



Energetyka

Prof. Maciej Chorowski

Chłodnictwo & Kriogenika

Wykład 4 – Chłodziarki sorpcyjne



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Politechnika Wroclawska

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

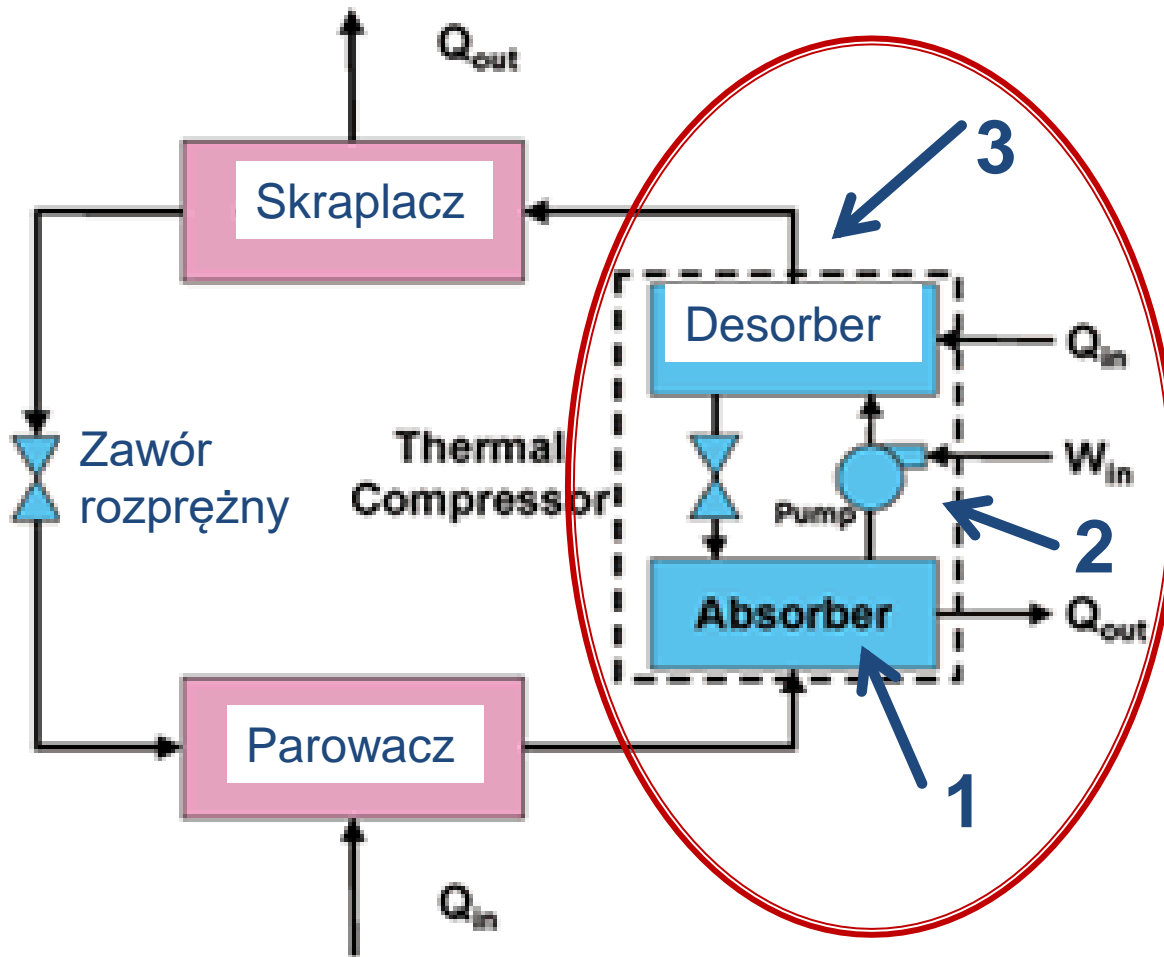




Treść wykładu

- Chłodziarki sorpcyjne
- Chłodziarki absorpcyjne
- Chłodziarki adsorpcyjne

Sprężarka termiczna

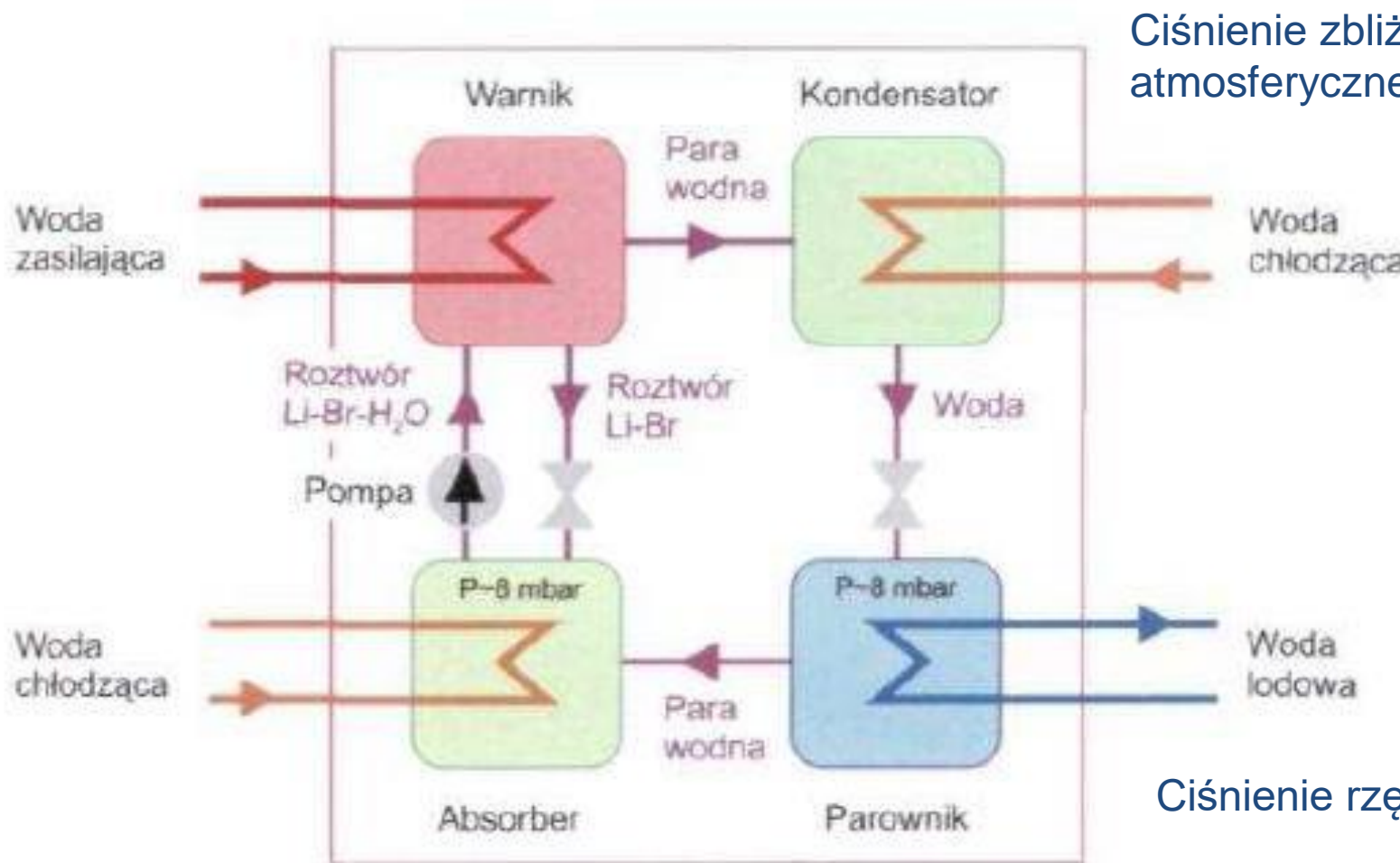


Sprężarka termiczna

1. absorpcja w wodzie (lub w innym rozpuszczalniku) gazu, który ma być sprężony, odprowadzenie ciepła Q_{out}
2. Podniesienie ciśnienia roztworu przez pompę – przepompowanie roztworu z absorbera do desorbera
3. Desorpcja gazu na skutek dostarczenia energii cieplnej Q_{in} i uzyskania w ten sposób gazu o wysokim ciśnieniu.



Chłodziarka absorpcyjna woda – bromek litu

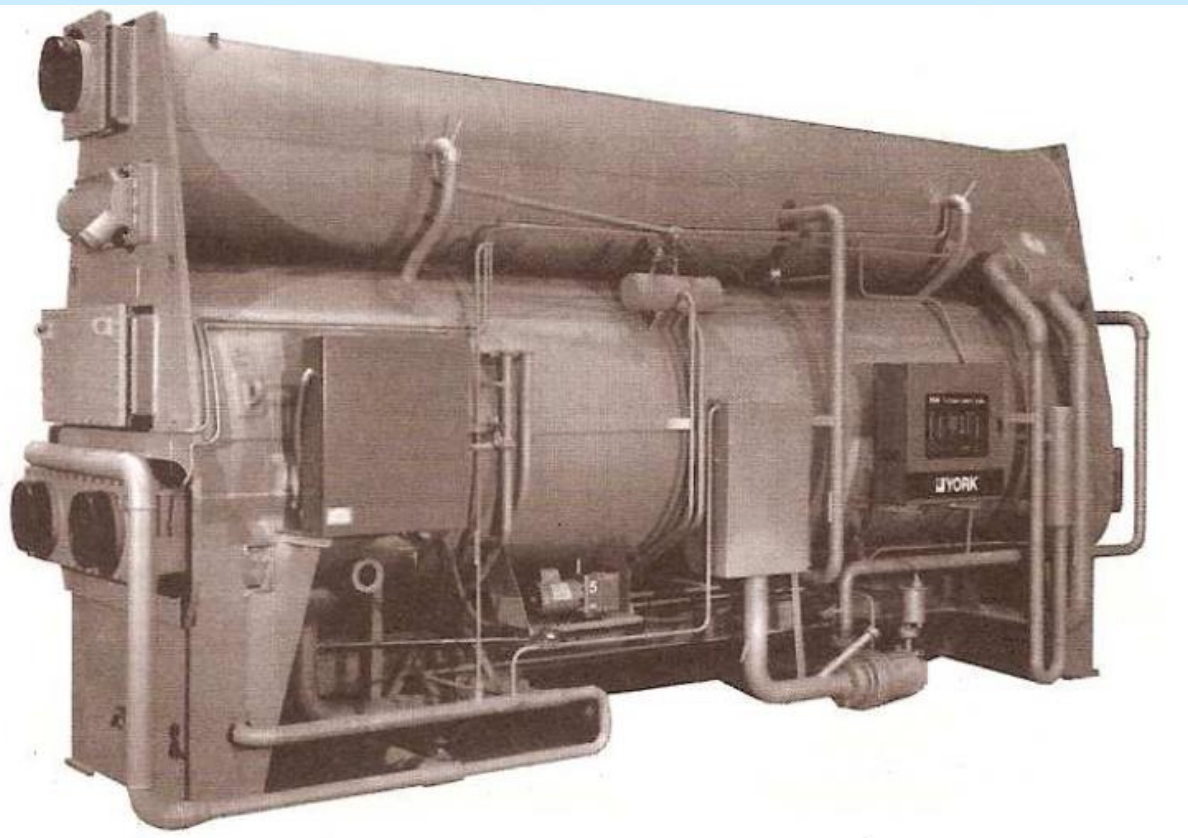


Ciśnienie zbliżone do atmosferycznego

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



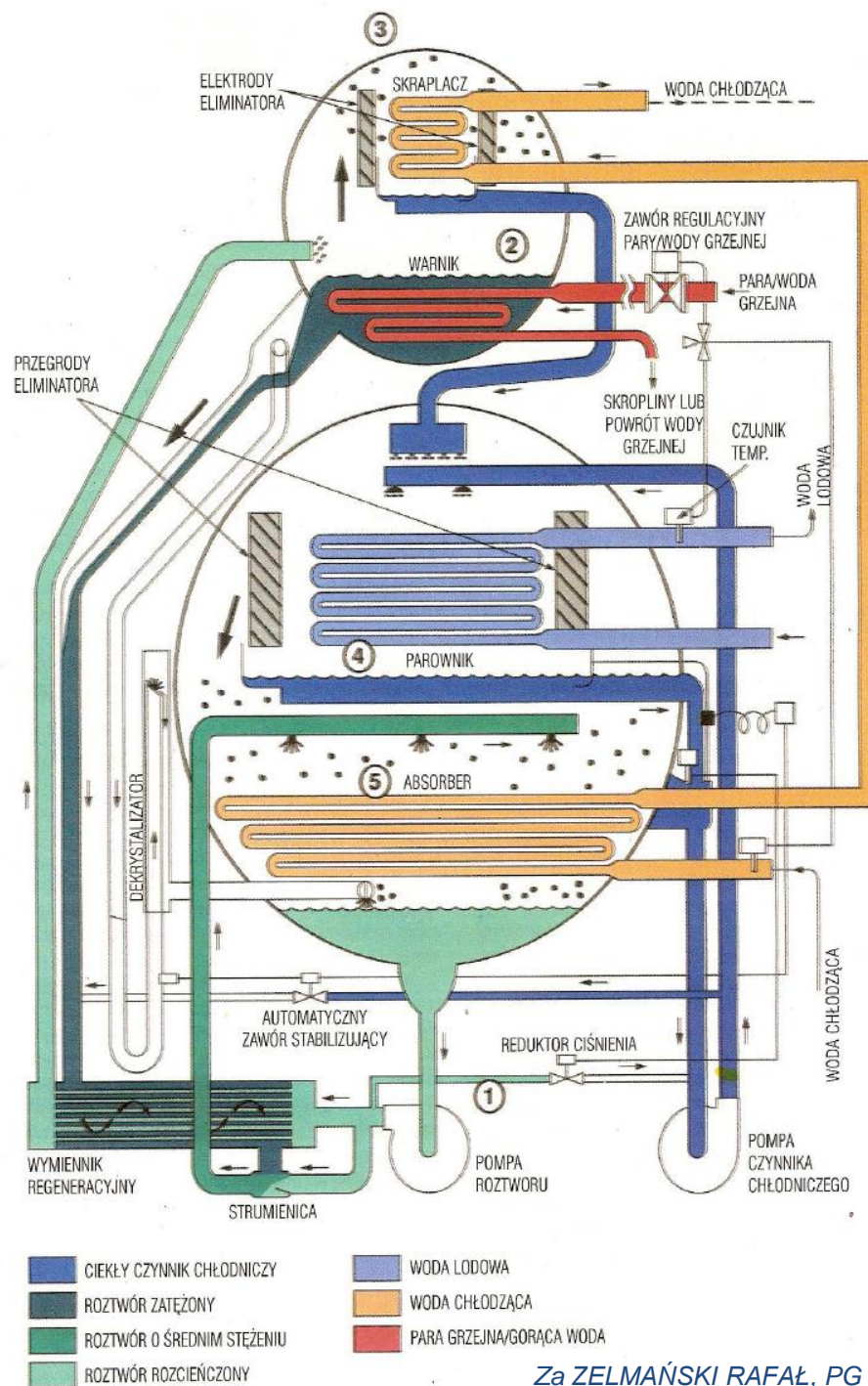
Chłodziarka absorpcyjna woda-bromek litu

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

Czynnikiem chłodniczym jest woda, natomiast bromek litu jest absorbentem.

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

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





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: 0,4 – 0,75
- może być zasilana z sieci ciepłowniczej

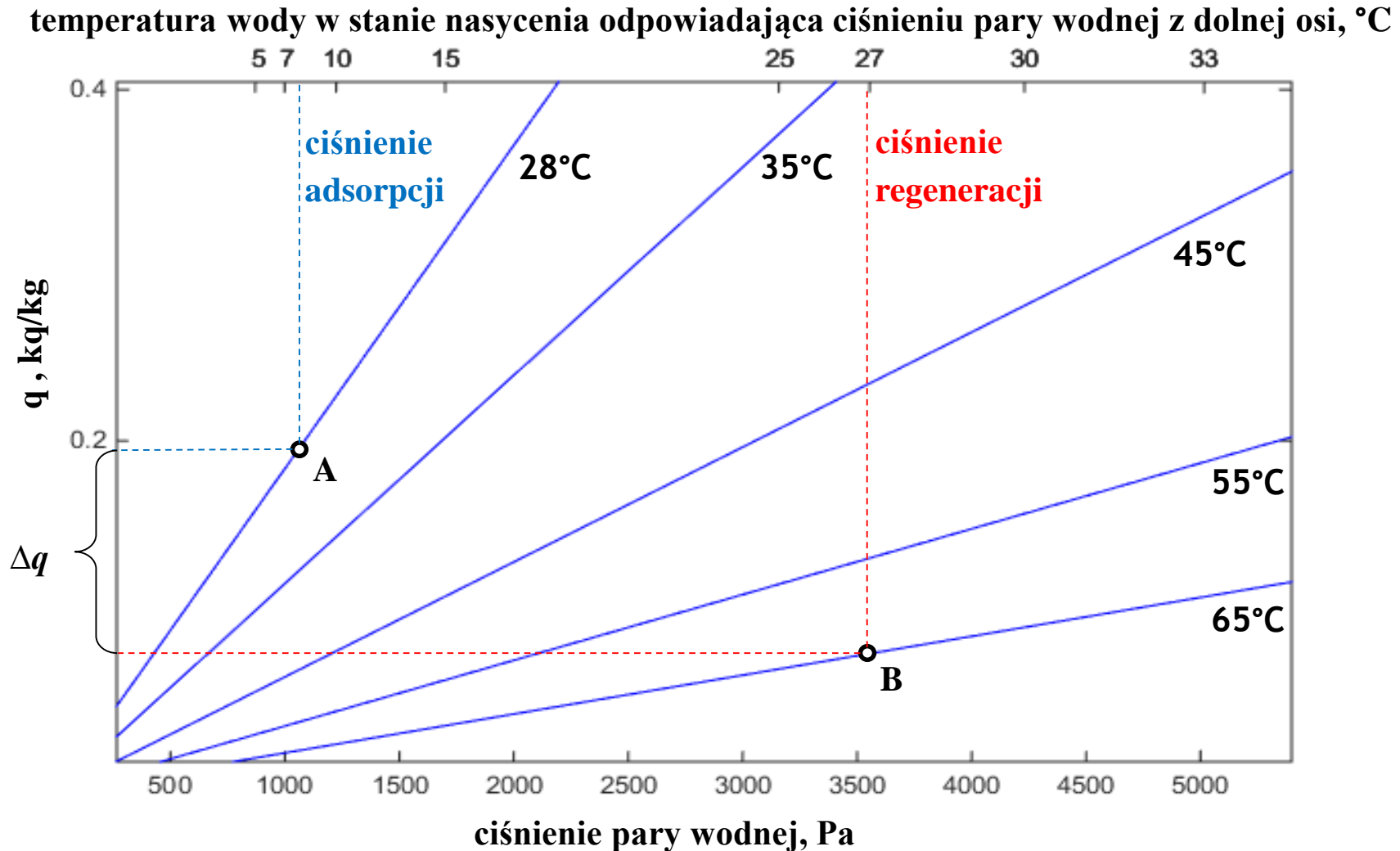
Adsorbent - silikażel, żel krzemionkowy

- higroskopijny materiał, wykorzystywany w osuszaczach
- materiał porowaty o rozwiniętej powierzchni: 500 - 900 m²/g
- SG wąskoporowy wykazuje chłonność wody do 30 - 40% (0,3 - 0,4 g wody na 1 g SG)
- ciepło adsorpcji ~2500 kJ / kg zaadsorbowanej wody



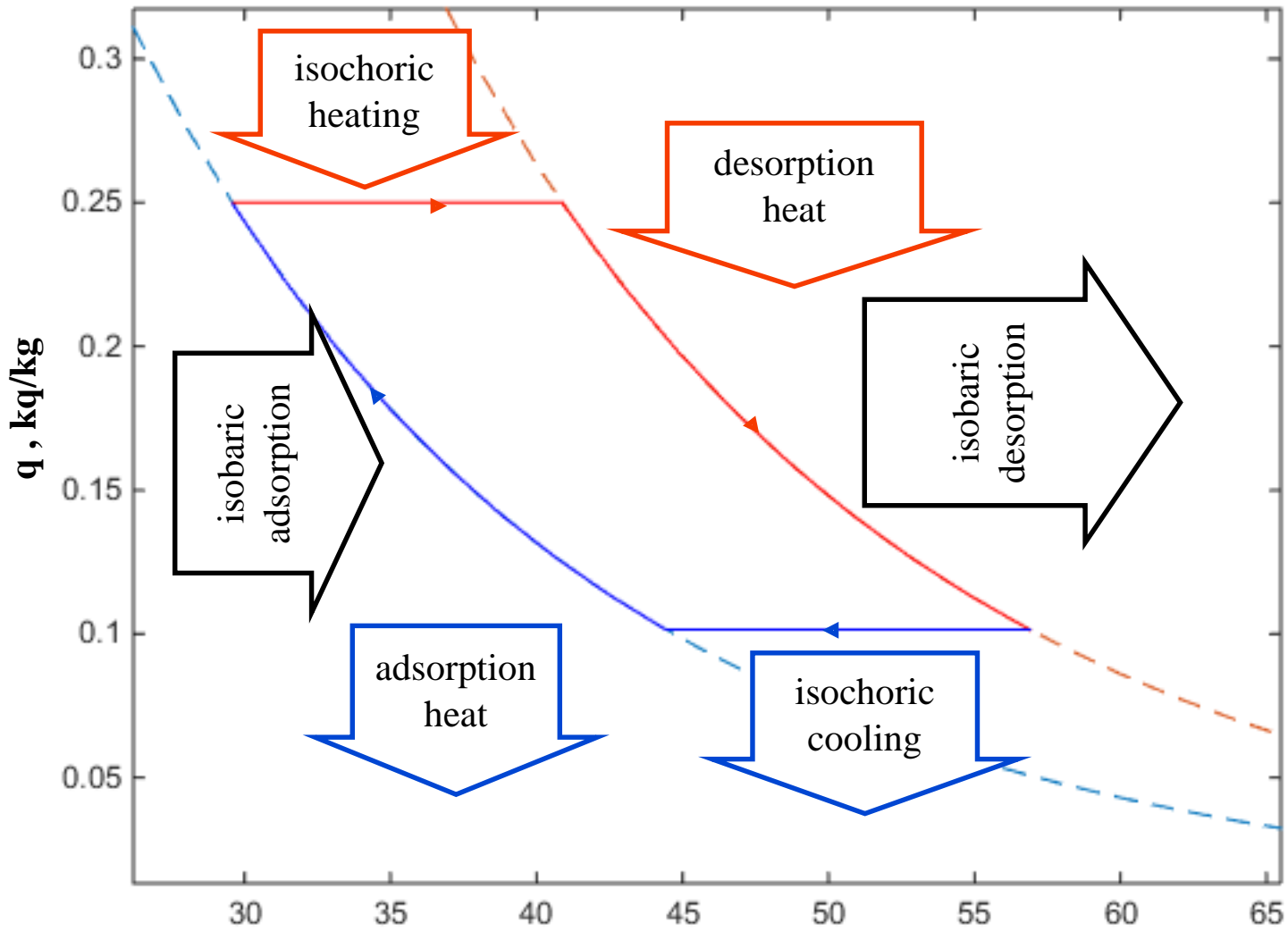


Izotermy adsorpcji silikażel - woda

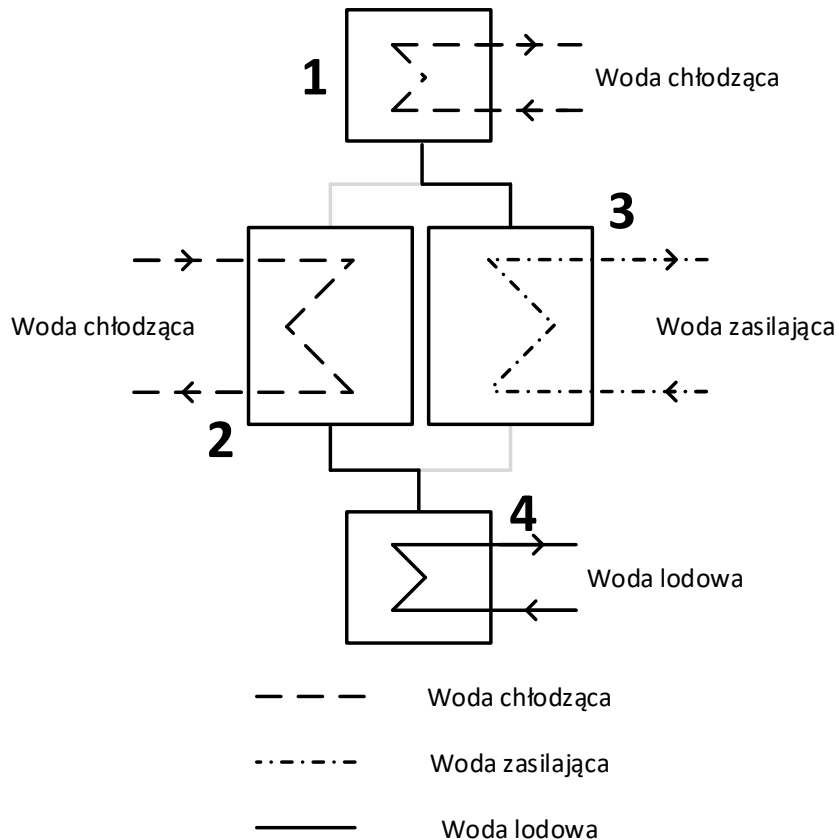




Cykl pracy złoża



Zasada działania chłodziarki adsorpcyjnej



- 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.



Fizyka adsorpcji

- Maksymalny współczynnik wydajności chłodniczej:

$$COP_{teor} = \frac{h_{par}}{h_{des}} = 0,9$$

- Kinetyka adsorpcji (mod. LDF)

$$\frac{dq}{dt} = K(T_{ads})(q^* - q)$$

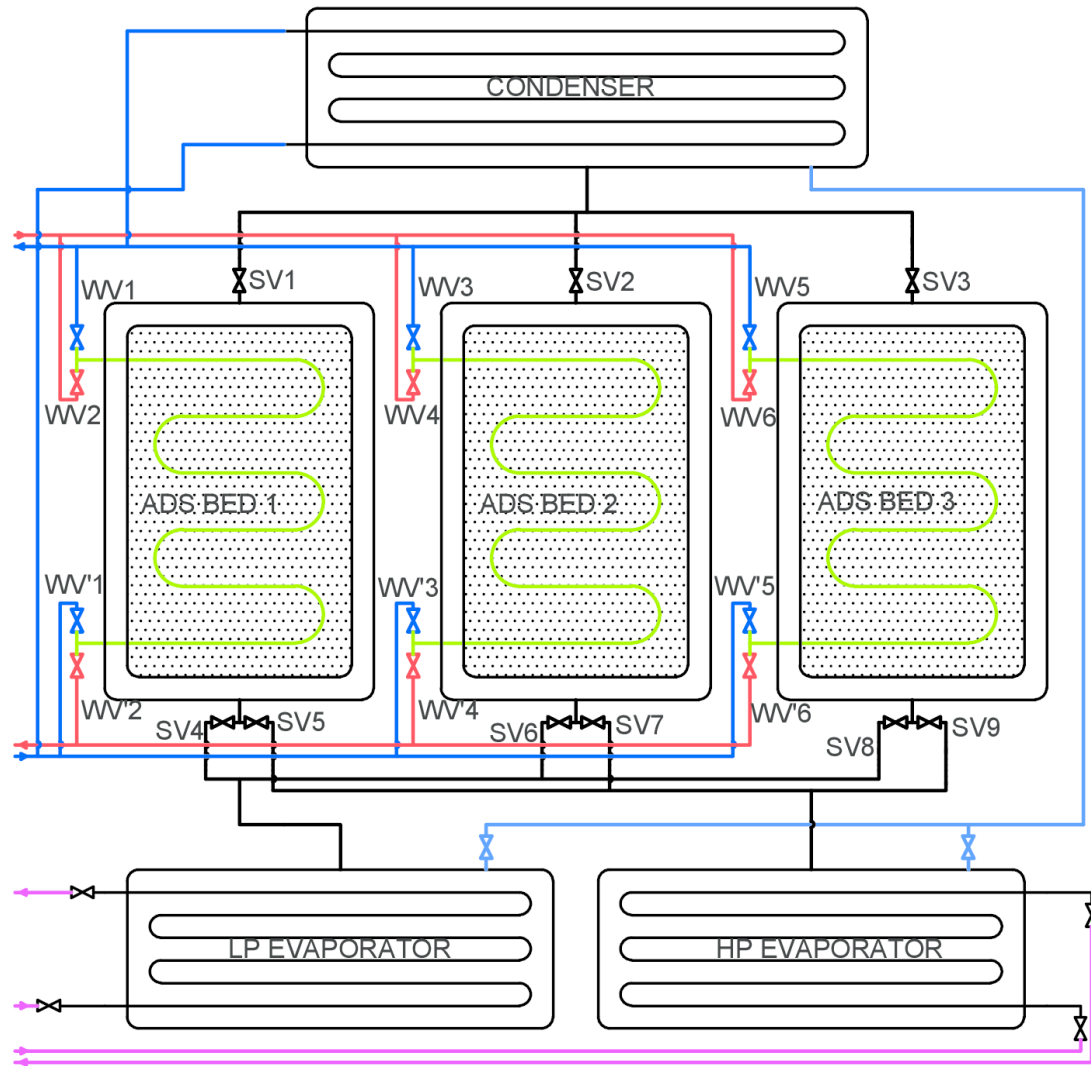
- Równowaga adsorpcyjna

$$q^* = A(T_{ads}) \frac{P}{P_{sat}(T_{ads})} B(T_{ads})$$

- $A(T_{ads}) = A_0 + A_1 T_{ads} + A_2 T_{ads}^2 + A_3 T_{ads}^3$
- $B(T_{ads}) = B_0 + B_1 T_{ads} + B_2 T_{ads}^2 + B_3 T_{ads}^3$

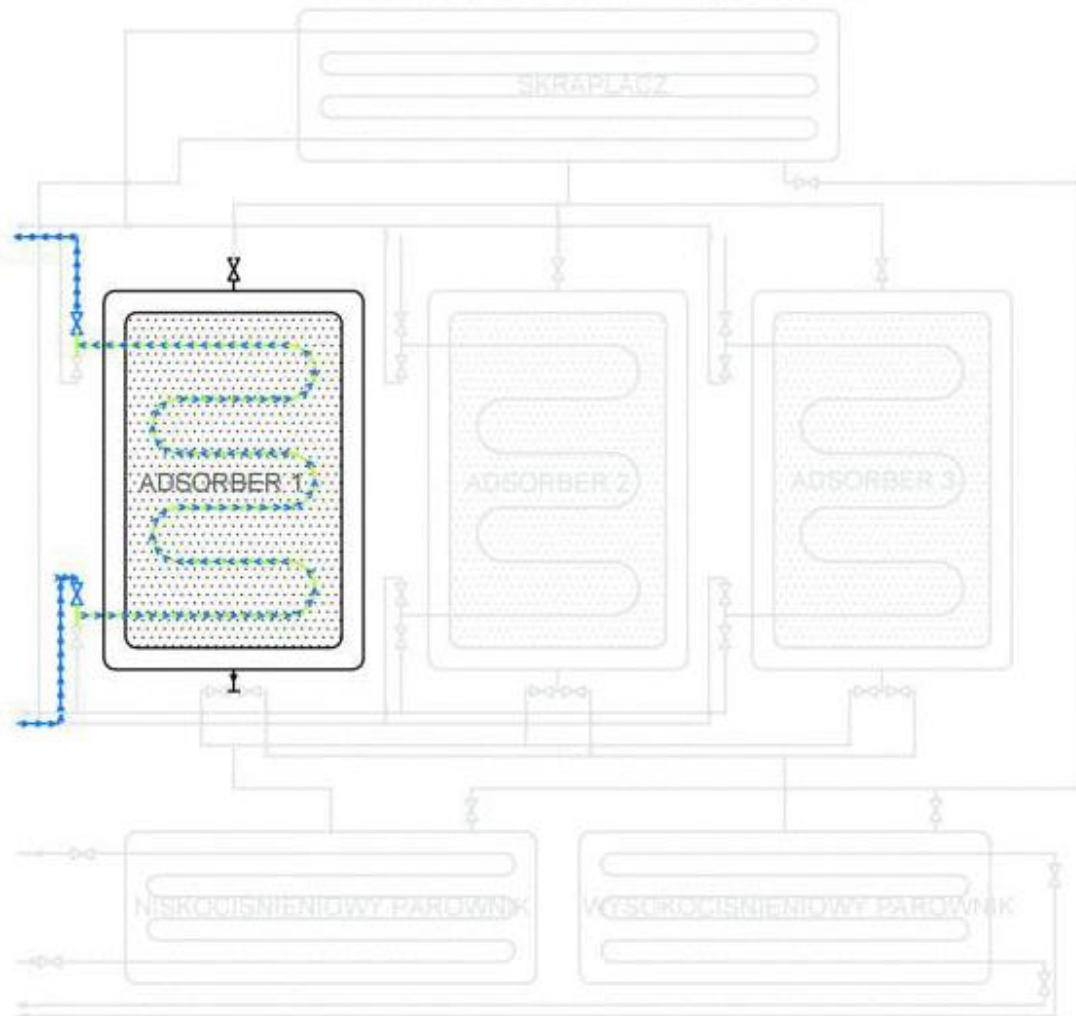


3 - złożowa, 2- parownikowa chłodziarka adsorpcyjna





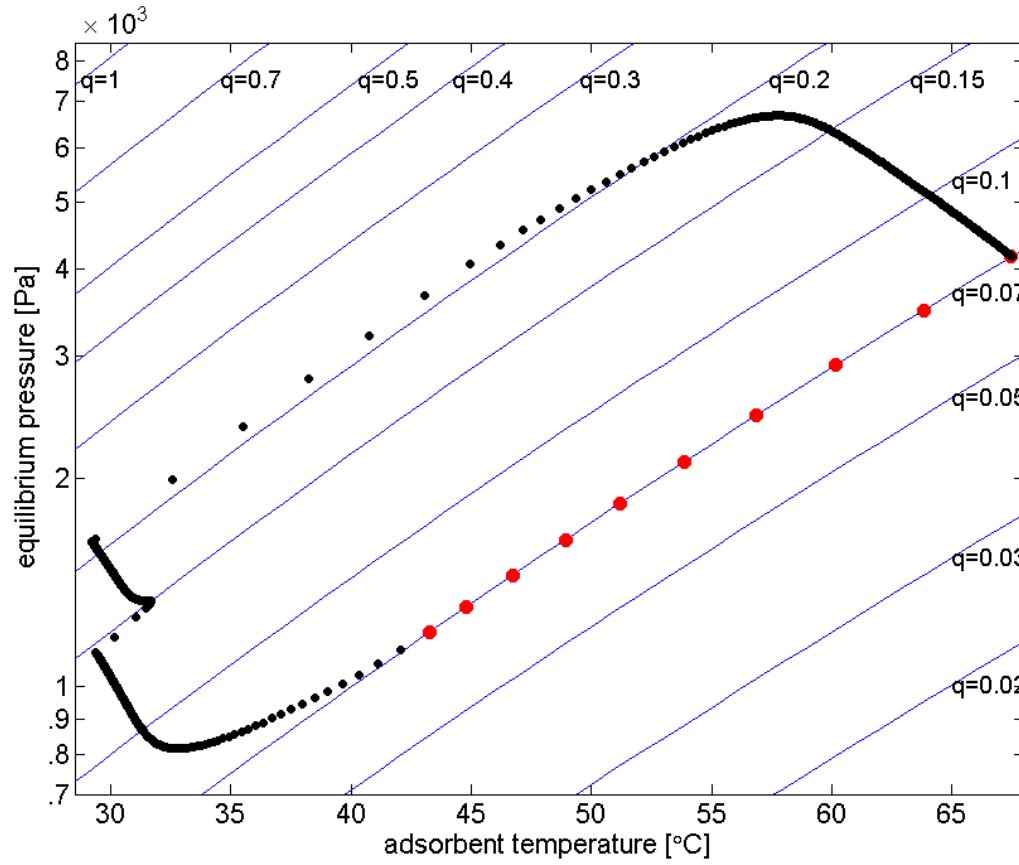
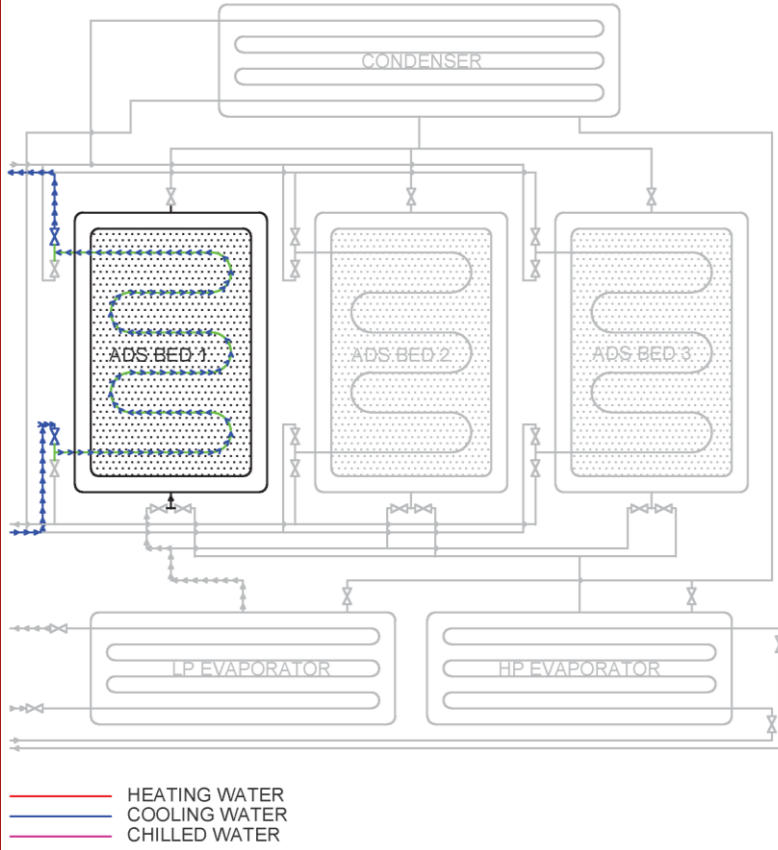
Zasada działania trójzłożowej, dwuparownikowej chłodziarki adsorpcyjnej



- ograniczenie zużycia energii elektrycznej
- ograniczenie groźby blackout'u w okresie letnim
- wykorzystanie niskotemperaturowego ciepła:
 - ciepła odpadowego
 - energii słonecznej
 - energii geotermalnej
- możliwość zasilania ciepłem z miejskiej sieci ciepłowniczej

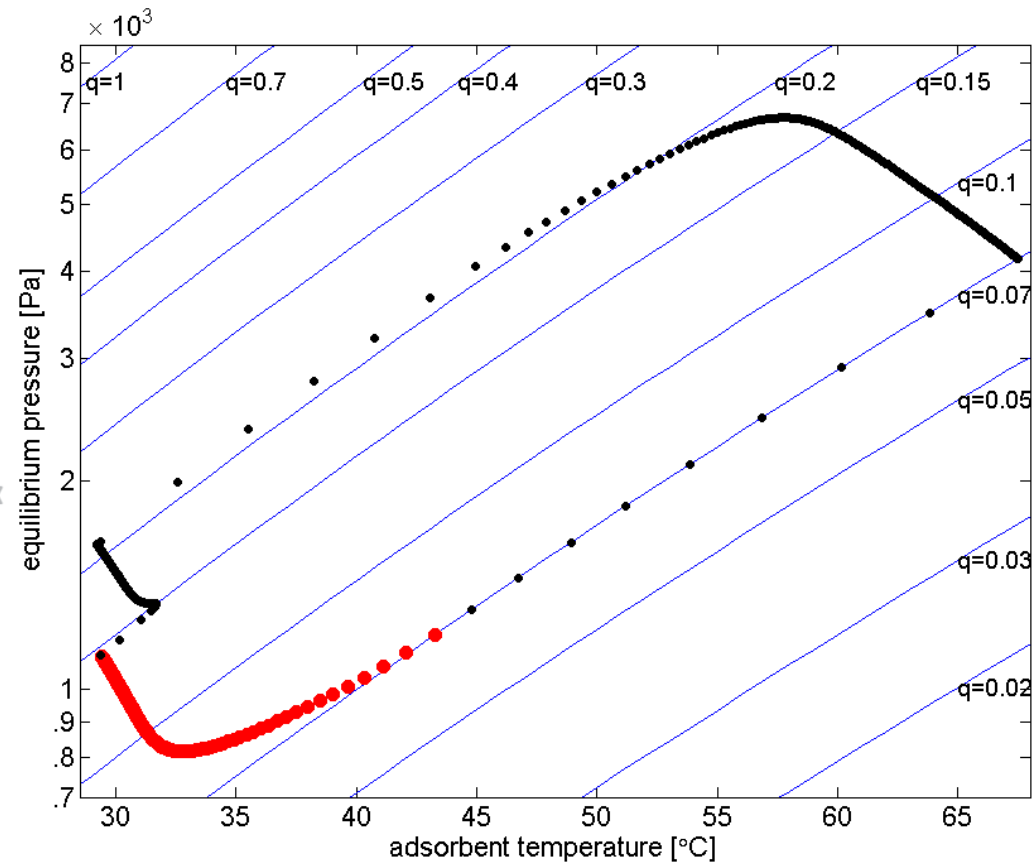
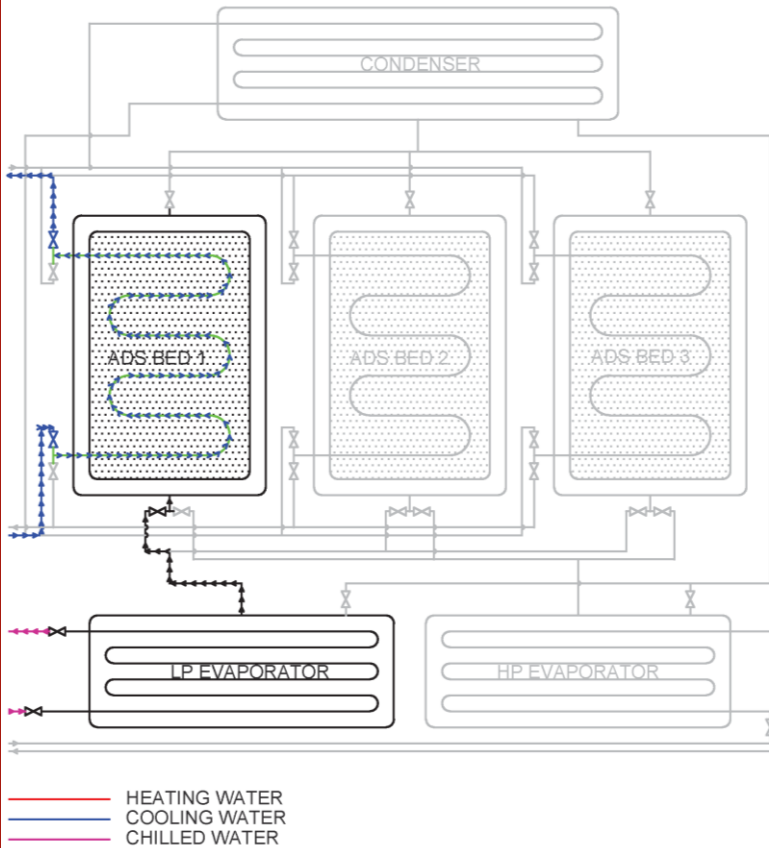


Zasada działania - pre-cooling



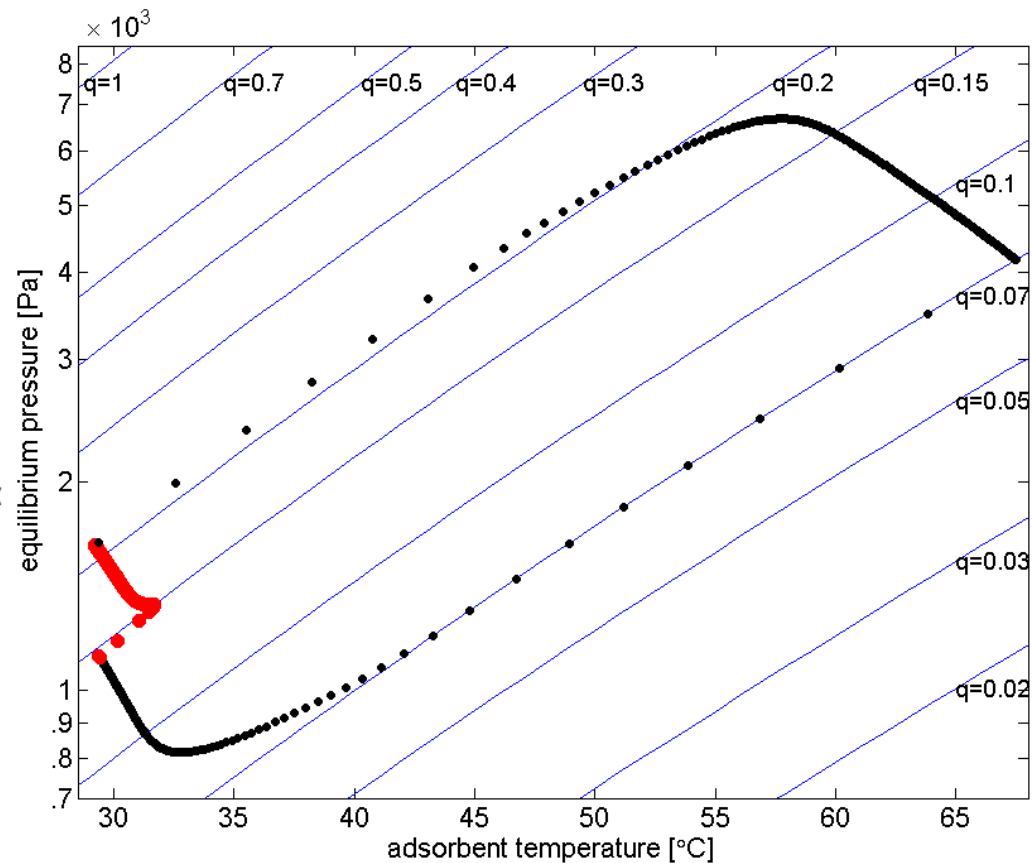
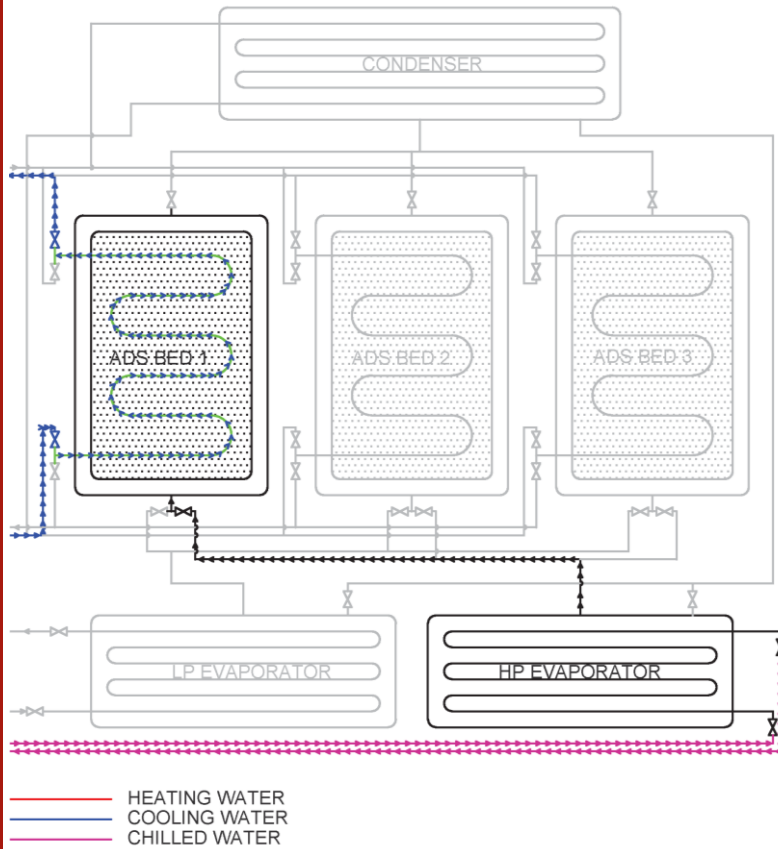


Zasada działania - adsorpcja niskociśnieniowa



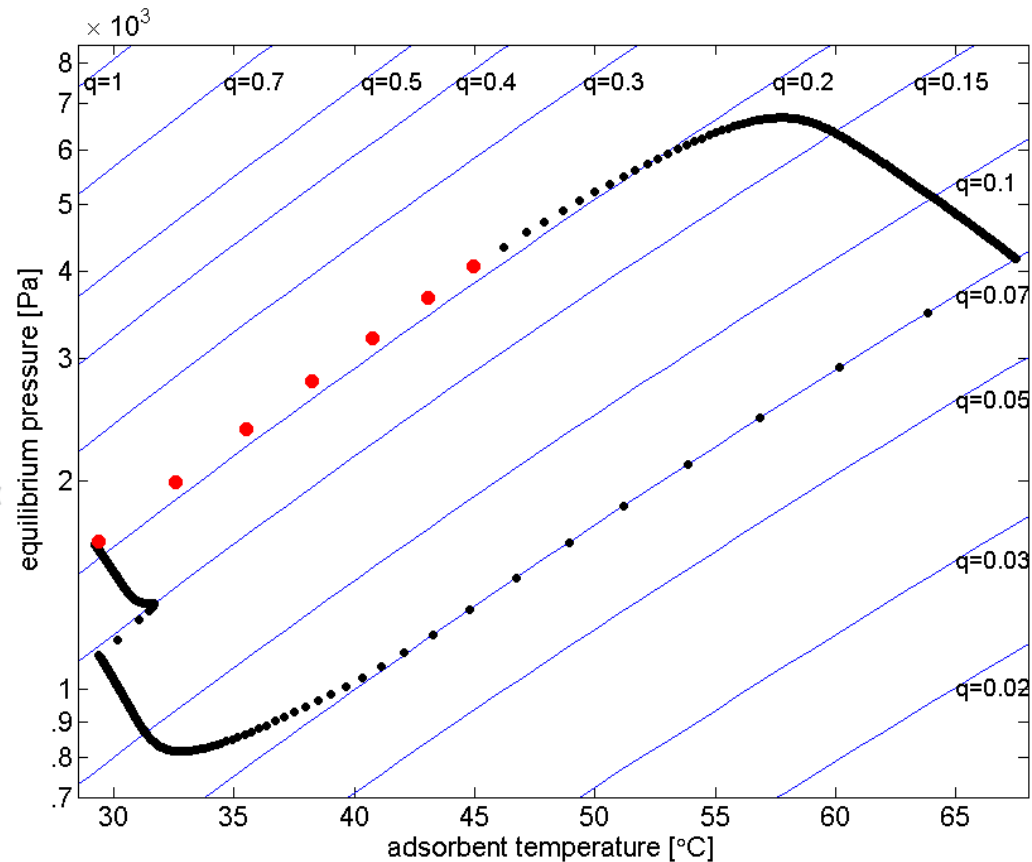
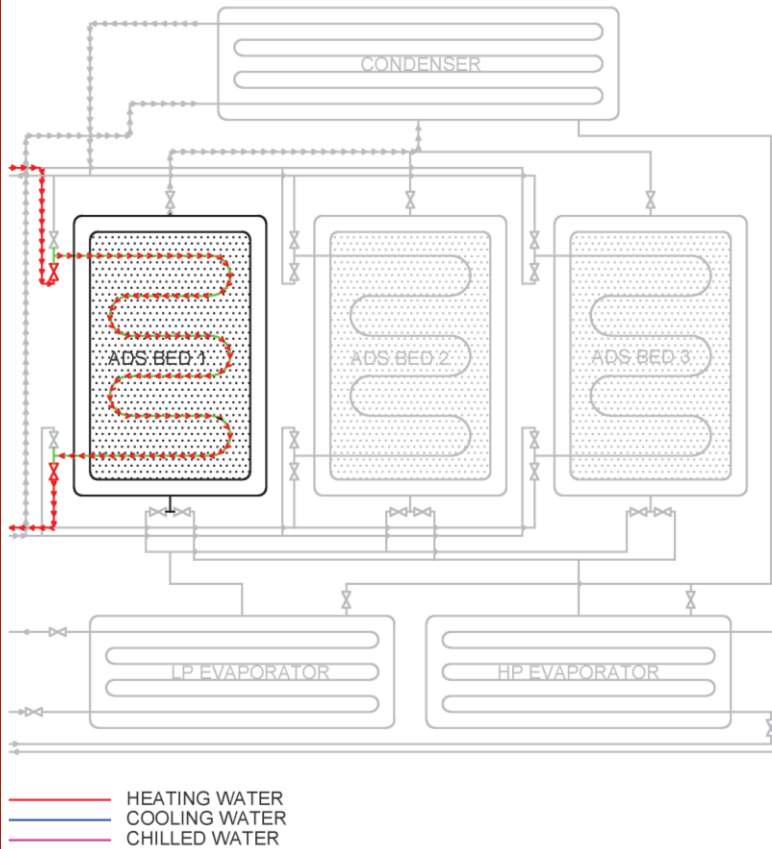


Zasada działania - adsorpcja wysokociśnieniowa



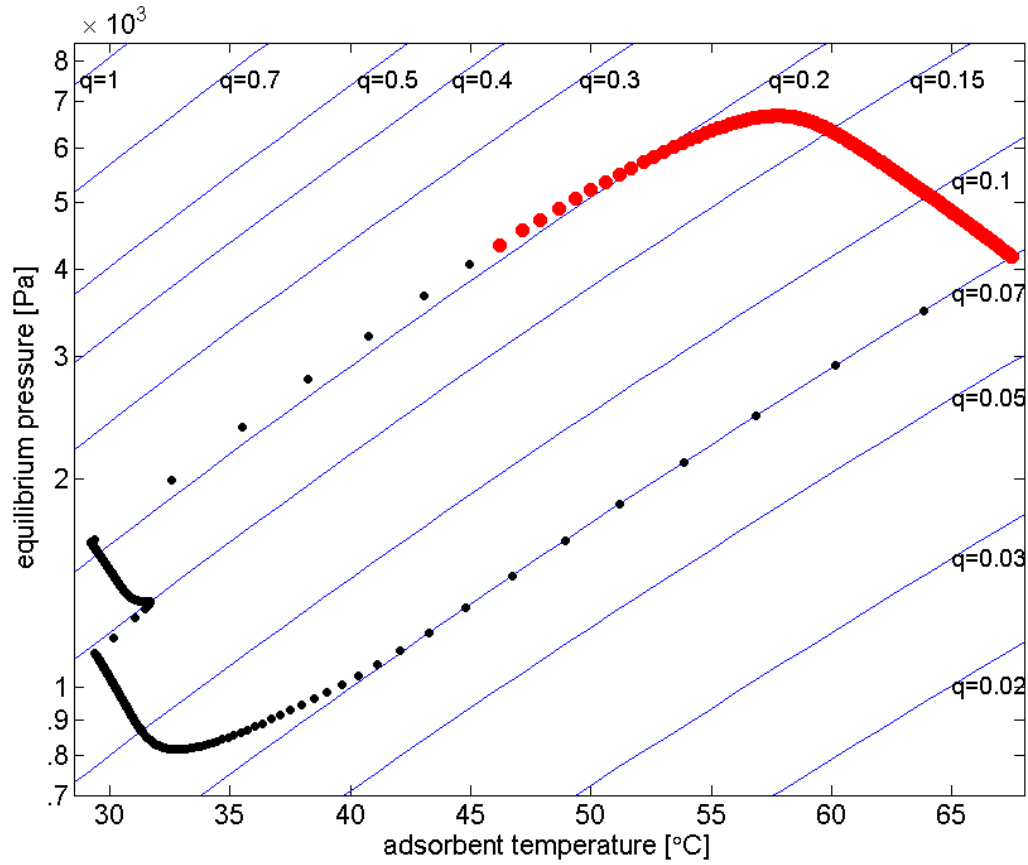
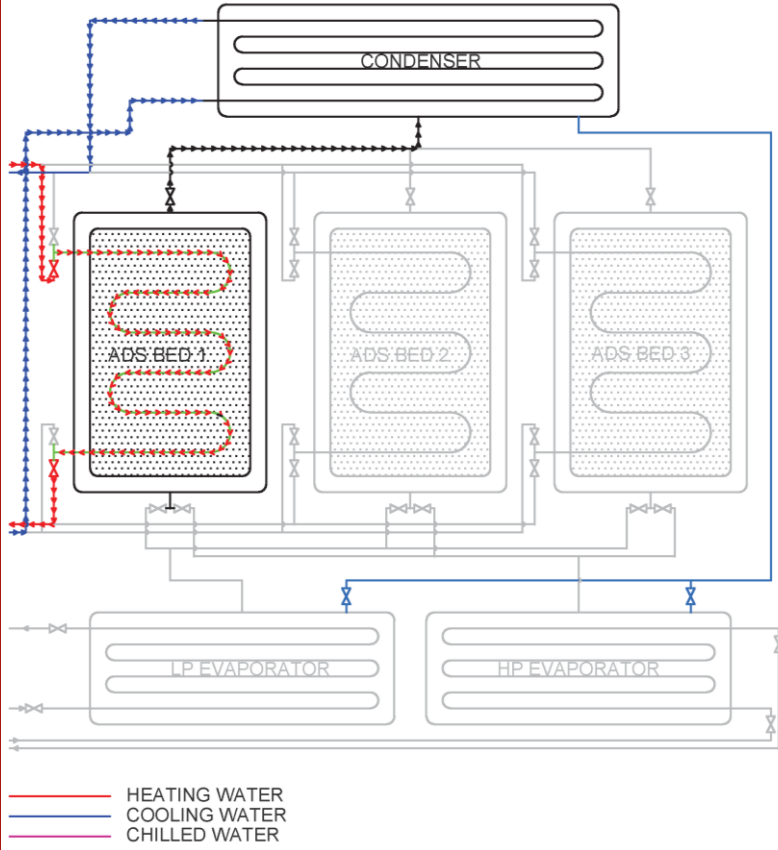


Zasada działania - pre-heating





Zasada działania - desorpcja (regeneracja)



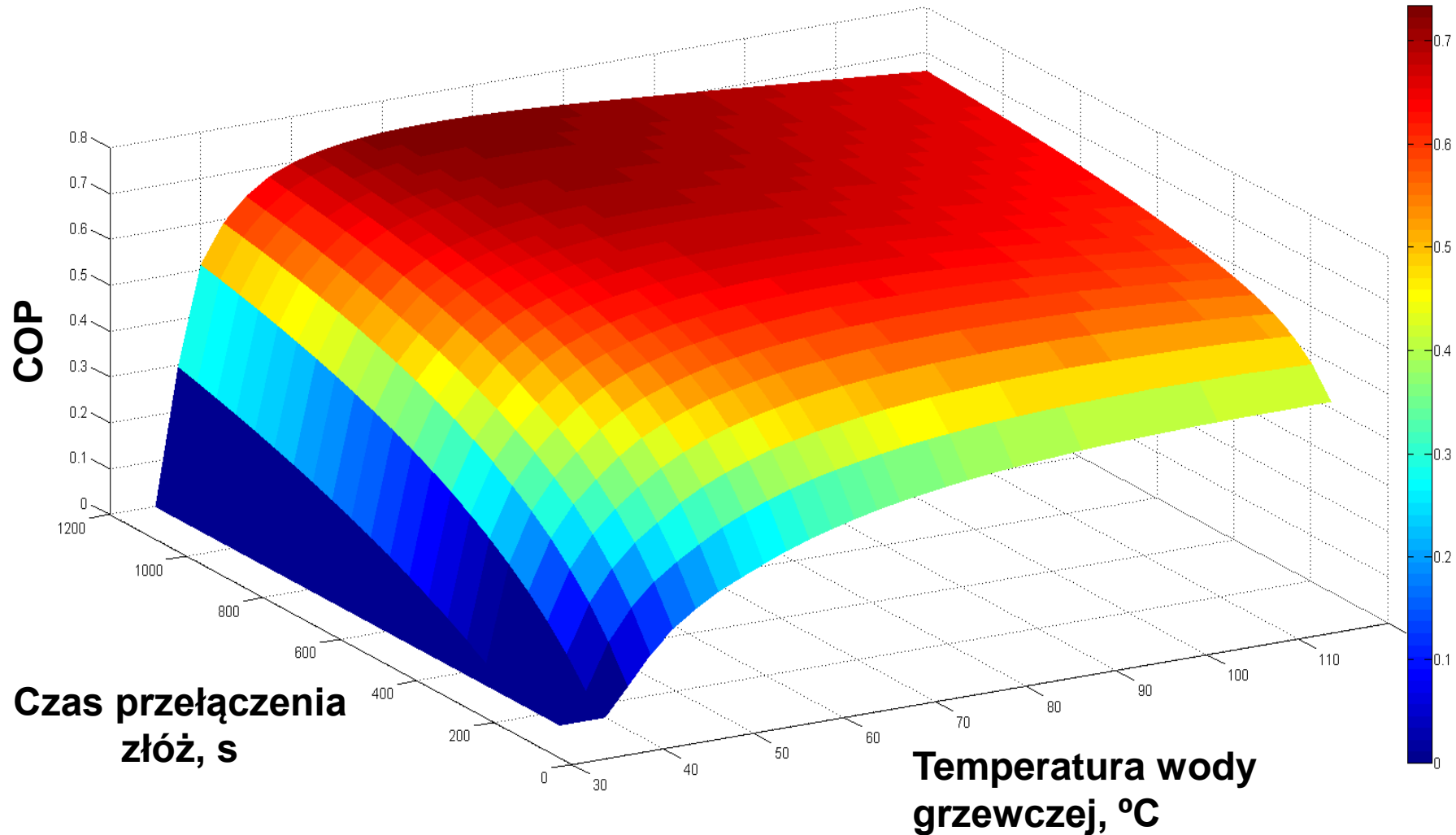


Cykl pracy chłodziarki wraz z sekwencją otwierania zaworów

	Stage 1		Stage 2		Stage 3	
Bed 1	Pre-cooling	LP-ads	HP-ads		Pre-heating	Desorption
Bed 2	HP-ads		Pre-heating	Desorption	Pre-cooling	LP-ads
Bed 3	Pre-heating	Desorption	Pre-cooling	LP-ads	HP-ads	
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	

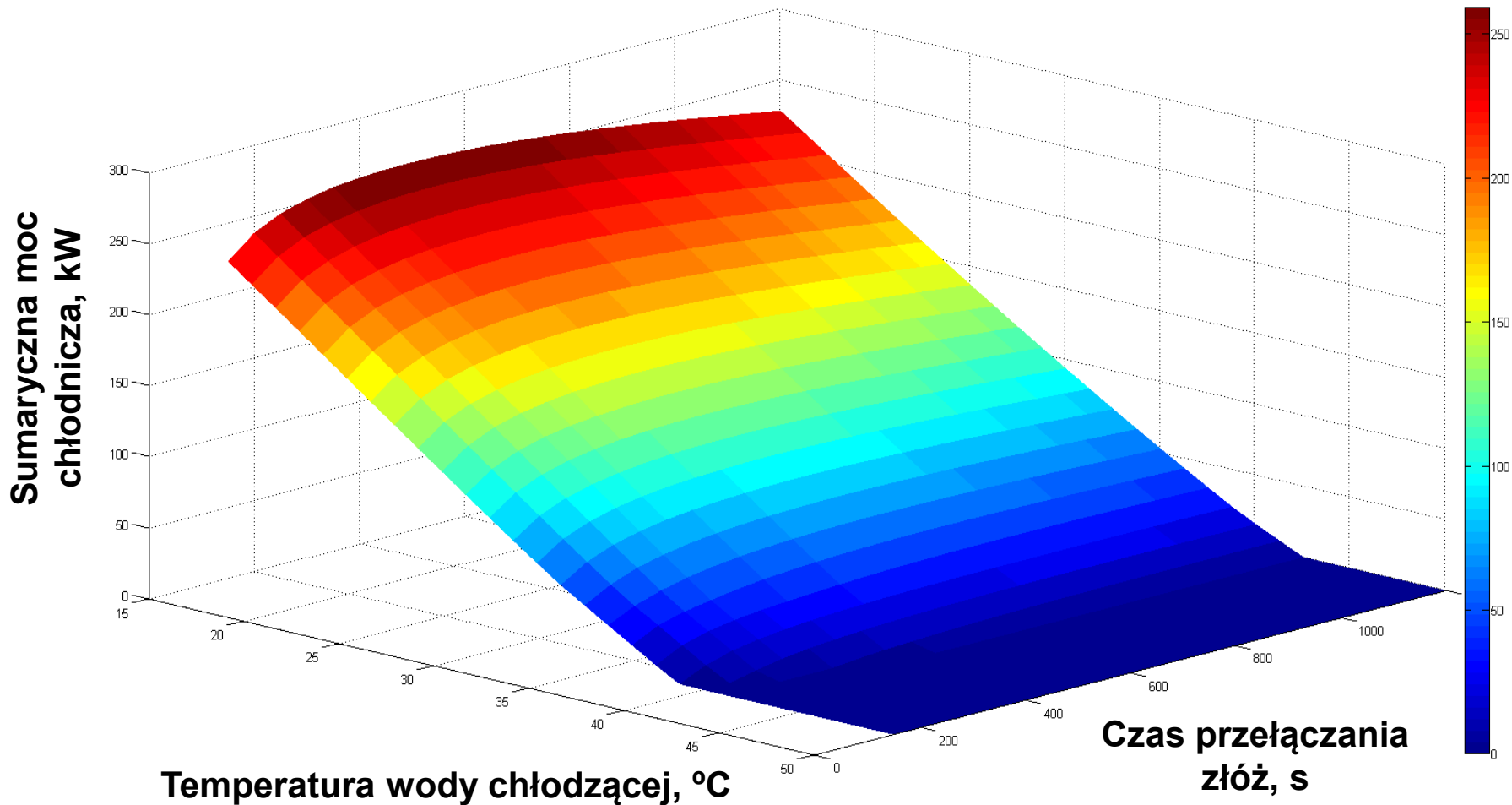


Zależność COP od temperatury wody grzewczej oraz czasu przełączenia złoź



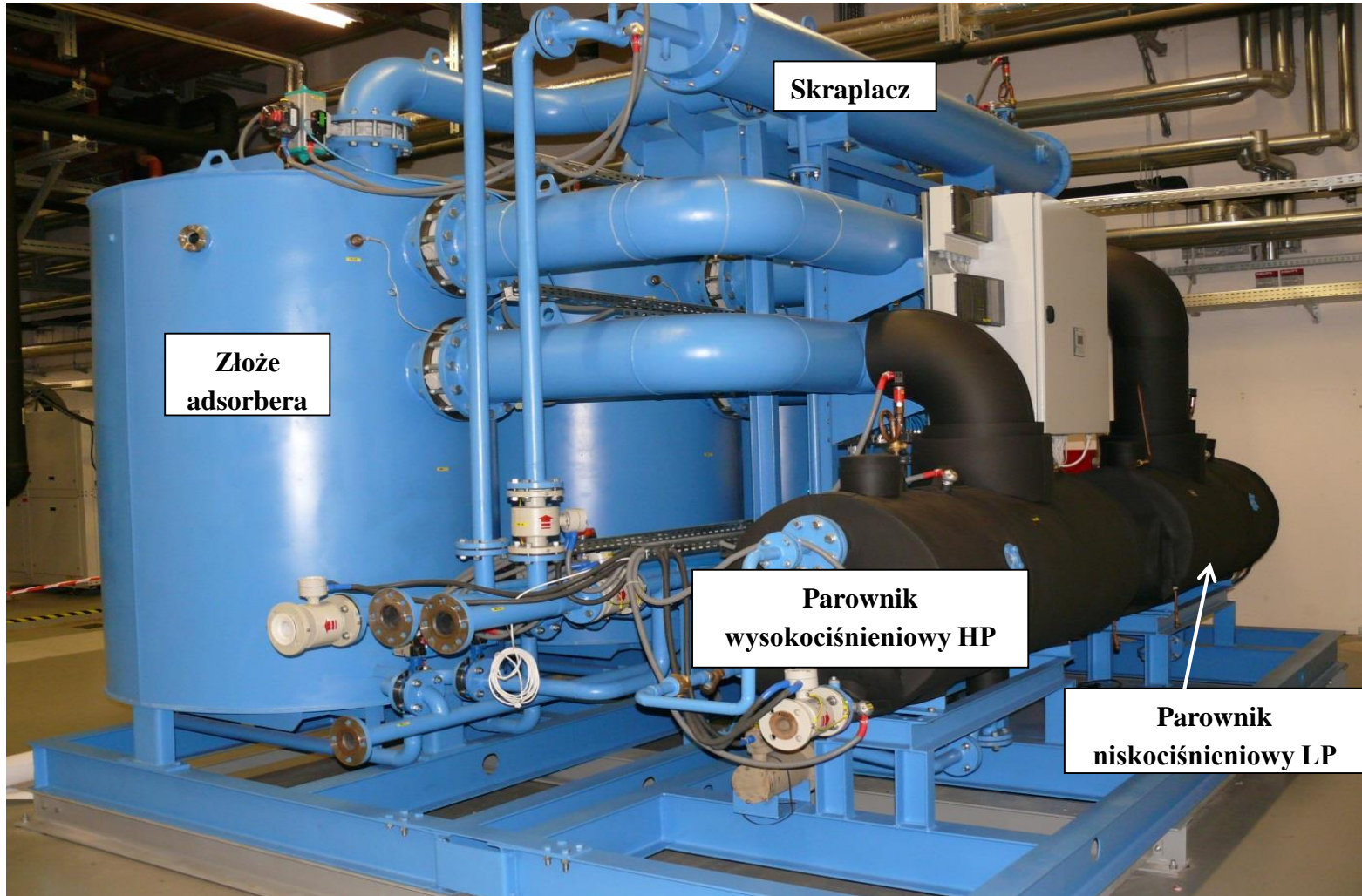


Zależność mocy chłodniczej od temperatury wody chłodzącej oraz czasu przełączania złoź





Trójzłożowa dwuparownikowa 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



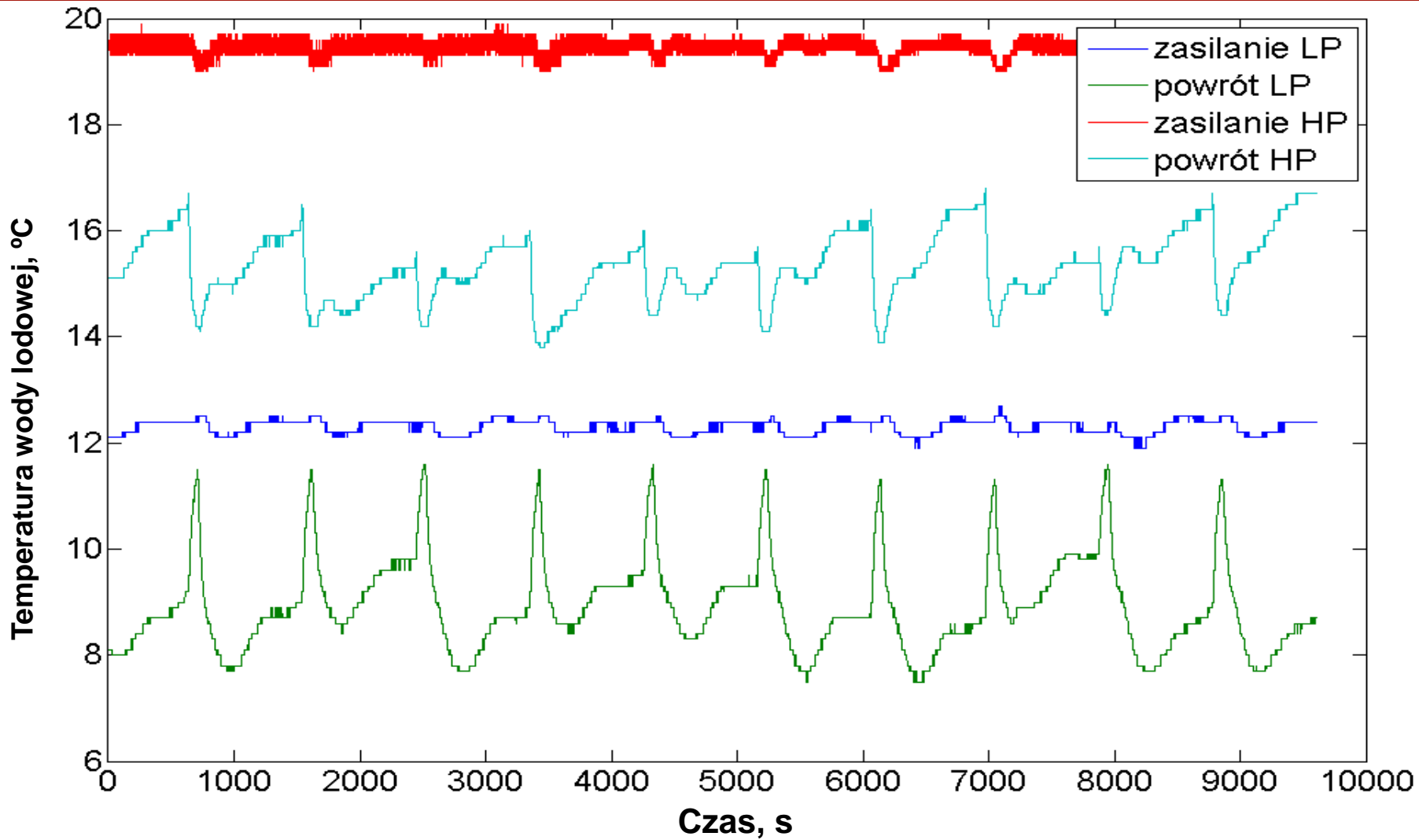
Chłodziarka
adsorpcyjna

Bufor wody
lodowej LP

Bufor wody
lodowej HP

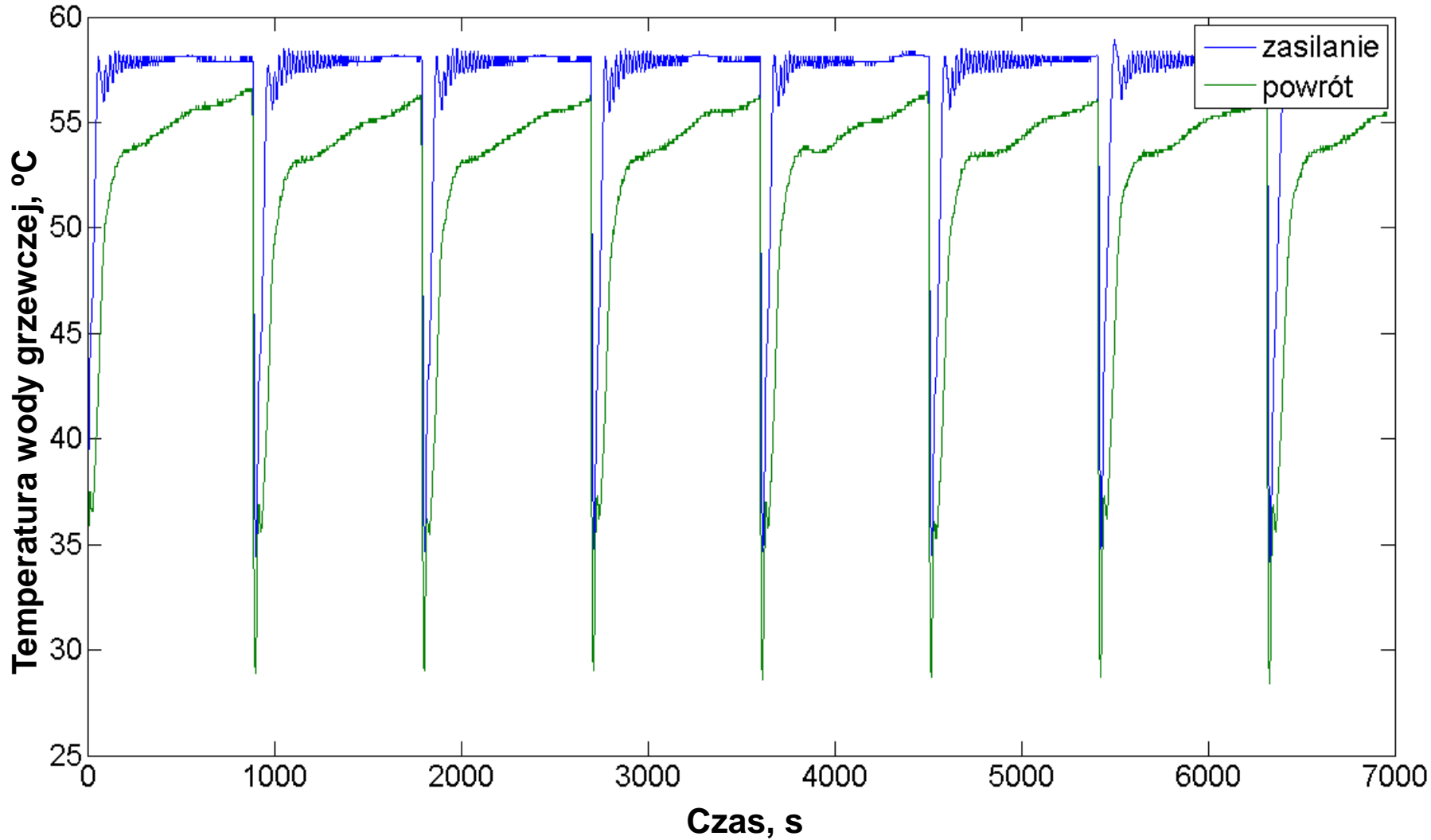


Przebieg temperatury wody lodowej parownika LP i HP dla temperatury wody grzewczej 56°C



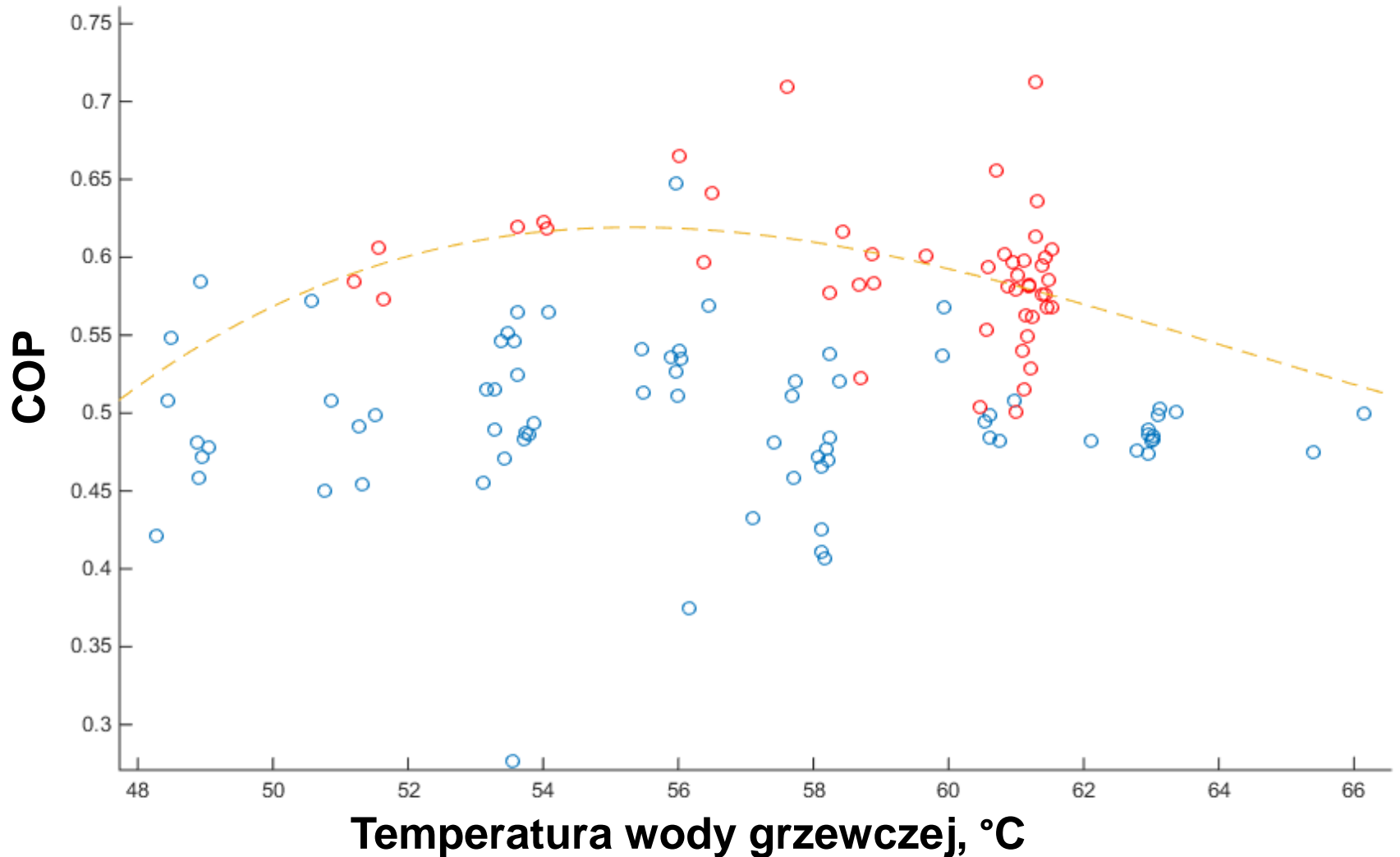


Przebieg temperatury wody grzewczej dla parametrów: temperatura wody chłodzącej 25°C, czas przełączania złoź 900 s



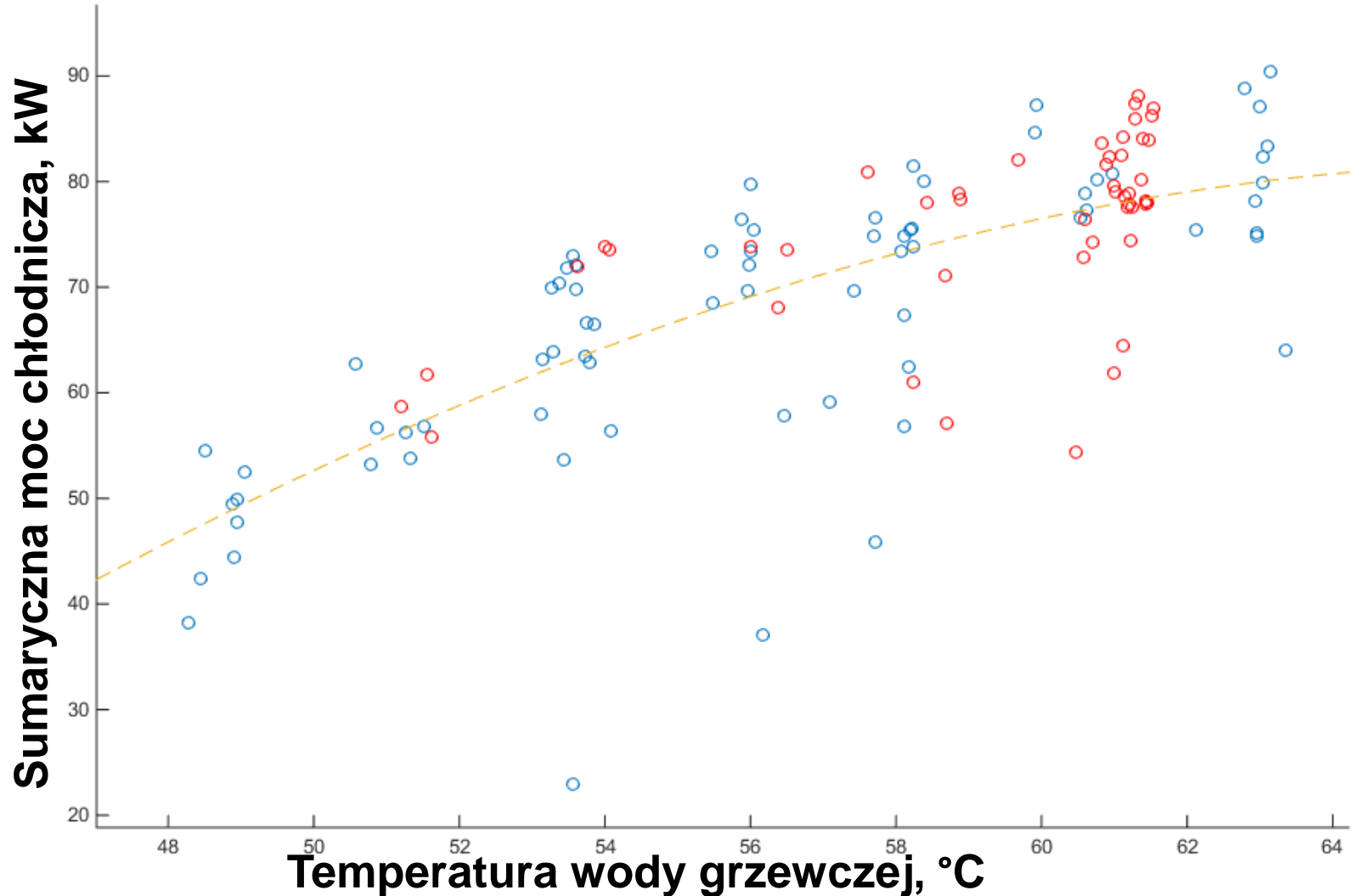


Zależność COP od temp. wody grzewczej dla temp. Wody chłodzącej 25°C i czasie przełączenia złoź 800 - 1000 s





Zależność sumarycznej mocy chłodniczej od temp. wody grzewczej dla temp. Wody chłodzącej 25°C i czasie przełączenia złoź 800 - 1000 s





Inne popularne pary robocze

- Silikażel wykazuje najlepsze parametry dla chłodziarek działających na potrzeby klimatyzacji w klimacie polskim,
- Zeolit / woda - może pracować przy wyższej temperaturze chłodzenia,
- węgiel aktywowany (lub porowate włókna węglowe) / metanol, etanol, amoniak, inne czynniki chłodnicze - możliwość uzyskania temperatury niższej od 0 °C