

### **Numeryczna analiza pracy i porównanie nowoczesnych układów skojarzonych, bazujących na chłodziarce absorpcyjnej LiBr-H<sub>2</sub>O**

**Przez wzgląd na szerokie możliwości wykorzystania i zastosowań urządzeń absorpcyjnych, zwłaszcza w obecnych warunkach ekonomicznych, przedstawiono analizę numeryczną układów, które w sposób skojarzony wytwarzają chłód. Prezentowane analizy uzyskano w toku symulacji komputerowych w oparciu o własny zweryfikowany kod obliczeniowy, bazujący na integralnych równaniach zachowania CFM. Zamieszczono analizy i porównania efektywności pracy układu absorpcyjnego pracującego zarówno w skojarzeniu z urządzeniem sprężarkowym jedno- jak i dwustopniowym. Zaprezentowano również rzeczywisty przykład nowoczesnego układu skojarzonego, pracującego w KWK Pniówek.**

Z uwagi na kurczące się światowe zasoby paliw kopalnych, a także ze względu na potrzebę ochrony środowiska naturalnego przed degradacją, coraz większą popularność zdobywają metody wykorzystujące alternatywne źródła energii. Potrzebę taką wymuszają również uwarunkowania ekonomiczne, przez wzgląd na rosnące ceny surowców oraz politykę zmierzającą do możliwie dużego uniezależnienia gospodarki od zewnętrznych surowców energetycznych. Jednym z korzystnych rozwiązań problemu jest wykorzystanie ciepła odpadowego, o stosunkowo niskich parametrach termicznych, do napędu obiegów chłodniczych sorpcyjnych. W metodzie tej, zwanej gospodarką skojarzoną, wykorzystuje się uboczne efekty procesów technologicznych (strumień ciepła odpadowego) do realizacji określonych celów (np. uzyskanie efektu chłodzenia w klimatyzacji). Z punktu widzenia warunków działania układów chłodniczych, niezwykle istotnym jest dokładne określenie zależności zachodzących między parametrami opisującymi pracę urządzenia, a wielkościami generowanymi przez poszczególne elementy układów w kluczowych punktach obiegów. Umożliwi to analizę pracy obiegów, ich optymalizację, projektowanie, prowadzenie analizy ekonomicznej oraz dobór możliwie najlepszej postaci układu skojarzonego dla konkretnych warunków pracy.

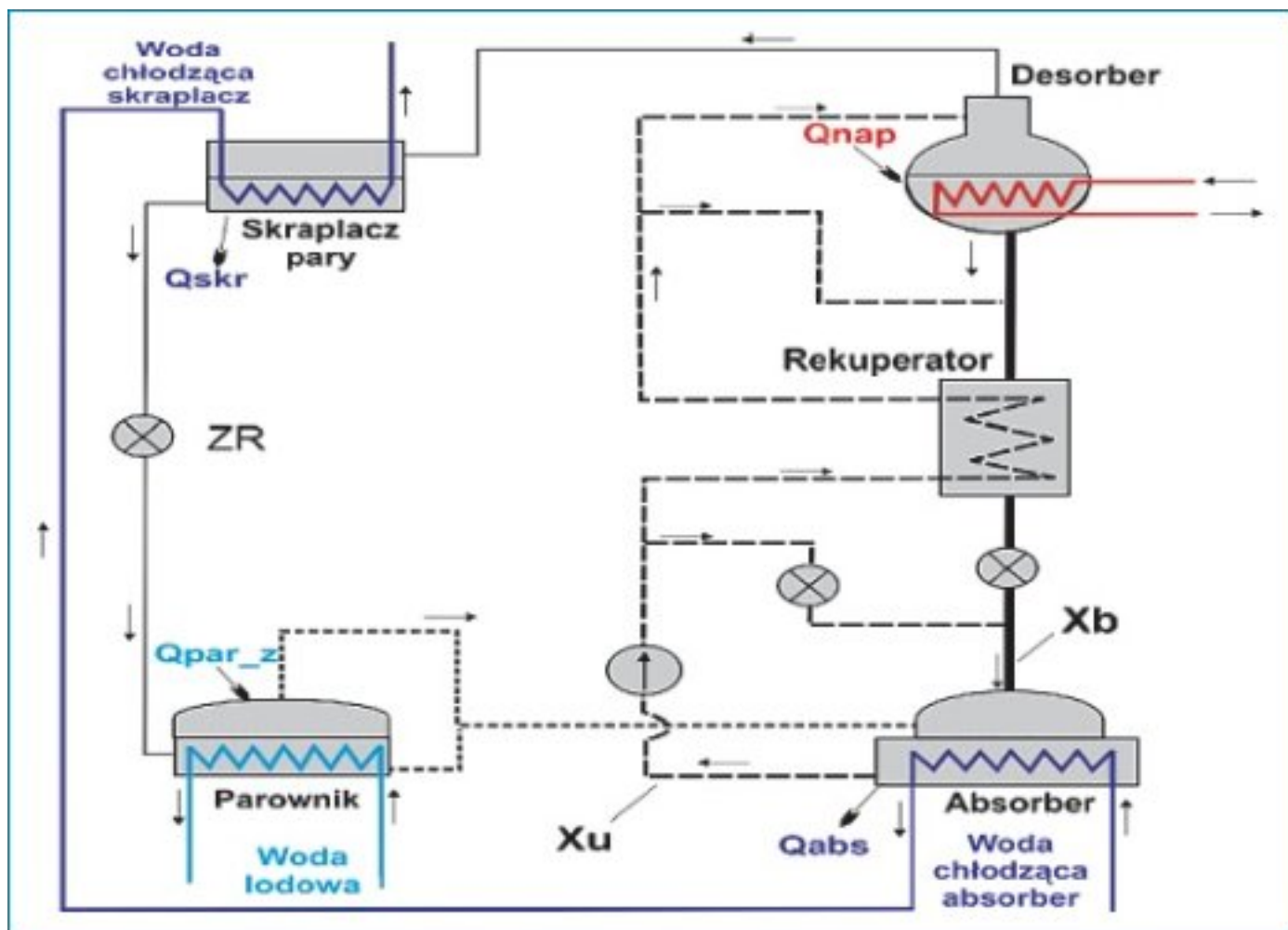
#### **Zasada działania chłodniczego urządzenia absorpcyjnego LiBr-H<sub>2</sub>O**

Chłodziarki sorpcyjne [1], są to urządzenia, w których dla zrealizowania obiegu doprowadzana jest energia z zewnątrz w postaci ciepła. Urządzenia te są chłodziarkami parowymi, w związku z tym czynnik podlega przemianom fazowym. W parowniku odbywa się proces wrzenia czynnika chłodniczego kosztem ciepła doprowadzonego od środowiska ochładzanego. Proces przebiega w niskiej temperaturze i przy niskim ciśnieniu. W skraplaczu zaś oddaje ciepło do otoczenia przy wyższej temperaturze i przy wysokim ciśnieniu ulegając skropleniu. Przejście z ciśnienia skraplania na ciśnienie parowania uzyskuje się przez dławienie

w zaworze rozprężnym. Realizacja procesu sprężania czynnika wymaga odprowadzenia ciepła do otoczenia (absorber) oraz doprowadzenie w innym miejscu ciepła przy temperaturze wyższej od temperatury otoczenia (desorber).

Zespół ten nosi nazwę sprężarki termicznej i zastępuje sprężarkę mechaniczną trzema przemianami:

- izobaryczną absorpcją pary czynnika chłodniczego przez ciekły absorbent,
- izentalpowym zwiększaniem ciśnienia cieczy przez pompę,
- desorpcją pary czynnika chłodniczego przez doprowadzenie ciepła, (...)



Rys. 1. Schemat ideowy jednostopniowej chłodziarki absorpcyjnej

## Metodyka prowadzenia analiz

(...)

## Analiza i porównanie układu kombinowanego zbudowanego poprzez skojarzenie urządzenia sprężarkowego z urządzeniem absorpcyjnym

(...)

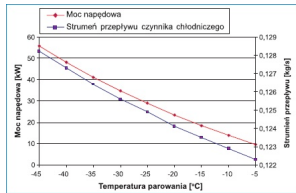
## Warunki pracy układu kombinowanego składającego się z urządzenia jednostopniowego absorpcyjnego i sprężarkowego a jego parametry

(...)

### Wpływ temperatury parowania na warunki pracy układu kombinowanego

Wzrost parametrów produkowanego chłodu wywiera zasadniczy wpływ na warunki pracy układu. Wiąże się to ze wzrostem zapotrzebowania na moc napędową pompy, przy wymaganej stałej wielkości wydajności chłodniczej równej 150 [kW], wzrostem masowego natężenia przepływu (rys. 4), a także wzrostem temperatury na króćcu tłocznym sprężarki. Wartość dopuszczalnej temperatury końca procesu sprężania jest ważnym ograniczeniem eksploatacyjnym, rzutującym na maksymalną wartość „sprężu” uzyskiwanego w jednym stopniu (rys. 5). Przyjmuje się że maksymalna temperatura sprężonego czynnika chłodniczego mierzona na króćcu tłocznym sprężarki dla amoniaku nie powinna przekraczać 130°C [9].

Zauważa się także tendencję do podnoszenia jej nawet do 160°C. Dla sprężarek amoniakalnych zachodzi więc konieczność chłodzenia wodą górnych części tulei cylindrowych i głowic.



Rys. 4. Moc napędowa  $N_{np}$  i strumień przepływu  $m_{R12}$  czynnika chłodniczego w funkcji temperatury parowania

## Analiza warunków pracy układu kombinowanego, składającego się z urządzenia absorpcyjnego jednostopniowego i sprężarkowego dwustopniowego a jego parametry. Porównanie układów kombinowanych

(...)

### Przykład zastosowania

Ogólna koncepcja projektu w KWK „Pniówek” polega na wytworzeniu energii elektrycznej za pomocą generatorów napędzanych silnikami gazowymi spalającymi metan, odzyskaniu ciepła ze spalin i chłodzenia silników do napędu agregatów absorpcyjnych, przesyłanie „chłodu” za pomocą zimnej wody wytworzonej w chłodziarkach absorpcyjnych i w chłodziarce sprężarkowej zasilanej energią elektryczną z generatorów. Nadwyżki energii elektrycznej i ciepła są sprzedawane do sieci elektroenergetycznej i ciepłowniczej.

Ciepło odzyskane z generatorów w pierwszej kolejności służy do napędu chłodziarek absorpcyjnych, a przy zmniejszonym zapotrzebowaniu (praca ze zmniejszoną mocą chłodniczą) jest kierowane do sieci ciepłowniczej kopalni.

Układy absorpcyjne mają dwa poziomy odzysku strumienia ciepła:

- obieg ciepłowodny o nominalnym gradiencie 85°C/70°C dla odzysku ciepła z chłodzenia korpusu silnika, oleju i powietrza po turbodoładowaniu,
- obieg gorącowodny o nominalnym gradiencie 125°C/100°C dla odzysku ciepła ze spalin.

Wytworzona w układzie chłodniczym zimna woda chłodnicza, o temperaturze 1,5±2°C jest

przesyłana na dół kopalni z wykorzystaniem rurociągu o średnicy R300 i przepływie 300 m<sup>3</sup>/h. Woda lodowa kierowana jest szybem na poziom 853 m do podajnika trójkomorowego SIEMAGDRK 200, gdzie następuje redukcja ciśnienia z 9,5 MPa do ciśnienia 2,0 MPa. W obiegu dołowym woda zimna wypycha wodę ogrzaną o temperaturze ok. 18°C na powierzchnię w kierunku chłodziarek.

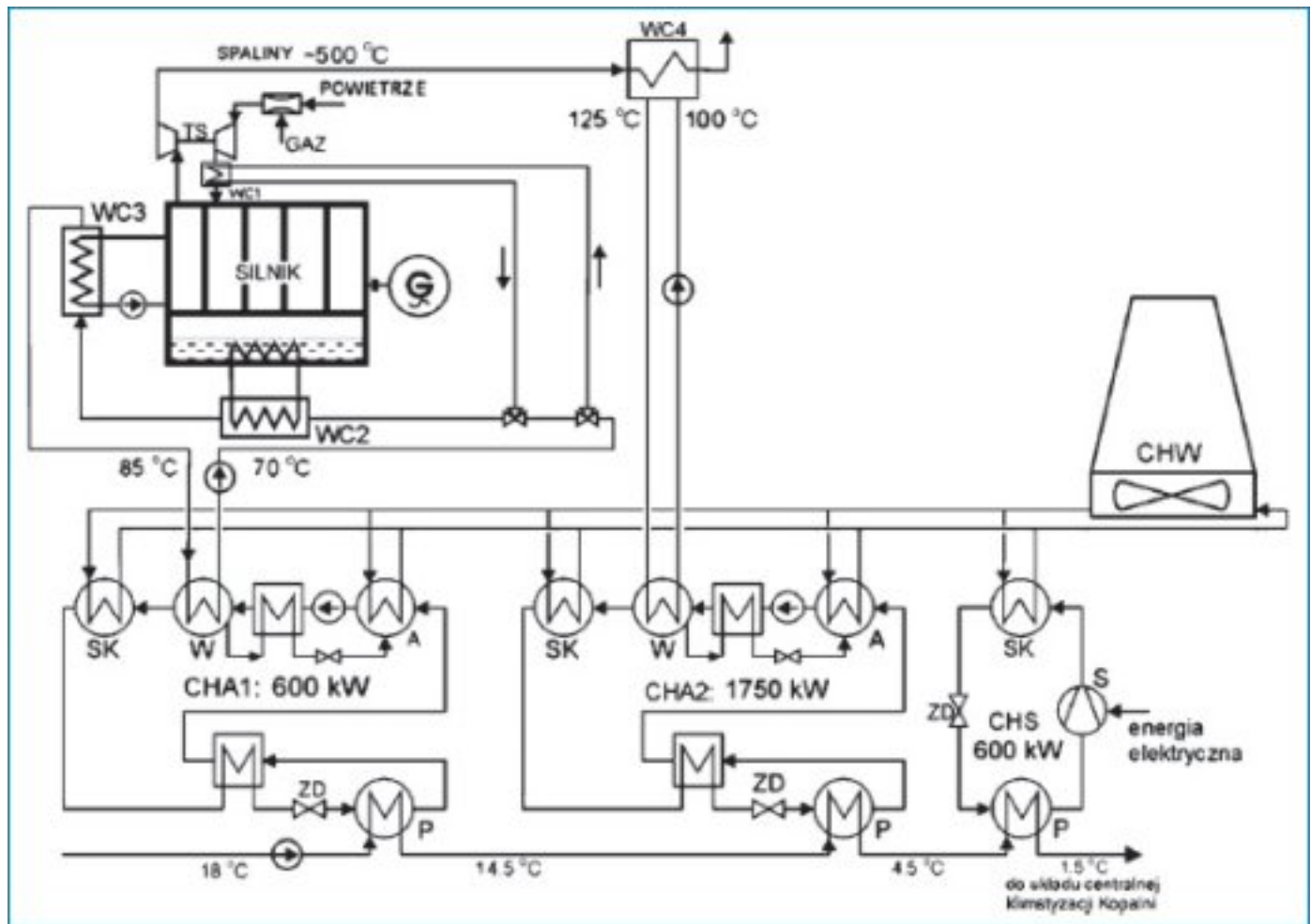
Dla zapewnienia ciągłości przepływu wody chłodniczej w obiegu pierwotnym i wtórnym podajnik tworzą trzy komory rurowe, których cykle pracy są przesunięte w fazie o 120°. Strata ciepła na podajniku wynosi ok. 0,5°C, a jego praca jest nadzorowana przez system kontrolny, który alarmuje w przypadku wystąpienia nieprawidłowości.

Dzięki zastosowaniu chłodziarek absorpcyjnych możliwe jest bardzo efektywne wykorzystanie ciepła generowanego w układzie (np. w sezonie grzewczym do produkcji ciepła, a w sezonie letnim do celów klimatyzacyjnych).

Produkcja energii chłodniczej prowadzona jest z przeznaczeniem na potrzeby KWK „Pniówek” i realizowana jest więc w trzystopniowym układzie chłodniczym z wykorzystaniem agregatów absorpcyjnych i śrubowych firmy YORK.

Układ ten zbudowany jest następująco [6]:

1. stopień pierwszy – agregat chłodniczy absorpcyjny typu YIA-HW-3B3,
2. stopień drugi – agregat chłodniczy absorpcyjny typu YIA-HW-6C4,
3. stopień trzeci – agregat chłodniczy śrubowy sprężarkowy typu YLC, w którym jako czynnika chłodniczego użyto R717.



Rys. 9. Schemat układu skojarzonego w Kopalni „Pniówek” (WC1, WC2, WC3, WC4 – wymienniki ciepła układu CHP, TS – turbosprężarka, CHW – chłodnica wentylatorowa, CHA1, CHA2 – chłodziarki absorpcyjne, CHS – chłodziarka sprężarkowa, SK – skraplacz, W – wężownik, A – absorber, ZD – zawór dławiący,

[TRADYCYJNA](#) [E-WYDANIE](#)