



Adam Jerzy Rajewski

Zakład Termodynamiki
Instytut Techniki Ciepłej
Politechnika Warszawska



SYSTEMY CIEPŁOWNICZE

ODBIORCY CIEPŁA

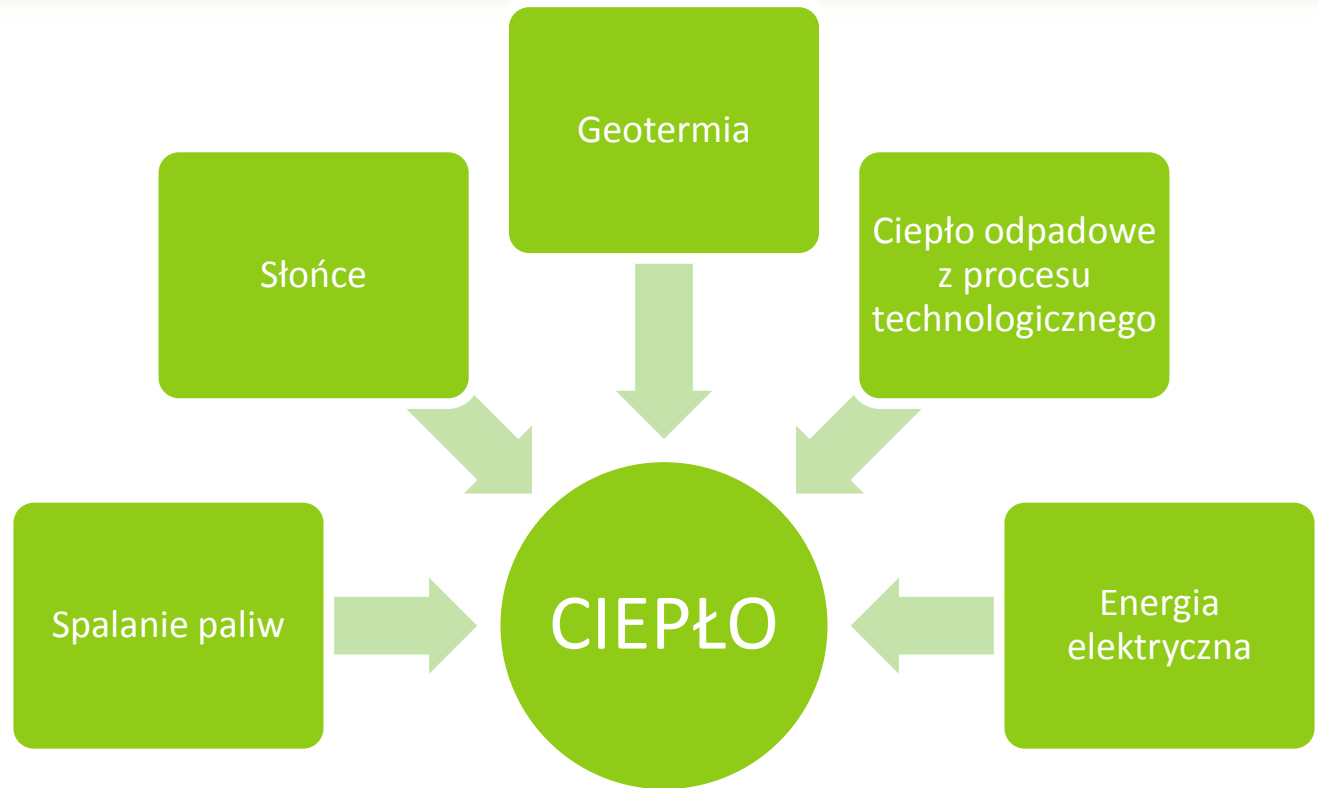
Gospodarstwa domowe

- Ciepła woda użytkowa, 60°C
- Ogrzewanie (sezonowe, zależne od lokalizacji)

Przemysł

- Ogrzewanie pomieszczeń (sezonowe, zależne od lokalizacji i wymagań procesowych)
- Ciepło technologiczne (zależne od procesu, może być aż do 1000°C)

ŹRÓDŁA CIEPŁA



WYTWARZANIE CIEPŁA

Rozproszone

- Kotły domowe
- Zakładowe ciepłownie i elektrociepłownie

Scentralizowane

- Sieci ciepłownicze
- Duże ciepłownie i elektrociepłownie

SIECI CIEPŁOWNICZE A OGRZEWANIE INDYWIDUALNE

Sprawność

- Duży zakład ma na ogół wyższą sprawność,
- a kogeneracja pozwala na lepsze wykorzystanie paliwa,
- ...ale duża sieć ciepłownicza = straty.

Wpływ na środowisko

- Duży zakład wyposażony jest w lepsze układy oczyszczania spalin (KRAKÓW!!!)...
- ...ale w pewnych przypadkach indywidualne ogrzewanie wykorzystuje czystsze paliwo (Warszawa: gaz zamiast węgla).

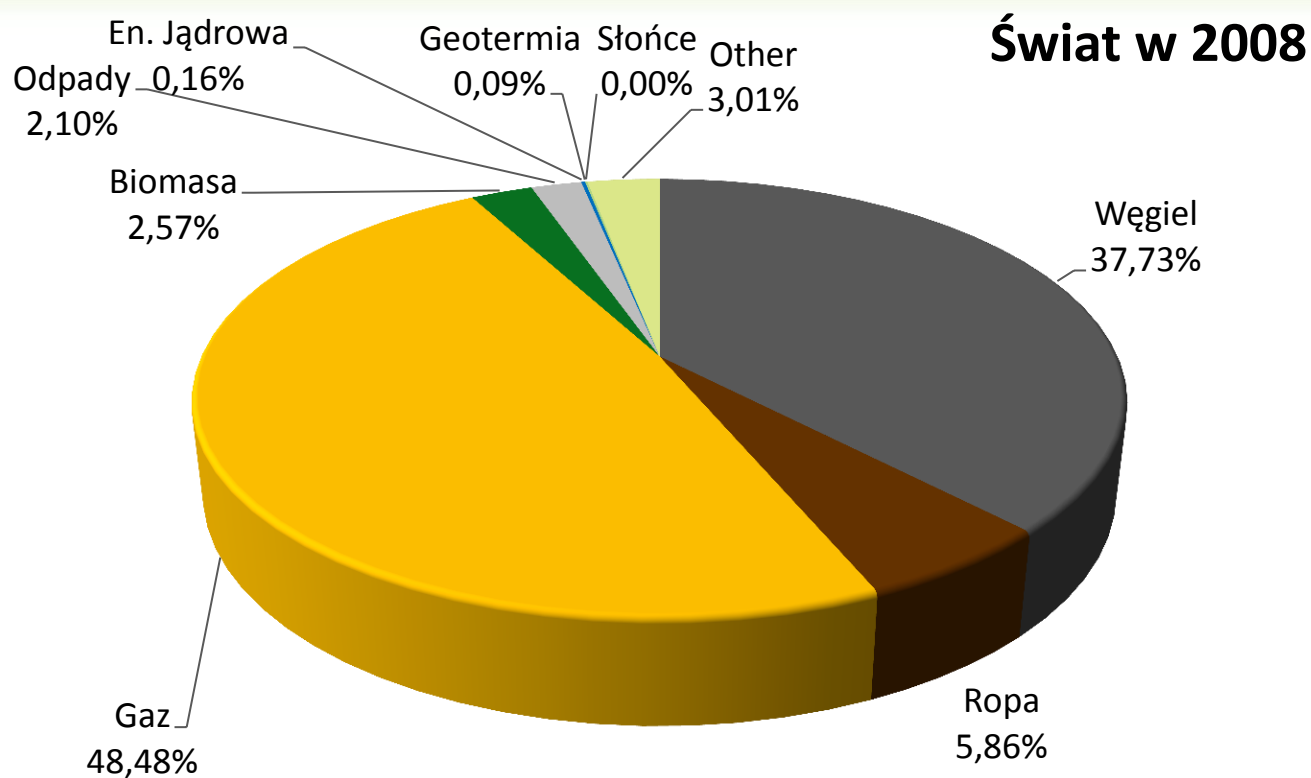
Ekonomia

- Większy zakład = tańsze paliwo...
- ...ale większy zakład = większa inwestycja...
- ...a system ciepłowniczy to inwestycja NAPRAWDĘ długoterminowa.

**System ciepłowniczy jest wygodny
jeśli ma kto zań zapłacić!**

ŹRÓDŁA CIEPŁA

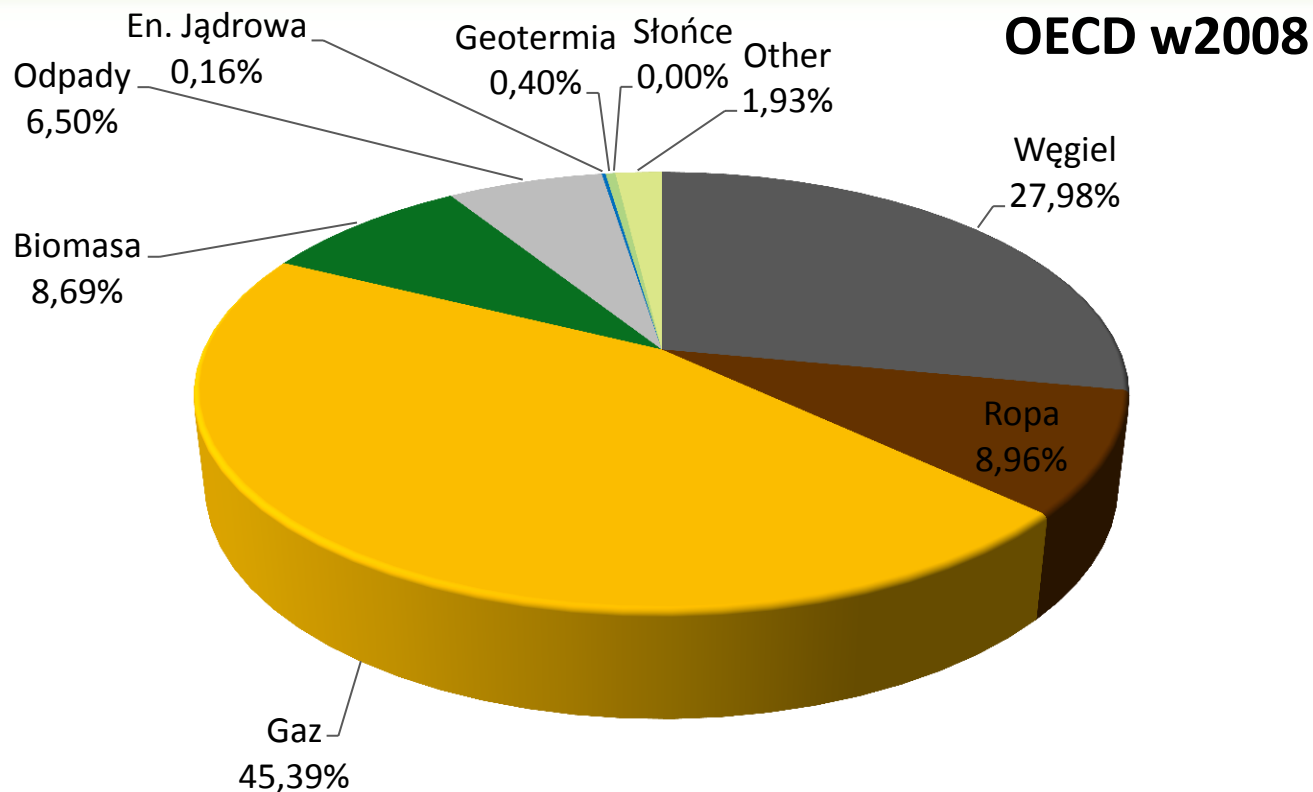
INSTALACJE ZAWODOWE / PRZEMYSŁOWE



Dane za:

ŹRÓDŁA CIEPŁA

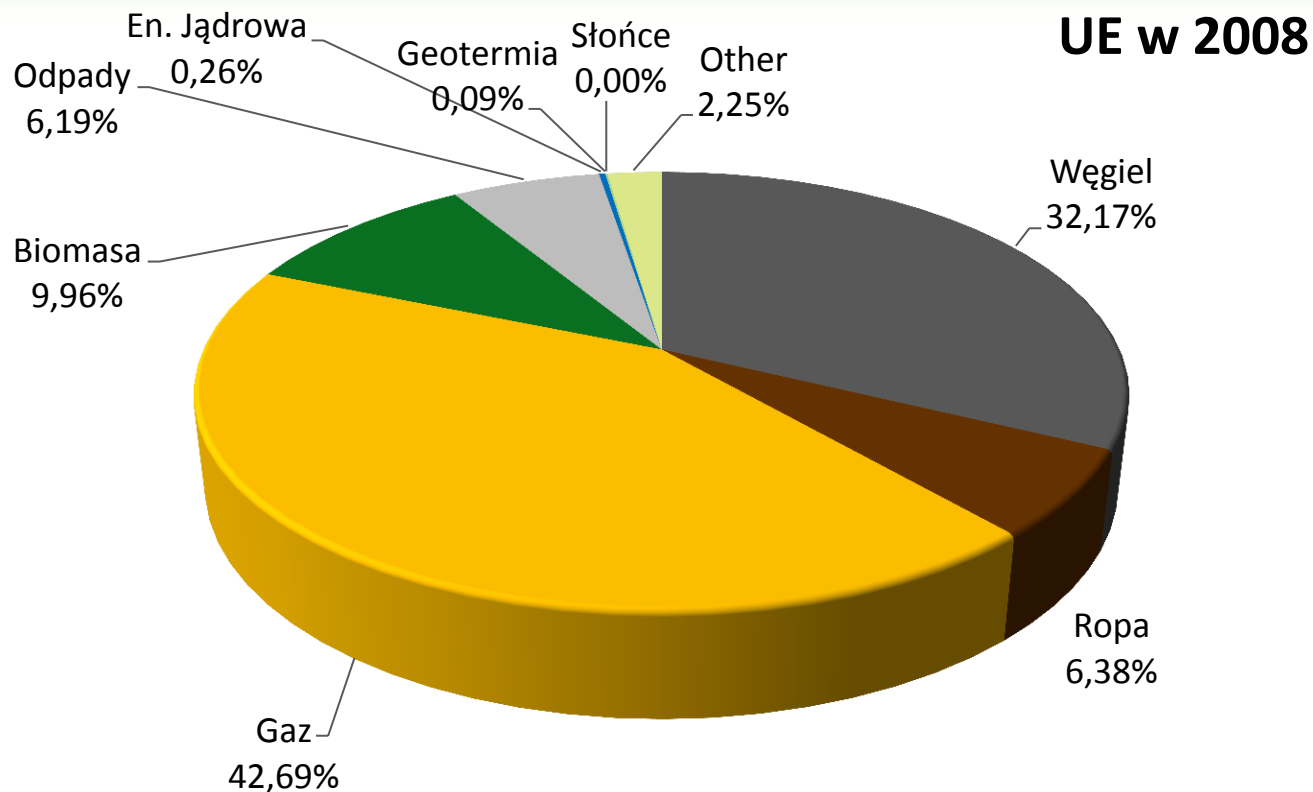
INSTALACJE ZAWODOWE / PRZEMYSŁOWE



Dane za:

ŹRÓDŁA CIEPŁA

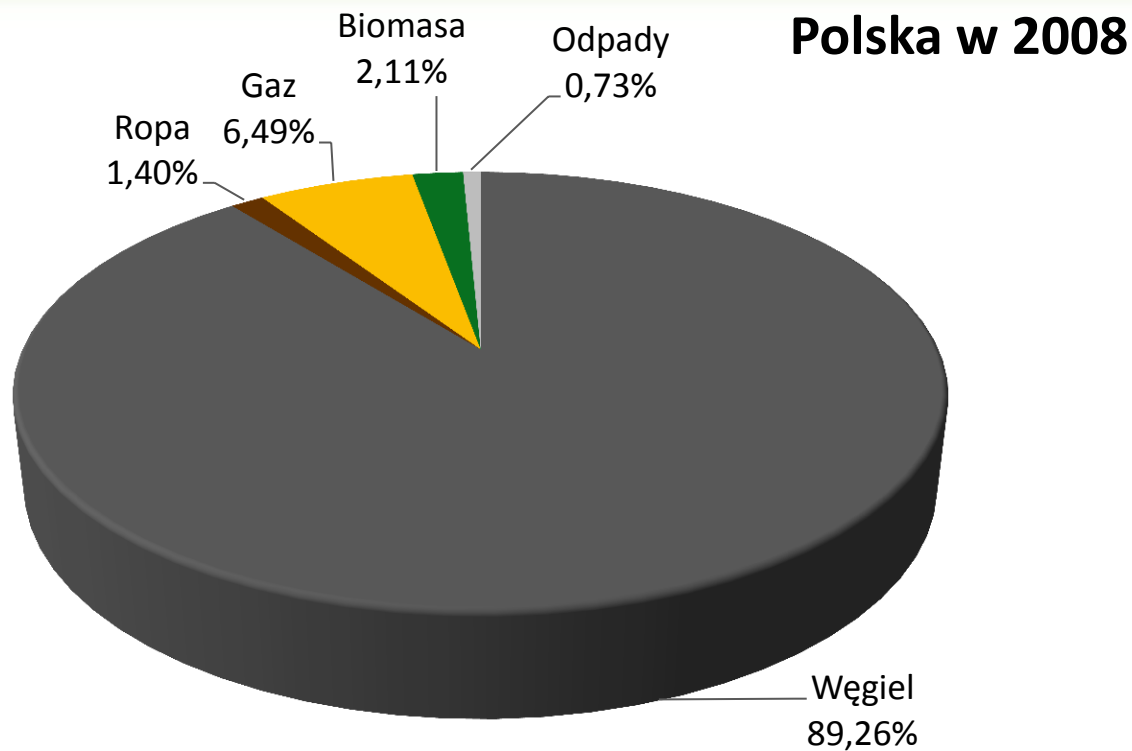
INSTALACJE ZAWODOWE / PRZEMYSŁOWE



Data by:

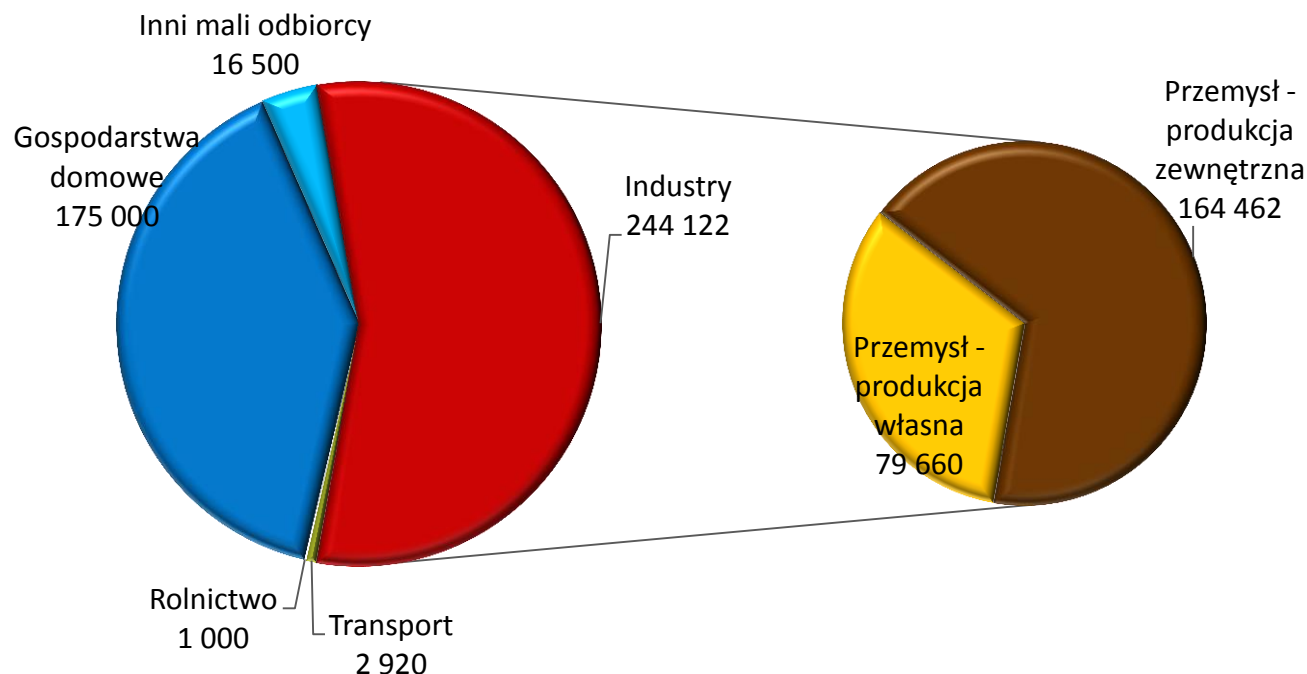
ŹRÓDŁA CIEPŁA

INSTALACJE ZAWODOWE/PRZEMYSŁOWE



Dane za:

ZUŻYCIE CIEPŁA W POLSCE [TJ] 2008



Dane wg:



PRODUKCJA CIEPŁA W POLSCE

Sektor	Produkcja w 2009 [TJ]
Elektrownie zawodowe	184 162,5
Elektrownie przemysłowe ciepłne	11 961,8
Kotły wodne w elektrowniach zawodowych	28 441,9
Ciepłownie zawodowe	76 068,6
Inne ciepłownie	8 166,0
Koksownie	2 166,7
Elektrociepłownie spalające odpady i biomasę	1 245,3

łącznie 312 PJ

Dane wg:



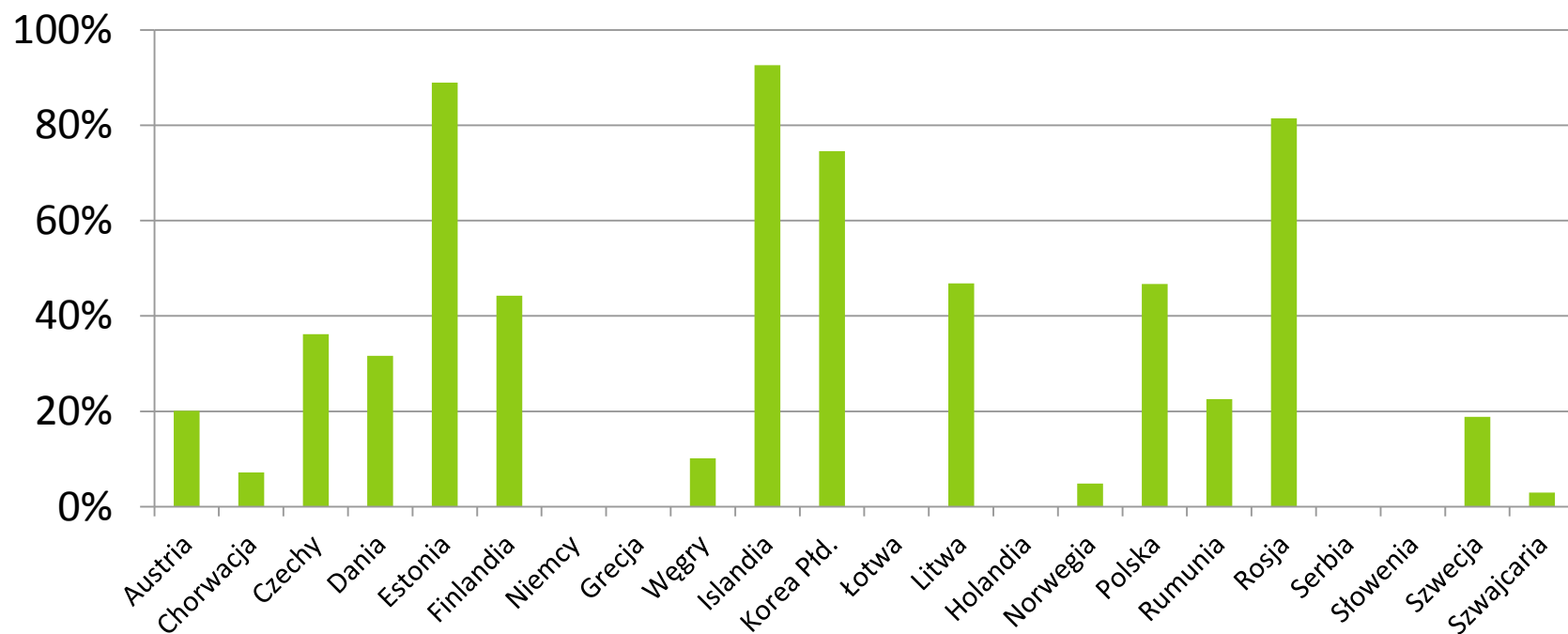
GEOHERMAL HEATING PLANTS IN POLAND



Location	Output (MW)	Temp. (°C)	Well Depth (m)	Remarks
Bańska Niżna	4.5	86	2500	To be extended to 70 MW
Pyrzyce	15.0	60	1600	To be extended to 50 MW
Stargard Szcz.	14.0	95		
Mszczonów	2.8	42	1650	With heat pump
Uniejów	2.6			
Słomniki	1.0			
Lasek	2.6			
Klikuszowa	1.0			

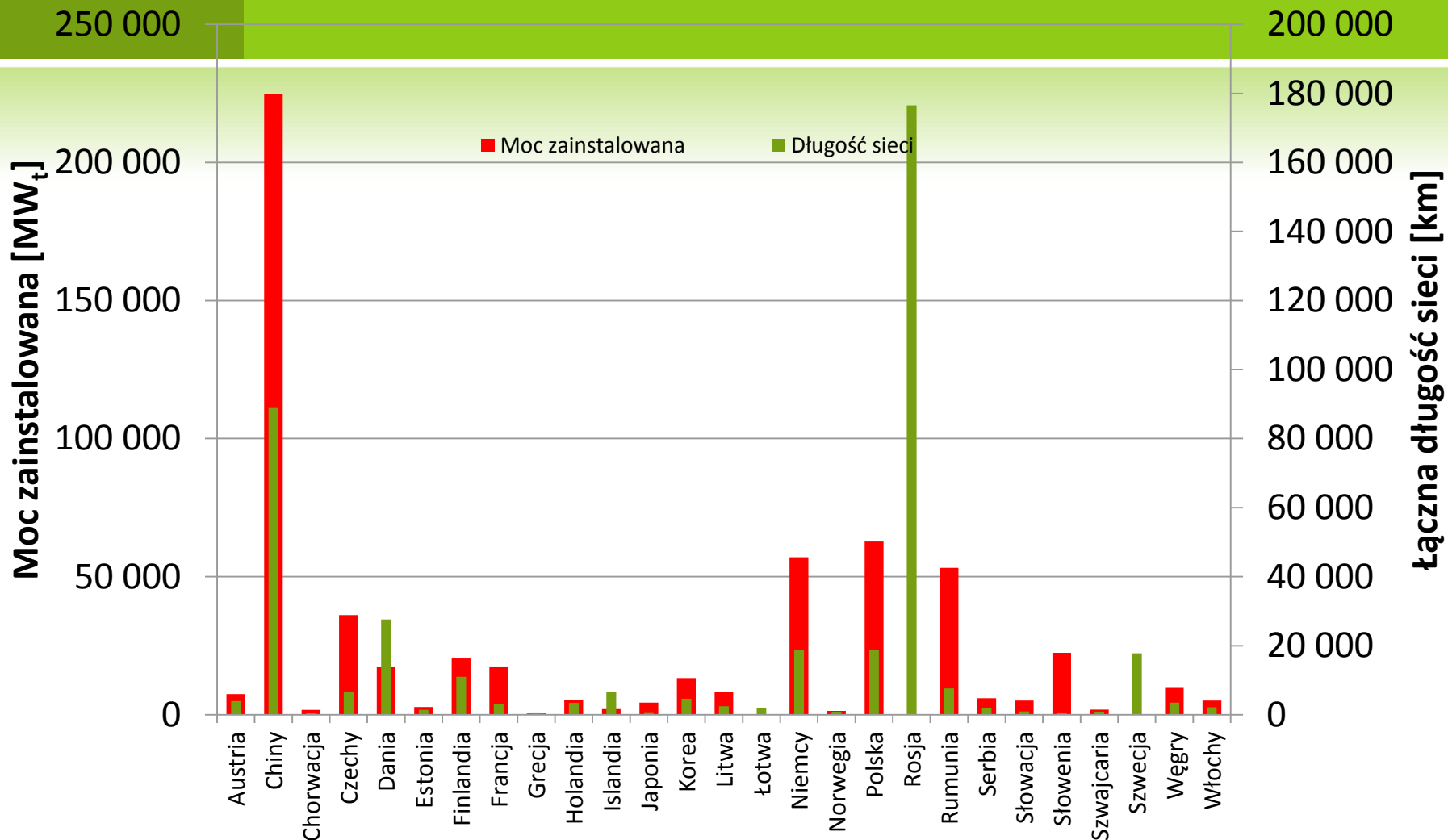
SIECI CIEPŁOWNICZE NA ŚWIECIE

Udział sieci ciepłowniczych (puste = brak danych)



14

SIECI CIEPŁOWNICZE NA ŚWIECIE



SYSTEM CIEPŁOWNICZY

Wytwarzanie

- Ciepłownie (kotły wodne lub parowe)
- Elektrociepłownie (skojarzone wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła)
- Elektrownie zawodowe (niewielkie strumienie ciepła – produkt uboczny)

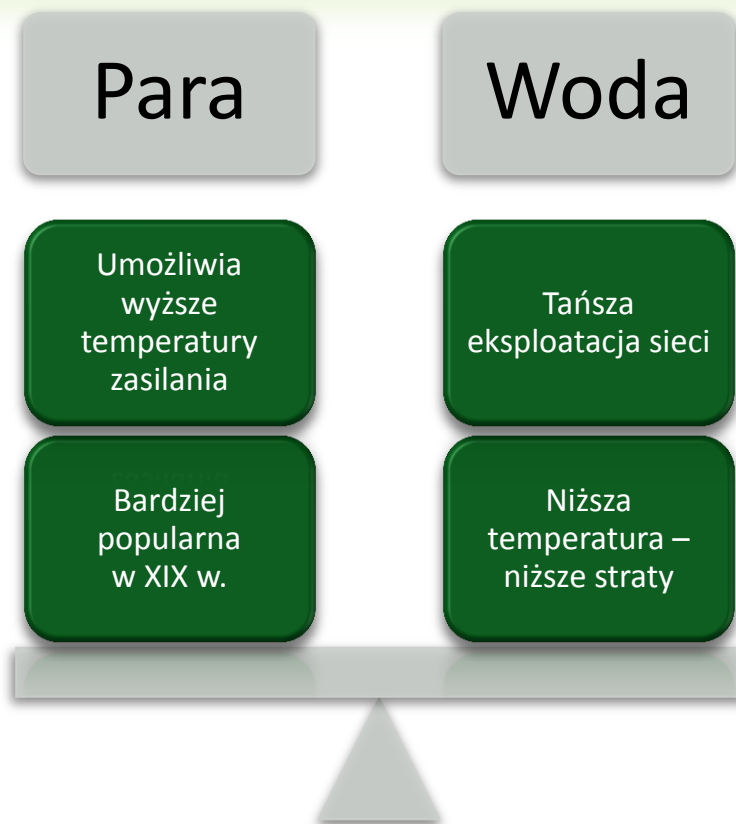
Dystrybucja

- Sieć rurociągów (+ ewentualnie pompowni)
- Nośnik ciepła: gorąca woda lub para

Pobór

- Węzły cieplne – wymiana ciepła pomiędzy siecią a układami odbiorcy:
 - układ ciepłej wody użytkowej,
 - układ centralnego ogrzewania.

SYSTEM CIEPŁOWNICZY PARA CZY WODA?



PAROWE SYSTEMY CIEPŁOWNICZE

Eksplloatowane

- USA: Nowy Jork, Ft. Myer (25 MW)
- Dortmund (150 MW), Würzburg (250 MW), Ulm (150 MW), ...
(łącznie ok. 100 systemów o długości 1300 km)
- Paryż (4285 MW)

Zamknięte (bez zastąpienia)

- Wiele sieci w USA

Zastąpione nowymi systemami wodnym

- Brunzwik, Lipsk, Baden-Baden

Przebudowane na wodne

- Niemcy: Hamburg (250 MW), Kilonia (320 MW), Monachium (1250 MW –
największy w Niemczech)
- Austria: Salzburg (170 MW)

WODNY SYSTEM CIEPŁOWNICZY



Źródła ciepła

- Kotły wodne
- Wymienniki ciepła w instalacjach kogeneracyjnych

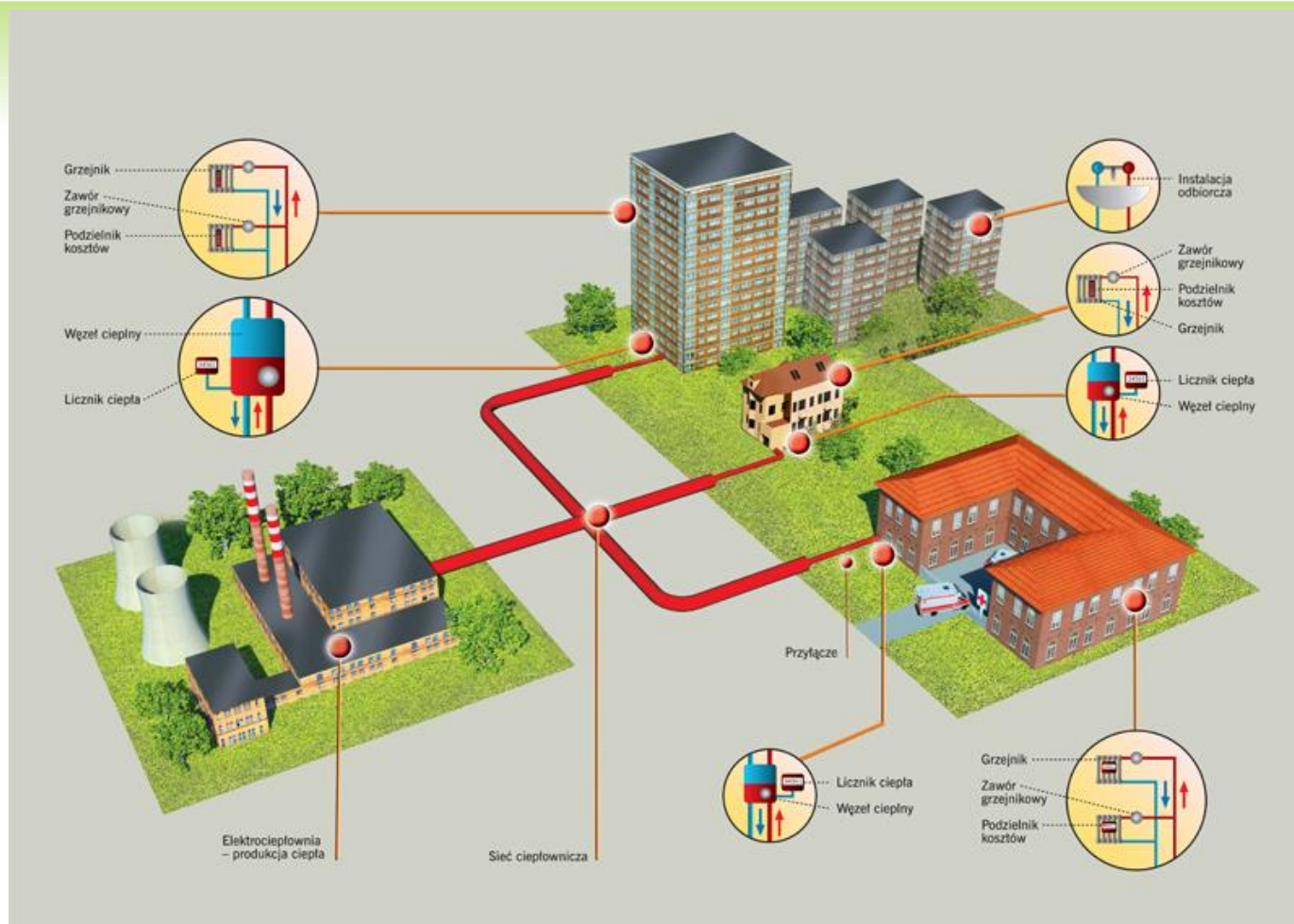
Sieć dystrybucyjna

- Rurociągi naziemne
- Rurociągi podziemne, kanałowe
- Rurociągi podziemne, preizolowane (zasypane gruntem)

Pobór ciepła

- Wymienniki ciepła w węzłach cieplnych u odbiorców

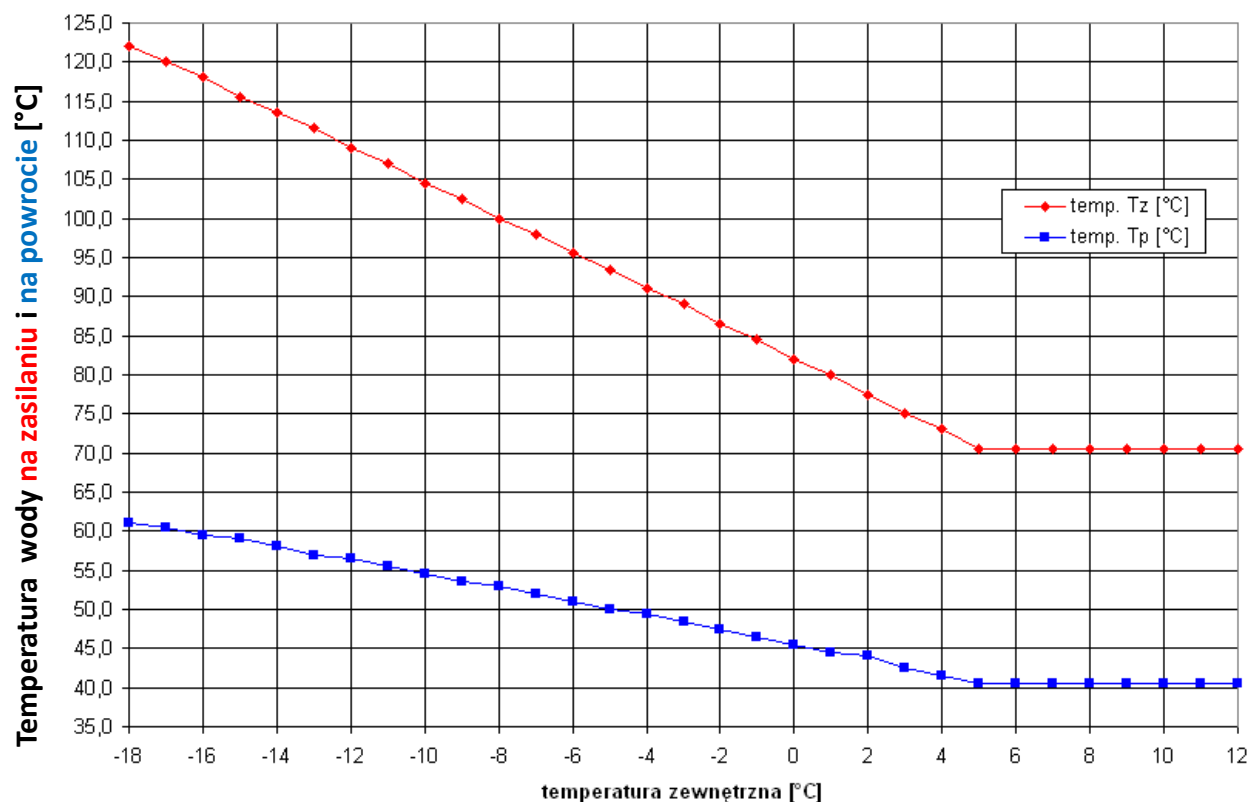
WODNY SYSTEM CIEPŁOWNICZY



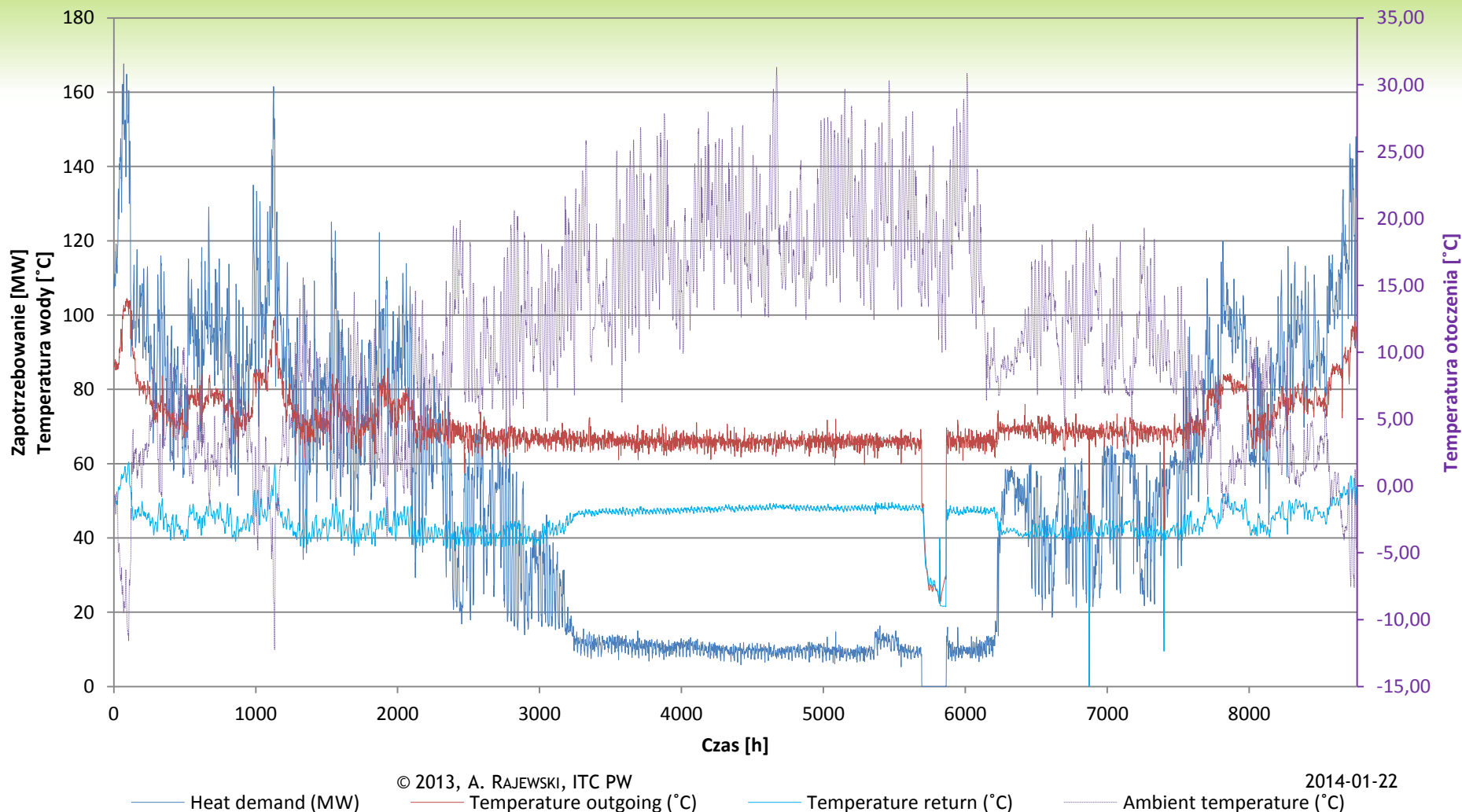
Rysunek:



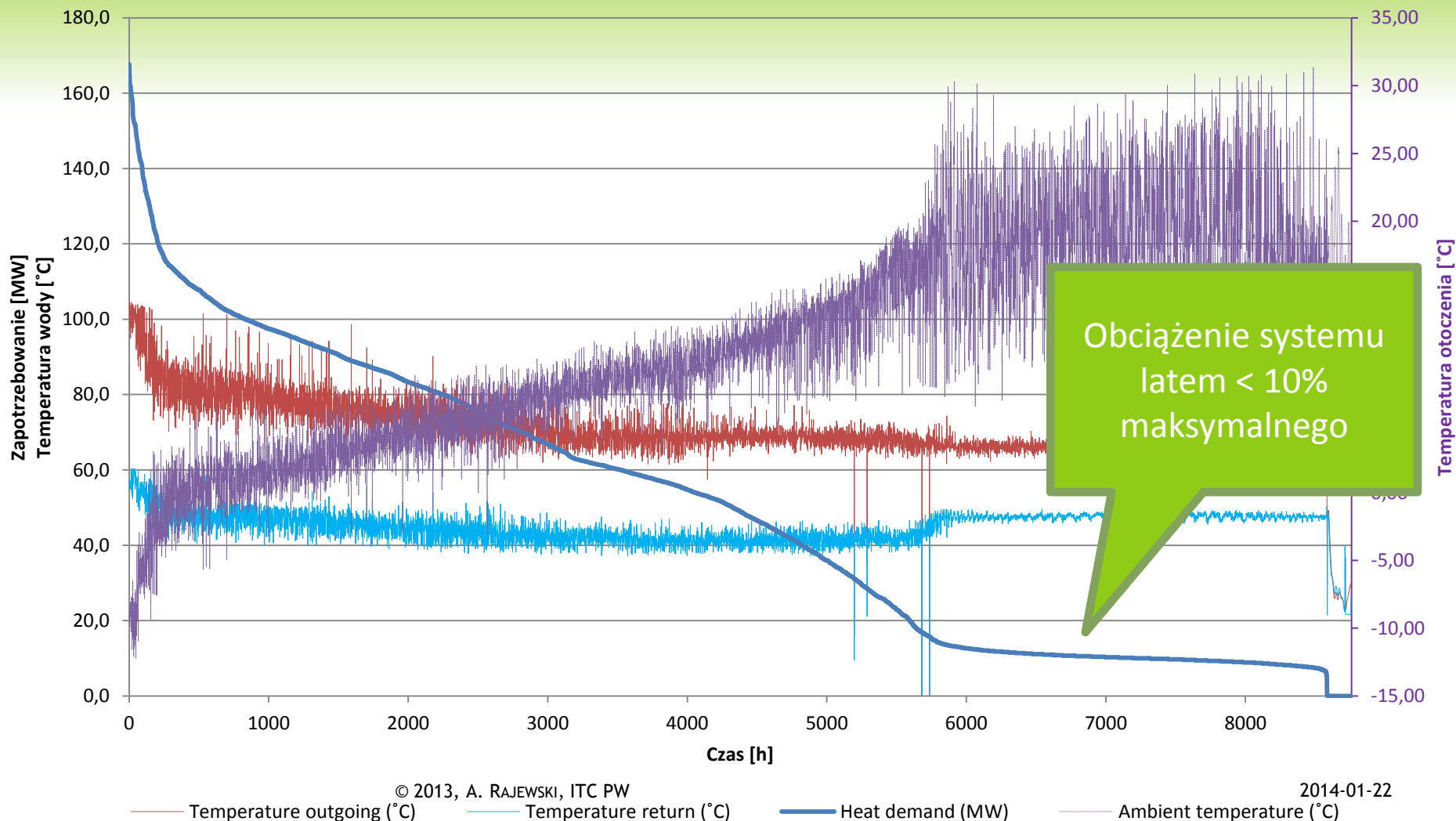
WYKRES REGULACYJNY TYPOWY SYSTEM W POLSCE



POLSKI SYSTEM CIEPŁOWNICZY



POLSKI SYSTEM CIEPŁOWNICZY



TECHNOLOGIE

CIEPŁOWNIE

ROZWIĄZANIA TECHNICZNE

Kotły wodne

- Węglowe (rusztowe, np. WR-25, pyłowe, np. WP-120)
- Na biomasę (rusztowe)
- Olejowe (olej lekki, mazut)
- Gazowe
- Dwupaliwowe (olej/gaz)

Źródła geotermalne

- Wymienniki para/woda
- Wymienniki woda/woda

Kolektory słoneczne

Kotły elektryczne

- Wykorzystywane w systemach energetycznych o bardzo dużym udziale energetyki wiatrowej i płynnym rynku energii w czasie, gdy moc farm wiatrowych przekracza zapotrzebowanie (niskie ceny)

WYTWARZANIE SKOJARZONE

LEPSZE WYKORZYSTANIE ENERGII PALIWA

Wytwarzanie ciepła

- Maksymalne sprawności rzędu 95-99%

Wytwarzanie energii elektrycznej

- Maksymalne sprawności:
 - 45% - paliwo stałe
 - 50% - paliwo płynne, obieg prosty
 - 60% - paliwo płynne, układ gazowo-parowy

Wytwarzanie skojarzone

- Całkowite sprawności 75÷97%

WYTWARZANIE SKOJARZONE

LEPSZE WYKORZYSTANIE ENERGII PALIWA

Utylizacja strat ciepła przy wytwarzaniu energii elektrycznej (II zasada termodynamiki) → przetwarzanie strat w ciepło użytkowe

Produkcja energii elektrycznej ze sprawnością taką samą (gaz, olej) lub nieco niższą (węgiel – obieg parowy) niż przy generacji rozdzielonej.

Kogeneracja NIE ZWIĘKSZA samej sprawności wytwarzania ciepła...

...ale może poprawiać jej efektywność ekonomiczną.

TECHNOLOGIE WYTWARZANIA SKOJARZONEGO

Paliwa stałe

- Obieg Rankine'a: kocioł + turbina parowa

Paliwa płynne (ciekłe i gazowe)

- Obieg Rankine'a: kocioł + turbina parowa (niecelowy – niska sprawność)
- Obieg Otto – silnik tłokowy o zapłonie iskrowym
- Obieg Sabathe/Diesla – silnik tłokowy o zapłonie samoczynnym
- Obieg Joule'a/Braytona – turbina gazowa
- Układ gazowo-parowy – silnik tłokowy lub turbina gazowa + turbina parowa
- Ogniwo paliwowe (teoretycznie)

Geotermia

- Obieg Rankine'a (para wodna lub czynnik organiczny – układ ORC)

TURBINY PAROWE DLA ELEKTROCIĘPŁOWNI

Turbina przeciwprężna

- Wylot pary przy podwyższonej temperaturze i ciśnieniu
- Skraplanie pary w wymiennikach ciepłowniczych przy parametrach umożliwiającym wykorzystanie ciepła skraplania
- Całkowita zależność produkcji ciepła i energii elektrycznej (praktycznie liniowa)

Turbina upustowo-kondensacyjna

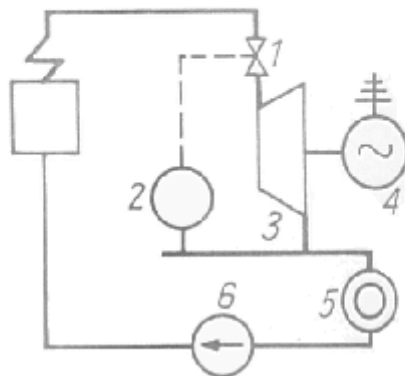
- Para do wymienników ciepłowniczych pobierana z upustów regulowanych
- Pozostały strumień pary rozprężany do ciśnienia skraplacza (próżni)
- Możliwość regulacji współczynnika skojarzenia dzięki regulacji położenia upustu
- Możliwość pracy przy całkowitej kondensacji (np. latem) dla maksymalizacji produkcji energii elektrycznej
- Brak możliwości skierowania całego przepływu pary przez wymienniki ciepłownicze → maksymalna sprawność łączna niższa niż przy turbinie przeciwprężnej

Turbina upustowo-przeciwprężna

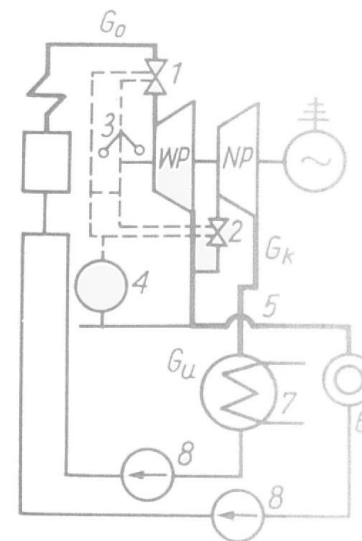
- Kombinacja powyższych
- Pobór pary na różnych poziomach temperatur

TURBINY PAROWE DLA ELEKTROCIĘPŁOWNI

Przeciwniężna



Upustowo-kondensacyjna



UKŁAD ELEKTROCIEPŁOWNI PAROWEJ

Układ kolektorowy

- Kilka kotłów podających parę do wspólnego kolektora
- Kilka turbin zasilanych parą z kolektora
- Liczba turbin i kotłów może być różna

Układ blokowe

- Oddzielne bloki energetyczne, na ogół z pojedynczym kotłem i turbozespołem

ELEKTROCIEPŁOWNIA PAROWA

Źródło ciepła

- Para upustowa z turbiny
- Para wylotowa z turbiny (przeciwprężnej)
- Temperatura dostosowana do potrzeb, typowo między 100 i 200°C.

Sprawność

- Elektryczna: 20÷35% (podkrytyczne) rzędu 40% (nadkrytyczne) w zależności od:
 - mocy zainstalowanej (większa moc = wyższe parametry = wyższa sprawność),
 - typu turbozespołu (UK > P)
- Łączna powyżej 80%

Moc jednostkowa

- Praktycznie od 1 MW w górę

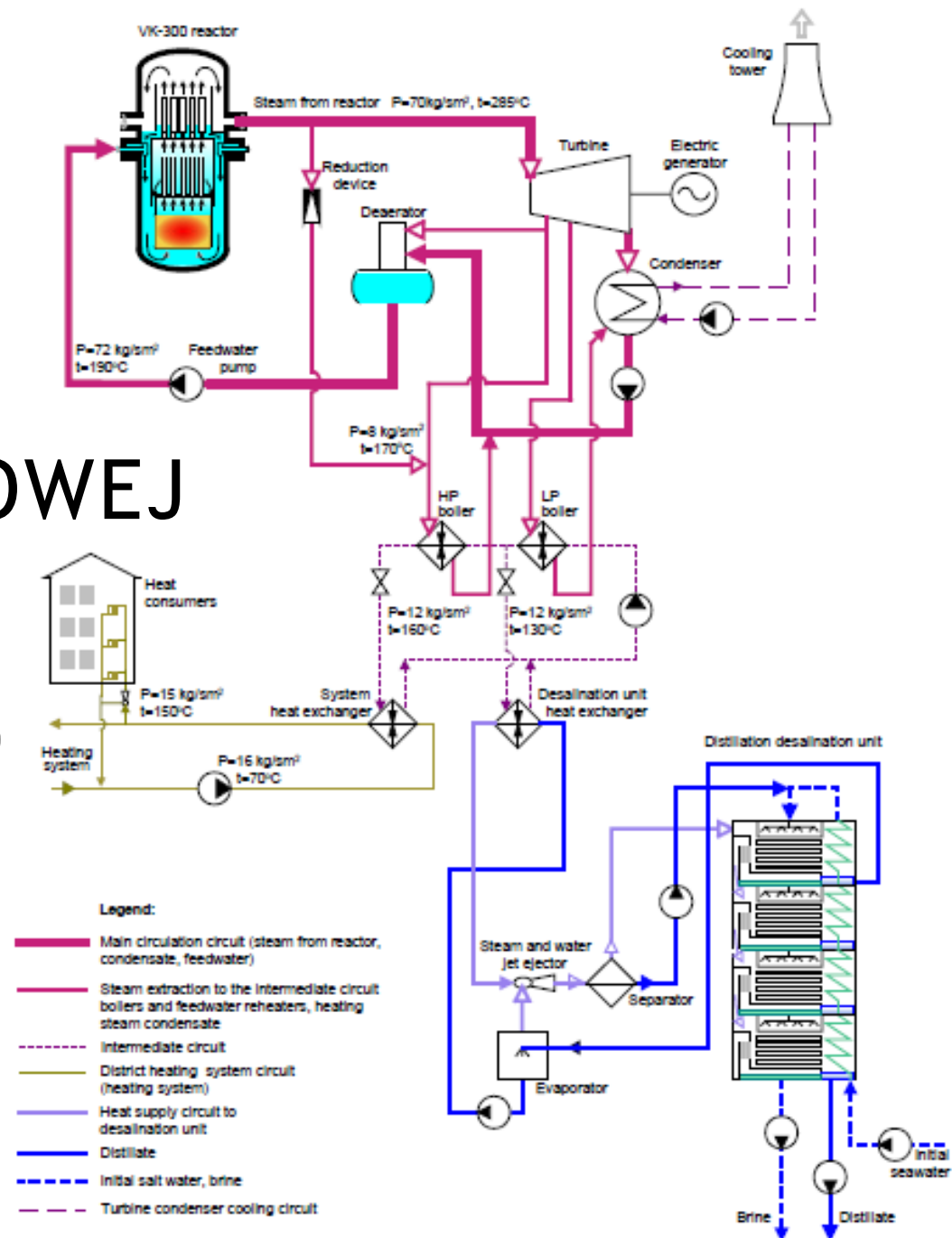
Elastyczność

- Sprężenie wytwarzania energii elektrycznej i ciepła
- W przypadku turbiny przeciwprężnej brak możliwości pracy bez odbioru ciepła
- W przypadku turbiny UK zależność sprawności łącznej od stopnia skojarzenia
- Długi czas rozruchu, wolne zmiany mocy

Paliwa

- Teoretycznie dowolne
- W praktyce stałe (dla paliw płynnych dostępne wydajniejsze technologie)

KONCEPCJA JĄDROWEJ EC Z REAKTOREM WK-300 (ROSJA)



ELEKTROCIĘPŁOWNIA Z TURBINĄ GAZOWĄ

Źródło ciepła

- Spaliny, 450÷600°C

Sprawność

- Elektryczna 20-40% w zależności od:
 - mocy (im większa, tym wyższa sprawność),
 - typu turbiny (lotniczopochodne > przemysłowe),
- Sprawność elektryczna niezależna od odbioru ciepła.
- Sprawność łączna powyżej 80%

Moc jednostkowa (elektryczna)

- 1-300 MW, w praktyce od 100 MW w górę wykorzystywane bloki gazowo-parowe

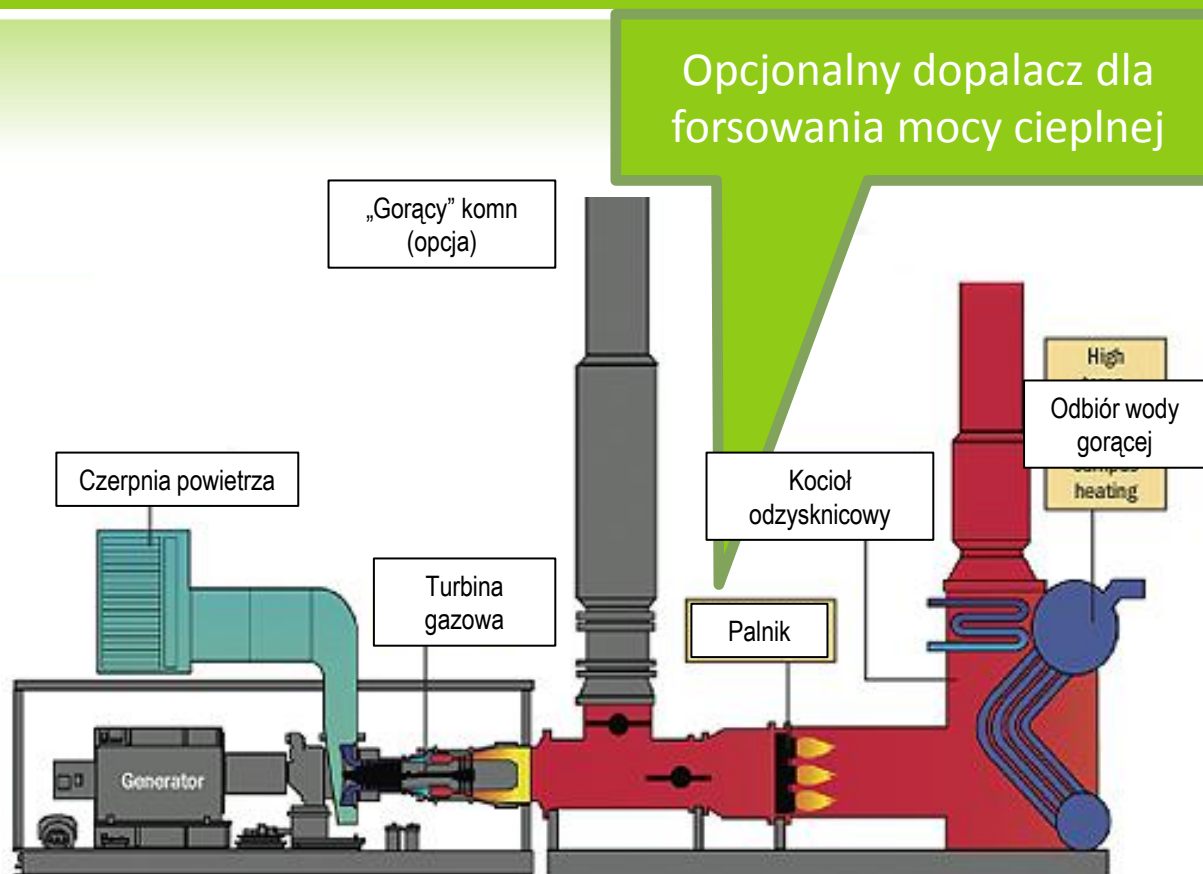
Elastyczność

- Szybki rozruch i odstawienie
- Liczne rozruchy podwyższają koszty eksploatacji

Paliwa

- Gaz ziemny, biogaz
- Oleje
- Instalacje dwupaliwowe (gaz/olej)

ELEKTROCIEPŁOWNIA Z TURBINĄ GAZOWĄ



ELEKTROCIEPŁOWNIA Z SILNIKAMI TŁOKOWYMI

Źródła ciepła

- spaliny, ok. 400°C
- ciecz chłodząca, ok. 90°C
- olej smarny 60°C
- chłodnica powietrza (mieszanki) za turbosprężarką (parametry zależne od typu silnika)

Sprawność

- elektryczna 35-48 % w zależności od mocy silników (im większe, tym wyższa), niezależna od obciążenia cieplnego.
- łączna zależna od temperatury wody zasilającej/powrotnej:
 - dla powrotu 70°C ok. 75%
 - dla powrotu < 60°C ok. 85%
 - dla powrotu < 40°C 90% (z kondensacją spalin nawet do 96%)

Moc

- Pojedynczego silnika: 100 kW-20 MW
- Instalacji: 100 kW-500 MW (w praktyce w kogeneracji do 100 MW)

Elastyczność

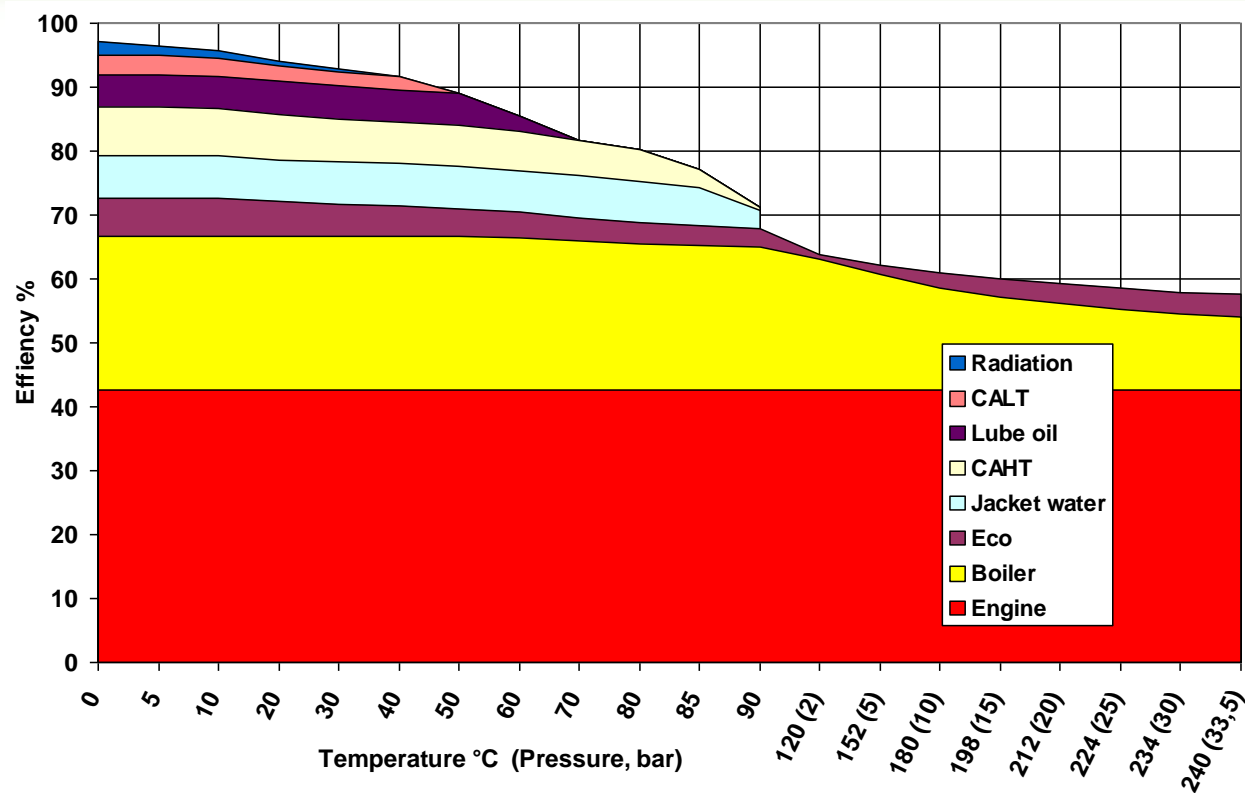
- Bardzo szybki rozruch i odstawienie
- Dobre charakterystyki pracy przy obciążeniach częściowych, szczególnie przy obiekcie modułowym

Paliwa

- Gaz ziemny, biogaz, gaz kopalniany, gaz syntezowy
- Olej lekki, mazut, ciężkie frakcje ropy naftowej, ropa surowa, oleje roślinne, tłuszcze zwierzęce
- Instalacje dwupaliwowe (olej/gaz).

EC Z SILNIKAMI TŁOKOWYMI

SPRAWNOŚĆ A TEMPERATURA WODY POWROTNEJ

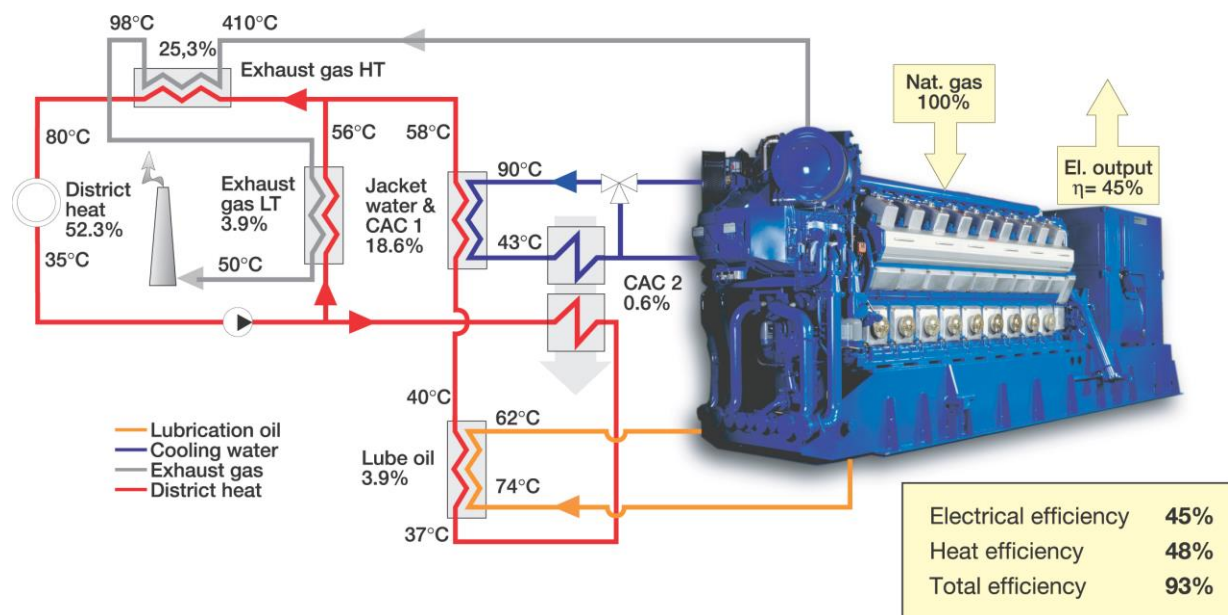


EC Z SILNIKIEM TŁOKOWYM

PRZYPADEK OPTYMALNY

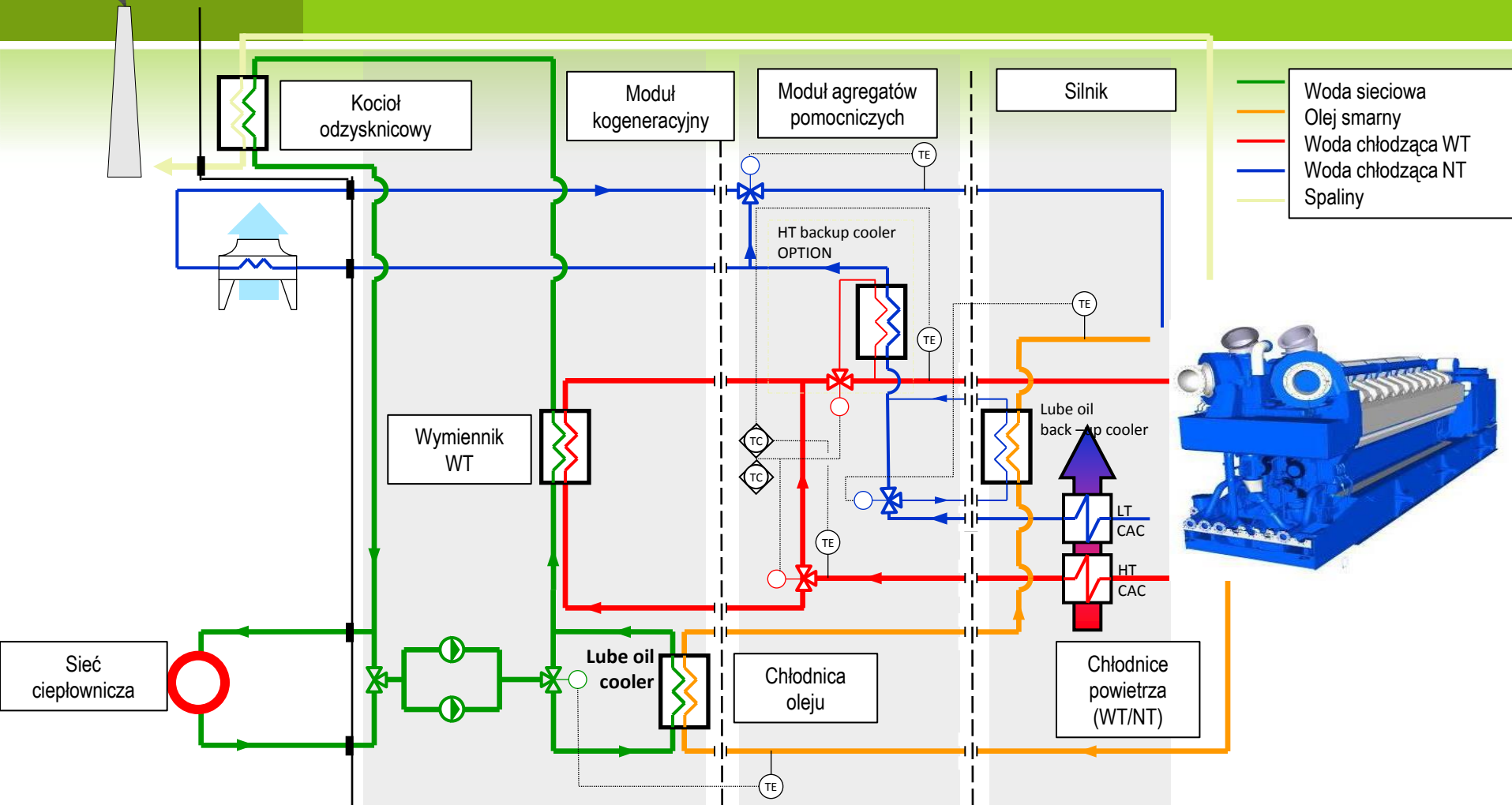
Bardzo wysoka sprawność możliwa dzięki:

- bardzo niskiej temperaturze wody powrotnej z sieci (35°C)
- schładzaniu spalin do 50°C (paliwo niezawierające siarki).



Typowy przypadek duński!

EC Z SILNIKIEM TŁOKOWYM



BLOK GAZOWO-PAROWY

TURBINA GAZOWA + TURBINA PAROWA

Źródło ciepła

- Upust lub wylot turbiny parowej
- Ewentualnie ostatnia sekcja kotła odzysknicowego (podgrzewacz wody sieciowej)

Sprawność

- Elektryczna powyżej 50%
- Łączna powyżej 80%

Moc

- W praktyce 50-500 MW

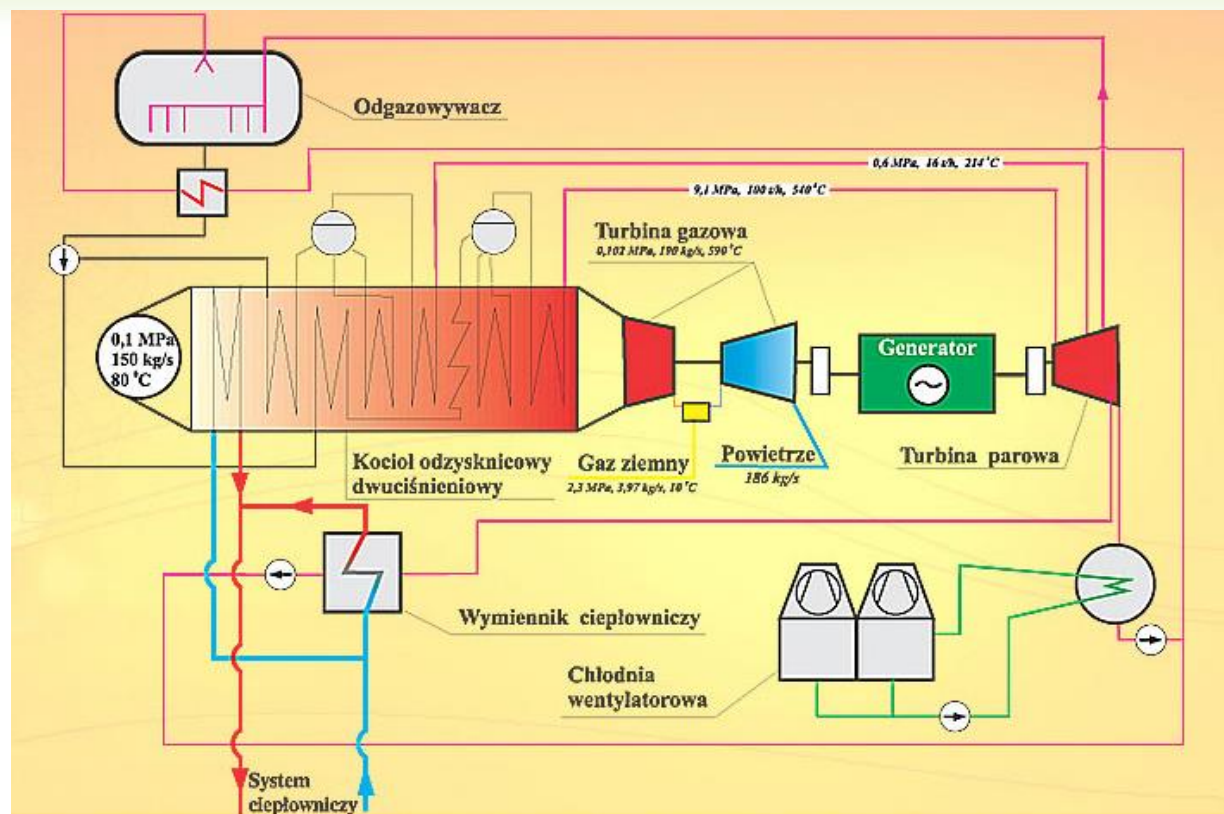
Elastyczność

- Dość szybki rozruch bloku (ok. 2 h)

Paliwa

- Jak dla turbiny gazowej

BLOK GAZOWO-PAROWY EC RZESZÓW



PRZYKŁADY SYSTEMÓW CIEPŁOWNICZYCH

THE NYC STEAM SYSTEM

Przekazany do eksploatacji w 1882 r.

Obecna sieć

- Obszar Manhattanu
- 170 km sieci
- 1800 odbiorów, przeszło 100 000 placówek usługowych i mieszkań
- Szczytowa produkcja pary 4500 Mg/h przy 350°F (~ 180°C)
- 13,64 mln Mg pary rocznie
- 7 zakładów wytwórczych (w tym 3 EC) zasilanych olejem i gazem

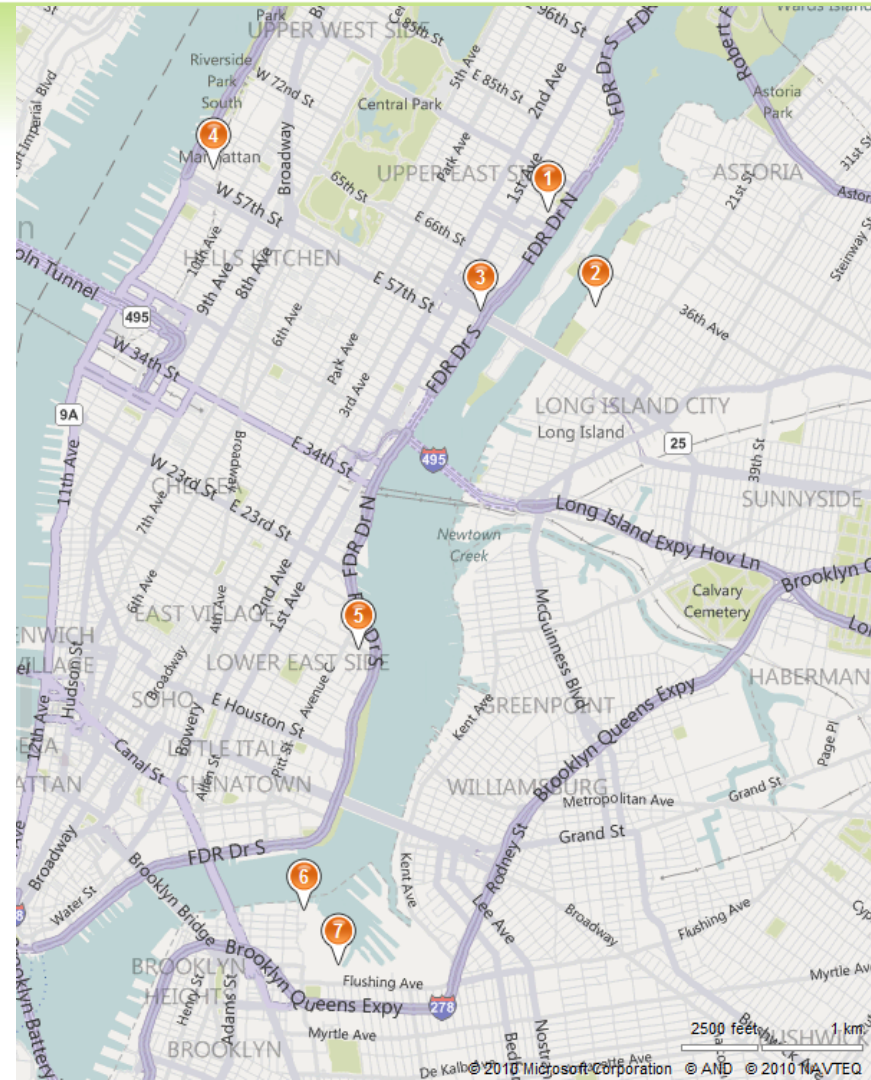
Dostawy pary do:

- ogrzewania,
- czyszczenia i dezynfekcji,
- instalacji chłodniczych (chłodziarki absorpcyjne).



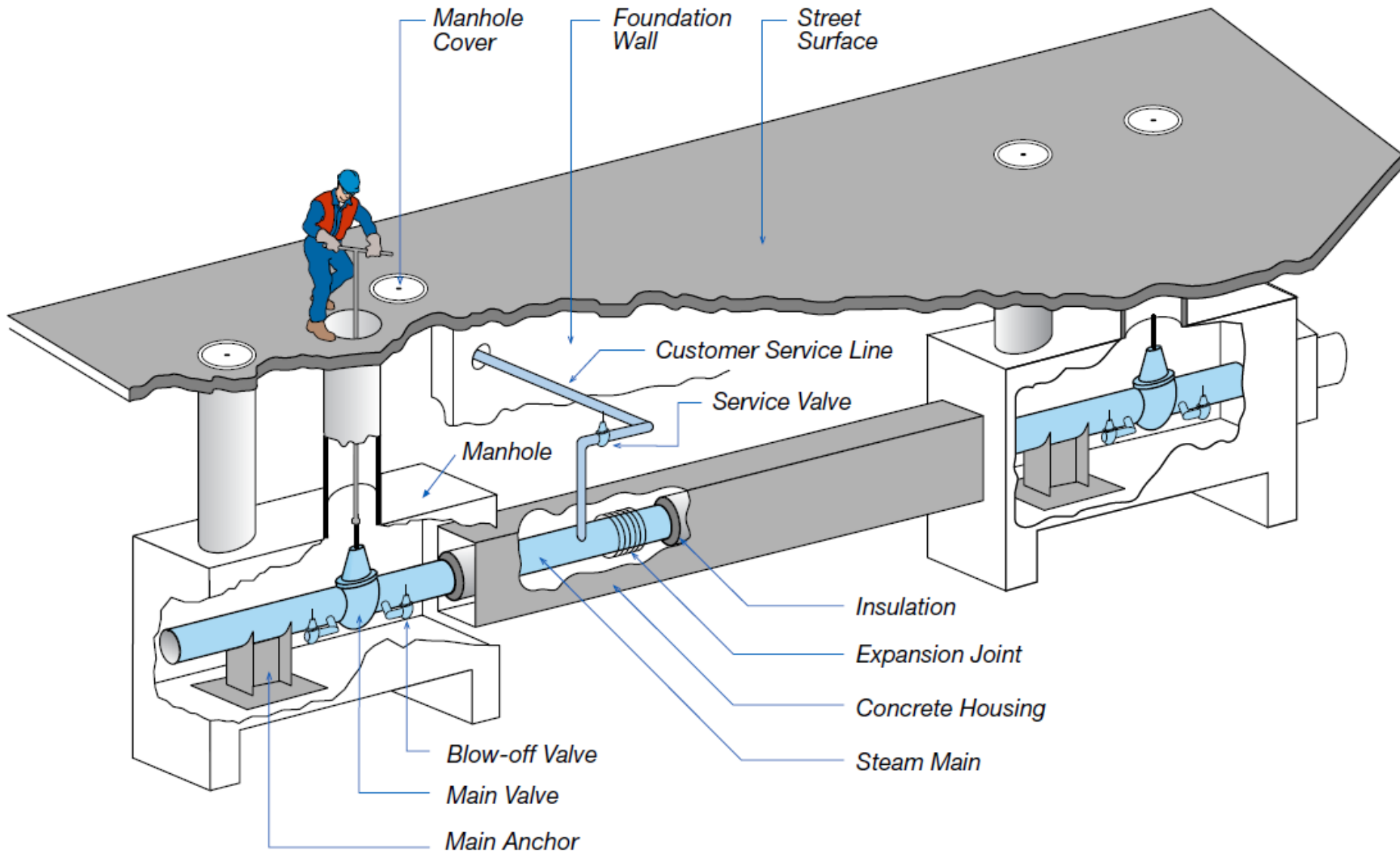
THE NYC STEAM SYSTEM

1. 74th Street Station
2. Ravenswood Station
3. 60th Street Station
4. 59th Street Station
5. East River Station (EC)
6. Hudson Avenue Station
7. BNYCP Plant (EC)

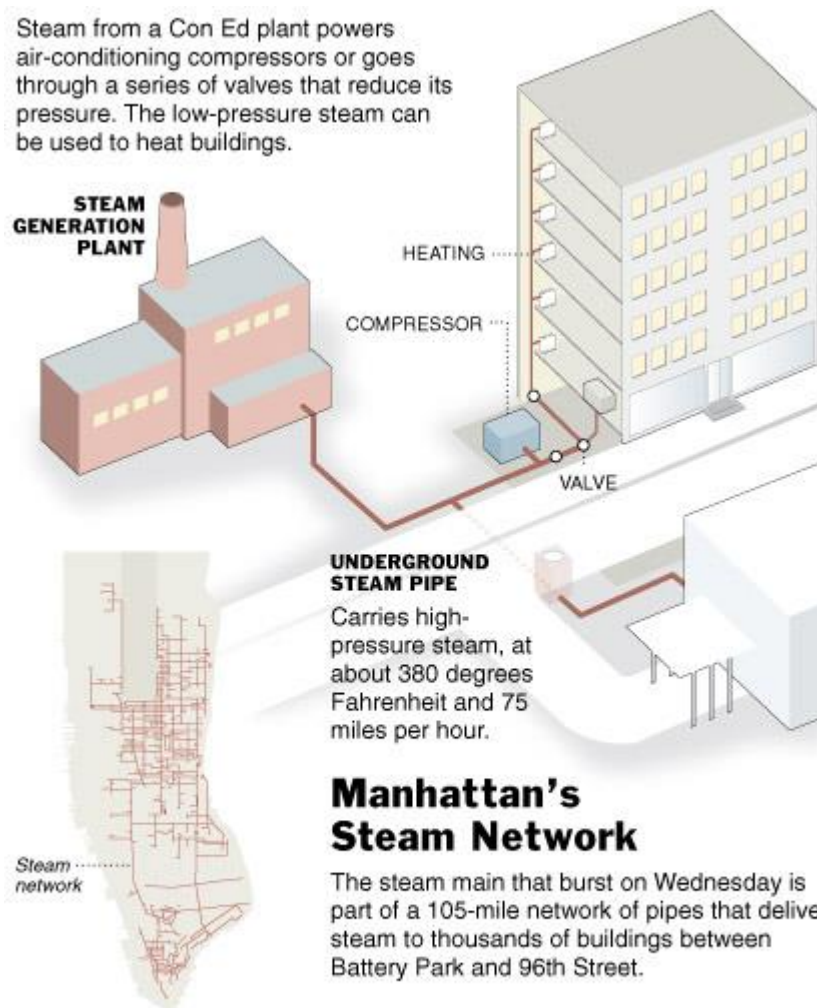


Steam Distribution System

44



Steam from a Con Ed plant powers air-conditioning compressors or goes through a series of valves that reduce its pressure. The low-pressure steam can be used to heat buildings.



Sources: Charles Copeland, Goldman Copeland Associates; Consolidated Edison; Michael Bobker, City University of New York Building Performance Laboratory; "The Works: Anatomy of a City" by Kate Ascher

The New York Times

SYSTEM CIEPŁOWNICZY PARYŻA

Moc zamówiona 3000 MW

- 10 źródeł

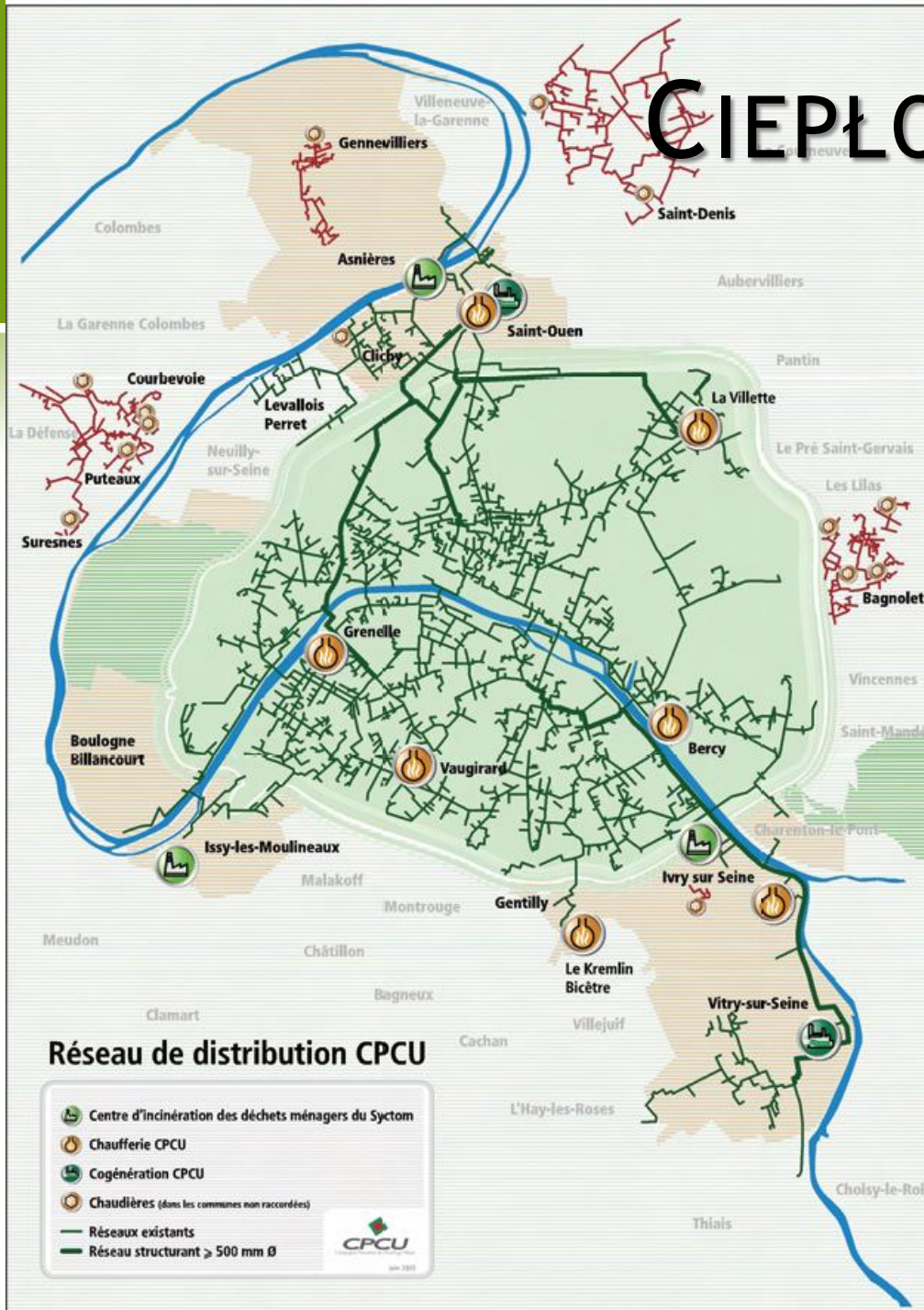
Produkcja

- 6000 GWh/a ciepła
- 900 GWh/a energii elektrycznej

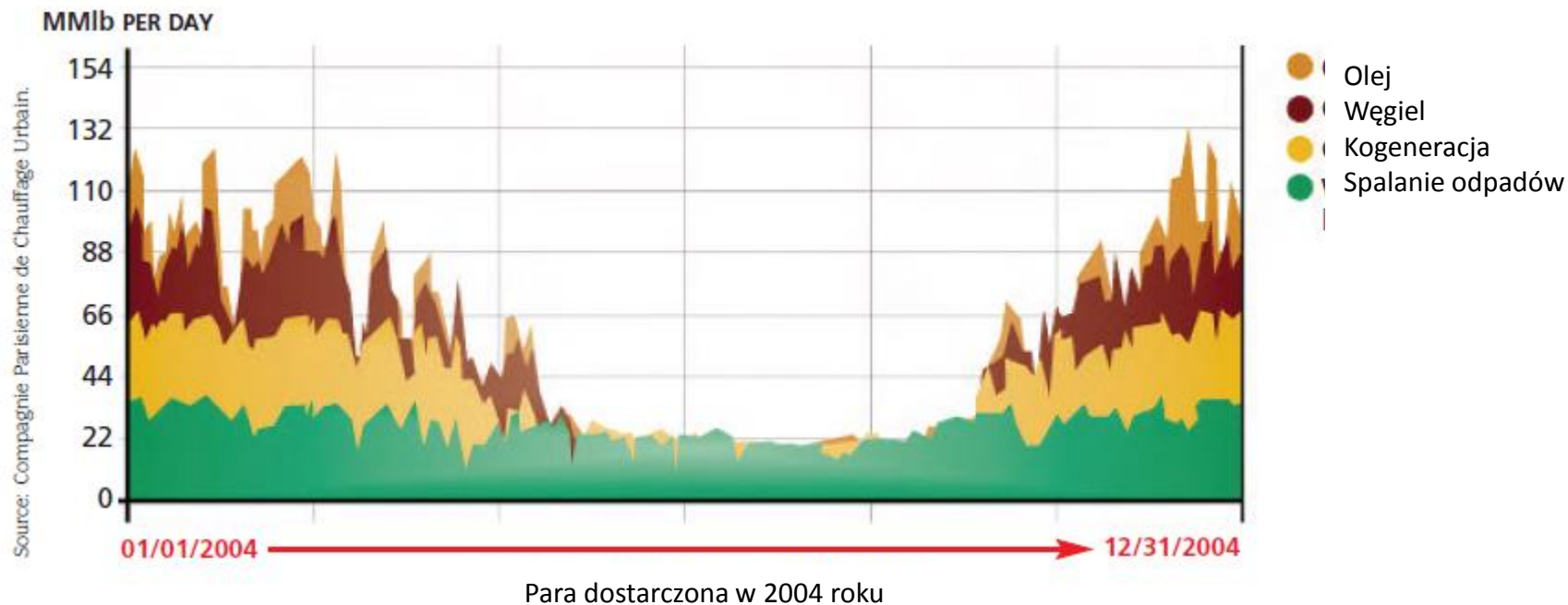
CIEPŁOWNICTWO W PARYŻU

Osiem zakładów:

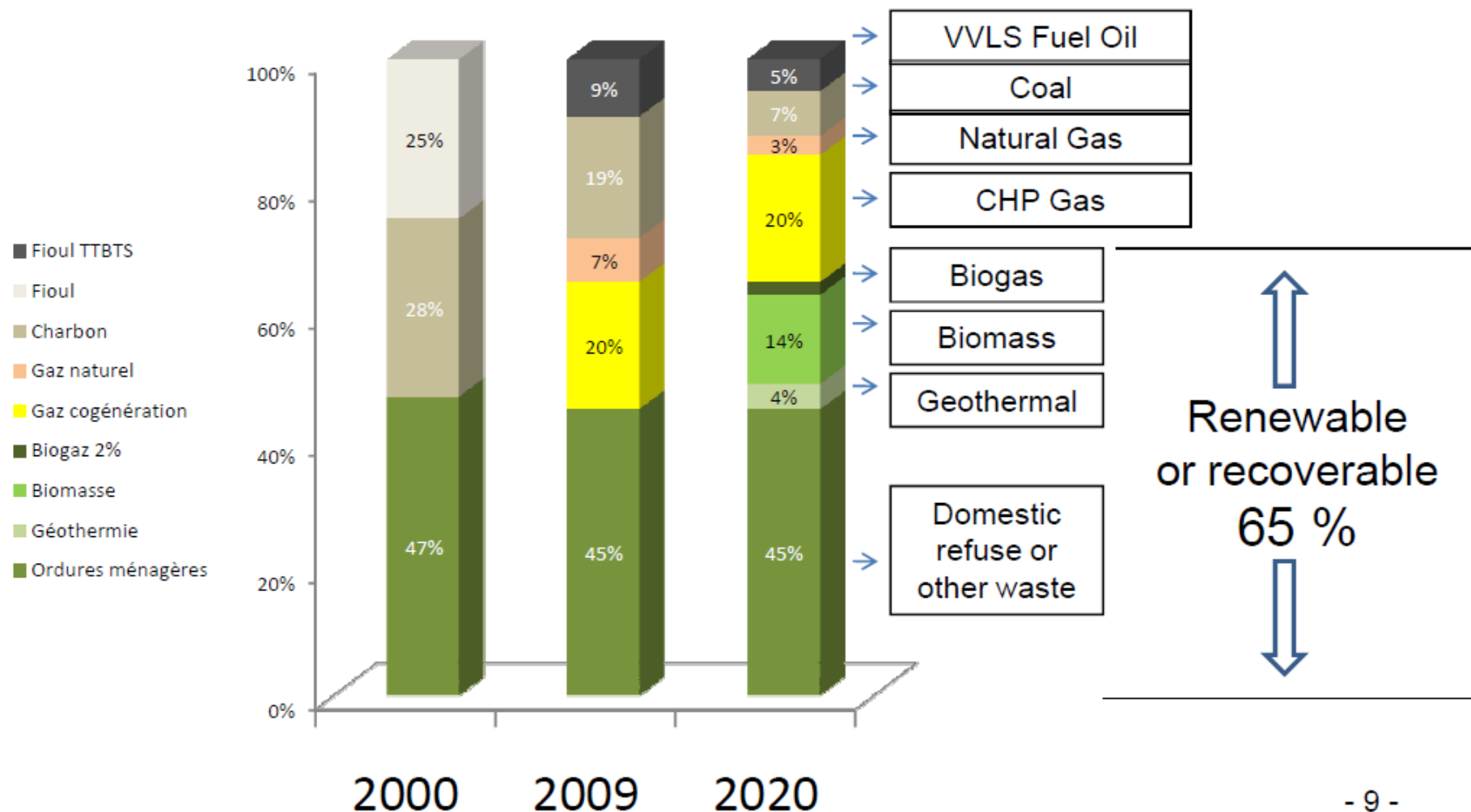
- 21 kotłów olejowych
- 2 kotły gazowe
- 2 kotły węglowe
- 2 turbiny gazowe (EC)



CIEPŁOWNICTWO W PARYŻU

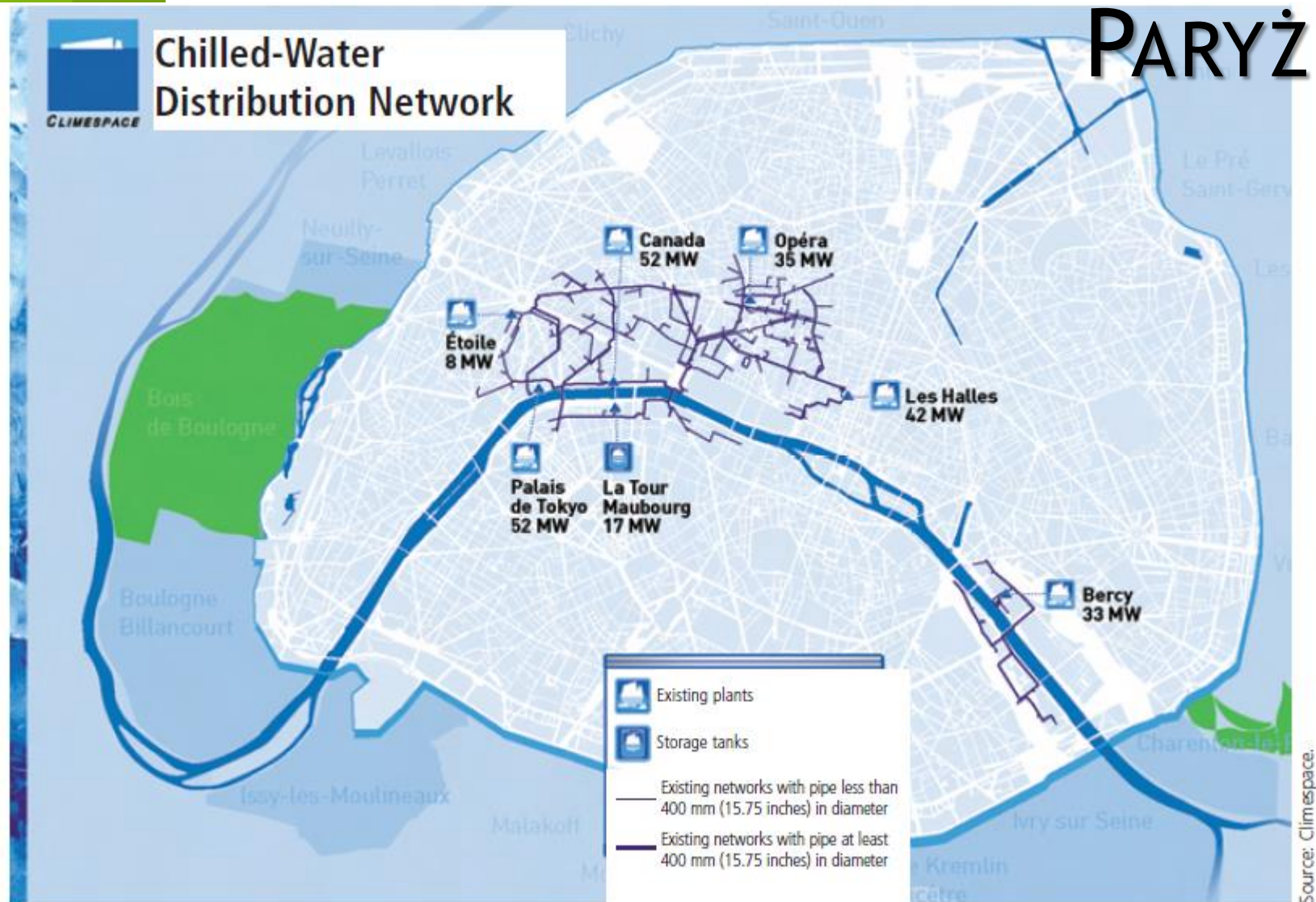


CPCU : Paris District Heating Energy Mix 2000 - 2020



SIEĆ WODY LODOWEJ

PARYŻ



SYSTEM CIEPŁOWNICZY M.ST. WARSZAWY

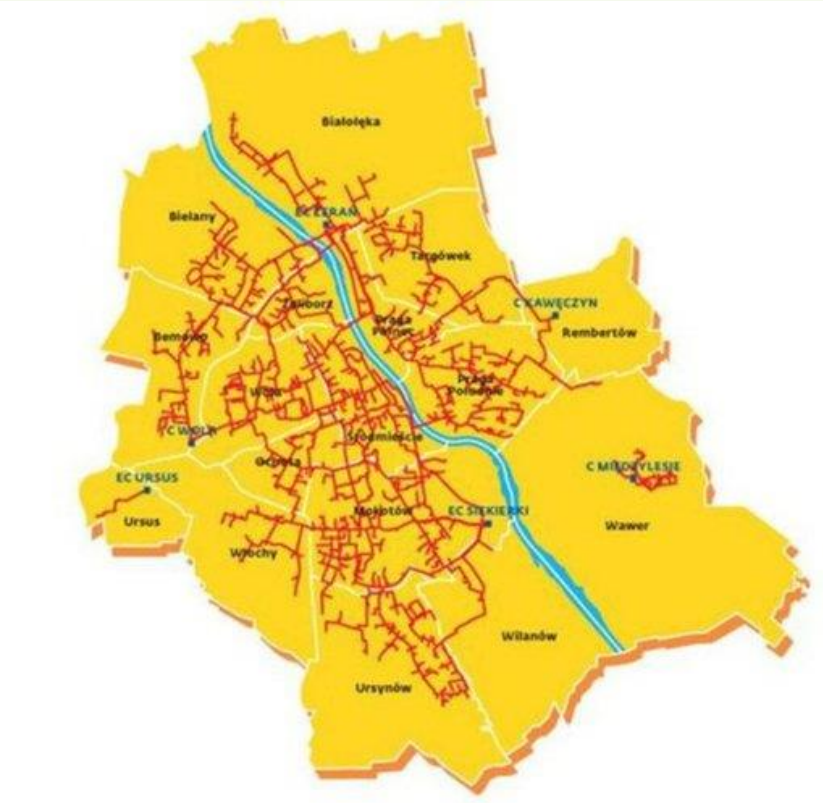
Operatorzy

- Sieć ciepłownicza: Dalkia Warszawa
- Źródła ciepła: PGNiG Termika S.A.

Informacje o systemie

- 2 elektrociepłownie (Siekierki, Żerań)
- 2 ciepłownie szczytowe (Wola, Kawęczyn)
- Łączna moc zamówiona 3700 MW_t
- 1700 km of rurociągów, w tym:
 - 300 km magistralnych (DN ≥ 400)
 - 700 km dystrybucyjnych
 - 700 km przyłączeniowych
- 4 pompownie: Batorego, Gołędzinów, Marymont, Powiśle
- 15 000 węzłów cieplnych
- Dwie małe sieci izolowane: 10 km w Ursusie, 14 km w Międzylesiu
- Obszar pokrycia siecią 190 km², 80% miejskiego zapotrzebowania na ciepło
- Straty 8-10% (zima), 25-28% (lato, z uwagi na małe przepływy)

SYSTEM CIEPŁOWNICZY M.ST. WARSZAWY



SYSTEM CIEPŁOWNICZY M.ST. WARSZAWY



Elektrociepłownia Żerań

- Rok uruchomienia: 1954
- Moc zainstalowana 1561 MW_t, 350 MW_e
- Część kolektorowa-kogeneracyjna:
 - 2 kotły fluidalne OFz-450
 - 4 kotły pyłowe OP-230
 - 9 turbozespołów
- 5 kotłów wodnych WP-120
- Paliwo: węgiel kamienny, współspalanie biomasy
- Planowana inwestycja w blok gazowo-parowy z jednoczesnym wycięciem kotłów OP-230 i WP-120.

SYSTEM CIEPŁOWNICZY M.ST. WARSZAWY



Elektrociepłownia Siekierki

- Rok uruchomienia: 1961
- Moc zainstalowana: 2081 MW_t, 622MW_e
- Instalacja kogeneracyjna:
 - 4 bloki ciepłownicze
 - Część kolektorowa: 4 kotły, 5 turbozespołów
- 6 kotłów wodnych
- Akumulator ciepła
- Paliwo: węgiel kamienny
- Planowana nowa inwestycja w blok węglowy na parametry nadkrytyczne klasy 460 MW zarzucona po zmianie właściciela
- Koncepcje nowego bloku gazowo-parowego na paliwo gazowe

SYSTEM CIEPŁOWNICZY M.ST. WARSZAWY



Ciepłownia Wola

- Rok uruchomienia: 1973
- Moc zainstalowana: 465 MW_t
- Praca szczytowa przy temperaturach powietrza -10°C i niższych
- 4 kotły wodne PTWM 100
- Paliwo: olej opałowy lekki i mazut

SYSTEM CIEPŁOWNICZY M.ST. WARSZAWY

Ciepłownia Kawęczyn

- Rok uruchomienia: 1983
- Moc zainstalowana: 605 MW_t
- Praca szczytowa przy temperaturze powietrza -4°C i niższej
- 3 kotły wodne
- Paliwo: węgiel kamienny
- Komin wysokości 300 m – najwyższa budowla w Warszawie
- Planowana w latach 80. rozbudowa do elektrociepłowni zarzucona



ELEKTROCIEPŁOWNIA RZESZÓW

Blok gazowo-parowy BGP-100

3 wodne kotły rusztowe WR25

1 wodny kocioł pyłowy WP120

BGP-100, EC RZESZÓW

Turbina gazowa Ansaldo V64.3A

- Układ jednowałowy, 17-stopniowa sprężarka, 4-stopniowa turbina
- Pierścieniowa komora spalania z 24 palnikami niskoemisyjnymi
- Paliwo: gaz ziemny, ciśnienie 23 bar
- Temperatura gazów spalinowych za komorą spalania ok. 1200°C

Kocioł odzysknicowy

- Instalacja dwuciśnieniowa: 91 bar/540°C (100 Mg/h), 6 bar/284°C (16 Mg/h)
- Podgrzewacz wody sieciowej (ekonomizer)
- Schładzanie spalin do 80°C – poniżej punktu rosy

Turbina parowa Siemens

- Turbina upustowo-kondensacyjna
- Zamknięty układ chłodzenia z chłodniami wentylatorowymi

Wspólny generator

- Układ TG-G-TP
- Dwie przekładnie (po obu stronach generatora)

BGP-100, EC RZESZÓW

Parametry znamionowe

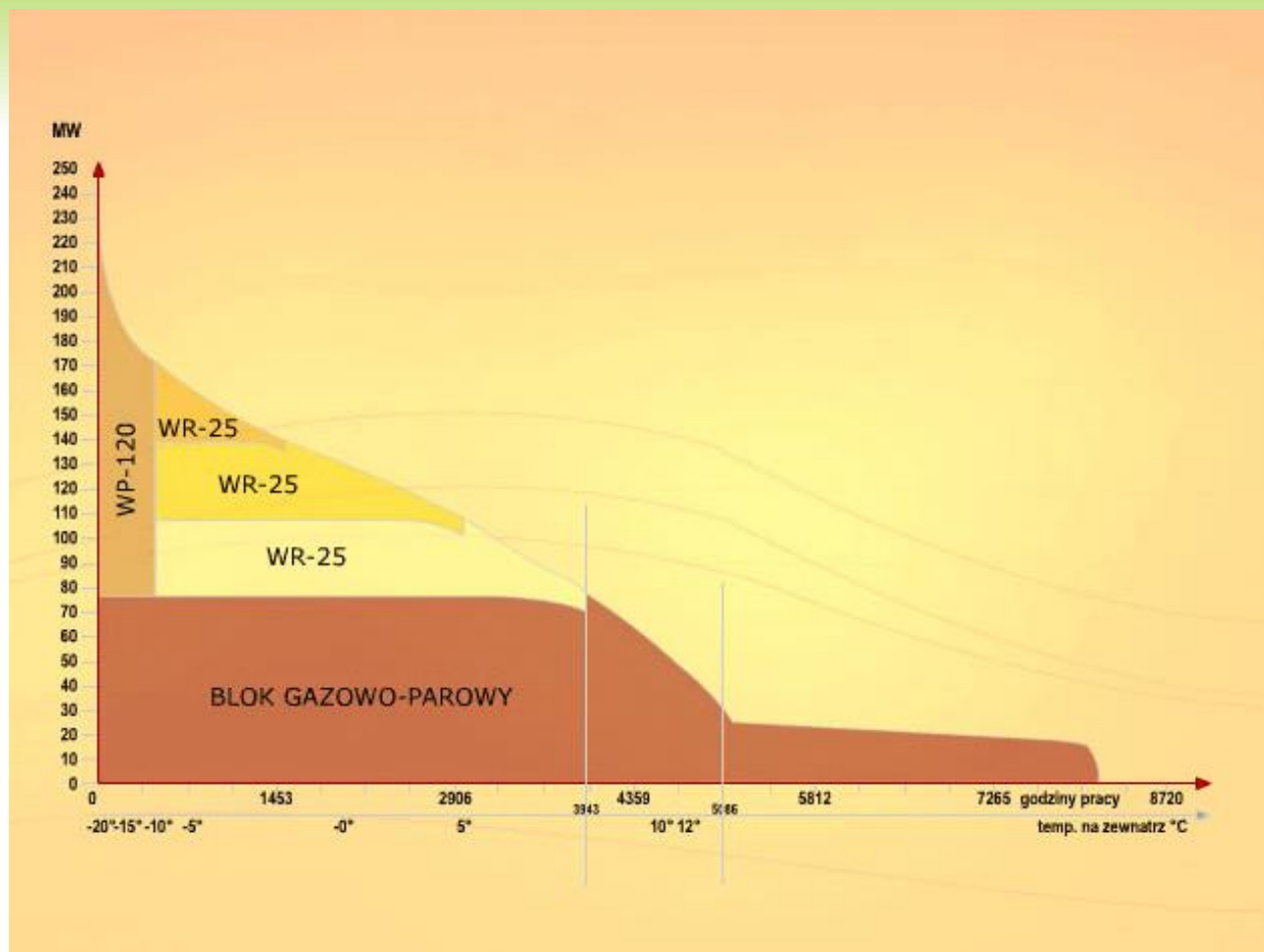
- Moc elektryczna brutto 95,75 MW, sprawność 49,47%
- Moc elektryczna netto 93,30 MW, sprawność 48,51%
- Moc ciepłownicza 76,30 MW, sprawność łączna 88,88%

Praca poza sezonem grzewczym

- Moc elektryczna brutto 93,90 MW, sprawność 51,04%
- Moc elektryczna netto 92,04 MW, sprawność 49,89%
- Moc ciepłownicza 18,00 MW, sprawność łączna 60,80%
- Praca przy przymkniętym upuście ciepłowniczym:
 - wyższa sprawność elektryczna (więcej pary do skraplacza)
 - niższa sprawność ogólna (większe straty w skraplaczu)
- Obecnie eksploatacja latem nieopłacalna (nie spełnia wymogu wysokosprawnej kogeneracji)
- Potrzeba mniejszego bloku
 - ➔ trwający przetarg na instalację silnikową 29 MWe + 26 MWt

ELEKTROCIEPŁOWNIA RZESZÓW

ROZDZIAŁ OBCIĄŻEŃ



DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ!