwestycja o koszcie 3,5 mln zł ogranicza emisję CO<sub>2</sub> o 2492 tCO<sub>2</sub>e/a, co sprawia, że prosty czas zwrotu nakładów inwestycyjnych wyniesie 1-2,5 roku.

#### O Autorze

dr inż. Marcin Malicki, absolwent Wydziału Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej (wcześniej Inżynierii Środowiska), Dyrektor ds. Innowacji i Technologii w New Energy Transfer. Ekspert Komisji Europejskiej, Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, Solar Impulse Foundation oraz Innovation Fund Republiki Serbii. Autor patentów i publikacji w dziedzinie poprawy efektywności energetycznej, zastosowania technologii sorpcyjnej oraz wykorzystania źródeł odnawialnych w energetyce, ciepłownictwie i chłodnictwie.



# NET

New Energy Transfer

**Innovative  
Sorption  
Technologies**

**Energy  
Efficiency  
Improvement**

**100% Renewable  
Energy  
Application**

**Waste  
Heat  
Recovery**

Complete  
Solutions for:



Power  
Generation



Heating



Cooling



Desalination

[www.newenergyenergytransfer.com](http://www.newenergyenergytransfer.com)

[biuro@newenergytransfer.com](mailto:biuro@newenergytransfer.com)