

Piotr CYKLIS<sup>1</sup>  
Roman DUDA<sup>2</sup>

## METODYKA STEROWANIA HYBRYDOWYM SPRĘŻARKOWO-SORPCYJNYM OBIEGIEM CHŁODNICZYM

Wymagania dotyczące użycia przyjaznych dla środowiska czynników chłodniczych promują zastosowanie CO<sub>2</sub> i wody jako czynników roboczych. Oba rozwiązania posiadają wady, będące wynikiem ograniczeń dla maksymalnej temperatury CO<sub>2</sub> i dolnej granicy temperatury dla wody. Można tego uniknąć przez zastosowanie hybrydowego adsorpcyjno-sprężarkowego systemu chłodniczego, w którym woda jest cieczą roboczą w cyklu adsorpcyjnym, który zaś stosuje się w celu ochłodzenia skraplacza CO<sub>2</sub> w cyklu sprężarkowym. Proces adsorpcji jest zasilany energią niskotemperaturową z odnawialnego źródła ciepła, taką jak kolektory słoneczne lub poprzez inne źródła ciepła odpadowego. Rozwiązanie takie to nasz własny pomysł i nie odnotowano go w żadnym innym źródle literatury. Natomiast różne warunki otoczenia przez cały rok wymagają specjalnie zaprojektowanych procedur sterowania i rozwiązań automatyki. Algorytm sterujący musi kontrolować działanie dodatnich i ujemnych źródeł ciepła, zawory, pompy, wentylatory i pracę układu sprężarkowego. W algorytmie tym temperatura otoczenia i warunki słoneczne lub z innego źródła ciepła na przykład odpadowego muszą być wprowadzone jako jego parametry, biorąc pod uwagę działanie obiegów w celu osiągnięcia maksymalnej wydajności całego systemu. Zapotrzebowanie na zimno powinno być wzięte pod uwagę zarówno pod względem mocy chłodniczej jak i temperatury.

**Słowa kluczowe:** hybrydowy adsorpcyjno-sprężarkowy system chłodniczy, sterowanie

---

<sup>1</sup> Autor do korespondencji: Piotr Cyklis, Politechnika Krakowska, al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków, tel. 12 628 35 83, e-mail: pcyklis@mech.pk.edu.pl.

<sup>2</sup> Roman Duda e-mail: roman.duda@mech.pk.edu.pl.

## 1. Wstęp

Sprężarkowe i sorpcyjne układy chłodnicze są używane zamiennie w urządzeniach chłodniczych i klimatyzacyjnych w obiegach chłodniczych oraz w pompach ciepła. Dwu stopniowy układ chłodniczy bazujący na tym samym czynniku może osiągnąć temperaturę na poziomie  $-60^{\circ}\text{C}$  [2]. W kaskadowym sprężarkowym układzie chłodniczym z dwoma niezależnymi obiegami z dwoma różnymi czynnikami gdzie dwa media transportujące ciepło są połączone wymiennikiem ciepła, który pełni funkcję parownika dla jednego skraplacza dla drugiego czynnika. W takim rozwiązaniu temperatura osiągnięta na dolnym stopniu kaskady może być znacząco poniżej  $-80^{\circ}\text{C}$  [6, 11]. Dwutlenek węgla w rozwiązaniach chłodniczych jest także często używanym czynnikiem, ale ze względu na jego niską temperaturę krytyczną wymaga wysokiego ciśnienia sprężania dlatego w pewnych rozwiązaniach konieczna jest praca w układzie nadkrytycznym. Obiegi bazujące na dwutlenku węgla są szeroko używane jako niskotemperaturowe w rozwiązaniach dwustopniowych [9,10,14]. Układy adsorpcyjne takie jak litowo-bromowe-wodne czy też bazujące na żelach krzemionkowych lub zeolitach gdzie woda pracuje jako czynnik obiegowy. Mają one ograniczone możliwości pracy w układach ziębnych, osiągalna temperatura w takich przypadkach jest na poziomie  $4-8^{\circ}\text{C}$  [3, 7]. W literaturze można znaleźć informacje na temat nowych rozwiązań hybrydowych gdzie część niskotemperaturowa takiej kaskady (LT) to rozwiązanie bazujące na sprężarkach zaś część wysokotemperaturowa (HT) to kompresja termiczna, taka jak ( $\text{CO}_2\text{-NH}_3$ ) [8] lub ( $\text{N}_2\text{O-CO}_2$ ) [1], adsorpcja [15,12] a także układ termoelektryczny. Także układy adsorpcji bazujące na zeolitach są używane w układach klimatyzacyjnych oraz w pompach ciepła [14].

Połączenie tych dwu obiegów czyli obiegu adsorpcyjnego po stronie wysokotemperaturowej kaskady oraz dwutlenku węgla w obiegu sprężarkowym po niskotemperaturowej stronie jest nowym rozwiązaniem, takie rozwiązanie daje i łączy możliwość wykorzystania ciepła odpadowego lub ciepła uzyskanego z układów solarnych do celów zasilania źródła wysokotemperaturowego kaskady [4]. Przewagą zaproponowanego systemu jest to, że stosowane są tylko naturalne czynniki chłodnicze oraz oszczędność energii elektrycznej w przypadku wykorzystania ciepła solarnego lub odpadowego. Aby jednak osiągnąć korzystne efekty energetyczne i ekologiczne (TEWI) przy wykorzystaniu proponowanego systemu hybrydowego konieczne jest opracowanie metodyki sterowania systemem dla różnych warunków otoczenia. To właśnie dla systemu zasilanego energią słoneczną jest celem niniejszej pracy.

## 2. Budowa systemu hybrydowego

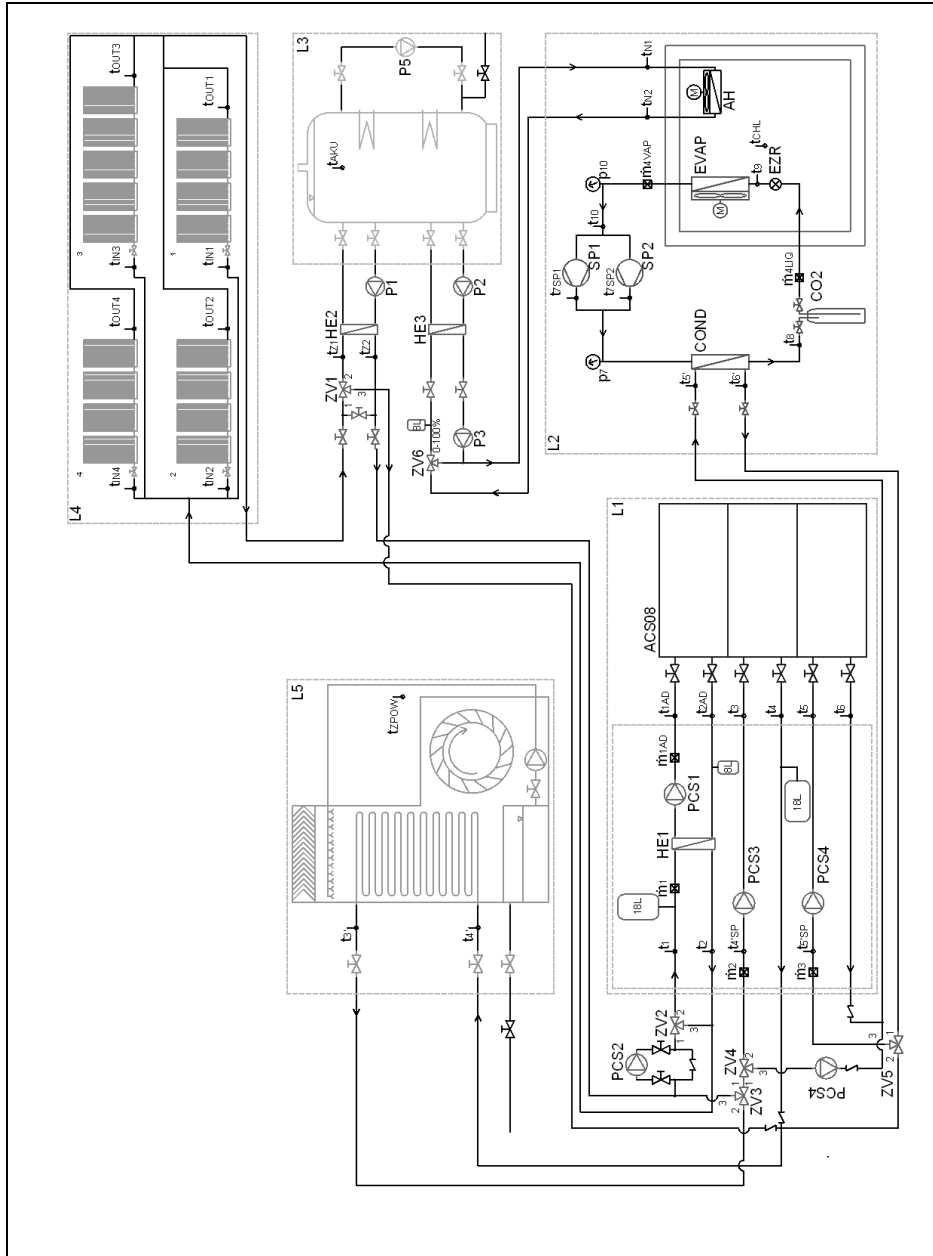
W Laboratorium Termodynamiki i Pomiarów Maszyn Ciepłych Politechniki Krakowskiej zostało opracowane i zbudowane stanowisko testowe kaskadowego hybrydowego sprężarkowo-sorpcyjnego układu chłodniczego [5]. Stopień wysokotemperaturowy to urządzenie bazujące na cyklu adsorpcyjnym ACS08 produkcji niemieckiej firmy (SorTech AG). Pracuje w połączeniu z zestawem siedemnastu rurowych kolektorów słonecznych KSR-10 firmy (HEWALEX) oraz zbiornikiem ciepła o pojemności 2000 [l] a także wyparną wieżą chłodniczą REF-C-005 firmy (DECSA) o mocy maksymalnej na poziomie 75 kW, która pracuje jako układ chłodzenia adsorbera.

Obieg niskotemperaturowy jest zbudowany w oparciu o dwie sprężarki CO<sub>2</sub> CD300H ph3 firmy (Dorin), jedna z nich jest wyposażona w falownik ACS355-03-08A8-4 firmy (ABB). Komora chłodnicza ma wewnętrzne wymiary 1960x1920x2690 mm o grubości ścianki/izolacji 200 mm, komora ta jest chłodzona parownikiem CXGHF 040.2H/17-ENW50.E z wentylatorem VT0398U firmy (Gunter) z zamontowanym zaworem rozprężnym CX4 CO<sub>2</sub> PCN 801990. Lamelowy wymiennik ciepła SWEP B16DWHx64/1P-SC-U pracuje jako skraplacz CO<sub>2</sub>. Glikol etylenowy jest używany jako czynnik chłodzący pomiędzy wyparną wieżą chłodniczą oraz układem adsorpcyjnym. W komorze chłodniczej w celu zadawania obciążenia cieplnego jest także zamontowana nagrzewnica powietrza Leo FB 9 firmy (Flowair). Widok kompletnego systemu został pokazany na rysunku 1. W tabeli 1 przedstawiono zestawienie przyrządów pomiarowych.

Tabela 1. Wykaz urządzeń pomiarowych użytych w systemie

Table 1. Measurement devices used in the system

POMIAR	IŁOŚĆ	CZUJNIK	KLASA	UŻYTY ZAKRES
$t_i$	36	Introl IT-CF-1 Pt100	B	-25~200; -50~150; 0~150 °C
$t_i/p.prąd.$	36	Introl	0,03%	4~20 mA
$m_{4liq}$	1	SIEMENS MASSFLO 2100	0,01%	0~1000 kg/h
$m_{4liq}$	1	SIEMENS MASS 6000	0,01%	0,0002~0,2786 kg/s
$m_{4vap}$	1	Hoffer Flow Controls ACEII	0,05%	10~110 l/min
$m_1; m_{1AD}; m_2, m_3$	4	Hoffer Flow Controls	0,05%	4,73~35,96; 6,62~60,57; 9,46~109,78 l/min
$m_1; m_{1AD}; m_2, m_3$	4	KEP BATRTM2AC	0,05%	0~36; 0~60; 0~110 l/min
$p_7; p_{10}$	2	Vegabar 17	0,05%	0~100 bar
$p_{AKU}$	1	Vegabar 17	0,05%	0~25 bar
$P_i$	9	LUMEL	0,01%	0~200; 0~700; 0~3000; 0~8000; 0~10000; 0~15000 W
$p.prąd.$	8	ICP DAS M-7017RC	0,01%	4~20 mA



Rys. 1. P Schemat kompletnego chłodniczego systemu hybrydowego zainstalowanego w Laboratorium Termodynamiki i Pomiarów Maszyn Ciepłych

Fig. 1. Schematic diagram of a complete hybrid refrigeration system installed in The Laboratory of Thermodynamics and Thermal Machines Measurements

### 3. Założenia układu automatyki i sterowania

Podstawowym problem, który wymaga rozwiązania w zaproponowanym systemie jest to, że układ automatycznego sterowania musi sterować i zapewnić pracę sytemu przez 24 godziny/12 miesięcy w roku, niezależnie od warunków zewnętrznych, w dzień oraz w nocy musi być zapewniona możliwość pracy układu chłodniczego. Z tego powodu również zastosowano wieżę chłodniczą o wydajności większej niż wynikałoby to z zapotrzebowania samego urządzenia adsorpcyjnego. Chłodzenie skraplacza CO<sub>2</sub> za pomocą adsorbera możliwe jest tylko w czasie gdy dostępne jest ciepło odpadowe lub ciepło solarne. Istnieje także możliwość wykorzystania w nocy części ciepła solarne zgromadzonego w dzień w magazynie ciepła. W pozostałych przypadkach skraplacz CO<sub>2</sub> musi być chłodzony bezpośrednio z wieży. Jest to możliwe pod warunkiem, że osiągalna temperatura z wieży chłodniczej jest wystarczająco niska. Awaryjnie przydużej wilgotności i temperaturze powietrza otoczenia może zaistnieć potrzeba wykorzystania adsorbera, wtedy muszą zostać uruchomione grzałki elektryczne zainstalowane w zbiorniku ciepła.

Znaczącą zaletą systemu adsorpcyjnego jest to, że może on pracować przy niskiej temperaturze górnego źródła minimum 60-65°C, oczywiście zależy to też od typu i rozwiązania tego urządzenia. Dla optymalizacji systemów automatyki opracowano dla każdego podsystemu możliwe tryby pracy.

A) Dla podsystemu L1 (urządzenie adsorpcyjne) wyróżniamy cztery podstawowe:

1. Tryb pracy dziennej (SDW) kiedy temperatura wejściowa ze źródła ciepła przekracza 65°C, oraz temperatura zewnętrzna (otoczenia) przekracza 13°C. Wtedy urządzenie adsorpcyjne pracuje w trybie chłodzenia. Temperatura wyjściowa z części chłodzącej z adsorbera jest zależna od jego obciążenia, wystarczającą czynnością powinno być pozostawienie cyklu adsorbera przy najniższym obciążeniu. Wtedy możliwe staje się osiągnięcie najniższej możliwej temperatury przez urządzenie adsorpcyjne jednocześnie redukując zapotrzebowanie na energię. Ten tryb pracuje do momentu przekroczenia temperatur otoczenia oraz źródła.
2. Tryb nocny (SNW), praca adsorbera nie jest możliwa jeżeli temperatura górnego źródła spadnie poniżej 65°C, wtedy urządzenie adsorpcyjne zostaje zatrzymane i jednocześnie zostaje uruchomiony obieg pomiędzy skraplaczem a wieżą chłodniczą, wtedy wieża chłodzi bezpośrednio skraplacz CO<sub>2</sub>.
3. Tryb pompy ciepła (HPW) jest używany gdy temperatura powietrza spadnie poniżej 13°C. Wtedy adsorber może zostać użyty niezależnie od całego systemu, pozwala to na odebranie całego ciepła odpadowego oraz ciepła otoczenia jako źródło wysokotemperaturowe (HT), podczas gdy źródło średniotemperaturowe (MT) jest wykorzystane do celów grzej-

nych. W tym trybie skraplacz CO<sub>2</sub> jest chłodzony bezpośrednio z wieży chłodniczej.

4. Tryb dogrzewania (AHW). W przypadku gdy temperatura źródła ciepła spadnie poniżej 65°C oraz wymagania w celu chłodzenia skraplacza są wyższe aniżeli można otrzymać bezpośrednio z wieży wyparnej. Tryb ten może być użyty w przypadku gdy warunki zewnętrzne takie jak wysoka temperatura i wysoka wilgotność oraz przy braku ciepła odpadowego lub ciepła solarnego.

B) Dla podsystemu L2 - sprężarkowego obiegu chłodniczego CO<sub>2</sub> podstawowa funkcjonalność obiegów sprężarkowych jest powszechnie znana i nie będzie w dalszej części artykułu omawiana, jednakże można wykazać dwie ważne różnice:

1. Wymagania co do chłodzenia skraplacza CO<sub>2</sub> mogą zostać w pewnych warunkach ograniczone, wtedy pojawia się sytuacja w której będzie wymagane zwiększenie mocy chłodniczej. W takim przypadku są dwie możliwości: wysłanie sygnału sterowania w celu uruchomienia programu AHW w podsystemie L1 lub chwilowe zredukowanie mocy sprężarek poprzez wyłączenie jednej z nich.
2. Jedna ze sprężarek ma zainstalowany falownik, który pozwala na spełnienie warunków regulacji nadążnej co pozwala na kontrolę mocy chłodniczej w zależności od bieżącego obciążenia komory chłodniczej. Ten tryb pracy pracuje wykorzystując zmienną kontrolę obciążenia zamiast kontroli w stylu włącz i wyłącz.

C) Podsystemy L3; L4; L5 - zbiornik ciepła; zestaw kolektorów słonecznych, wyparna wieża chłodnicza.

Zbiornik ciepła jest prosty w obsłudze ma zamontowane grzałki elektryczne na które są załączane tylko dla trybu L1 AHW. Także zawory ZV i pompy muszą pracować w zależności od swoich i innych trybów pozostałych podsystemów.

1. Tryb akumulacji ciepła solarnego (SAC), w którym akumulacja ciepła jest kontrolowana wykorzystując odczyty temperatury. W przypadku gdy temperatury są wyższe od punktu startu zostaje uruchomiona pompa PCS2 do momentu gdy temperatura wyjściowa z zestawu kolektorów nie osiągnie wartości wyższej o około 15K od temperatury w zbiorniku ciepła, po spełnieniu tego warunku zostaje uruchomiona pompa zasilająca wymiennik ciepła po stronie magazynu ciepła P1, następuje wymiana ciepła woda w magazynie ciepła jest dogrzewana. Pompa P1 kontynuuje swoją pracę do momentu gdy temperatura powrotu z kolektorów obniży się do wartości temperatury w zbiorniku akumulacyjnym plus 2-3K. W przypadku gdy następuje dalsze i szybkie obniżanie się temperatur na kolektorach słonecznych oznacza to, że nie ma nasłonecznienia i pompa PCS2 zostaje wyłączona. W przypadku gdy magazyn ciepła jest w pełni

naładowany (przy temperaturze wody 95<sup>0</sup>C) tryb pracy z SAC zmienia się na SWS.

2. Praca tylko na cieple solarnym (SW). W przypadku gdy magazyn ciepła jest w pełni naładowany (95<sup>0</sup>C), pompa P1 zostaje wyłączona, jeżeli podsystem L1 jest w trybie SDW następuje bezpośrednie nagrzewanie HT adsorbera od krążącego glikolu. W przypadku przekroczenia temperatury krążącego glikolu w układzie solarnym lub wyłączenia podsystemu L1 następuje zmiana trybu pracy z SW na SWS.
3. Tryb usuwania ciepła (SWS). Ten tryb jest wykorzystywany w przypadku gdy nie jest i nie będzie wykorzystywane źródło ciepła. (podsystem L1 wyłączony, zbiornik ciepła naładowany do pełna) oraz jest dość duże nasłonecznienie oraz temperatury w układzie solarnym przekraczają około 100<sup>0</sup>C, wtedy pompa PCS2 zostaje uruchomiona a całe ciepło zostaje przekserowane na wyparną wieżę chłodniczą.

W tabeli 2 przedstawiono nastawy kontroli poszczególnych podsystemów dla każdego z trybów pracy opisanych powyżej (tzn. SDW/SAC/SWS, itd.)

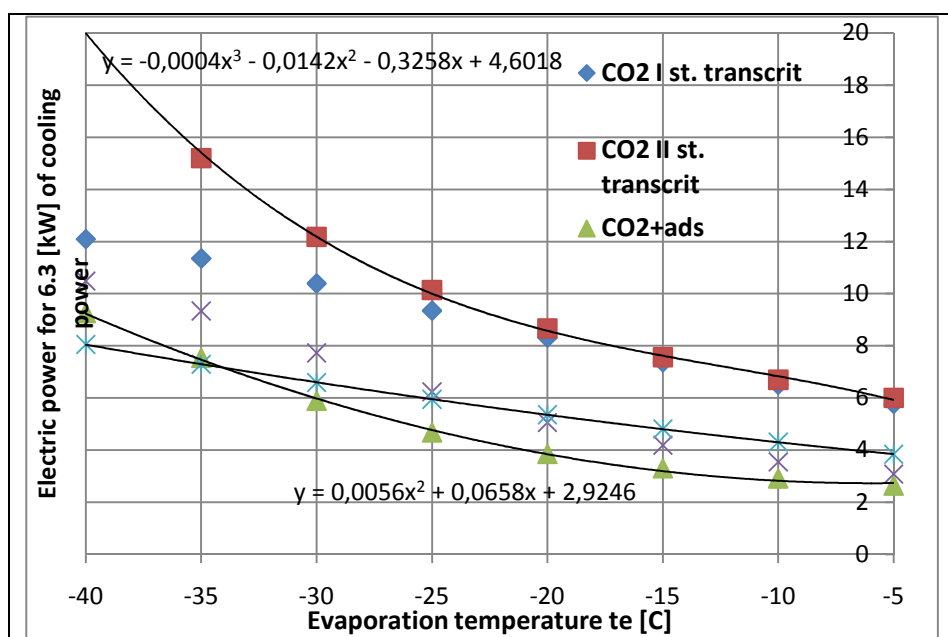
Tabela 2. Zestawienie nastaw automatyki dla poszczególnych trybów pracy podsystemów

Table 2. Automatic control setup for particular operational modes of subsystems

	ELEMENTY WSPÓLNE						
MODE	ZV1	ZV2	ZV3	ZV4	ZV5	PCS2	PCS4'
SDW/SAC	POS-1-2	POS-1-3	POS-1-2	POS-1-2	POS-1-3	T-CTL	OFF
SDW/SW	POS-1-2	POS-1-2	POS-1-2	POS-1-2	POS-1-3	T-CTL	OFF
SDW/SWS	POS-1-3	POS-1-3	POS-2-3	POS-1-2	POS-1-3	T-CTL	OFF
SNW	POS-1-2	POS-1-3	POS-1-2	POS-1-3	POS-1-2	OFF	ON
HPW	POS-1-2	POS-1-3	POS-1-2	POS-1-3	POS-1-2	ON	ON
AHW	POS-1-2	POS-1-2	POS-1-2	POS-1-2	POS-1-3	ON	OFF
	L1						
MODE	ACS	PCS1	PCS3	PCS4			
SDW/SAC	OFF	ACS-CTL	ACS-CTL	ACS-CTL			
SDW/SW	ON	ACS-CTL	ACS-CTL	ACS-CTL			
SDW/SWS	ON	OFF	OFF	OFF			
SNW	OFF	ACS-CTL	ACS-CTL	ACS-CTL			
HPW	ON	ACS-CTL	ACS-CTL	ACS-CTL			
AHW	ON	ACS-CTL	ACS-CTL	ACS-CTL			
	L2						
MODE	AKC	ECX	SP1	SP2	EZR	MEVAP	MAH
SDW/SAC	ON	ON	AKC-CTL	AKC-CTL	ECX-CTL	AKC-CTL	MAN-CTL
SDW/SW	ON	ON	AKC-CTL	AKC-CTL	ECX-CTL	AKC-CTL	MAN-CTL
SDW/SWS	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	MAN-CTL
SNW	ON	ON	AKC-CTL	AKC-CTL	ECX-CTL	AKC-CTL	MAN-CTL
HPW	ON	ON	AKC-CTL	AKC-CTL	ECX-CTL	AKC-CTL	MAN-CTL
AHW	ON	ON	AKC-CTL	AKC-CTL	ECX-CTL	AKC-CTL	MAN-CTL

#### 4. Zalety systemu hybrydowego

System hybrydowy przedstawiony w niniejszym artykule został uruchomiony w Laboratorium Termodynamiki i Pomiarów Maszyn Ciepłych Politechniki Krakowskiej.



Rys. 2. Wyniki badań eksperymentalnych obiegu pokazanego na rys 1.

Fig. 2. Results of the experimental investigations of the cycle shown in the fig. 1.

Przeprowadzono serię badań przy opisanej powyżej metodyce doboru nastaw automatyki systemu. Wskazania przyrządów pozwoliły na opracowanie bilansów energetycznych oraz obliczeń TEWI.

Wyniki badań systemu hybrydowego ( $\text{CO}_2 + \text{ads}$ ) zostały porównane do obliczonych i doświadczalnych wyników dla obiegów jedno stopniowych i dwustopniowych  $\text{CO}_2$  z wykorzystaniem wieży chłodniczej ( $\text{CO}_2 + \text{tower}$ ) oraz obiegu R410 jako górne część kaskady i  $\text{CO}_2$  jako dolna część kaskady. W większości przypadków cykl hybrydowy ma lepsze wyniki od pozostałych jeżeli chodzi o warunki energetyczne. W każdym przypadku współczynnik TEWI dla tego systemu jest zdecydowanie lepszy niż w innych porównywanych przypadkach. Wyniki tych badań oraz sposoby kontroli będą bazą dla dalszej optymalizacji pracy systemu przez cały rok 24h/dobę.



## 5. Wnioski

Nowej koncepcji system hybrydowy sorpcyjno-sprężarkowy został zaprojektowany i uruchomiony w Politechnice Krakowskiej. Jednym z najważniejszych elementów systemu jest jego prawidłowe i optymalne sterowanie uwzględniające: bezpieczeństwo działania, pewność dostarczenia chłodu, minimalizację zużycia energii i wskaźnika TEWI. Przedstawienie metodyki sterowania elementami uwzględniającej te wymagania było celem niniejszej pracy.

Sterowanie uwzględnia różne warunki pogodowe, jak też porę dnia przy zasilaniu za pomocą energii słonecznej. Założenia systemu i przedstawiony sposób sterowania pozwoliły na osiągnięcie wyników badań eksperymentalnych, znacząco lepszych niż dla systemów konwencjonalnych.

## Literatura

- [1] Bhattacharyya S., Garai A., Sarkar J.: Thermodynamic analysis and optimization of a novel N2O-CO2 cascade system for refrigeration and heating, *Int. J. Refrigeration*, 32 (2009) 1077-1084.
- [2] Cecchinato L., Corradi M.: Transcritical carbon dioxide small commercial cooling applications analysis, *Int. J. Refrigeration*, 34 (2012) 50-62.
- [3] Cimsit C., Ozturk I.: Analysis of compression-absorption cascade refrigeration cycles, *Appl. Thermal Eng.*, 40 (2012) 311-317.
- [4] Cyklis P., Kantor R.: Concept of hybrid adsorption-compression refrigeration system, *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej*, Poznań 2011.
- [5] Cyklis P., Kantor R., Górski B., Ryncarz T.: Hybrydowe sorpcyjno-sprężarkowe systemy chłodnicze. Część III - Wyniki badań systemu, *Technika Chłodnicza Klimatyzacyjna*, 203 (2013) 14-19.
- [6] da Silva A., Pedone Bandarra Filho E., Heleno Pontes Antunes A.: Comparison of a R744 cascade refrigeration system with R404A and R22 conventional systems for supermarkets. *Appl. Thermal Eng.*, 41 (2012) 30-35.
- [7] Desideri U., Proietti S., Sdringola P.: Solar-powered cooling systems: Technical and economic analysis on industrial refrigeration and air-conditioning applications, *Appl. Energy*, 86 (2009) 1376-1386.
- [8] Fernandez-Seara J., Sieres J., Vázquez M.: Compression-absorption cascade refrigeration system, *Appl. Thermal Eng.*, 26 (2006) 502-512.
- [9] Ge Y., Tassou S.: Control optimisation of CO2 cycles for medium temperature retail food refrigeration systems, *Int. J. Refrigeration*, 32 (2009) 1376-1388.
- [10] Girotto S., Minetto S., Neksa P.: Commercial refrigeration system using CO2 as the refrigerant, *Int. J. Refrigeration*, 27 (2004) 717-723.
- [11] Getu H., Bansal P.: Thermodynamic analysis of an R744-R717 cascade refrigeration system, *Int. J. Refrigeration*, 31 (2008) 45-54.

- [12] Labus J., Bruno J., Coronas A.: Performance analysis of small capacity absorption chillers by using different modeling methods, *Appl. Thermal Eng.*, 58 (2013) 305-313.
- [13] Pearson A.: Carbon dioxide-new uses for an old refrigerant, *Int. J. Refrigeration*, 28 (2005) 1140-1148.
- [14] Sekret R., Turski M.: Research on an adsorption cooling system supplied by solar energy, *Energy Buildings*, 51 (2012) 15-20.
- [15] Wang L., Ma A., Tan Y., Cui X., Cui H.: Study on solar-assisted cascade refrigeration system, *Energy Procedia*, 16 (2002) 1503-1509.

*Niniejsza publikacja została opracowana w ramach projektu finansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (umowa nr: N R06 0002 10 0936/R/T02/2010/10)*

## **METHODOLOGY OF THE HYBRID ADSORPTION-COMPRESSION REFRIGERATION CYCLE CONTROL**

### **S u m m a r y**

The requirements for environmental friendly refrigerants promote the application of CO<sub>2</sub> and water as working fluids. Both solutions have disadvantages, which are the result of high temperature limit for CO<sub>2</sub> and low temperature limit for water. This can be avoided by application of the hybrid adsorption-compression system, where water is the working fluid in the adsorption cycle which is used to cool down the CO<sub>2</sub> condenser on compression cycle. The adsorption process is powered by low temperature energy from renewable heat source such as solar collectors or other waste heat sources. This solution is our own conception and it is not reported in any other literature sources. The different ambient conditions over the year require specially designed control procedures and automation system solutions. The algorithm has to control both positive and negative heat sources operations, valves, pumps, fans and compressor operation. In this control algorithm the ambient temperature and solar conditions or other waste heat sources have to be introduced as its parameters, considering cycle operation to achieve maximum efficiency of the whole system. The demand for cold has to be considered for both refrigeration power and temperature.

**Keywords:** hybrid adsorption-compression refrigeration system, control

DOI: 10.7862/rm.2014.18

*Otrzymano/received: 15.05.2014*

*Zaakceptowano/accepted: 27.05.2014*