



Energetyka

Prof. Maciej Chorowski

# Chłodnictwo & Kriogenika

## Wykład 4 – Chłodziarki sorpcyjne c.d.



**KAPITAŁ LUDZKI**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Politechnika Wrocławska

**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



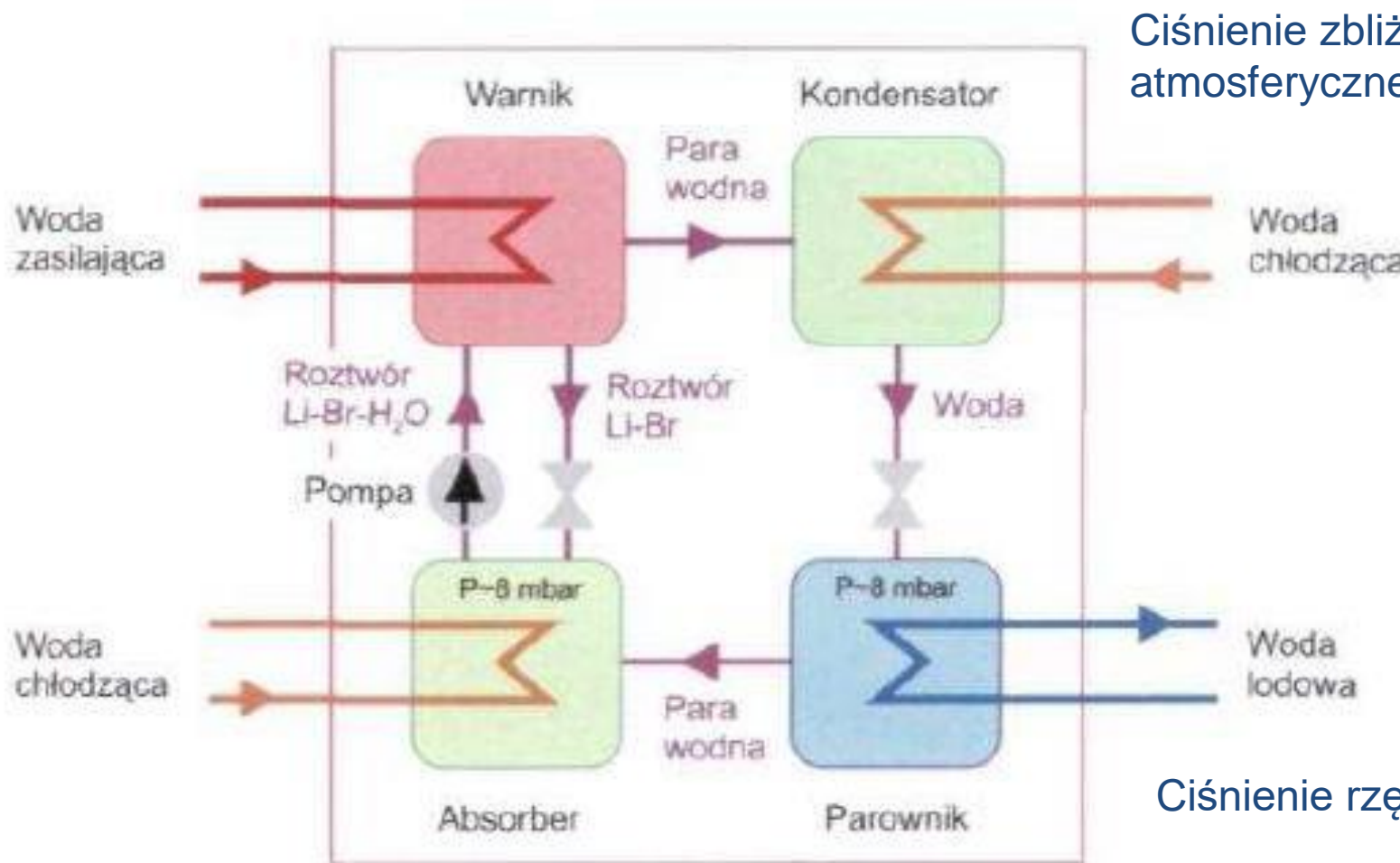


# Treść wykładu

- Chłodziarki sorpcyjne
- Chłodziarki absorpcyjne woda – bromek litu (stosowane w układach klimatyzacyjnych)
- Chłodziarki adsorpcyjne



# Chłodziarka absorpcyjna woda – bromek litu

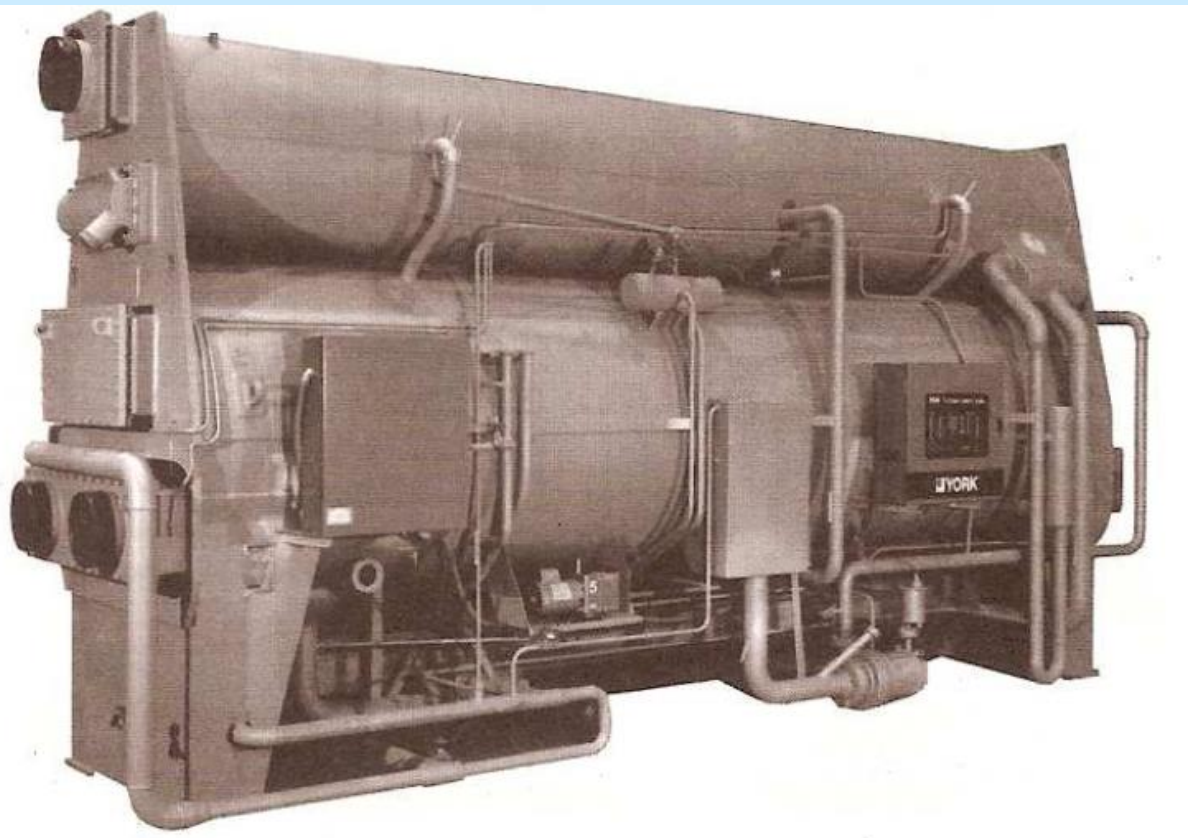


Ciśnienie zbliżone do atmosferycznego

Ciśnienie rzędu 0,01 bar



# Chłodziarka absorpcyjna woda-bromek litu



Zakres wydajności  
chłodniczej: od 420 kW  
do 4850 kW

Współczynnik wydajności  
chłodniczej: COP równy  
0.68

Minimalna temperatura  
wody lodowej: 4.5 oC

Temperatura wody  
grzejnej: minimum 80oC,  
nominalnie 115oC,  
opcjonalnie 130oC

*Za York Millenium Y/A*



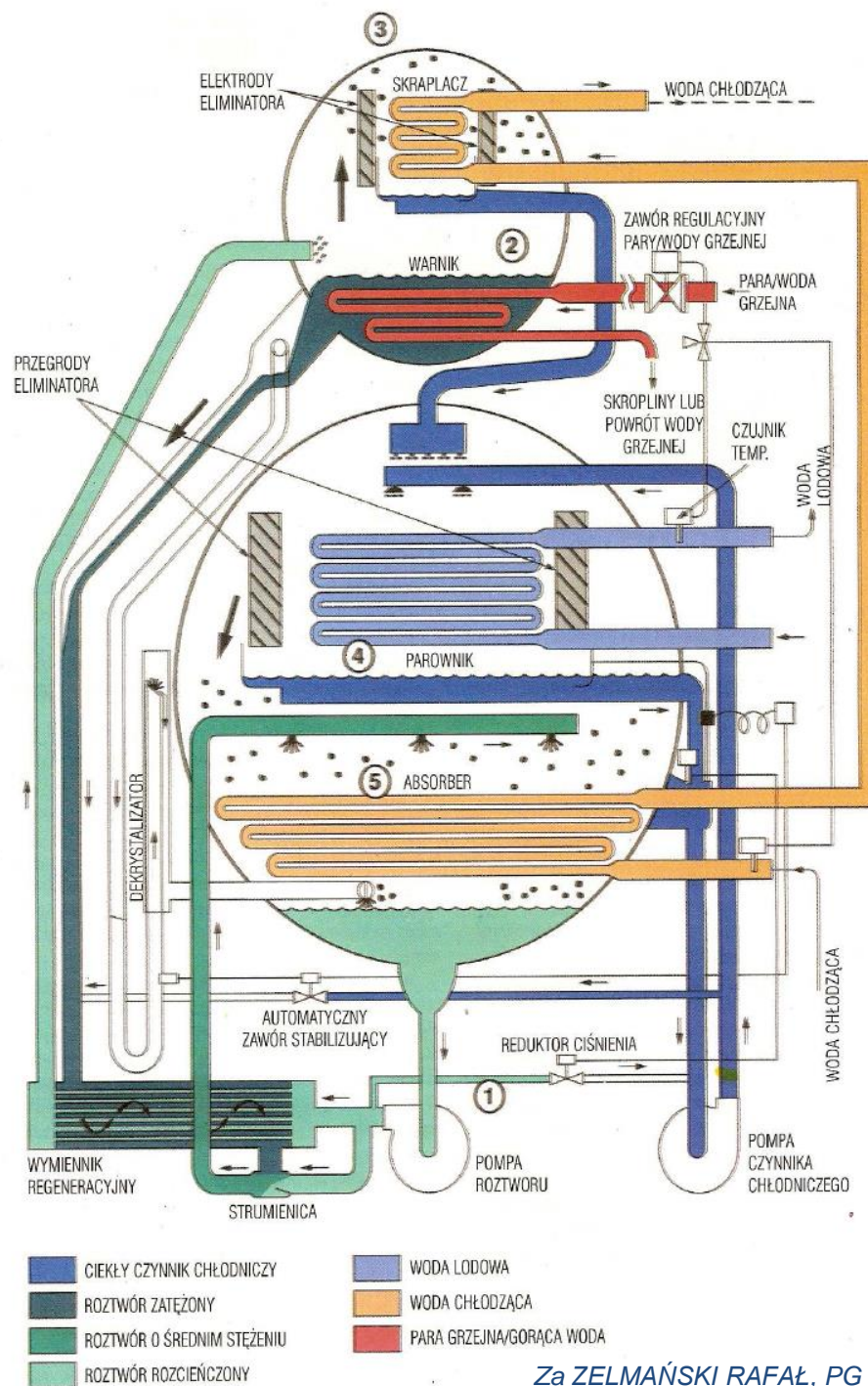
## Chłodziarka absorpcyjna woda- bromek litu

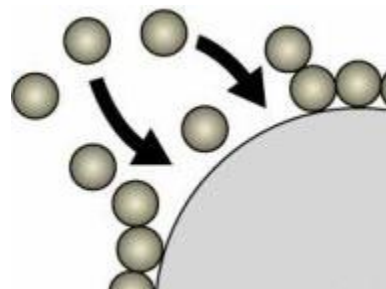
Podstawowe elementy:  
pompa roztworu (1), warnik (2),  
skraplacz (3) parownik (4), absorber  
(5) pompa czynnika chłodniczego  
wymyennik regeneracyjny, strumienica,  
dekrystalizator

Czynnikiem chłodniczym jest woda,  
natomiast bromek litu jest  
absorbentem.

Temperatura skraplania pary  
wodnej wynosi około 45oC, zaś  
temperatura parowania wynosi  
około 4oC.

W parowniku ciśnienie statyczne  
(absolutne) wynosi 0.8 kPa,  
natomiast w skraplaczu  
odpowiednio około 9 kPa

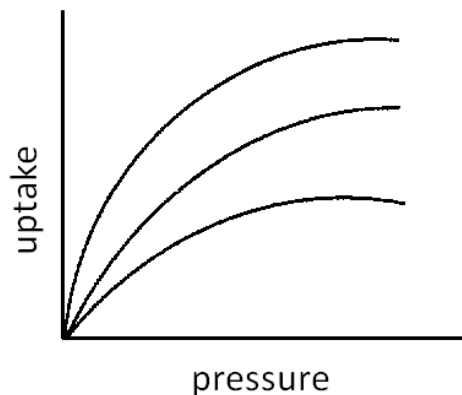
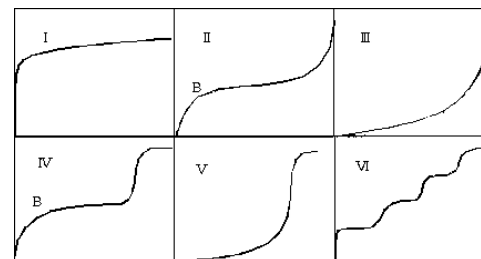




Adsorption phenomena

## Type of adsorption their graphical presentation

(IUPAC classification)



Adsorption dependency on  
temperature

Adsorption effect is better for lower  
temperature



## Sprężarki (chłodziarki) termiczne

### **ABsorpcyjne:**

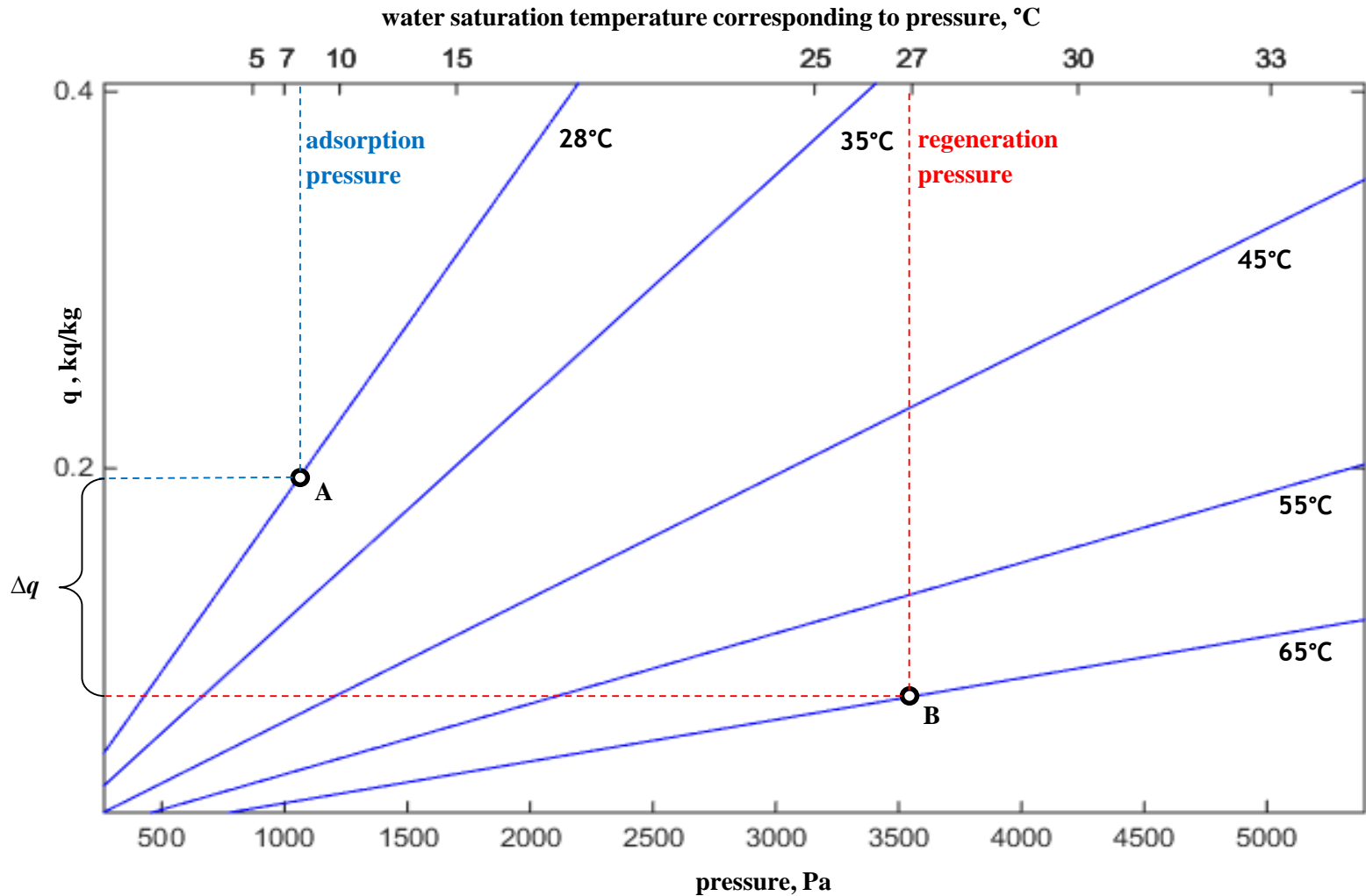
- w objętości (cieczy)
- temperatura regeneracji  $> 85^{\circ}\text{C}$
- COP: 0,7 – 1,6
- (wielostopniowa)
- stosowana w sąsiedztwie źródła ciepła

### **ADsorpcyjne:**

- na powierzchni (ciała stałego)
- temperatura regeneracji  $> 50^{\circ}\text{C}$
- COP: 0,5 – 0,75
- może być zasilana z sieci ciepłowniczej



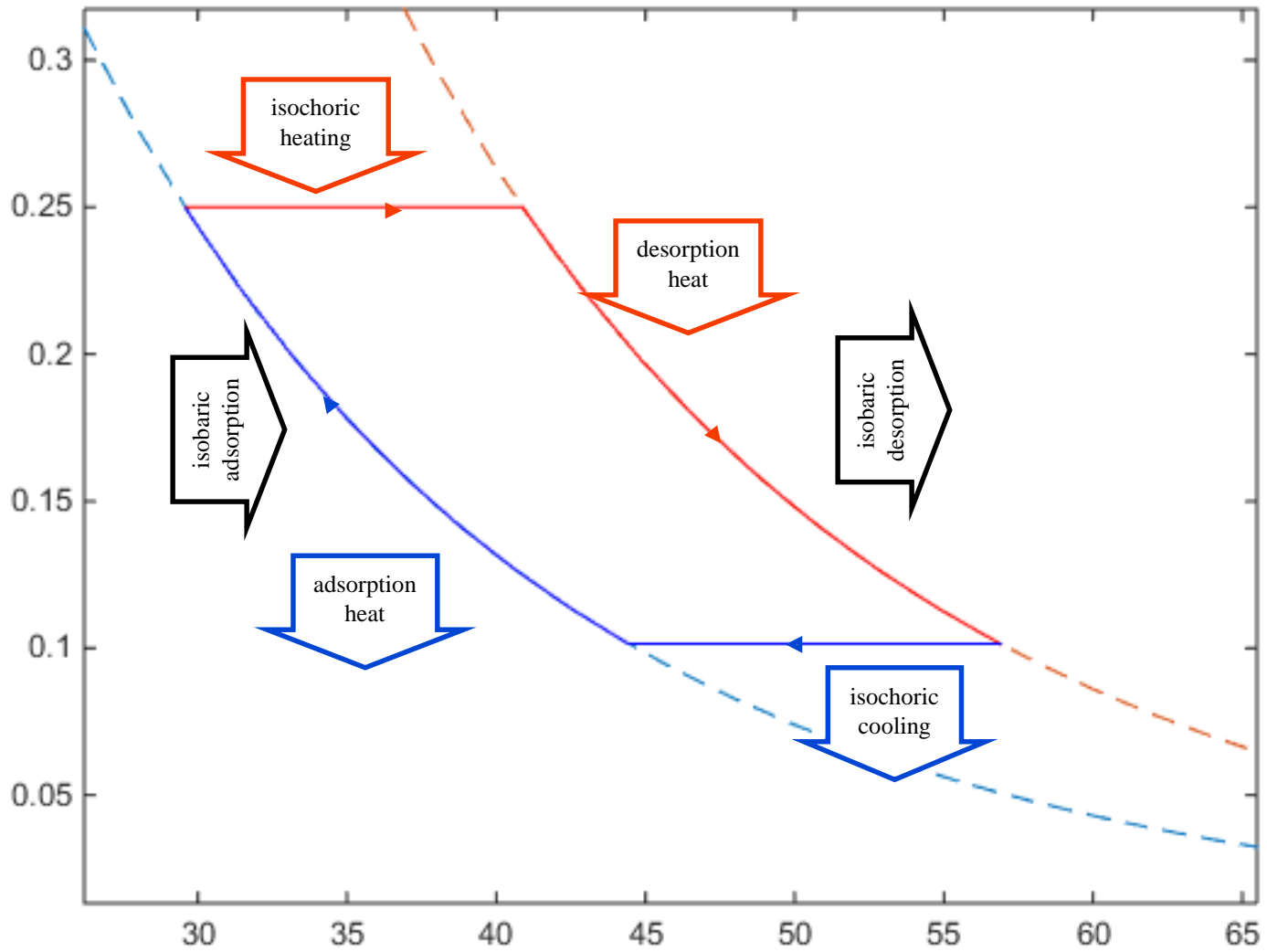
# Izotermy adsorpcji silikażel - woda



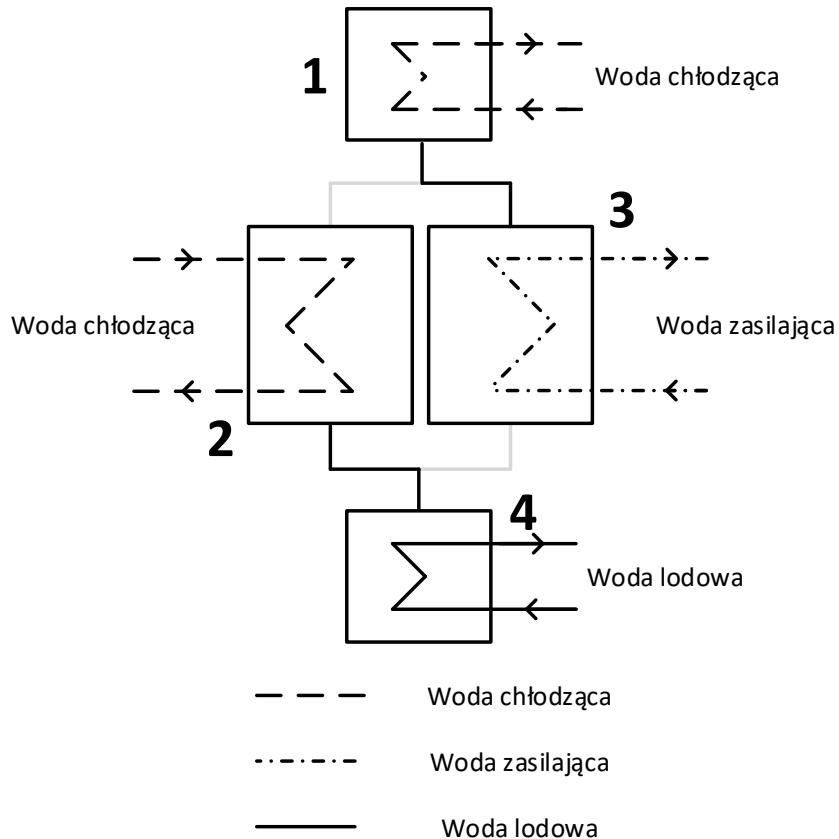




# Cykl pracy złoża



# Cykl pracy złoża



- Moc chłodnicza wytwarzana w parowniku 4 na skutek odparowania wody pod obniżonym ciśnieniem
- Złoże 2 jest połączone z parownikiem. Wypełnienie w złożu adsorbuje parę wodną utrzymując odpowiednio niskie ciśnienie parowania. Złoże jest chłodzone wodą chłodzącą.
- Złoże 3 jest zasilane wodą grzewczą. Na skutek ogrzewania wypełnienia para wodna desorbuje a złoże jest regenerowane.
- Skraplacz 1 jest połączony ze złożem 3. Para wodna zdesorbowana w złożu 3 jest skraplana dzięki czemu desorpcja odbywa się przy stałym ciśnieniu.



# Isotherms of adsorption – example

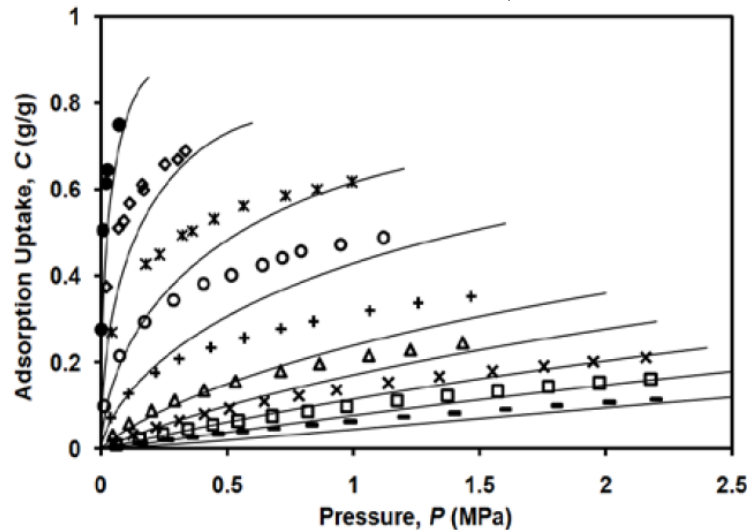


Fig. 3 Adsorption isotherms of methane on Maxsorb III: ●, 120.2 K; ◇, 139.6 K; \*, 160 K; ○, 179.2 K; +, 219.7 K; Δ, 246.9 K; x, 278.1 K; □, 308.2 K; —, 348.2 K; solid lines are from the D-A isotherm model.

IMAT 2010 - 3rd International Meeting of Advances in Thermofluids, Singapore  
30<sup>th</sup> November 2010

Thermodynamic Property Evaluation and Adsorption Characteristics of Methane/Maxsorb III Pair

Kazi Afzalur Rahman, Wai Soong Loh and Kim Choon Ng\*

Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore,  
9 Engineering Drive 1, Singapore 117576.

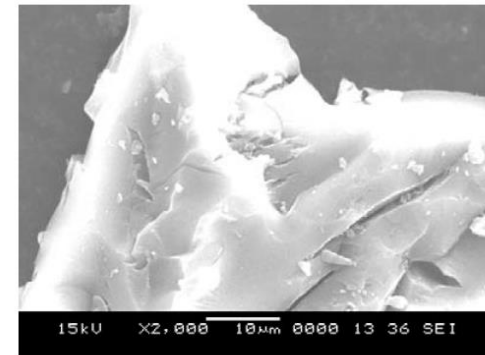
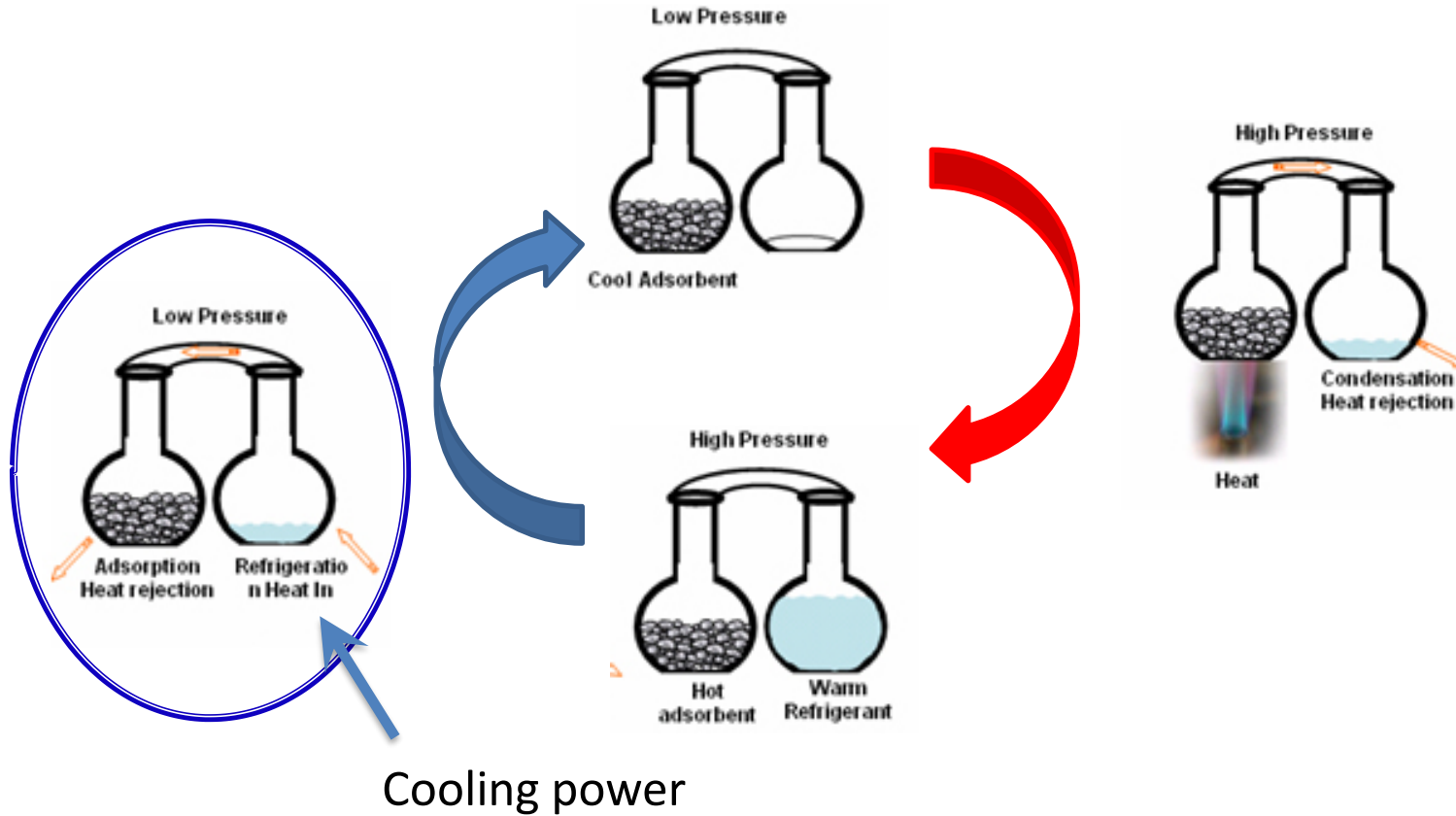


Fig. 1 SEM photograph of Maxsorb III sample (2000 magnification)

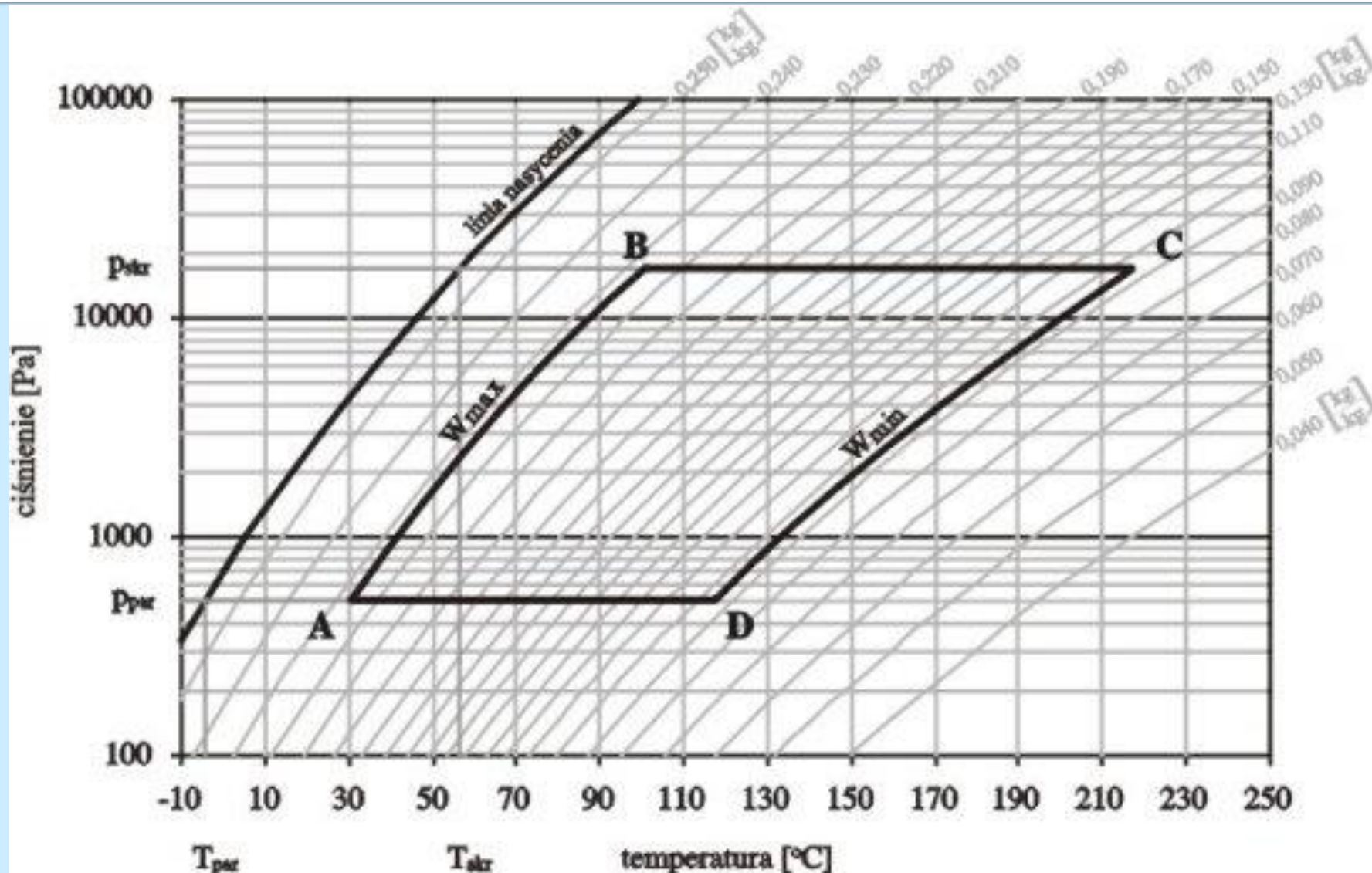


# Idea of adsorption chiller 1 bed adsorption chiller



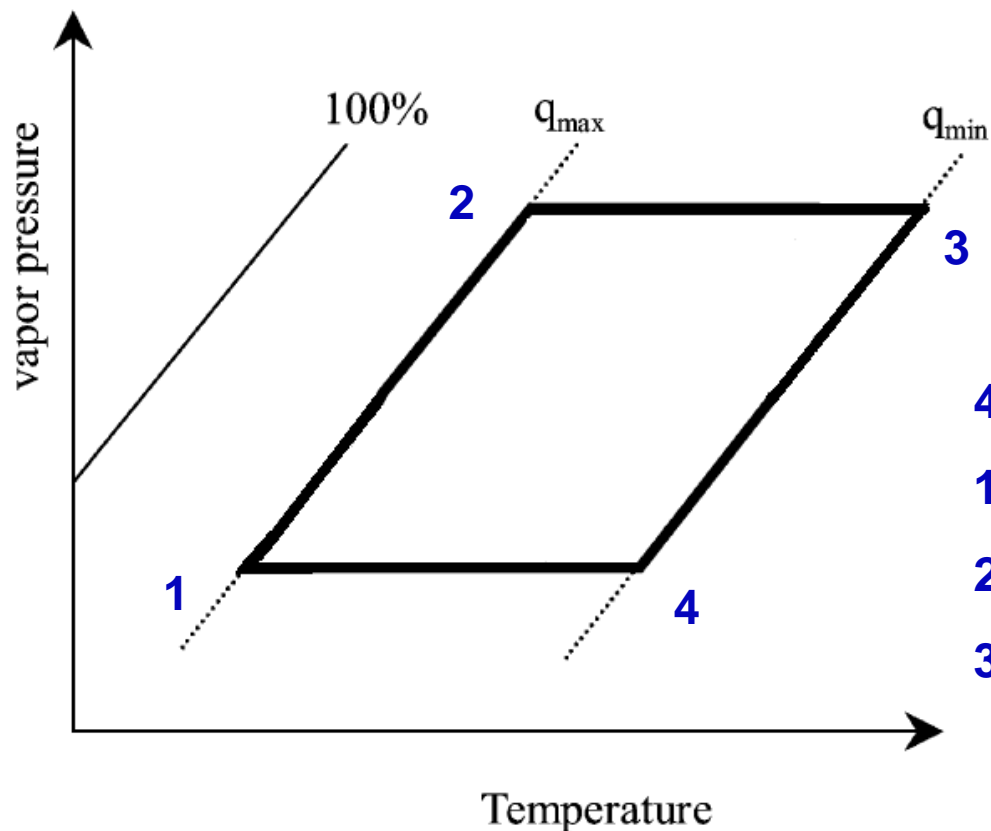


# Para woda-Zeolit 13X, izostery



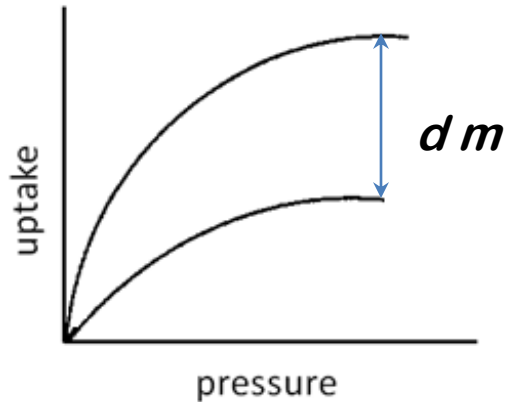


## Work cycle of adsorption bed – ideal process



- 4-1 adsorption**
- 1-2 isosteric heating**
- 2-3 desorption**
- 3-4 isosteric cooling**

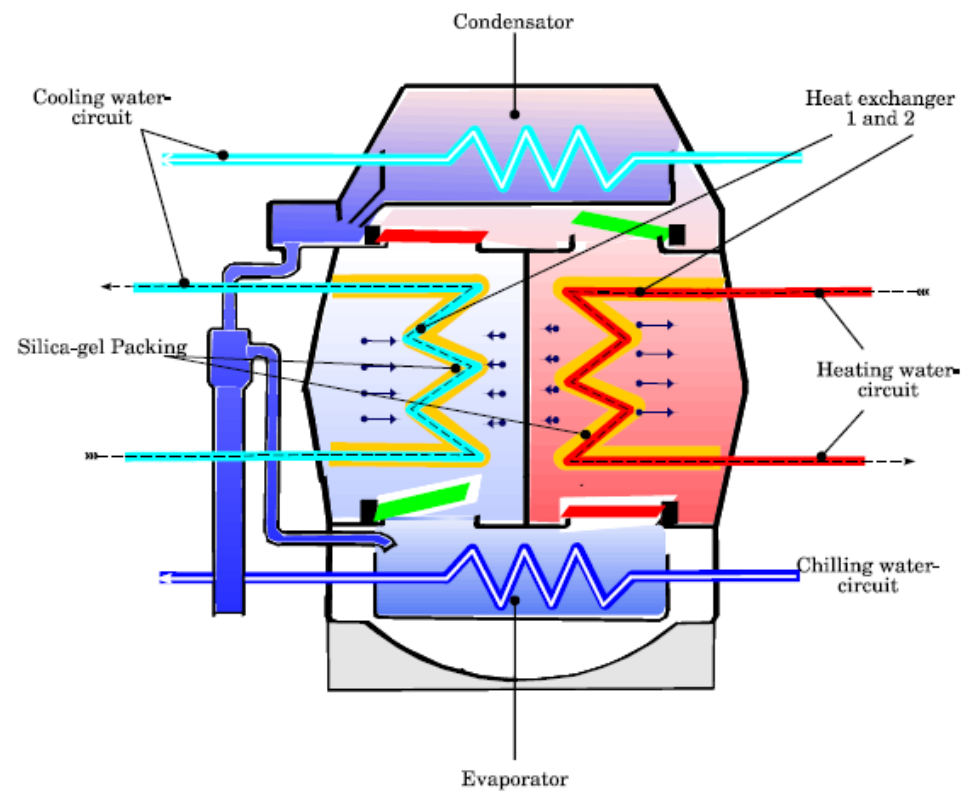
- Adsorbent works periodically
- Only during adsorption process cooling power is generated



- Adsorption isotherms are experimental curve
- $a=f(p), T=const$
- We look for adsorbate/adsorbent pair considering range of working temperature and possibilities of mass transfer between these temperatures under evaporating pressure



## 2 bed adsorption chiller

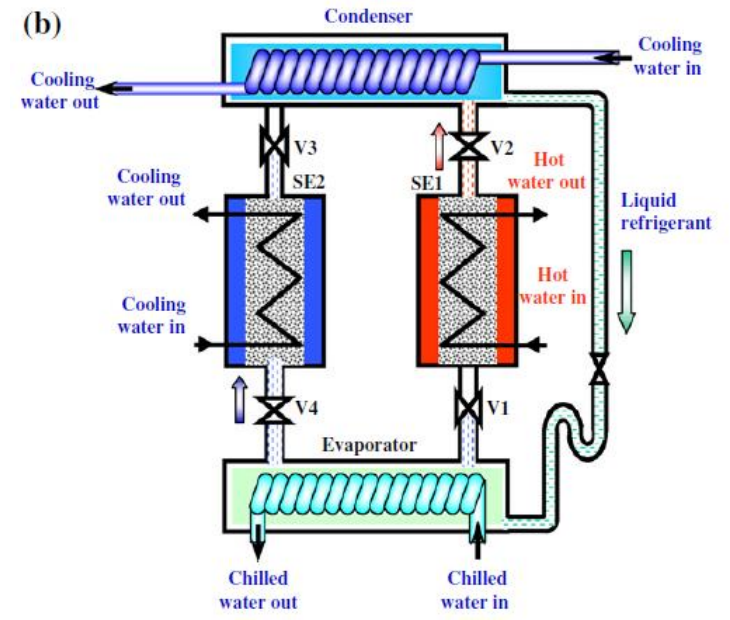
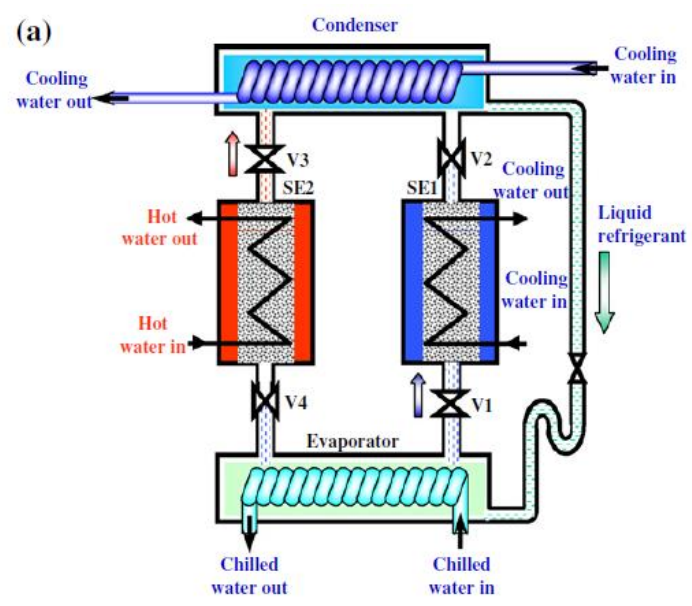


Scheme of the NAK Adsorption Chiller.  
Project of GBU mbH





# 2 bed adsorption chiller – scheme of work



Study on an activated carbon fibre ethanol adsorption chiller: Part I e system description and modelling  
 B.B. Saha, I.I. El-Sharkawy, A. Chakraborty, S. Koyama



# System performance calculation

$$Q_{ref} = \int c_p \cdot m_{ch} \cdot (t_{ch,out} - t_{ch,in}) \cdot dt$$

$$COP = \frac{Q_{ref}}{Q_h}$$

$$Q_h = \int c_p \cdot m_{h,w} \cdot (t_{h,in} - t_{h,out}) \cdot dt$$

CHILLED WATER 12/6 °C HOT WATER 65 °C COOLING WATER 28/33 °C					
NAK	HOT WATER Δ-t = 5,6 °C		COP	HOT WATER Δ-t = 10,8 °C	
TYP	KW CHILLED	KW THERMAL		KW CHILLED	KW THERMAL
20/70	37,1	80,7	0,46	34,5	75
50/170	93,3	202,8	0,46	86,8	188,6
100/350	186,6	405,6	0,46	173,5	377,2
300/1050	559,7	1218,7	0,46	520,5	1131,5

CHILLED WATER 12/6 °C HOT WATER 70 °C COOLING WATER 28/33 °C					
NAK	HOT WATER Δ-t = 5,6 °C		COP	HOT WATER Δ-t = 10,8 °C	
TYP	KW CHILLED	KW THERMAL		KW CHILLED	KW THERMAL
20/70	49,7	95,6	0,52	46,2	88,9
50/170	125	240,3	0,52	116,2	223,5
100/350	249,9	480,6	0,52	232,4	447,0
300/1050	749,8	1441,8	0,52	697,3	1340,9

CHILLED WATER 12/6 °C HOT WATER 75 °C COOLING WATER 28/33 °C					
NAK	HOT WATER Δ-t = 5,6 °C		COP	HOT WATER Δ-t = 10,8 °C	
TYP	KW CHILLED	KW THERMAL		KW CHILLED	KW THERMAL
20/70	59,5	106,3	0,56	55,3	98,8
50/170	149,6	267,1	0,56	139,1	248,4
100/350	299,2	534,3	0,56	278,3	496,9
300/1050	897,6	1602,9	0,56	834,8	1490,7

CHILLED WATER 12/6 °C HOT WATER 80 °C COOLING WATER 28/33 °C					
NAK	HOT WATER Δ-t = 5,6 °C		COP	HOT WATER Δ-t = 10,8 °C	
TYP	KW CHILLED	KW THERMAL		KW CHILLED	KW THERMAL
20/70	67,2	113,9	0,59	62,5	105,9
50/170	169,0	286,4	0,59	157,1	266,3
100/350	337,9	572,7	0,59	314,3	532,7
300/1050	1013,8	1718,2	0,59	942,8	1598,0

System offered by GBU mbH



## Sprężarki (chłodziarki) termiczne

### **ABsorpcyjne:**

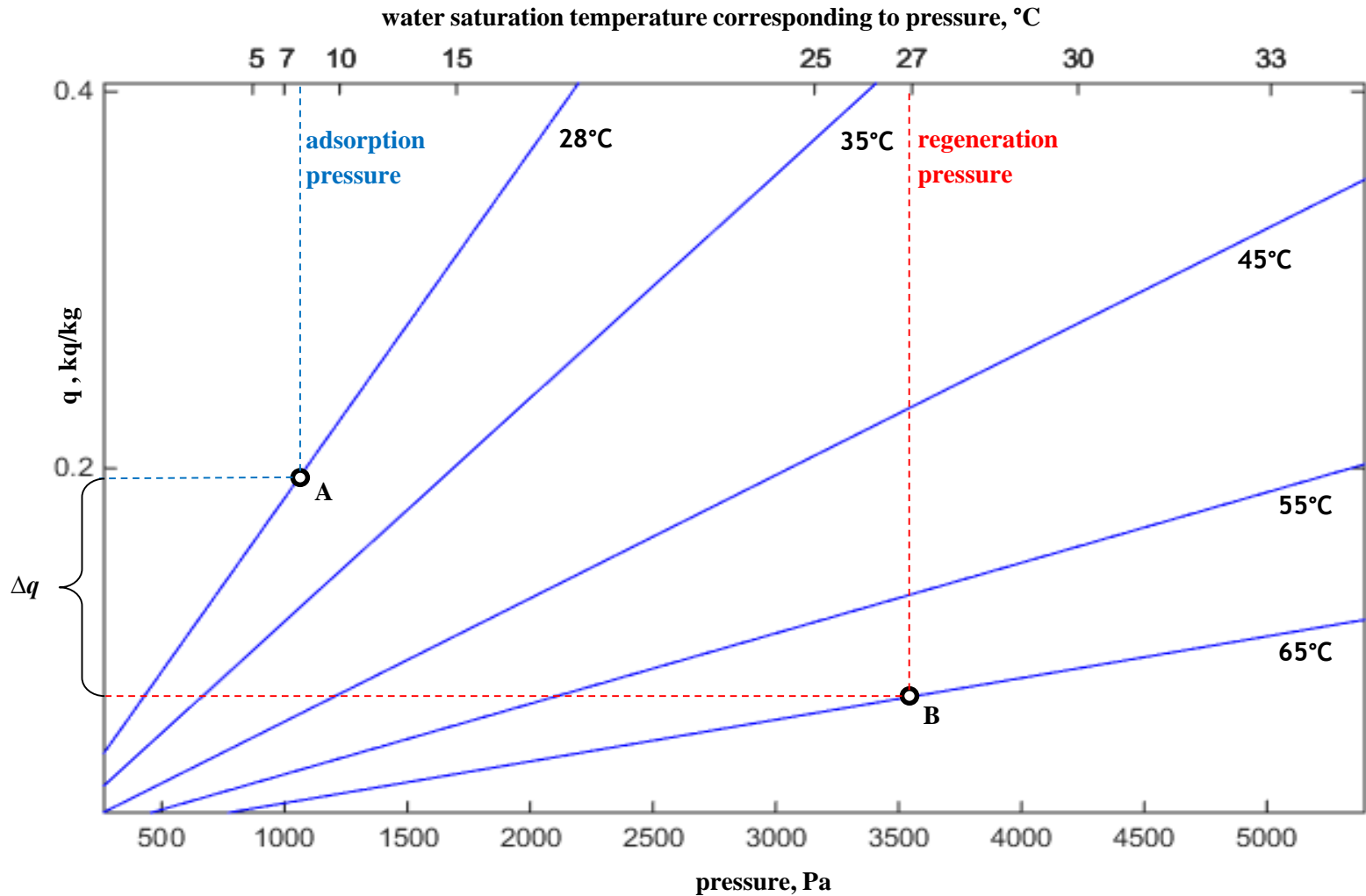
- w objętości (cieczy)
- temperatura regeneracji  $> 85^{\circ}\text{C}$
- COP: 0,7 – 1,6
- (wielostopniowa)
- stosowana w sąsiedztwie źródła ciepła

### **ADsorpcyjne:**

- na powierzchni (ciała stałego)
- temperatura regeneracji  $> 50^{\circ}\text{C}$
- COP: 0,5 – 0,75
- może być zasilana z sieci ciepłowniczej

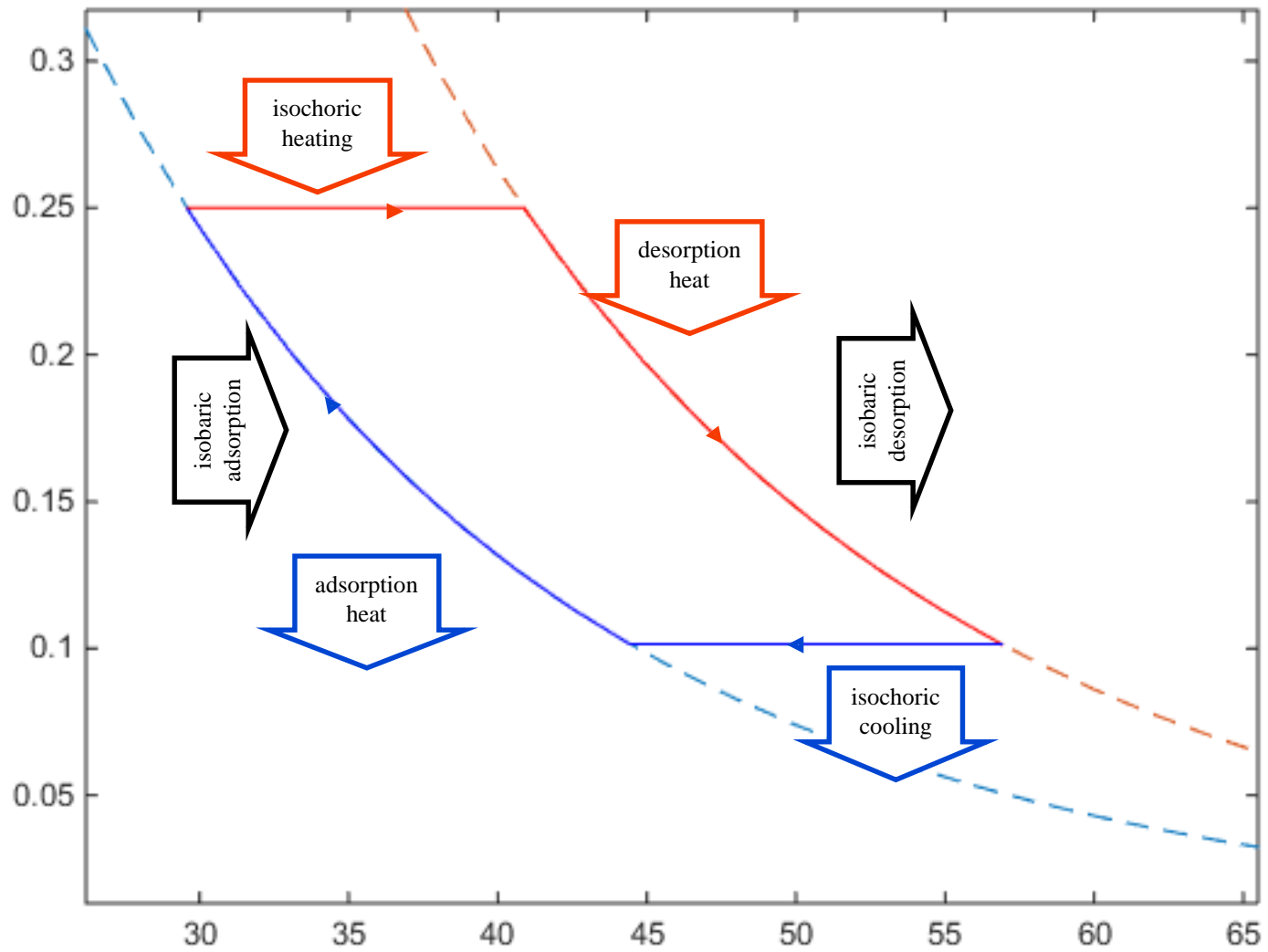


# Izotermy adsorpcji silikażel - woda

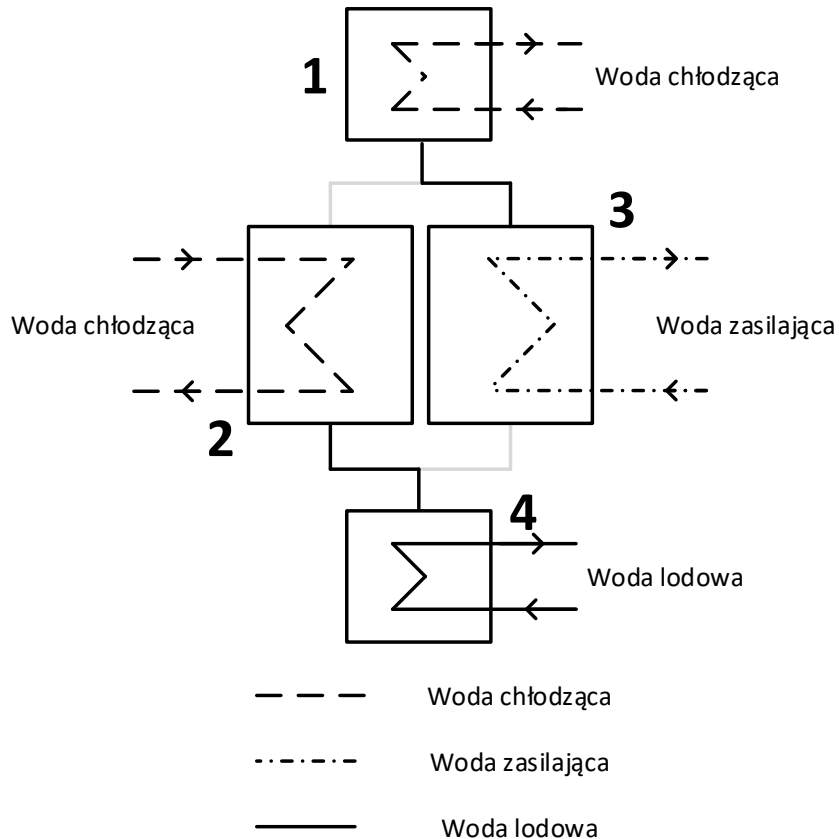




# Cykl pracy złoża



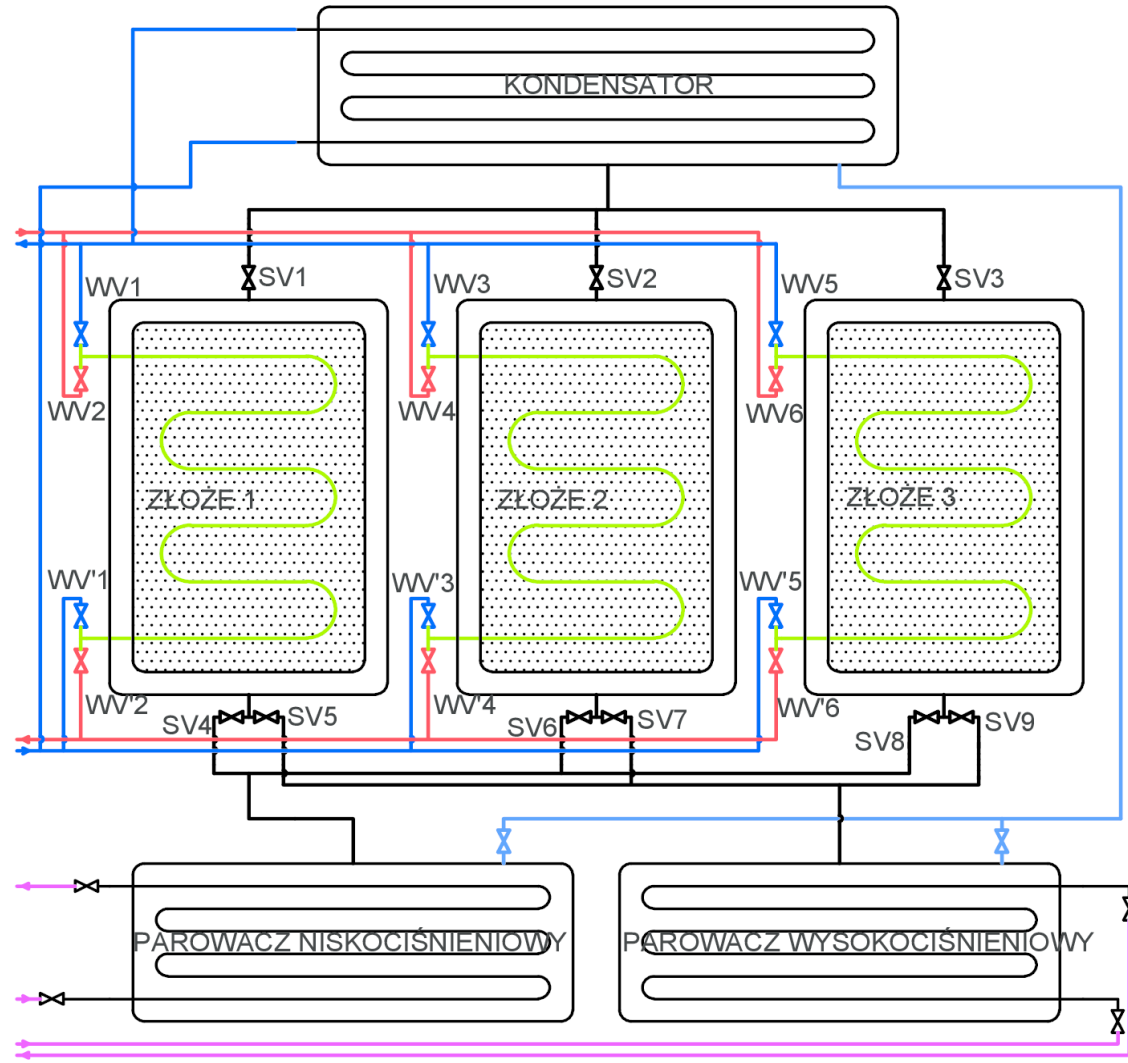
# Cykl pracy złoża



- Moc chłodnicza wytwarzana w parowniku 4 na skutek odparowania wody pod obniżonym ciśnieniem
- Złoże 2 jest połączone z parownikiem. Wypełnienie w złożu adsorbuje parę wodną utrzymując odpowiednio niskie ciśnienie parowania. Złoże jest chłodzone wodą chłodzącą.
- Złoże 3 jest zasilane wodą grzewczą. Na skutek ogrzewania wypełnienia para wodna desorbuje a złoże jest regenerowane.
- Skraplacz 1 jest połączony ze złożem 3. Para wodna zdesorbowana w złożu 3 jest skraplana dzięki czemu desorpcja odbywa się przy stałym ciśnieniu.

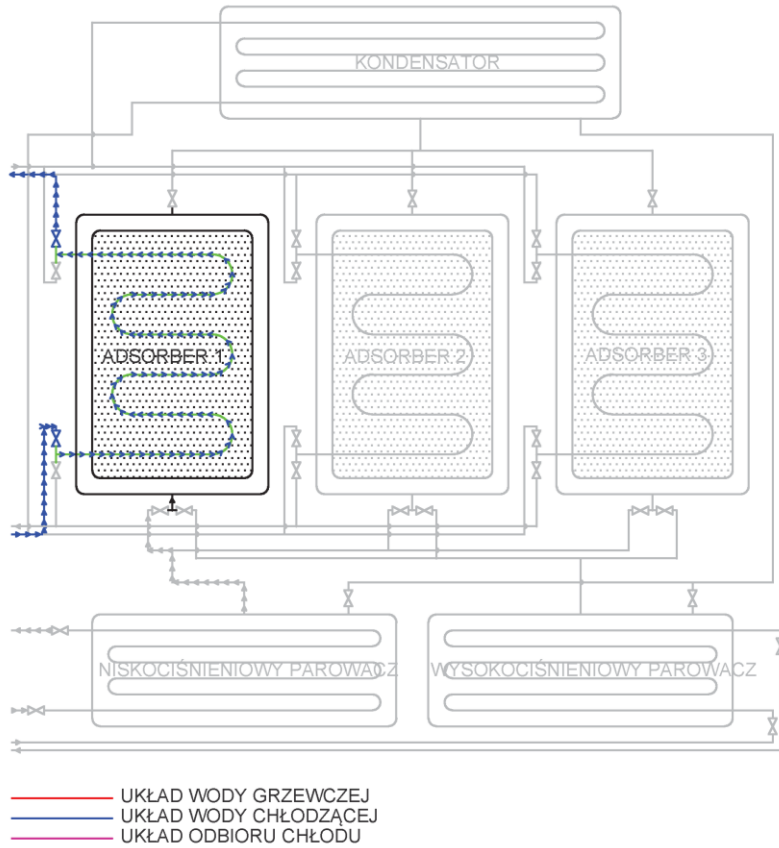


# Trójzłożowa dwuparownikowa chłodziarka adsorpcyjna: woda - silikażel

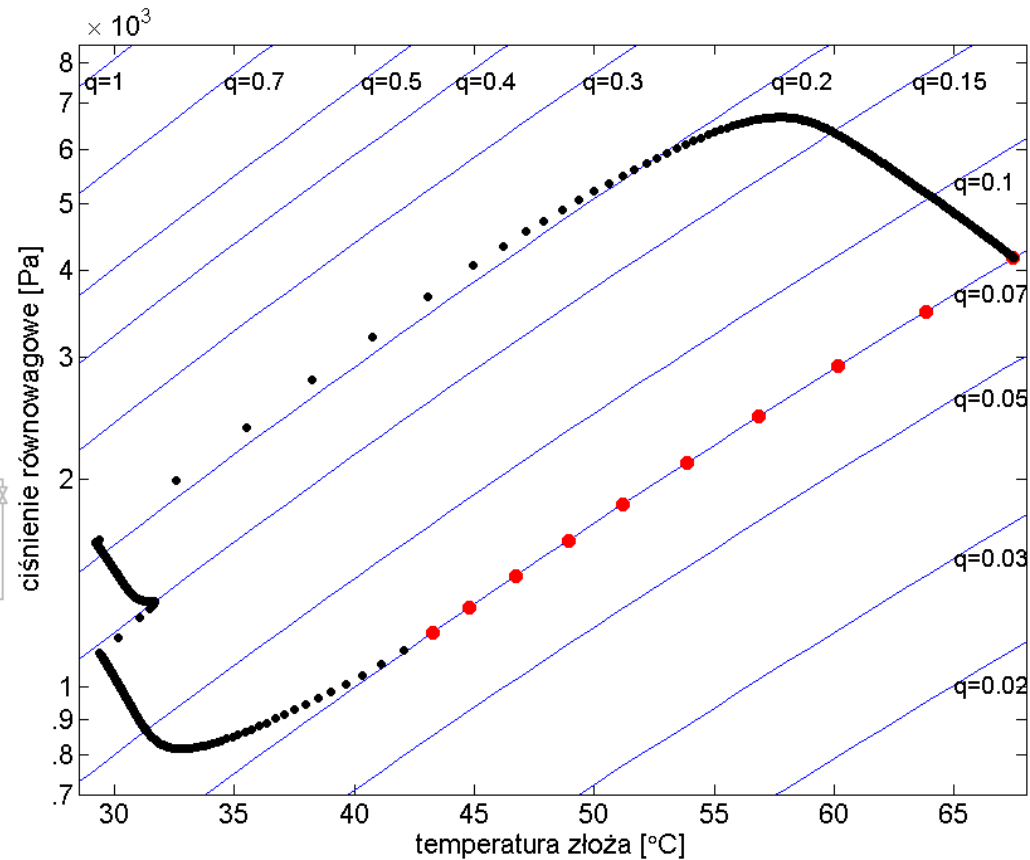




# Zasada działania trójzłożowej, dwuparownikowej chłodziarki adsorpcyjnej



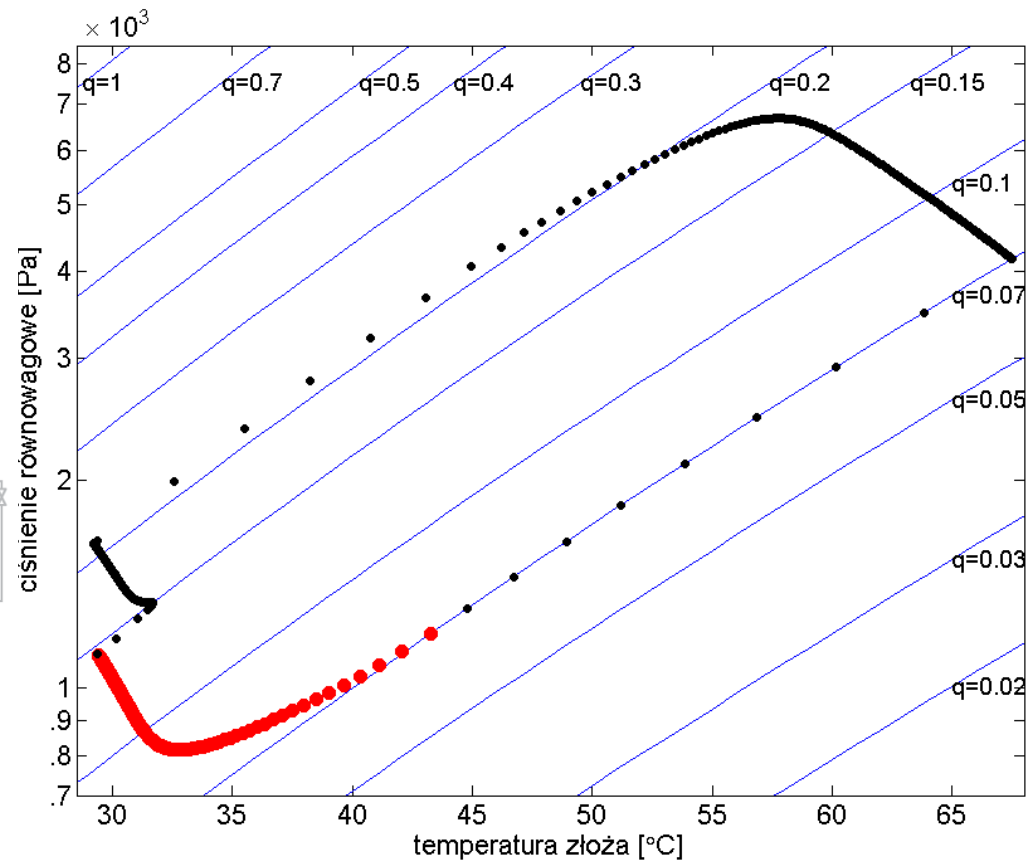
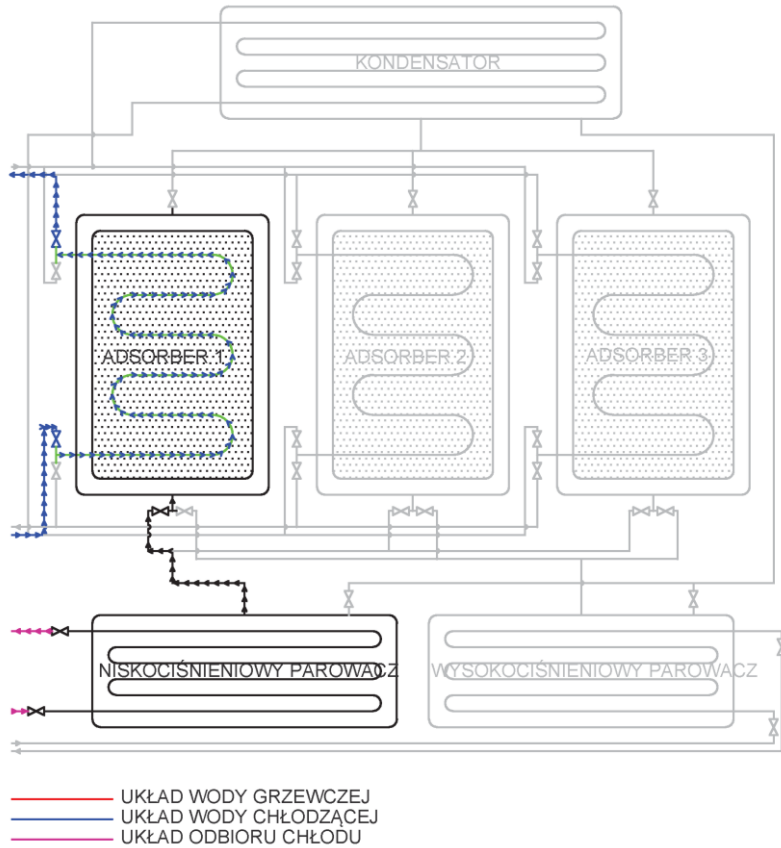
- UKŁAD WODY GRZEWCZEJ
- UKŁAD WODY CHŁODZĄCEJ
- UKŁAD ODBIORU CHŁODU





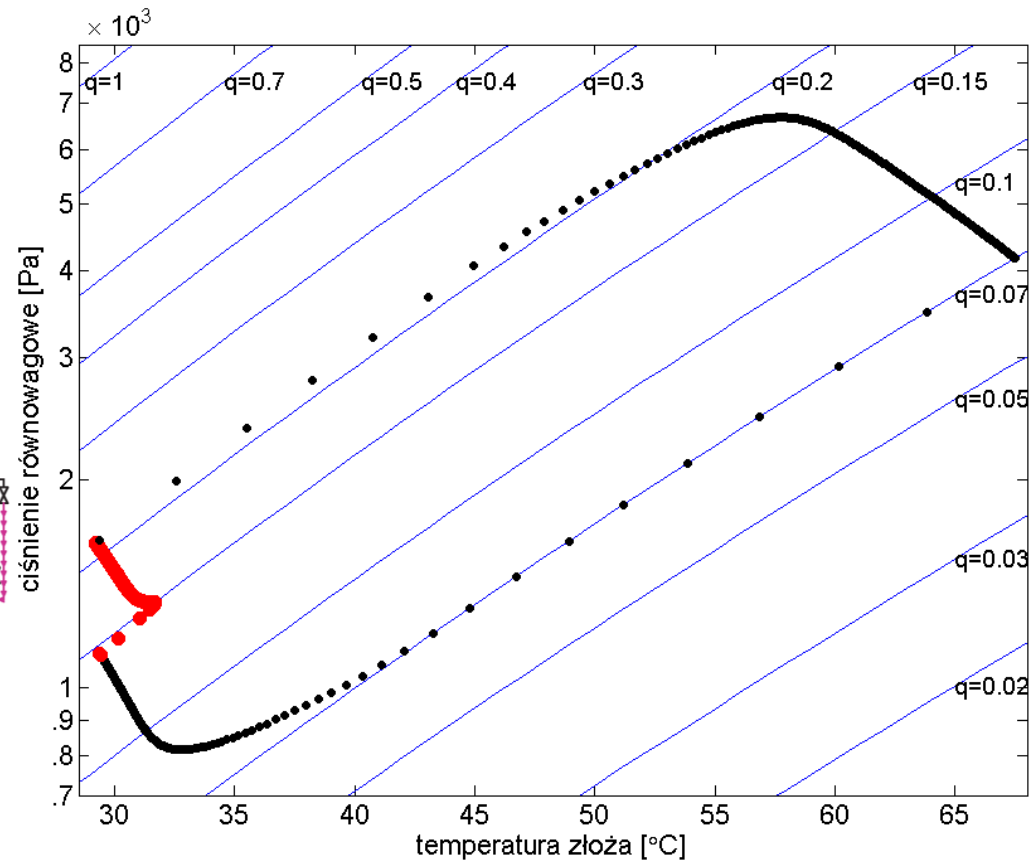
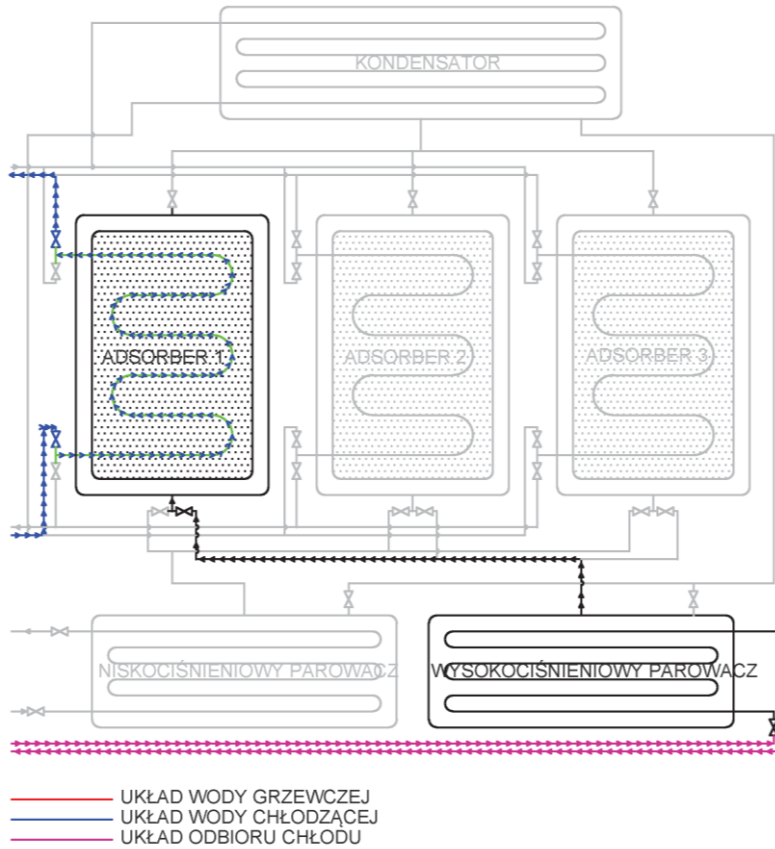


# Zasada działania trójzłożowej, dwuparownikowej chłodziarki adsorpcyjnej



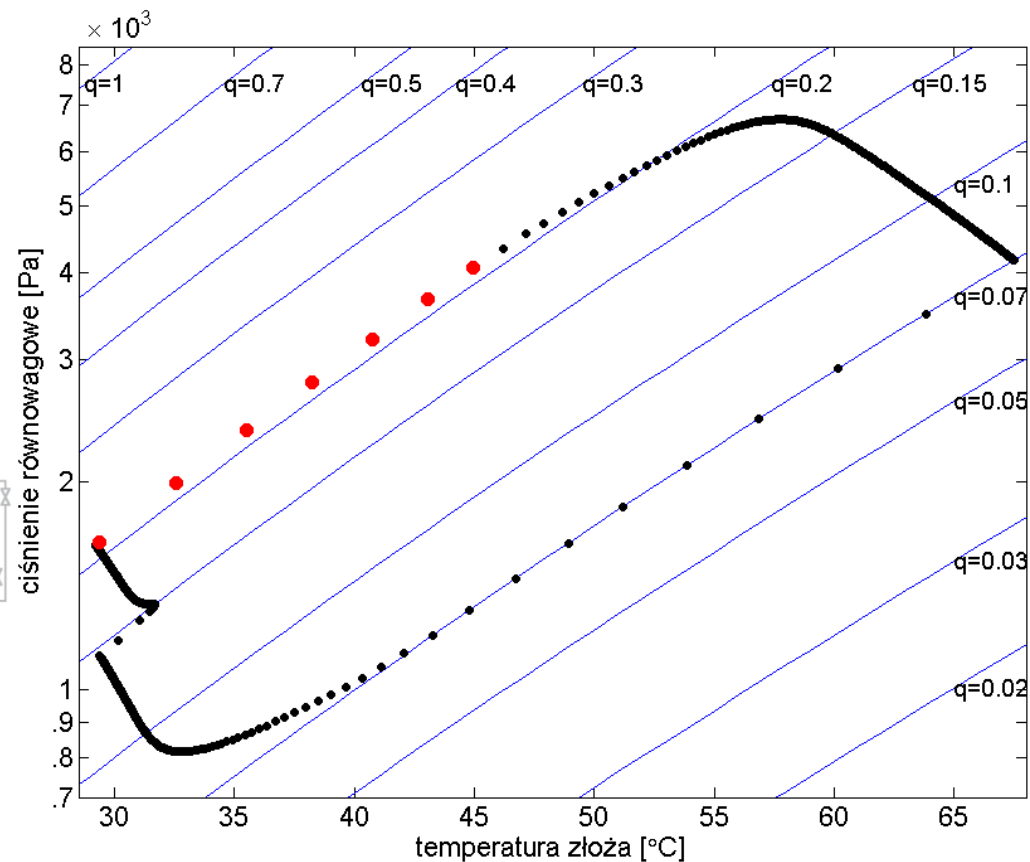
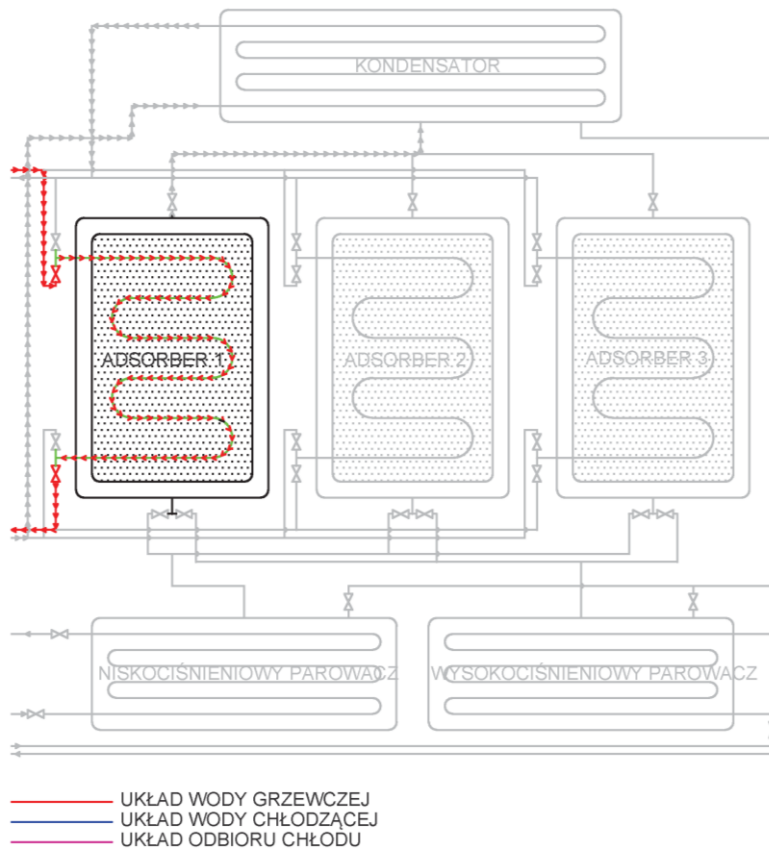


# Zasada działania trójzłożowej, dwuparownikowej chłodziarki adsorpcyjnej



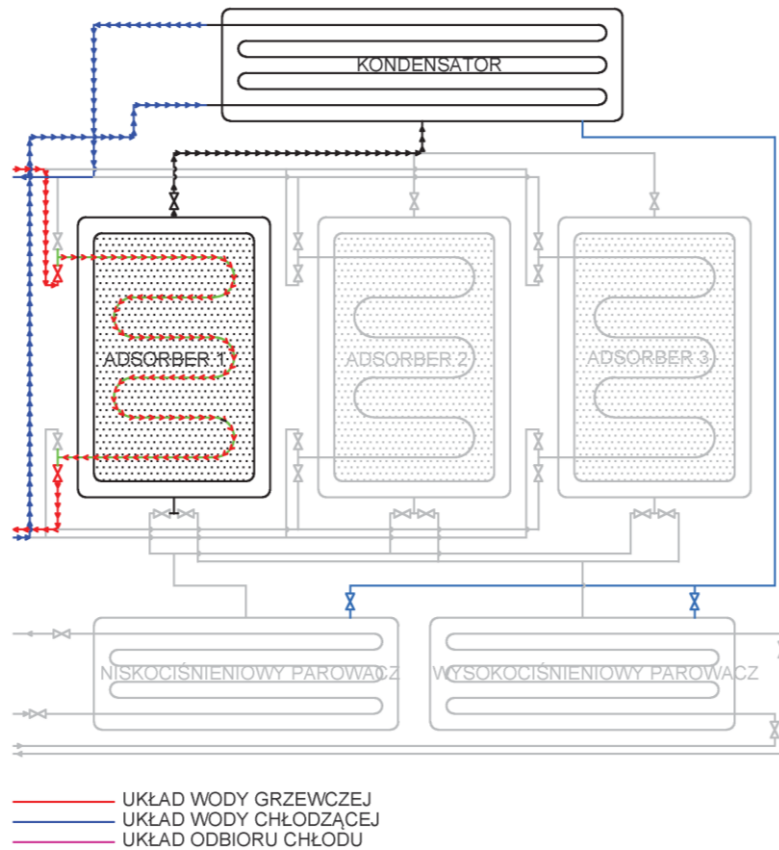


# Zasada działania trójzłożowej, dwuparownikowej chłodziarki adsorpcyjnej

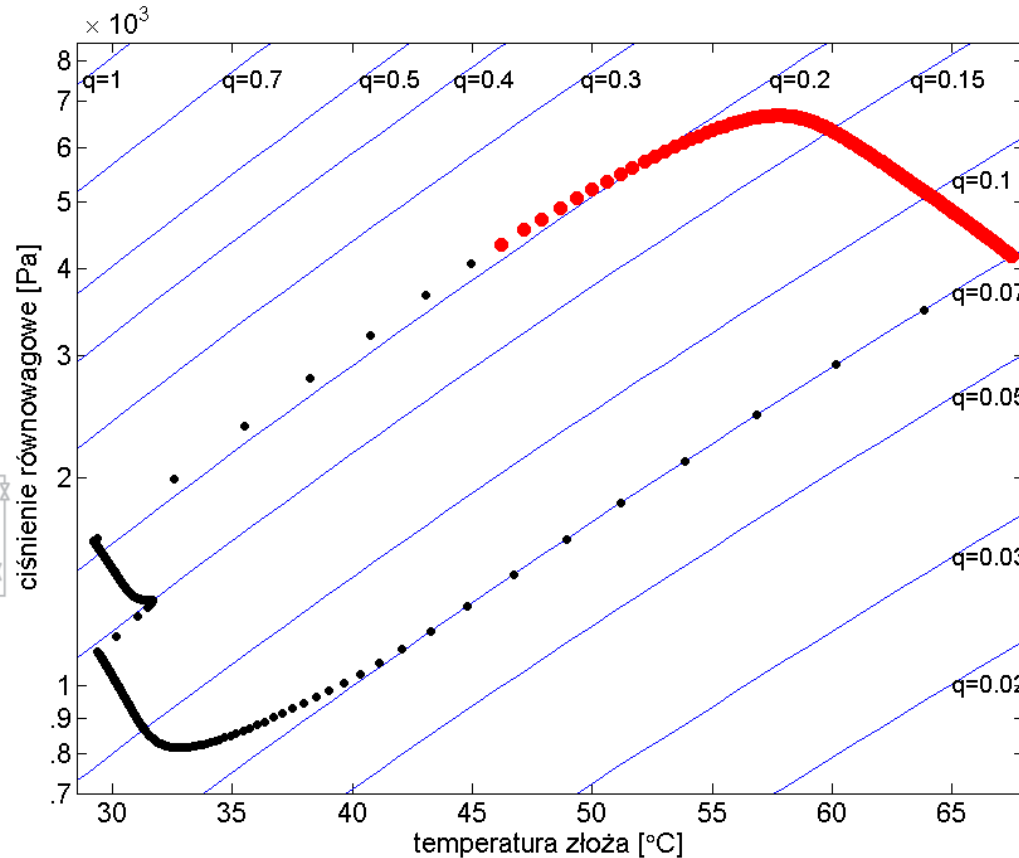




# Zasada działania trójzłożowej, dwuparownikowej chłodziarki adsorpcyjnej



— UKŁAD WODY GRZEWCEJ  
— UKŁAD WODY CHŁODZĄCEJ  
— UKŁAD ODBIORU CHŁODU



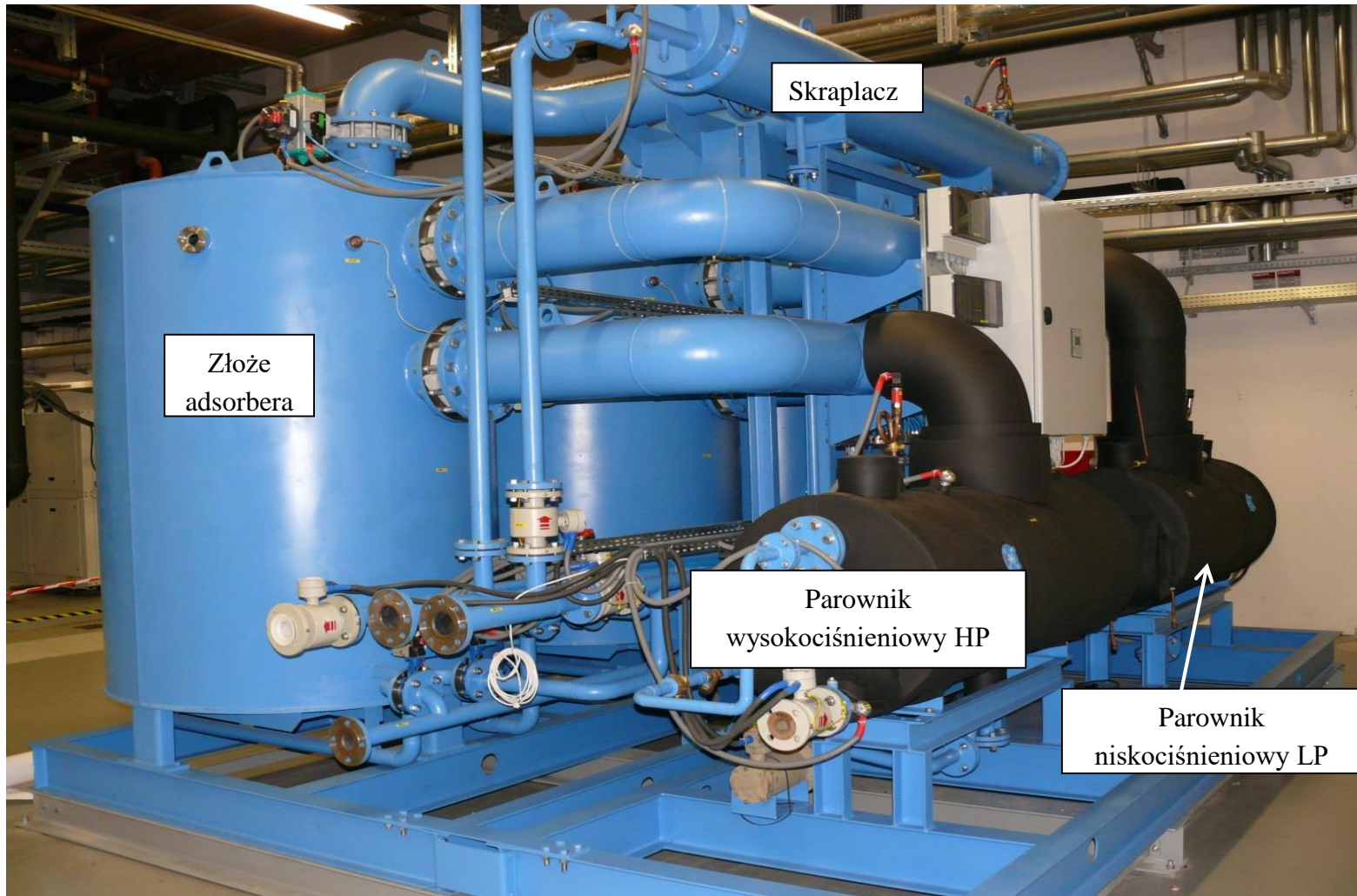


# Cykl pracy chłodziarki oraz sekwencja otwierania zaworów

	Etap 1		Etap 2		Etap 3	
Złoże 1	schładzanie	adsorpcja z LP	adsorpcja z HP		ogrzewanie	regeneracja
Złoże 2	adsorpcja z HP		ogrzewanie	regeneracja	schładzanie	adsorpcja z LP
Złoże 3	ogrzewanie	regeneracja	schładzanie	adsorpcja z LP	adsorpcja z HP	
Otwarte zawory Z1:	WV1, WV'1	WV1, WV'1, SV4	WV1, WV'1, SV5		WV2, WV'2	WV2, WV'2, SV1
Otwarte zawory Z2:	WV3, WV'3, SV7		WV4, WV'4	WV4, WV'4, SV2	WV4, WV'4	WV4, WV'4, SV6
Otwarte zawory Z3:	WV6, WV'6	WV6, WV'6, SV3	WV5, WV'5	WV5, WV'5, SV8	WV5, WV'5, SV9	



# Trójzłożowa dwuparownikowa chłodziarka adsorpcyjna

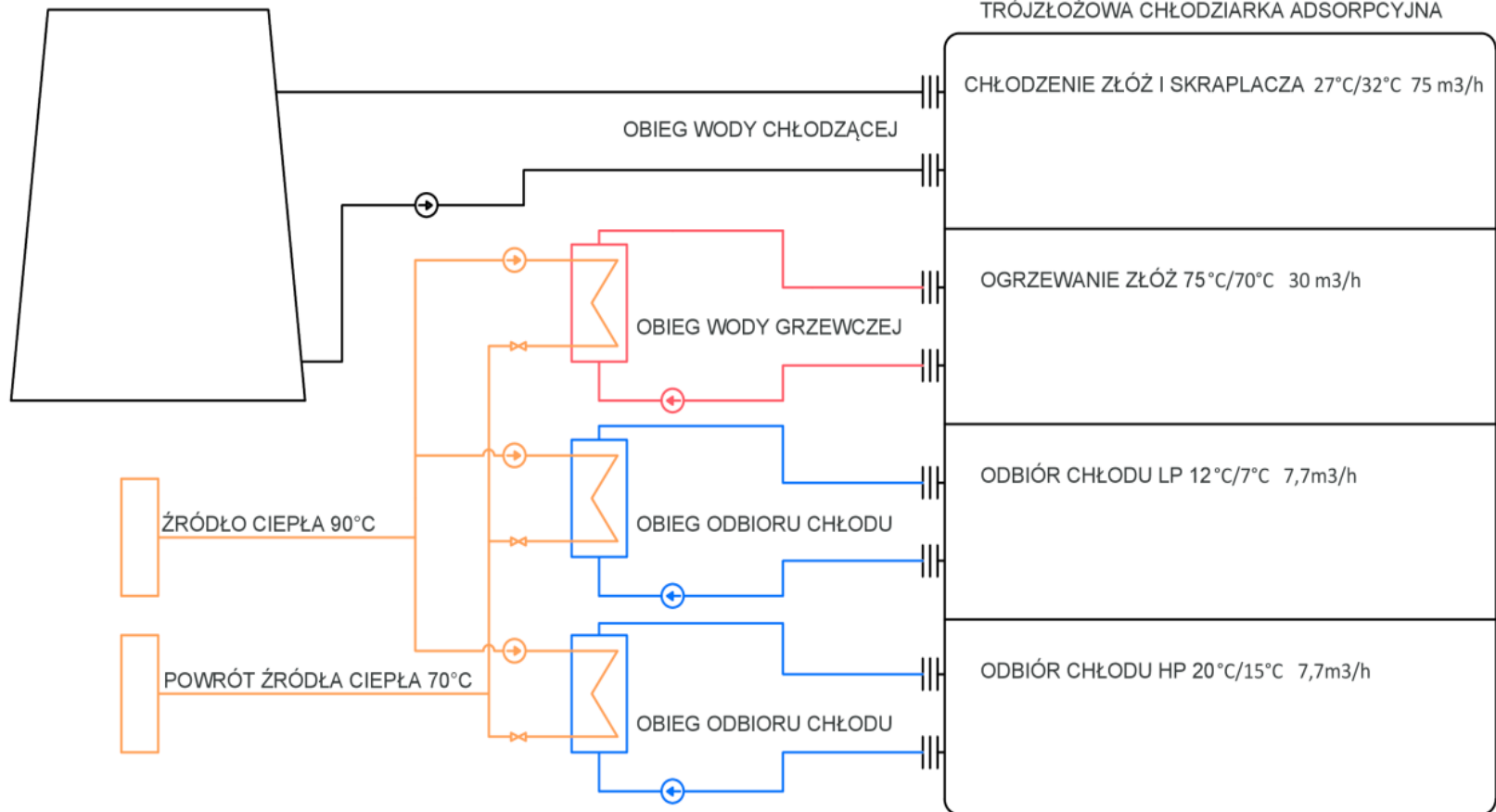




# Schemat instalacji zasilania gorącą wodą, wodą chłodzącą oraz odbioru chłodu chłodziarki adsorpcyjnej

OTWARTA WIEŻA CHŁODNICZA

TRÓJZŁOŻOWA CHŁODZIARKA ADSORPCYJNA





# Chłodziarka z instalacją wody grzewczej i odbioru chłodu

Chłodziarka adsorpcyjna

Wymiennik układu wody grzewczej

Wymiennik układu wody lodowej LP

Wymiennik układu wody lodowej HP







# Chłodziarka z instalacją wody grzewczej i odbioru chłodu



Chłodziarka  
adsorpcyjna

Bufor wody  
lodowej LP

Bufor wody  
lodowej HP

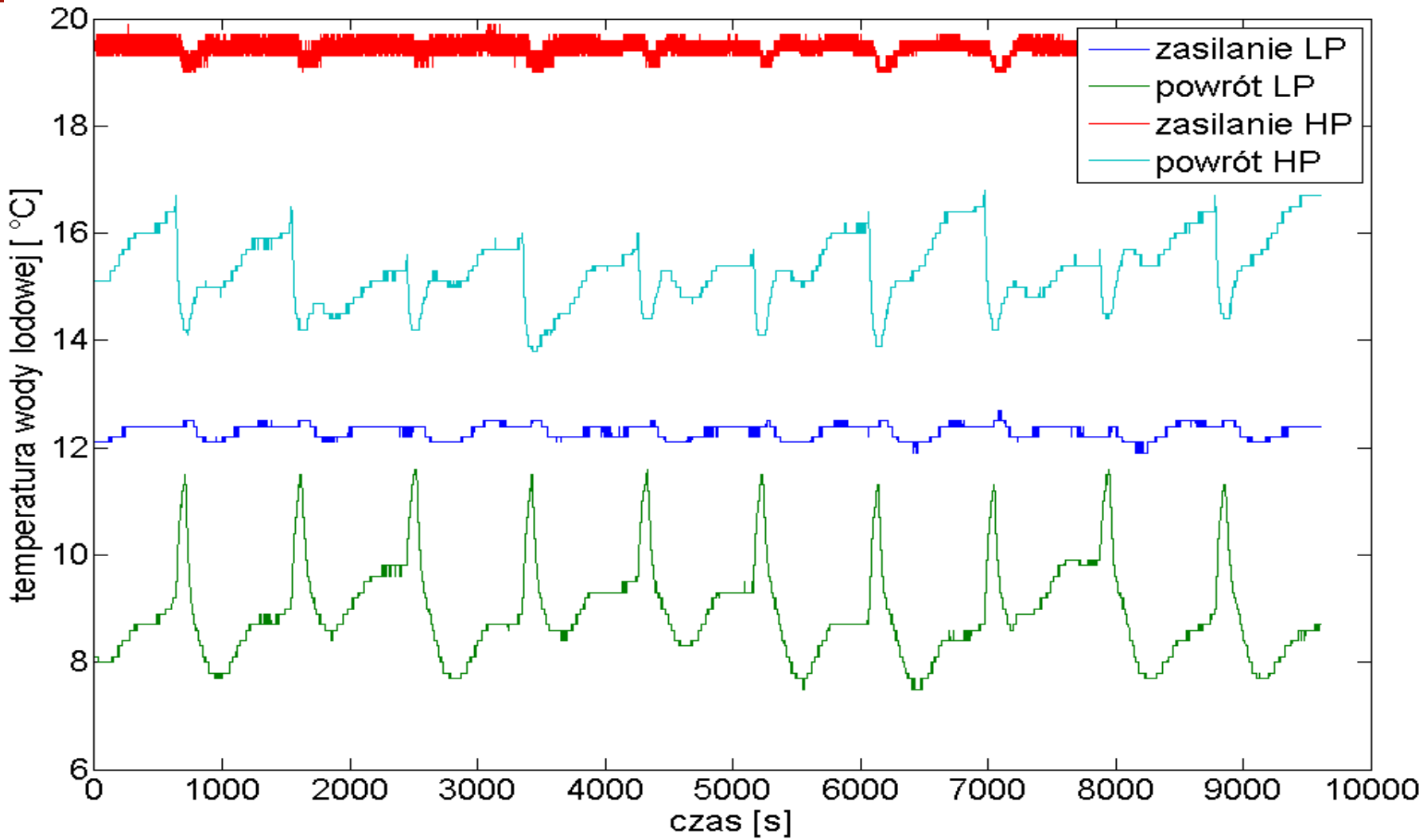


# Parametry dla których wykonano pomiary

- temperatura zasilania parownika HP - 20° C
- temperatura zasilania parownika LP - 12° C
- przepływ wody lodowej parownika HP - 7,6 m<sup>3</sup>/h
- przepływ wody lodowej parownika LP - 7,6 m<sup>3</sup>/h

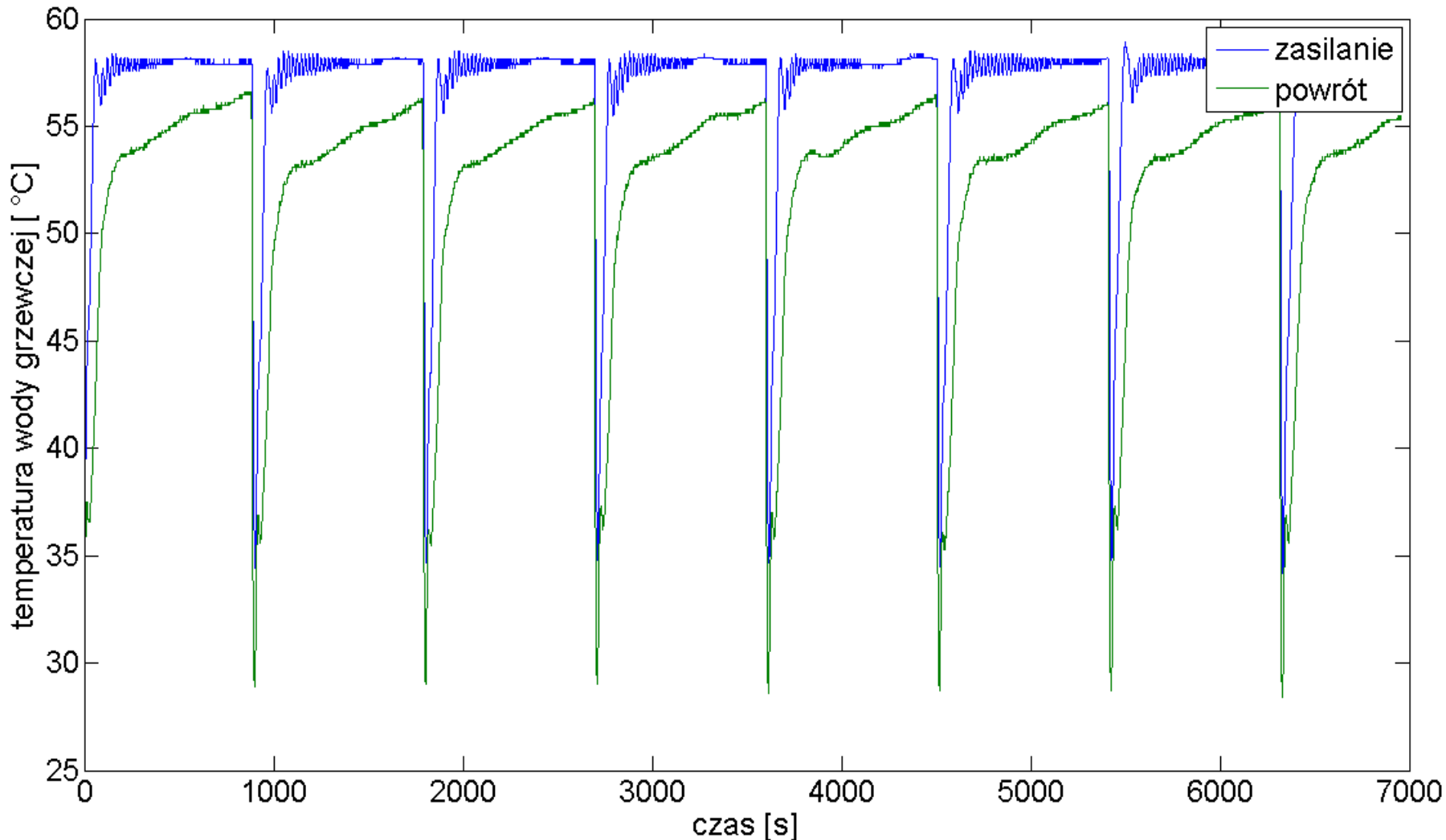


# Wykresy przebiegu temperatur zasilania i powrotu dla wysokociśnieniowego oraz niskociśnieniowego parownika przy temperaturze wody grzewczej 56 °C



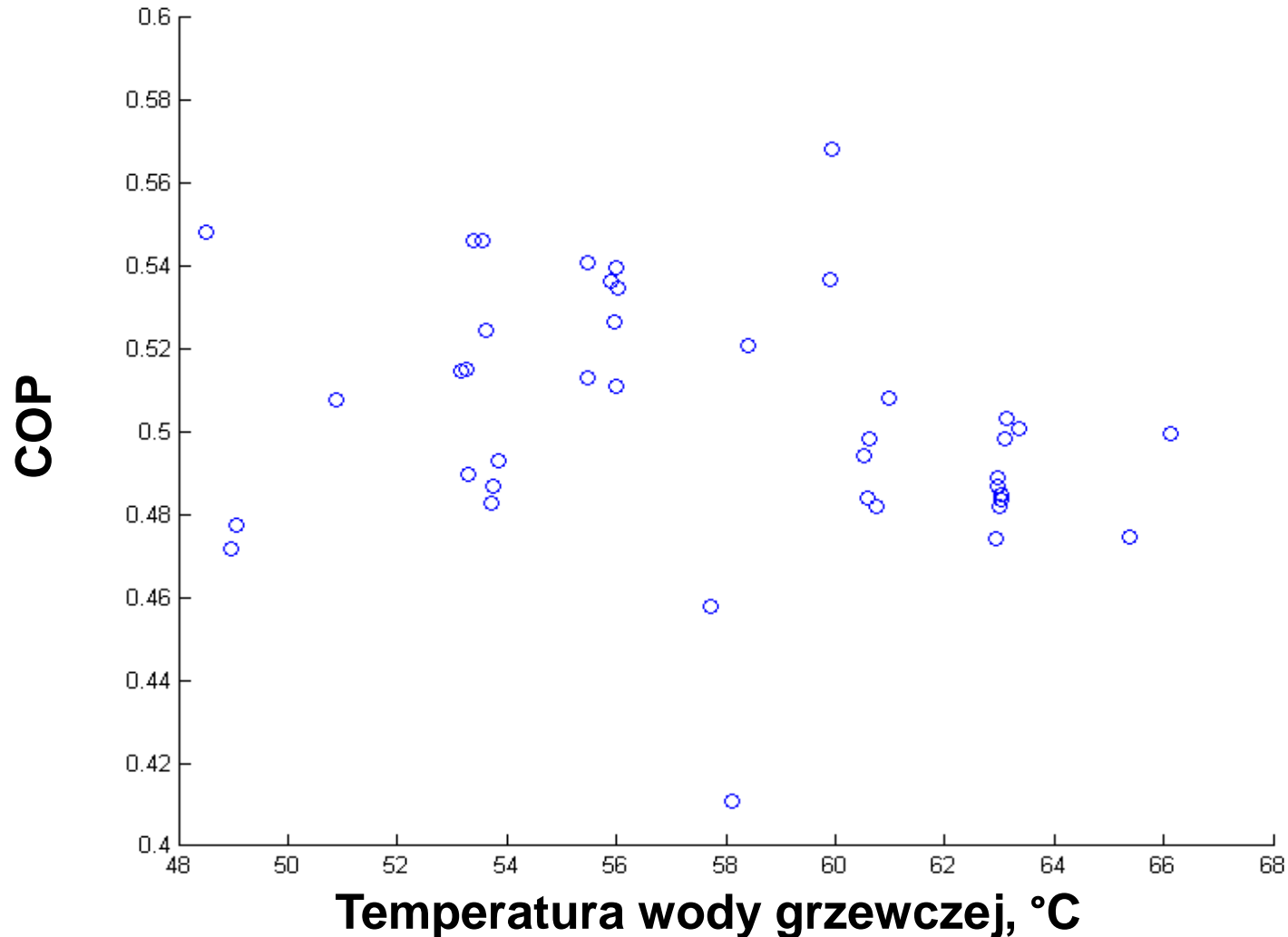


# Przebieg temperatur zasilania i powrotu wody grzewczej dla parametrów pomiaru: temperatura wody chłodzącej 25 °C, czas przełączenia złoź 900 s



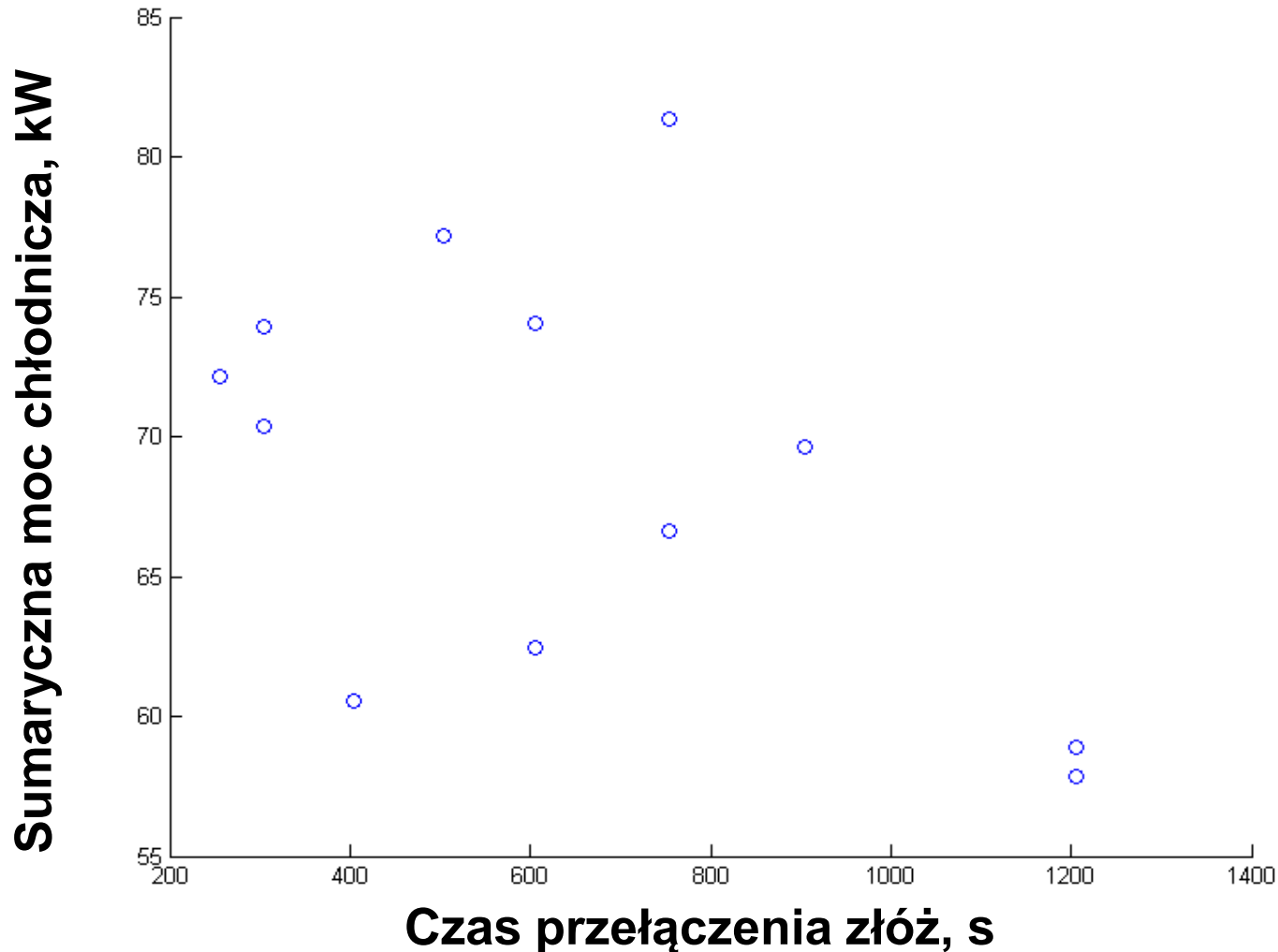


# Zależność COP od temp. wody grzewczej dla temp. wody chłodzącej 25 °C i czasie przełączenia złoź 900 s



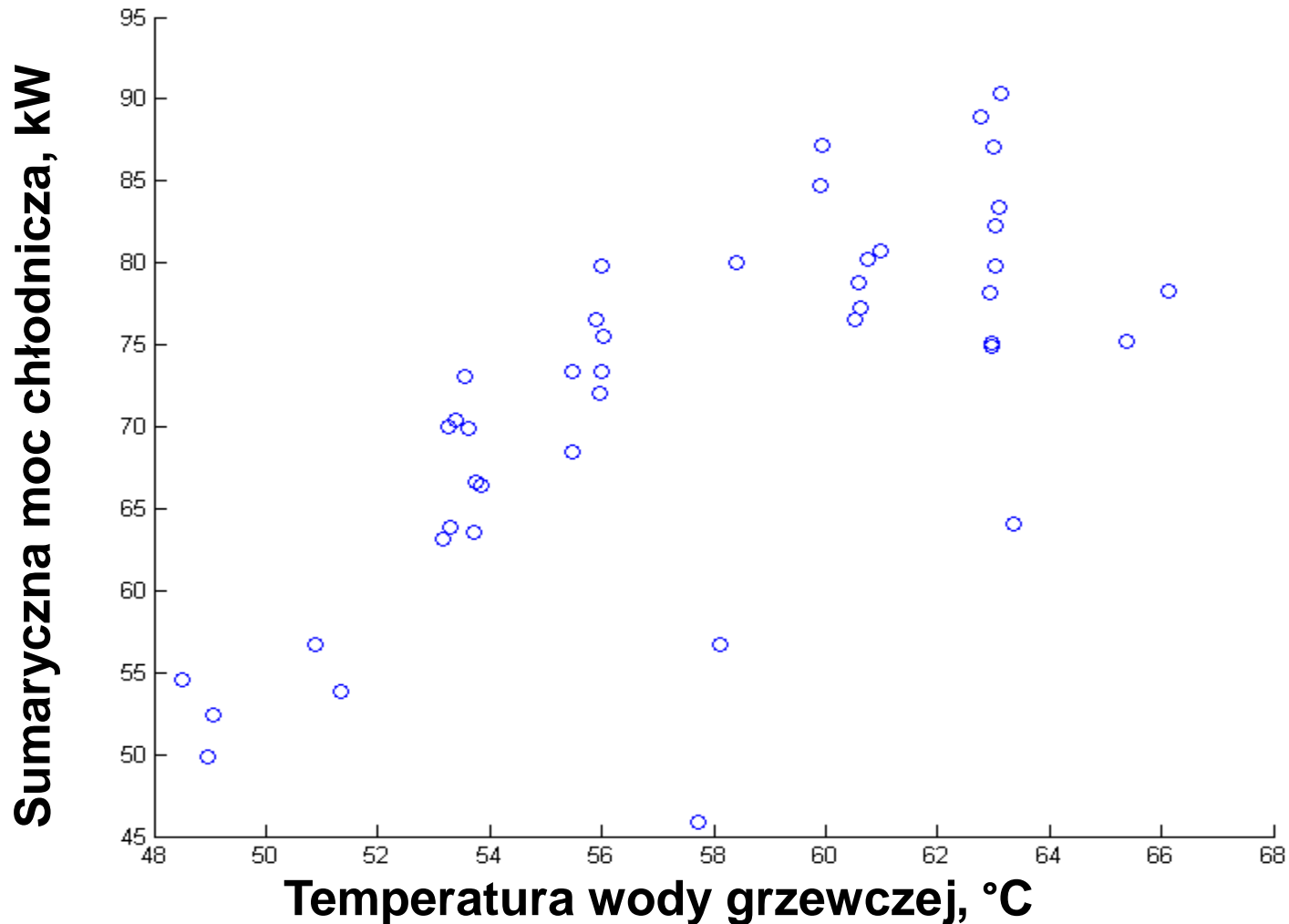


# Zależność sumarycznej mocy chłodniczej od czasu przełączenia złóż dla temp. wody chłodzącej 27 °C, temp. wody grzewczej 65 °C





# Zależność sumarycznej mocy chłodniczej od temp. wody grzewczej dla temp. Wody chłodzącej 25 °C i czasie przetłoczenia złoź 900 s





## Chłodziarka absorpcyjna amoniakalna dużej mocy

Trigeneracja oznacza równoczesne wytwarzanie energii elektrycznej, ciepła i chłodu. W stosunku do kogeneracji, trigeneracja stanowi rozbudowany moduł CHP o technologii pozwalającą na konwersję części lub całości wytworzonego w kogeneracji ciepła na chłód. Konwersja ciepła na chłód zachodzi w technologii absorpcyjnej (woda-bromek litu, rzadziej amoniak-woda), osiągnięte temperatury wody lodowej wynoszą około 4-7 °C.



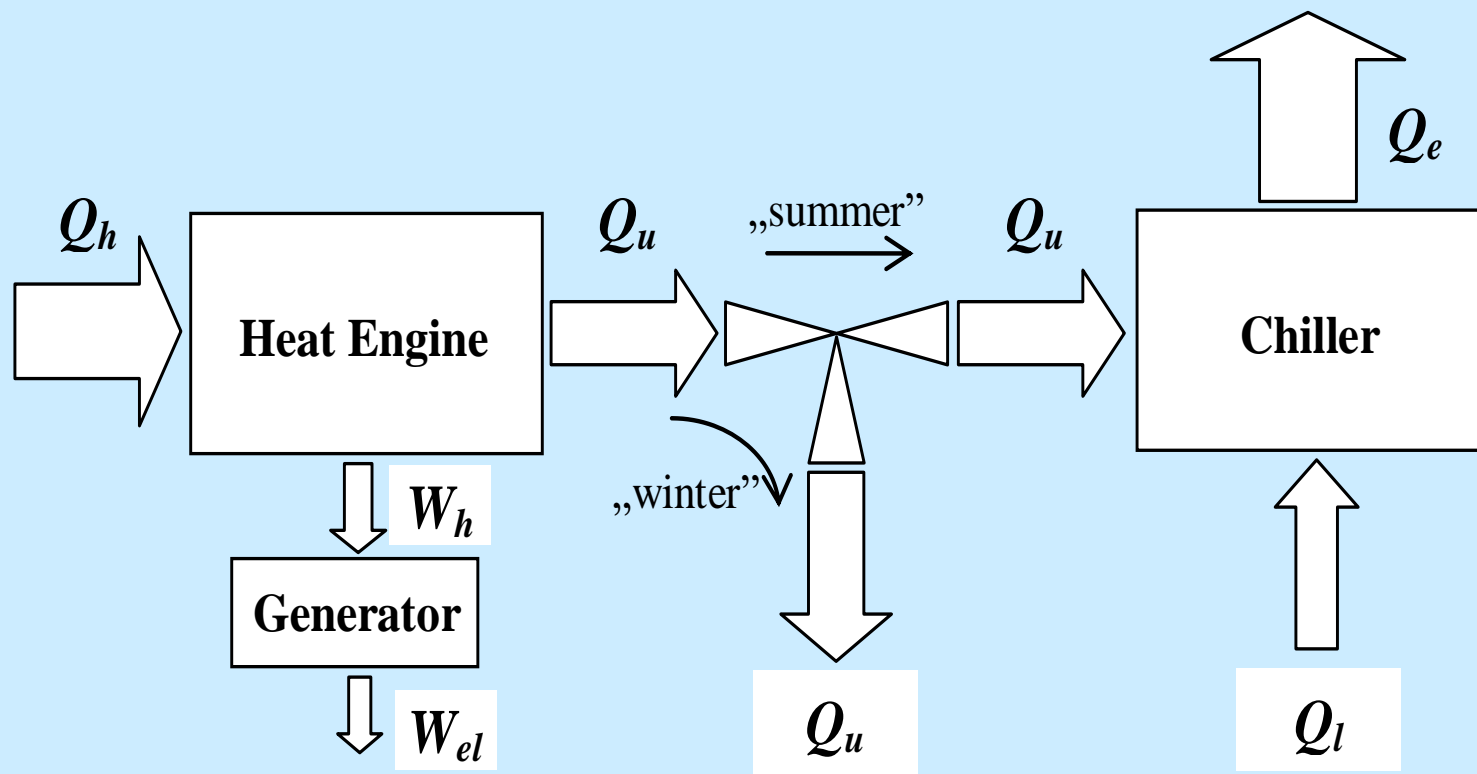


## Chłodziarka absorpcyjna amoniakalna dużej mocy

Istotą trigeneracji jest brak stałych relacji pomiędzy strumieniami ciepła i zimna, gdyż stopień konwersji ciepła na chłód nie wynika z ograniczeń termodynamicznych, a z bieżących potrzeb na oba strumienie energii. W skrajnym przypadku całe ciepło może być konwertowane na zimno (np. w okresie letnim) lub zużywane na ogrzewanie (w okresie zimowym).



# Schemat blokowy węzła trigeneracyjnego



# Przykład węzła trigeneracyjnego

WPT układ produkcji energii elektrycznej, ciepła i chłodu

