



Energetyka

Prof. Maciej Chorowski

Chłodnictwo & Kriogenika

Wykład 6 – Trigeneracja



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Politechnika Wrocławska

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY





Trigeneracja - definicja

Trigeneracja oznacza równoczesne wytwarzanie energii elektrycznej, ciepła i chłodu.

W stosunku do kogeneracji, trigeneracja stanowi rozbudowany moduł CHP o technologię 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), osiągnane temperatury wody lodowej wynoszą około 4-7 °C.



Moc elektryczna zainstalowana w Polsce (2015)

Elektrownia	Moc elektryczna	%
Całkowita moc zainstalowana	40 000 MW	100
▪ Elektrownie na węgiel kamienny	17 500 MW	45
▪ Elektrownie na węgiel brunatny	9 000 MW	22
▪ Kogeneracja z wykorzystaniem węgla	5 000 MW	12
▪ Kogeneracja z wykorzystaniem gazu	1 000 MW	2
▪ Elektrownie wodne	2 000 MW	5
▪ Elektrownie wiatrowe i pozostałe odnawialne źródła energii	5 500 MW	14

Raport PSE (Polskie Sieci Energetyczne)

Największe zakłady energetyczne w Polsce

PGE, PKE, ZE PAK, EDF, VATTENFALL



Moc elektryczna zainstalowana w Polsce (2015)

Elektrownia	Moc elektryczna	%	
Całkowita moc zainstalowana	40 000 MW	100	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elektrownie na węgiel kamienny ▪ Elektrownie na węgiel brunatny ▪ Kogeneracja z wykorzystaniem węgla ▪ Kogeneracja z wykorzystaniem gazu ▪ Elektrownie wodne ▪ Elektrownie wiatrowe i pozostałe odnawialne źródła energii 	<div style="font-size: 2em; font-weight: bold; margin-bottom: 10px;">WĘGIEL</div> <div style="border: 2px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; display: inline-block;"> <p>17 500 MW</p> <p>9 000 MW</p> <p>5 000 MW</p> </div> <div style="border: 2px solid green; border-radius: 50%; padding: 10px; display: inline-block; margin-top: 10px;"> <p>2 000 MW</p> <p>5 500 MW</p> </div> <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; margin-top: 10px;">ODNAWIALNE</div>	<p>45</p> <p>22</p> <p>12</p> <p>2</p> <p>5</p> <p>14</p>	
			79%
			19%
			12%
			2%
			5%
			14%

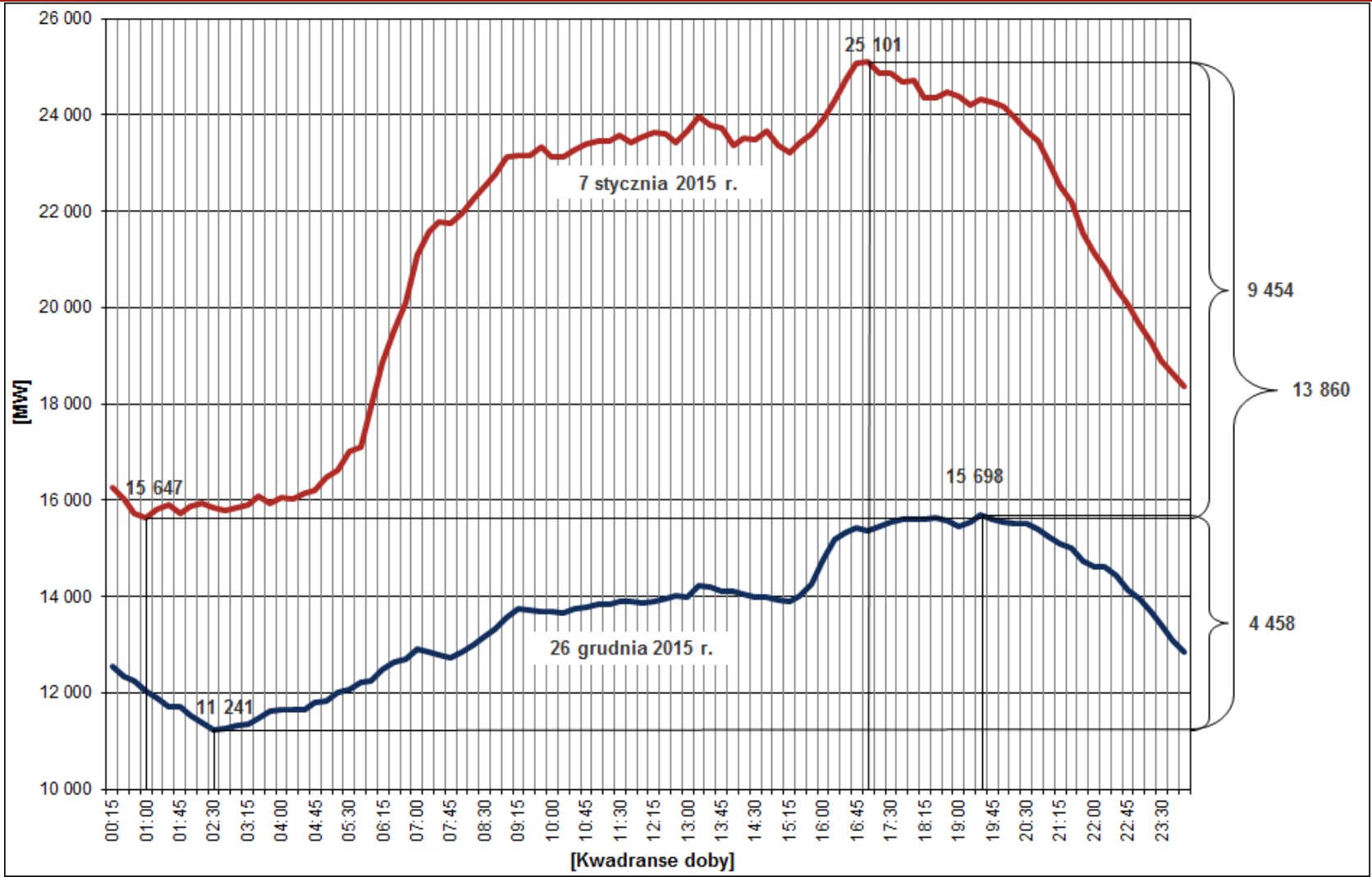
Raport PSE (Polskie Sieci Energetyczne)

Największe zakłady energetyczne w Polsce

PGE, PKE, ZE PAK, EDF, VATTENFALL



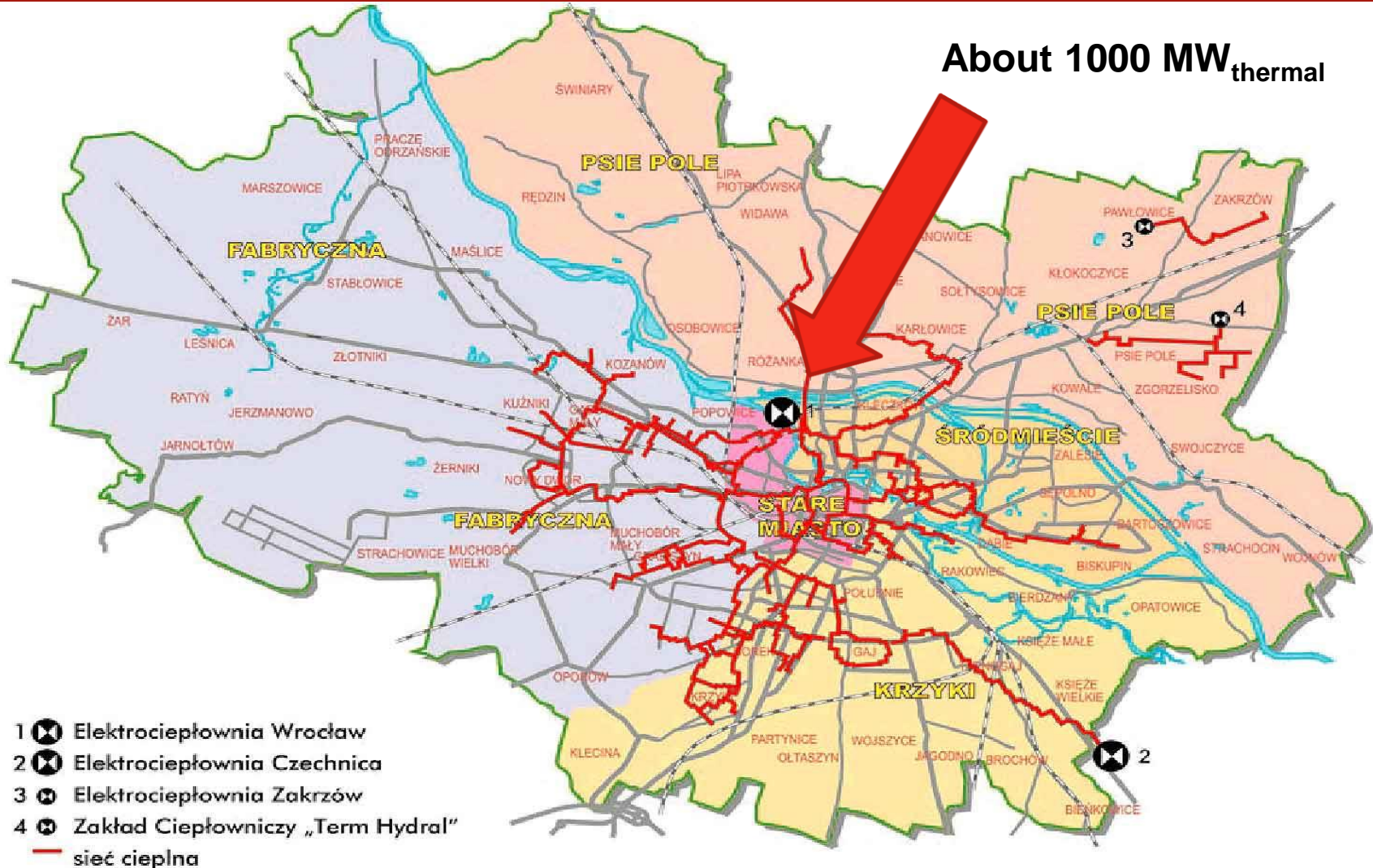
Przebiegi zapotrzebowania na energię elektryczną w dniach, w których wystąpiło minimalne i maksymalne krajowe zapotrzebowanie na moc w 2015 roku.





Wrocławski system dystrybucji ciepła. W lecie ciepła woda osiąga temperaturę około 65 °C.

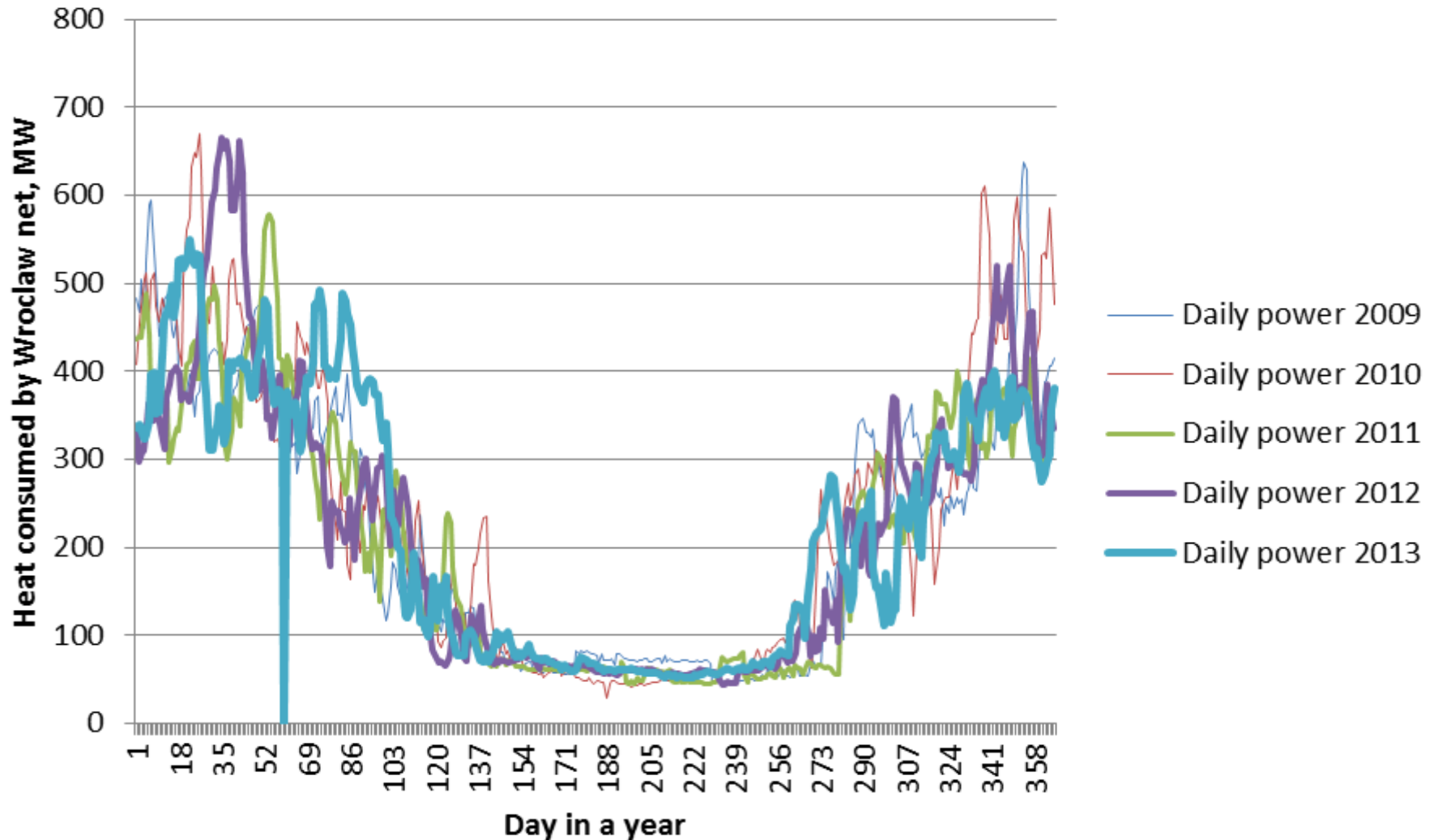
About 1000 MW_{thermal}



- 1 Elektrociepłownia Wrocław
- 2 Elektrociepłownia Czechnica
- 3 Elektrociepłownia Zakrzów
- 4 Zakład Ciepłowniczy „Term Hydral”
- sieć ciepłna



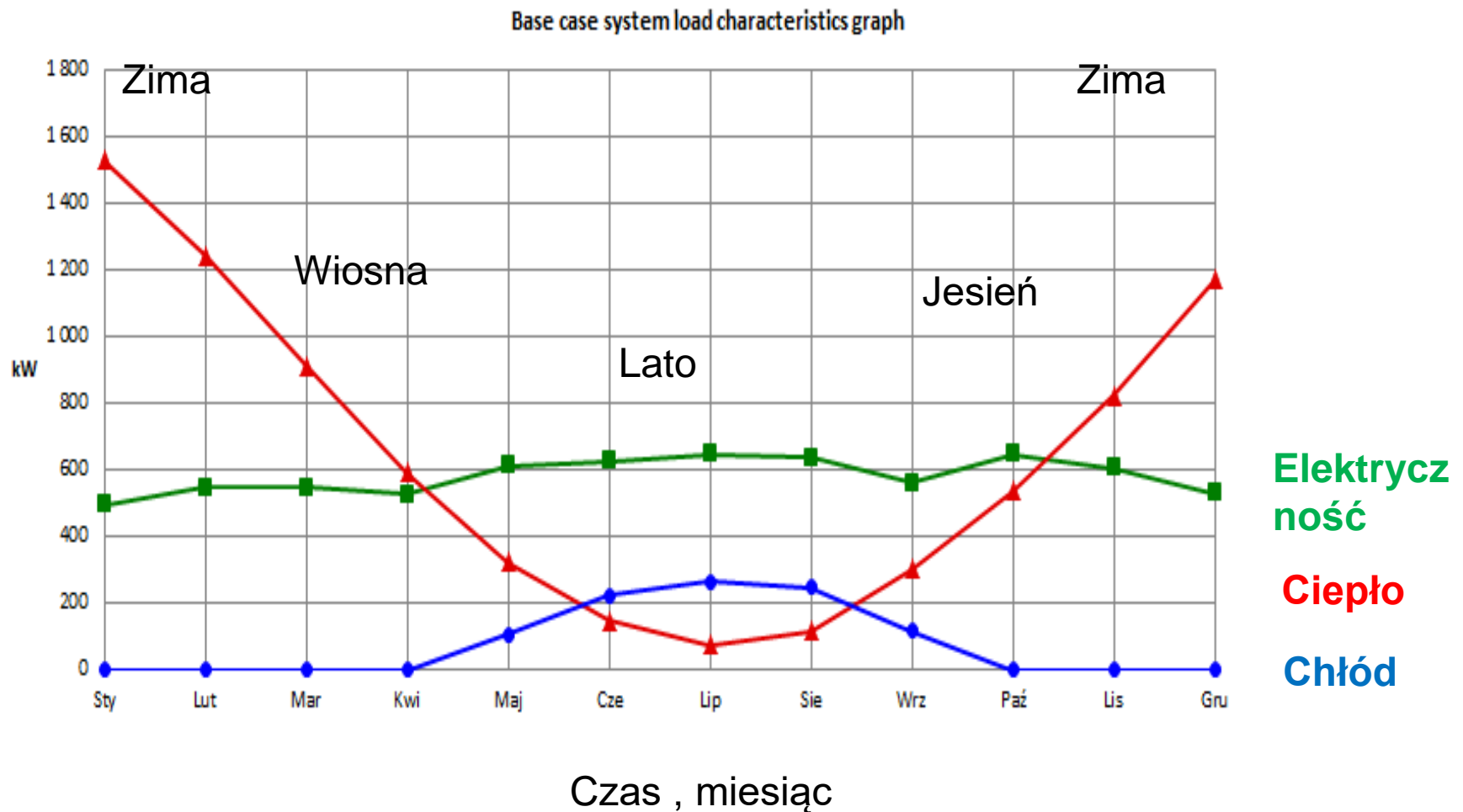
Konsumpcja ciepła z kogeneracji we Wrocławiu, dane dla 2009 - 2013





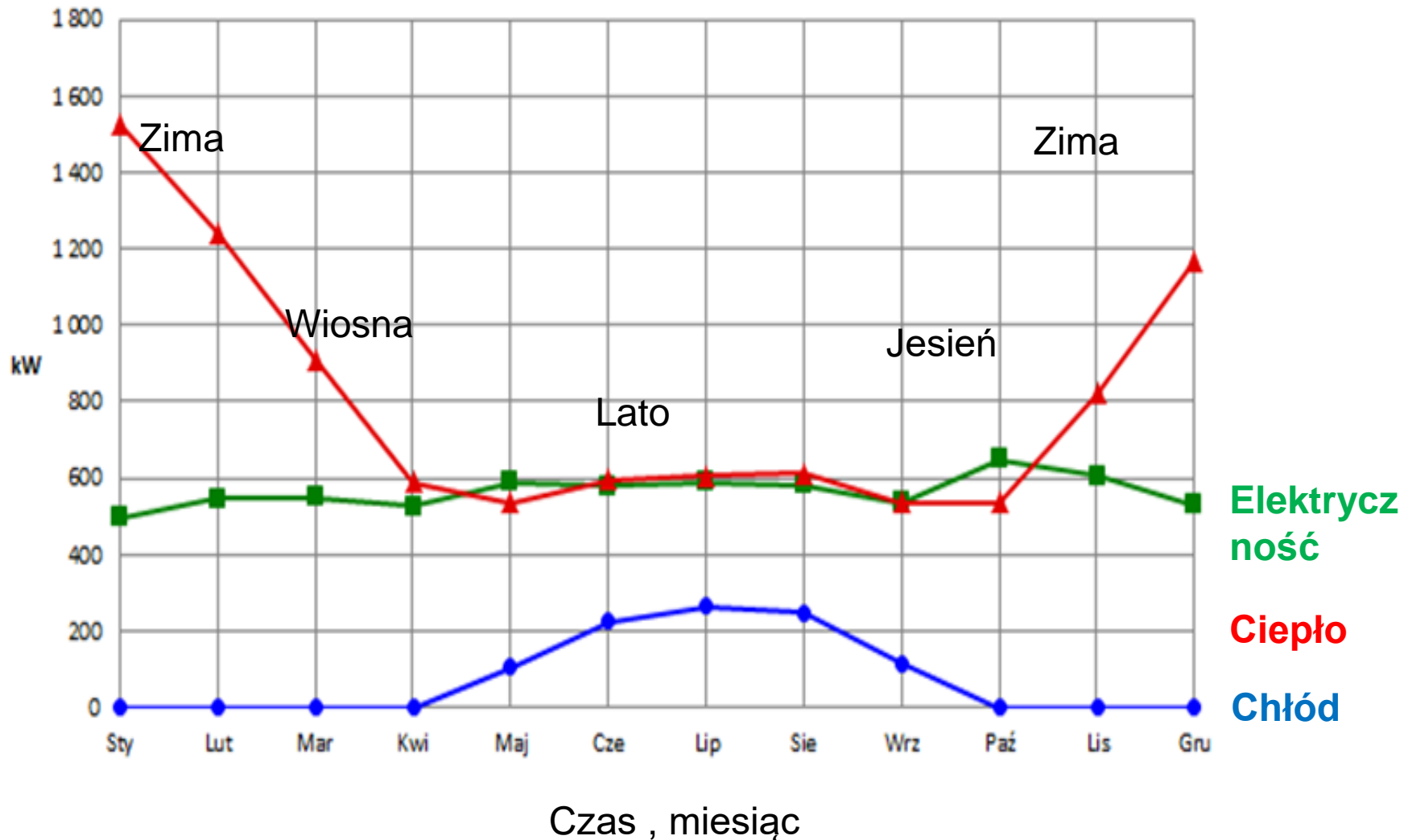
Przykładowe zużycie elektryczności, ciepła i chłodu przez budynek mieszkalny w cyklu rocznym

maksymalne zapotrzebowanie: na ciepło (zima) - 1,5 MW, na chłód (lato) - 300 kW, na energię elektryczną (cały rok) - około 600 kW





Chłodziarki adsorpcyjne mogą wytworzyć zapotrzebowanie na ciepło o temperaturze 65 °C w okresie letnim, powodując równocześnie spadek zapotrzebowania na energię elektryczną



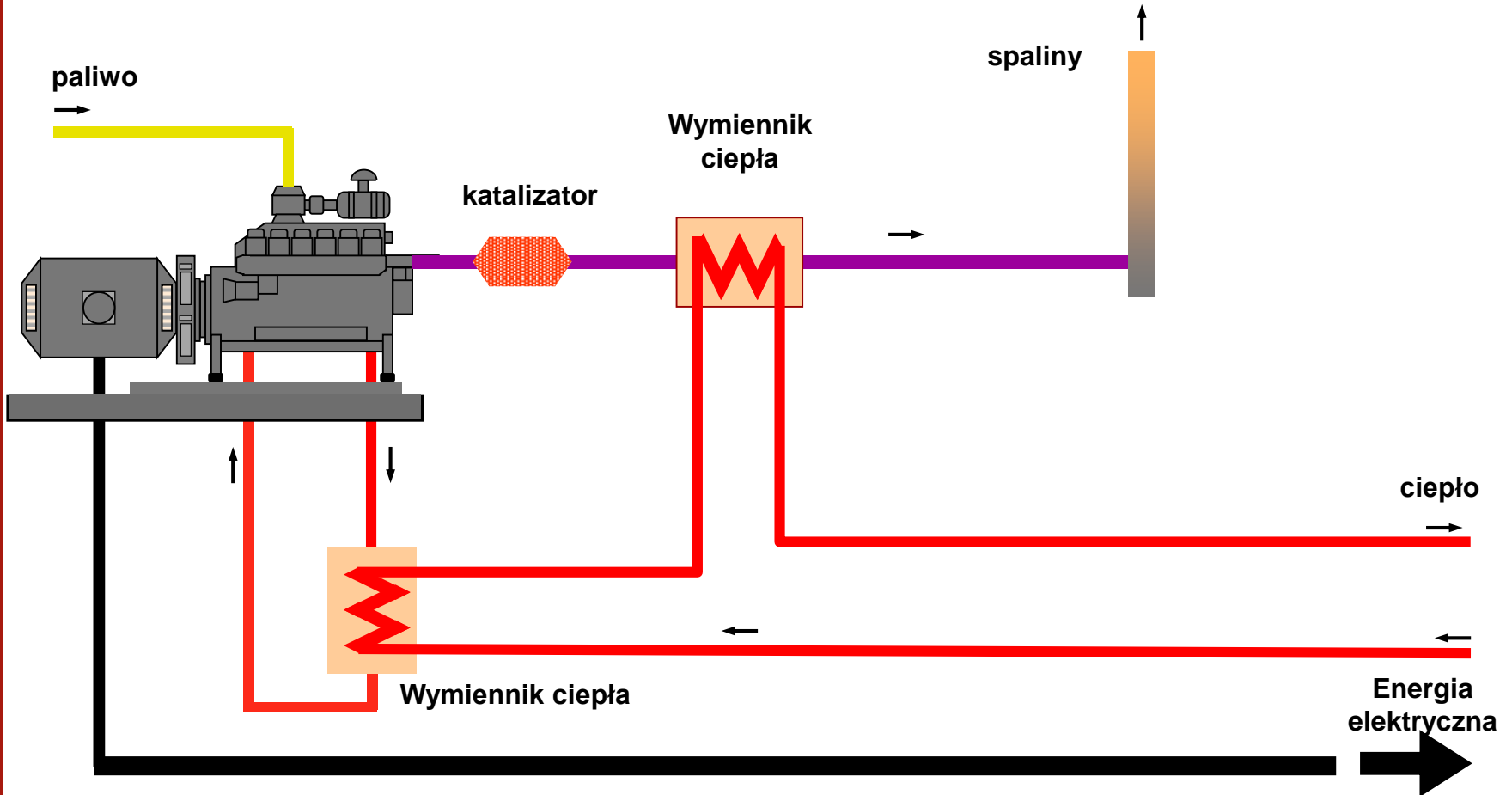


Trigeneracja - termodynamika

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).

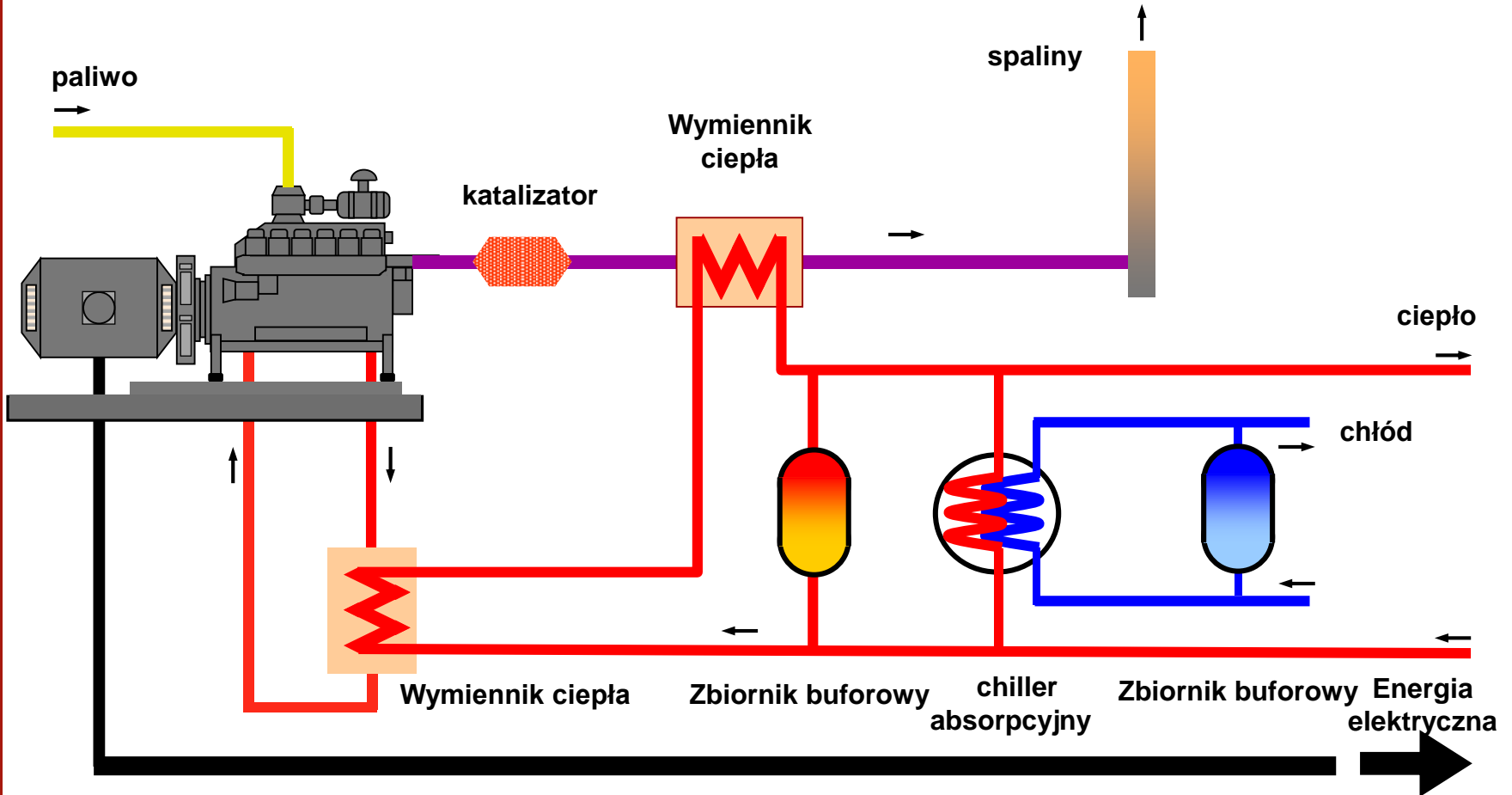


Moduł kogeneracyjny





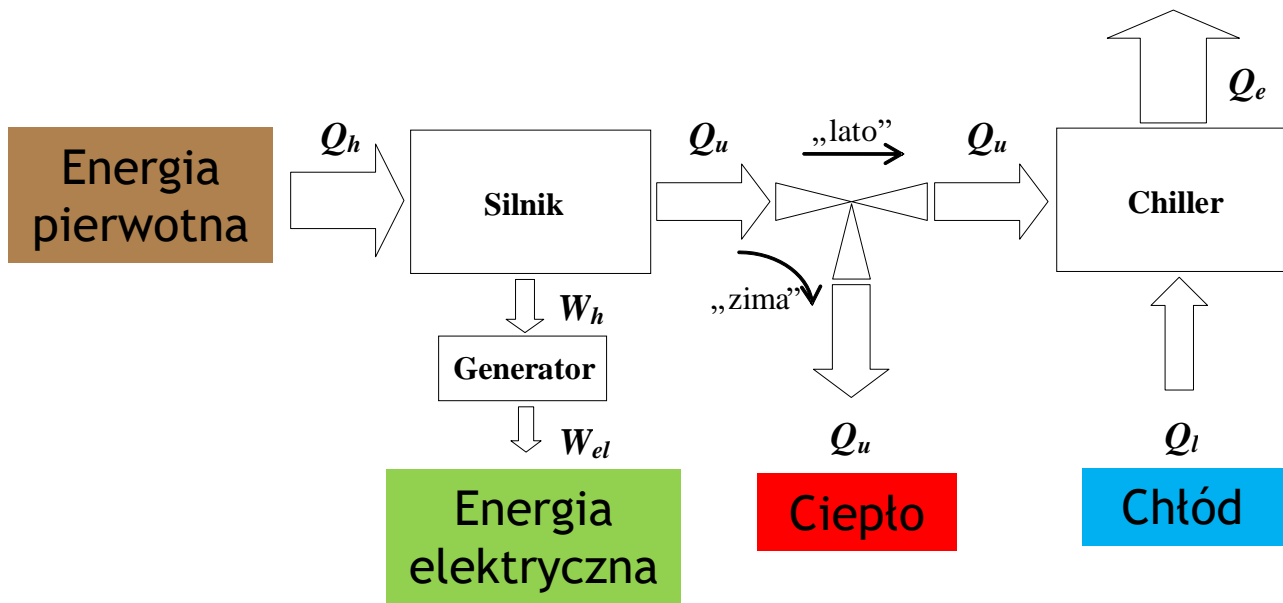
Moduł trigeneracyjny





System trigeneracyjny - rozbudowana kogeneracja

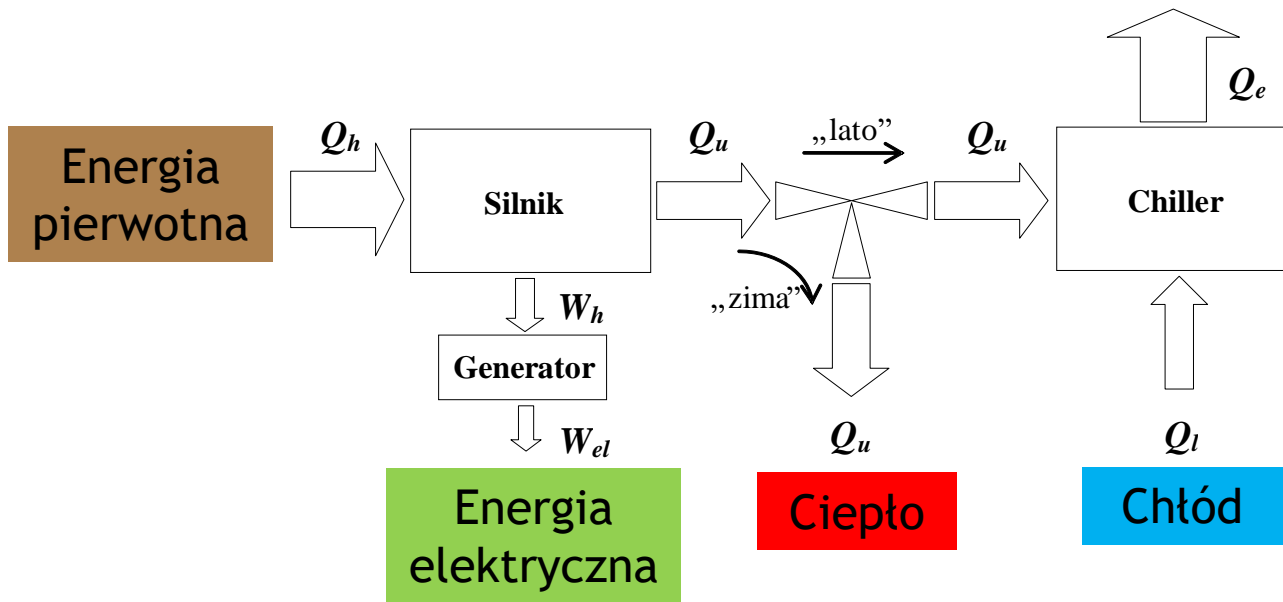
Trigeneracja oznacza równoczesne wytwarzanie energii elektrycznej, ciepła i chłodu



System trigeneracyjny

Istota trigeneracji:

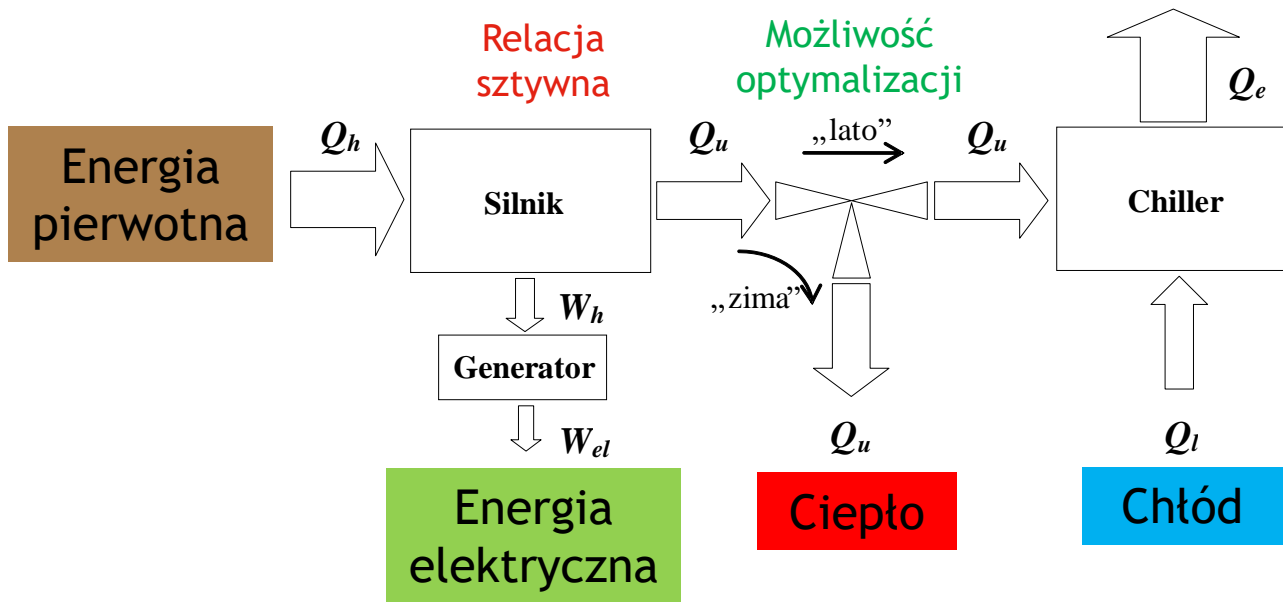
- Sprzężenie termodynamiczne relacji mocy elektrycznej do cieplnej
- Brak stałych relacji pomiędzy strumieniami ciepła i zimna



System trigeneracyjny

Istota trigeneracji:

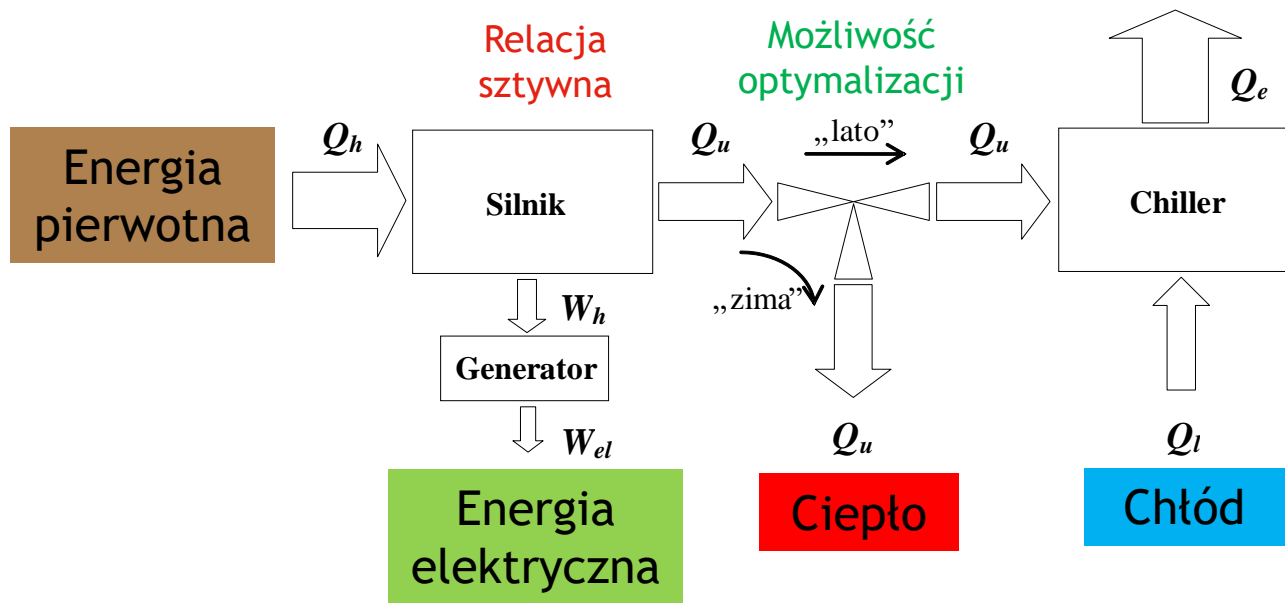
- Sprzężenie termodynamiczne relacji mocy elektrycznej do ciepłej
- Brak stałych relacji pomiędzy strumieniami ciepła i zimna



System trigeneracyjny

Istota trigeneracji:

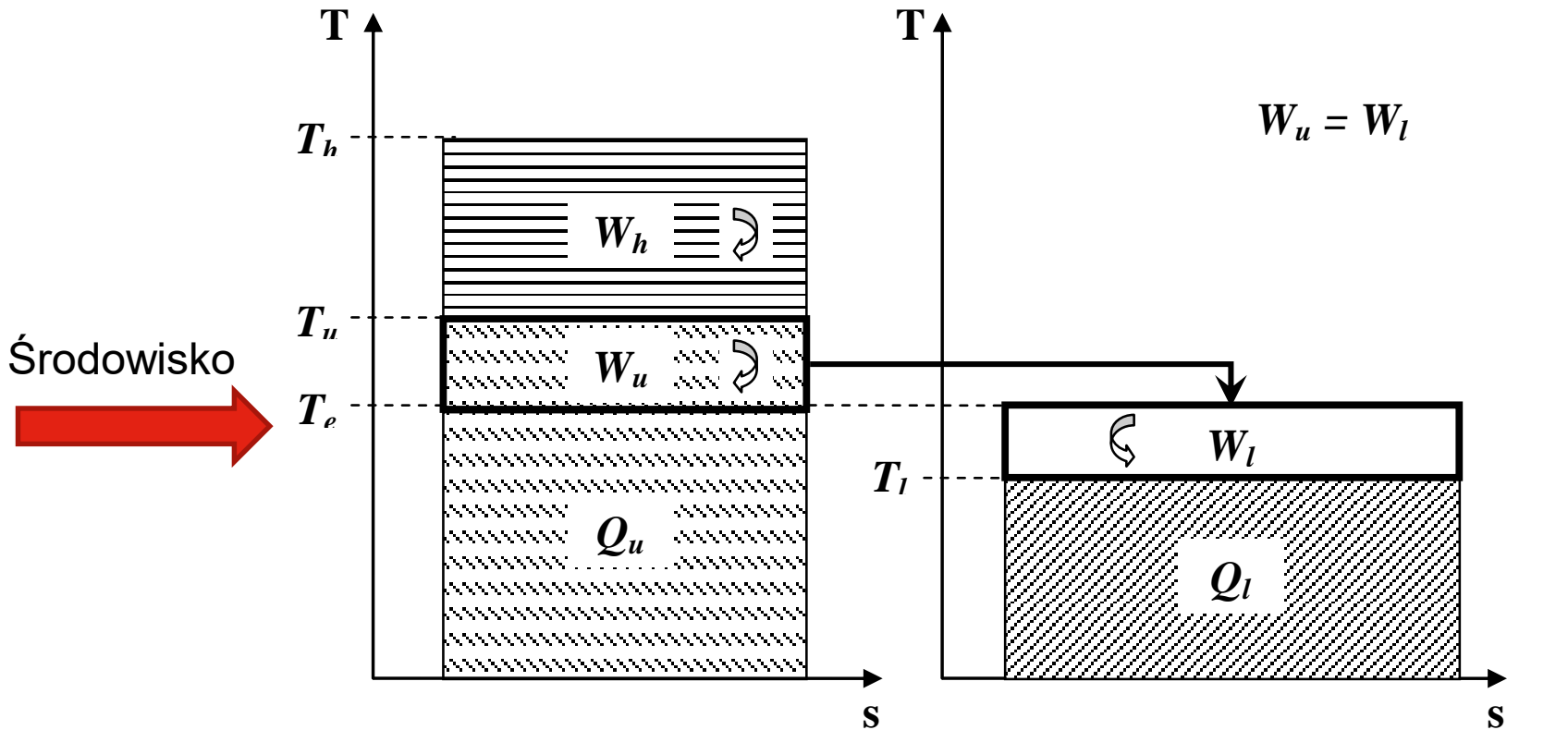
- Sprzężenie termodynamiczne relacji mocy elektrycznej do ciepłej
- Brak stałych relacji pomiędzy strumieniami ciepła i zimna



Trudnością w projektowaniu systemów trigeneracyjnych jest określenie optymalnych mocy wytwarzanej energii elektrycznej, ciepłej i chłodniczej z uwzględnieniem polityki certyfikatów energetycznych



Trigeneracja - model termodynamiczny



$$\frac{Q_h}{W_h} = \frac{T_h}{T_h - T_u}$$

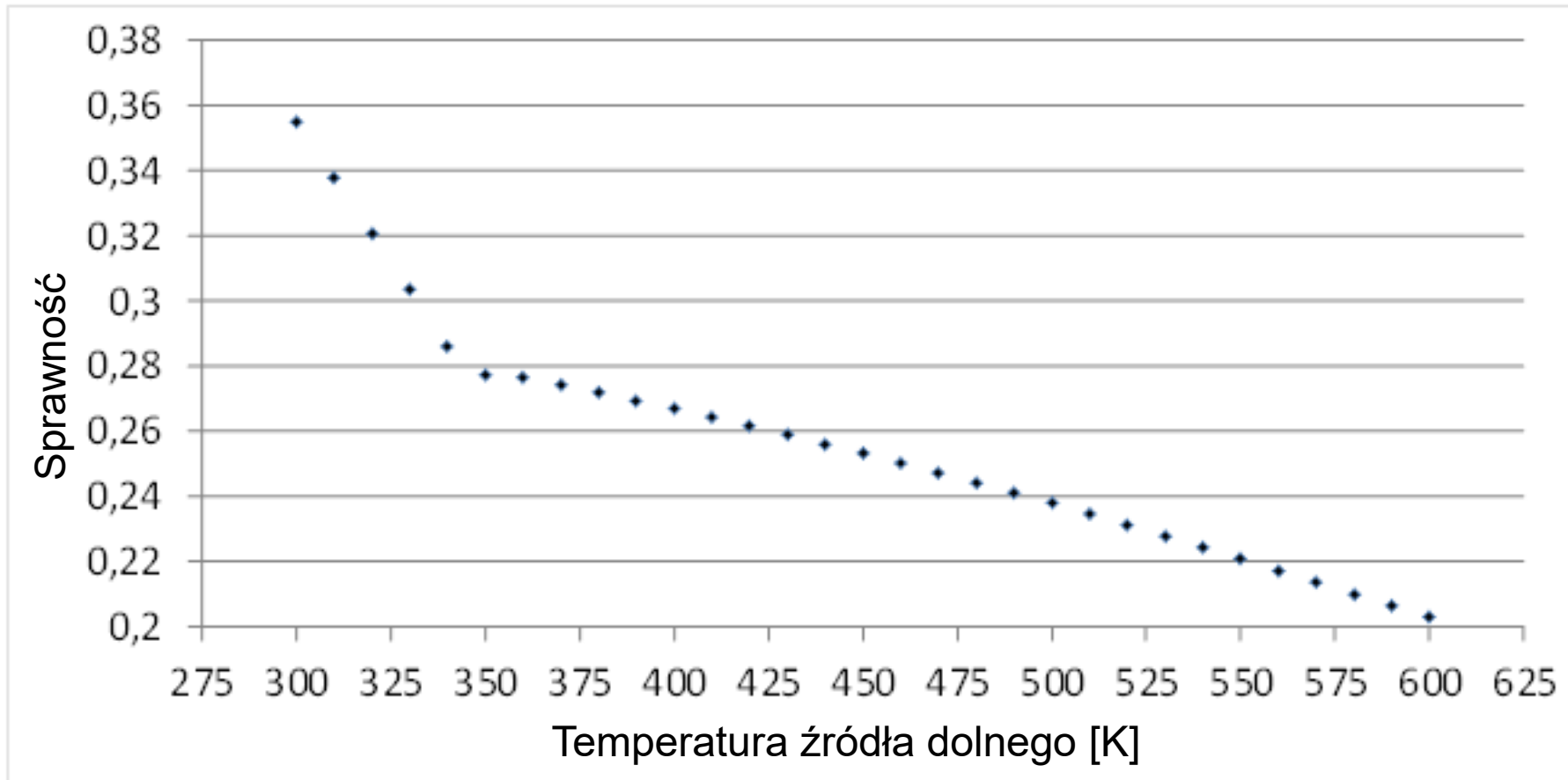
$$\frac{Q_h}{Q_u} = \frac{T_h}{T_u}$$

$$\frac{Q_h}{Q_l} = \frac{T_h(T_e - T_l)}{T_u(T_u - T_l)}$$

Przepływy energii nie są niezależne



Cena kogeneracji - utrata efektywności cyklu Rankina





Trigeneracja w zakładzie gazowniczym w Rzeszowie



Trigeneracja

Gaz ziemny

Moc elektryczna: 116 kW

Moc cieplna : 198 kW

Moc chłodnicza: 122 kW

Moduł CHP i Chiller absorpcyjny zainstalowane są w kontenerach.
Chłód wykorzystywany jest w systemie klimatyzacyjnym budynku.

Trigeneracyjny system klimatyzacji kopalni miedzi

Przykładowe zapotrzebowania energetyczne pojedynczego szybu

Moc elektryczna: 6 - 16 MW (zapotrzebowanie zmienne)

Moc cieplna: 2 - 17 MW (zależnie od temperatury powietrza atm.)

Moc chłodnicza: 11 MW (zasadniczo stałe zapotrzebowanie)

Obecne rozwiązanie:

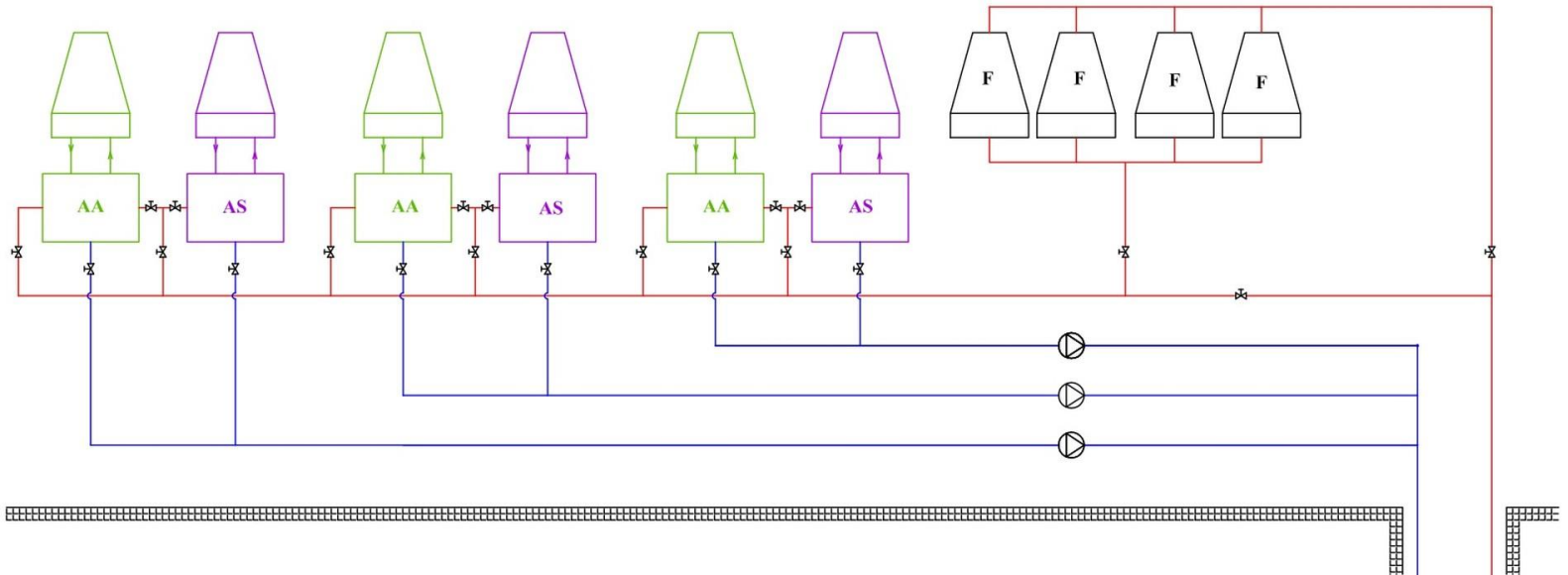
Ciepło dla chillerów absorpcyjnych i dla potrzeb grzewczych pochodzi z ciepłowni zlokalizowanej około 10 km od szybu.



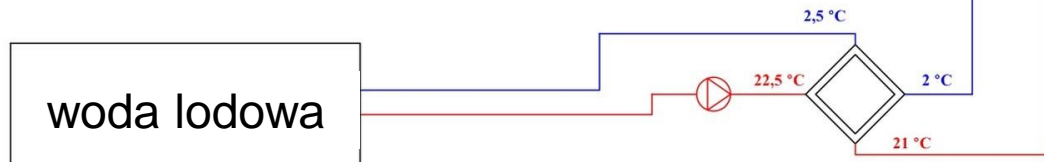
System klimatyzacji kopalni miedzi - temperatura skał: 46 °C, obecny system

Moduły kompresorowo-absorpcyjne

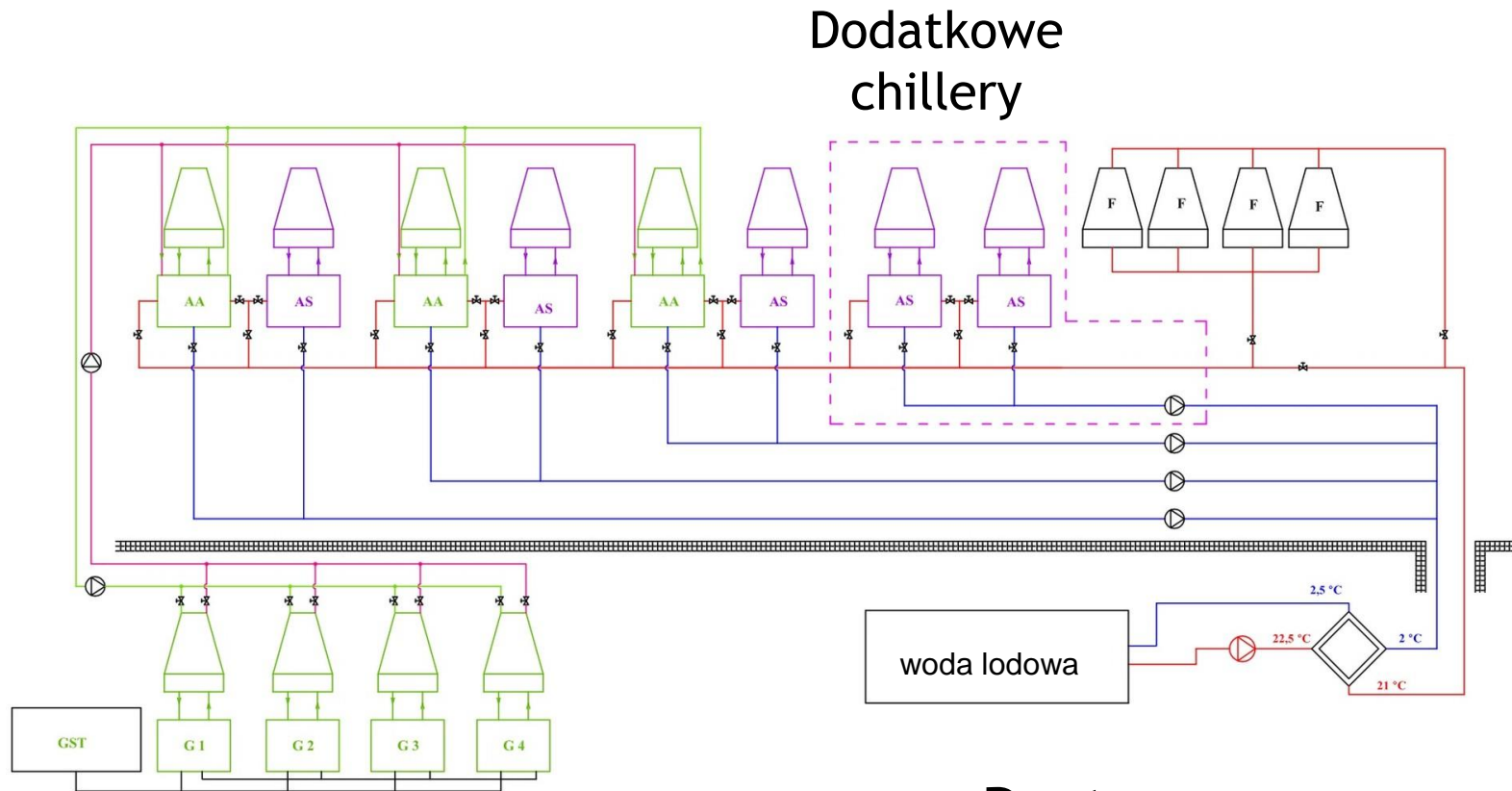
Instalacja chłodzenia
swobodnego



Zapotrzebowanie na moc
chłodniczą: 11 MW



Rozbudowa systemu klimatyzacji

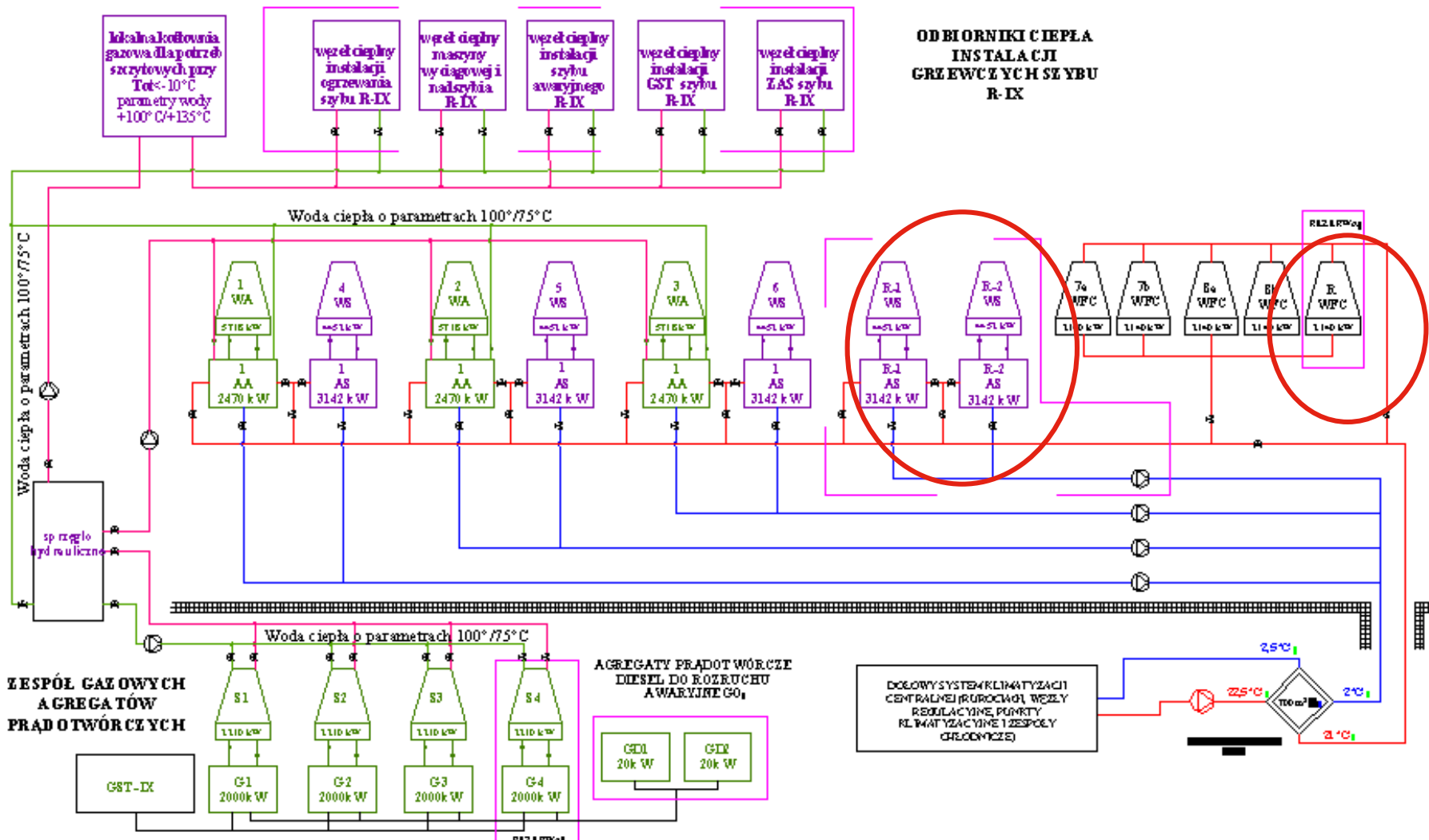


System trigeneracyjny oparty o cztery agregaty zasilane gazem ziemnym

Dostępna moc chłodnicza: 17.5 MW

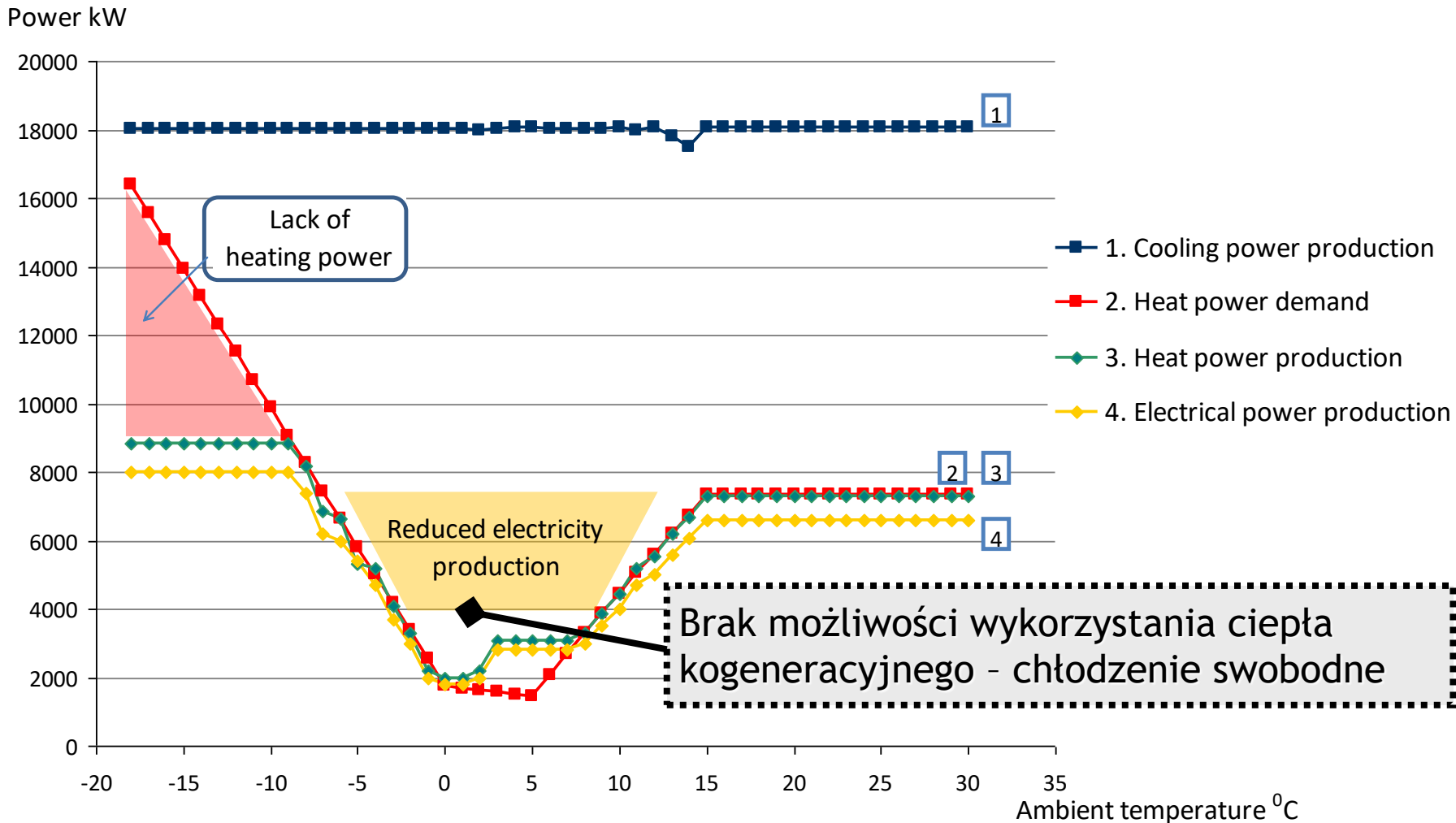


System trigeneracyjny po rozbudowie



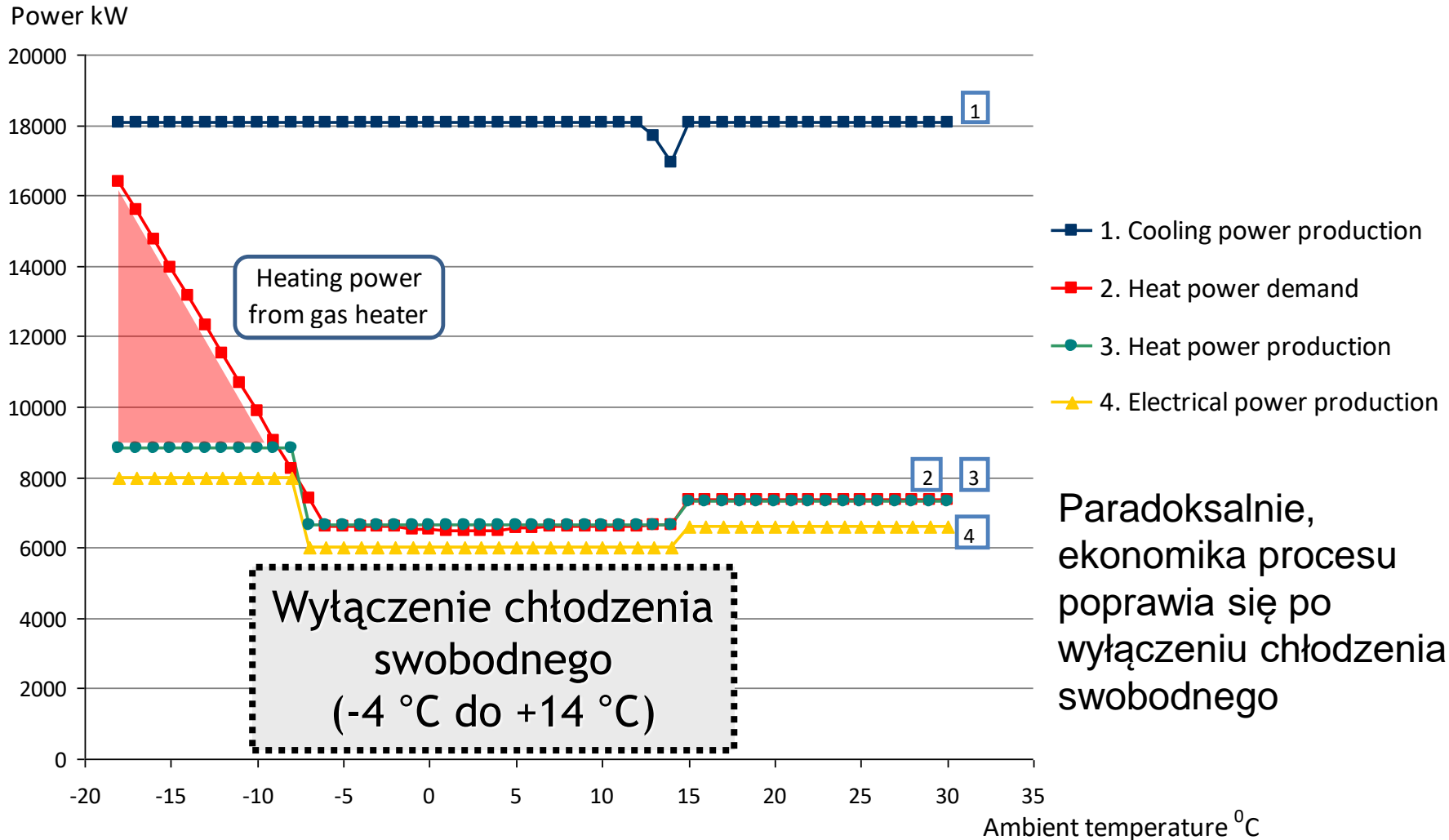


Zapotrzebowanie na moc elektryczną i ciepłą w zależności od temperatury powietrza atmosferycznego





Optimalizacja działania systemu trigeneracyjnego pod względem maksymalizacji produkcji energii elektrycznej





Analiza sprawności termodynamicznej

Sprawność energetyczna EUF (*Energy Utilization Factor*) może być opisana następującym worem:

$$EUF = \frac{N_{el} + \dot{Q}_u + \dot{Q}_l}{\dot{E}_{ch}}$$

N_{el} = moc elektryczna [W]

\dot{Q}_l = moc chłodnicza w temp. T_l [W]

\dot{Q}_u = moc cieplna w temp. T_u [W]

\dot{E}_{ch} = energia chemiczna paliwa [W]

	Obecny system	System trigeneracyjny
EUF (systemu absorpcyjnego)	0.51	0.33
EUF (systemu kompresorów)	1.40	1.91
EUF (produkcji energii el.)	0.29	0.40
EUF (razem)	0.58	1.39



Analiza sprawności termodynamicznej- wnioski

- Analiza sprawności pokazuje, że system trigeneracyjny pozwala na lepsze wykorzystanie energii pierwotnej paliwa.
- Dodatkowym atutem zaproponowanego systemu trigeneracyjnego jest możliwość uzyskania dodatkowych przychodów w ramach tak zwanych „żółtych certyfikatów”. Certyfikaty te sprawiają, że, w pewnym zakresie temperatur, wykorzystywanie chłodzenia swobodnego staje się nie ekonomiczne.



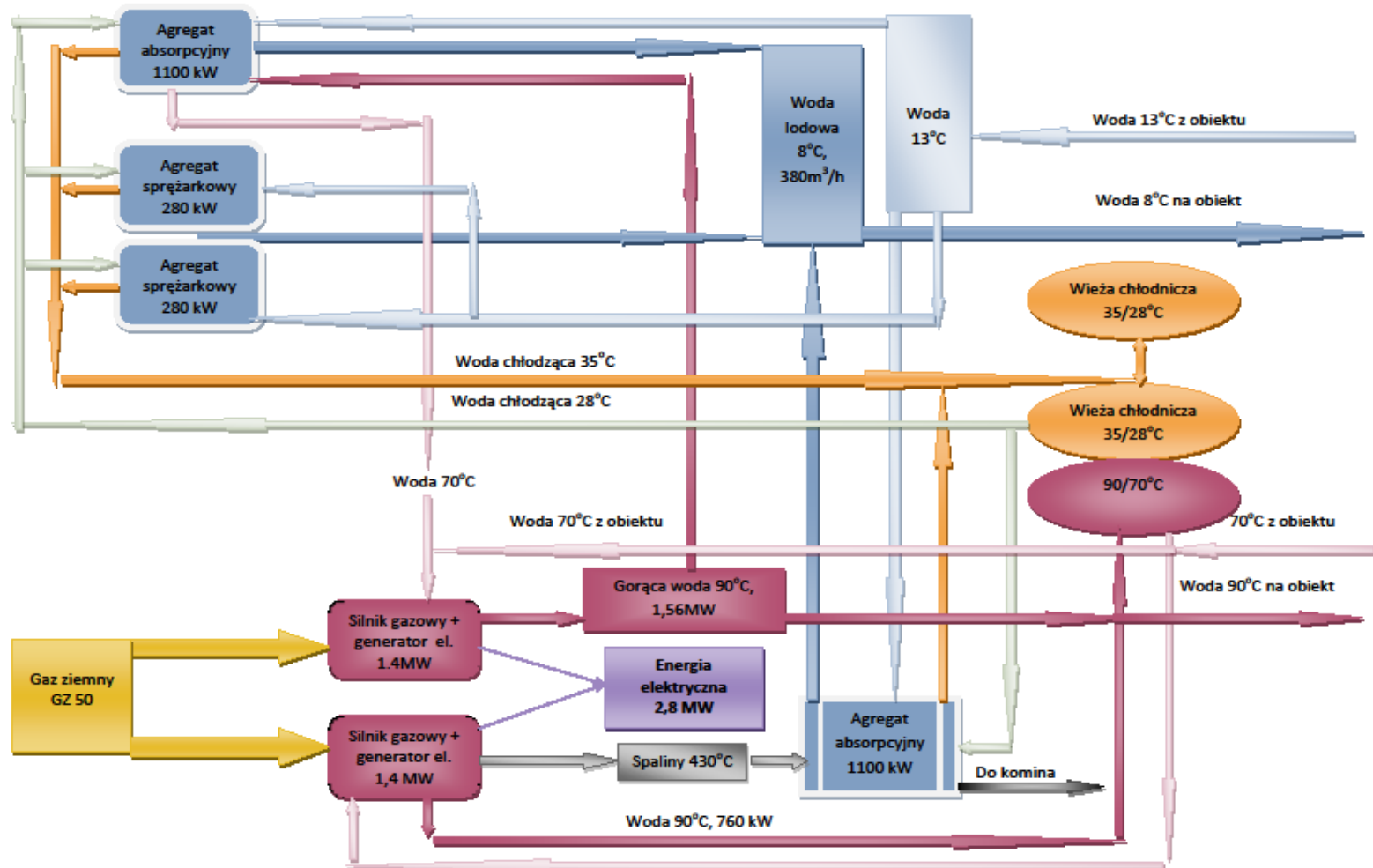
Trigeneracja - wnioski

- Trigeneracja jest naturalnym następstwem instalacji kogeneracyjnych. Pozwala na szersze wykorzystanie ciepła kogeneracyjnego, zwłaszcza w sezonie letnim.
- Jako, że relacje pomiędzy poszczególnymi strumieniami energii ograniczone są II Zasadą Termodynamiki, skalowanie jednostki trigeneracyjnej oraz dobór technologii mogą napotkać problemy natury praktycznej.
- Jako, że w głębokim szybie kopalnianym temperatura powietrza jest w zasadzie niezależna od temperatury powietrza atmosferycznego, kopalnie są idealnym miejscem do zastosowania systemu trigeneracyjnego.



Przykład węzła trigeneracyjnego - WPT

WPT układ produkcji energii elektrycznej, ciepła i chłodu



RACYJNY
G1400-GZ



14.08.2012

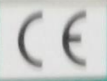


14.08.2012



Power
Generation

HORUS
ENERGIA



14.08.2012



14.08.2012



14.08.2012



14.08.2012



ME-EG-1400 860

14.08.2012