

Elektrociepłownie (CHP)

Zastosowanie elektrociepłowni w systemach ciepłowniczych



Pakiet zagadnień LowTEMP – Spis treści

Wstęp

Wstęp do Polityki i Celów Ochrony Klimatu

Systemy zaopatrzenia w energię i LTDH
Systemy zaopatrzenia w energię w regionie bałtyckim (Baltic Sea Region)

Strategie energetyczne i projekty pilotażowe

Metodyka rozwoju strategii energetycznych

Pilotażowe strategie energetyczne – cele i uwarunkowania

Pilotażowe strategie energetyczne – przykłady

Sposoby testowania instalacji pilotażowych

Obliczenia emisji CO₂

Obliczenia LCA

Aspekty Finansowe

Szacowanie kosztów w cyklu życia projektów LTDH

Efektywność ekonomiczna i inżynieria finansowa

Modele kontraktowania i płatności

Modele biznesowe i innowacyjne fundusze

Aspekty Techniczne

Typoszeregi rur ciepłowniczych

Elektrociepłownie

Wielkoskalowe kolektory słoneczne

Ciepło odpadowe

Wielkoskalowe (dzielnicowe) pompy ciepła

Instalacje *Power-to-Heat* i *Power-to-Gas*

Zasobniki ciepła, chłodu i magazyny zmiennofazowe

Systemy pomp ciepła

Grzejniki konwekcyjne oraz płaszczyznowe

Sposoby przygotowywania CWU

Systemy wentylacji

Dobre praktyki

Dobre praktyki I

Dobre praktyki II

Zawartość

- Wstęp do zagadnienia kogeneracji oraz koncepcji elektrociepłowni
- Podstawowe zasady działania elektrociepłowni
- Rodzaje urządzeń wykorzystywanych w elektrociepłowniach
- Przyszłość elektrociepłowni

1. Wstęp do zagadnienia kogeneracji oraz koncepcji elektrociepłowni (CHP)

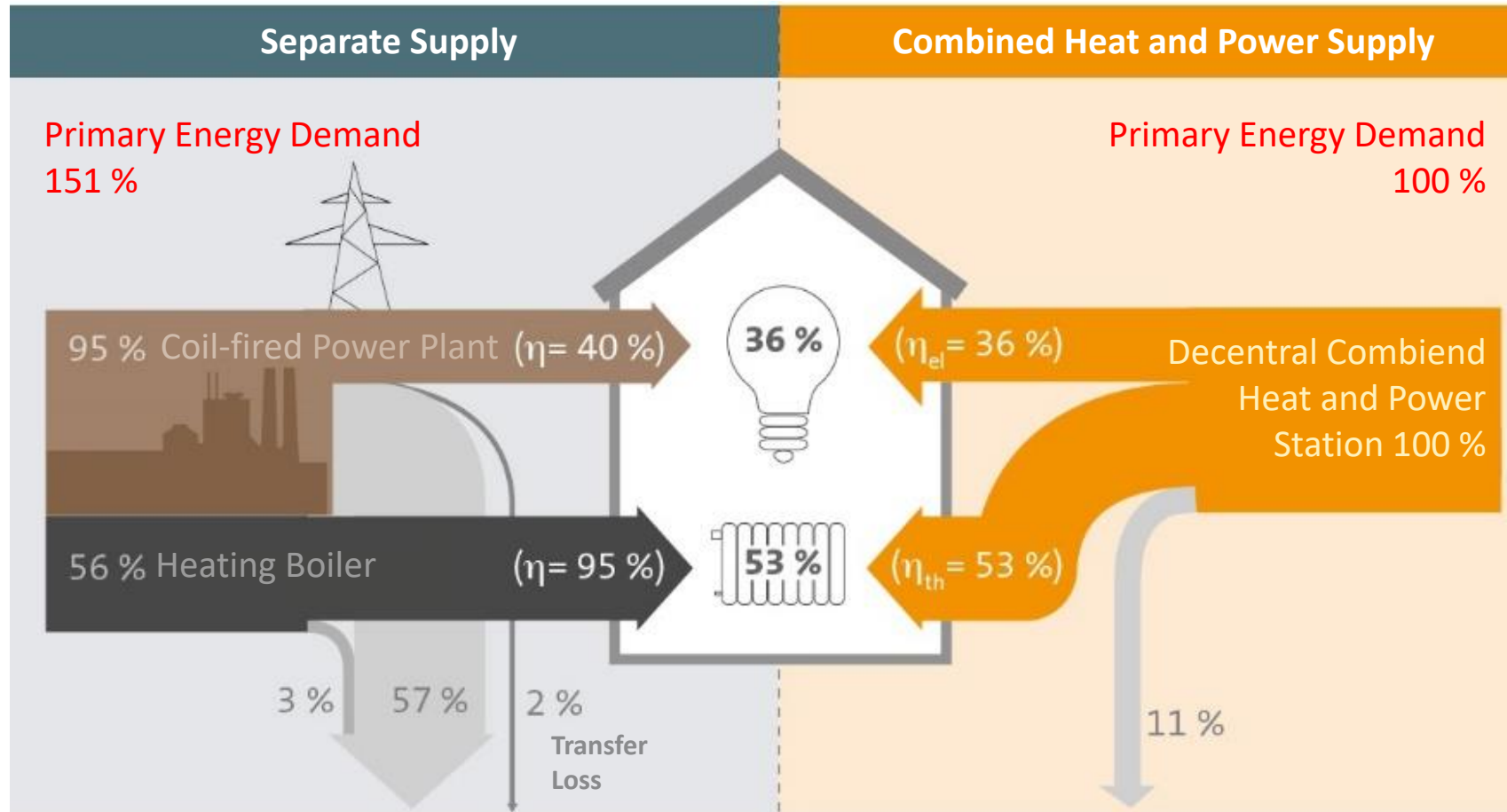
Wstęp do zagadnienia kogeneracji oraz koncepcji elektrociepłowni (CHP)

„It generates **heat and power**“ or

„It generates **power and heat**“

- Jednoczesne wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła zwiększa efektywność energetyczną, a także zmniejsza emisję CO₂
- CHP ma kilka możliwości zmniejszenia zależności od paliw kopalnych
- Nie stoi w sprzeczności z ogólnym celem integracji energii odnawialnej z sektorem ciepłowniczym
- CHP ma zastosowanie niezależnie od źródła energii
- Potencjalne oszczędności energii pierwotnej sięgają 30% – a w odniesieniu do rynku ciepła dochodzą nawet do 70%

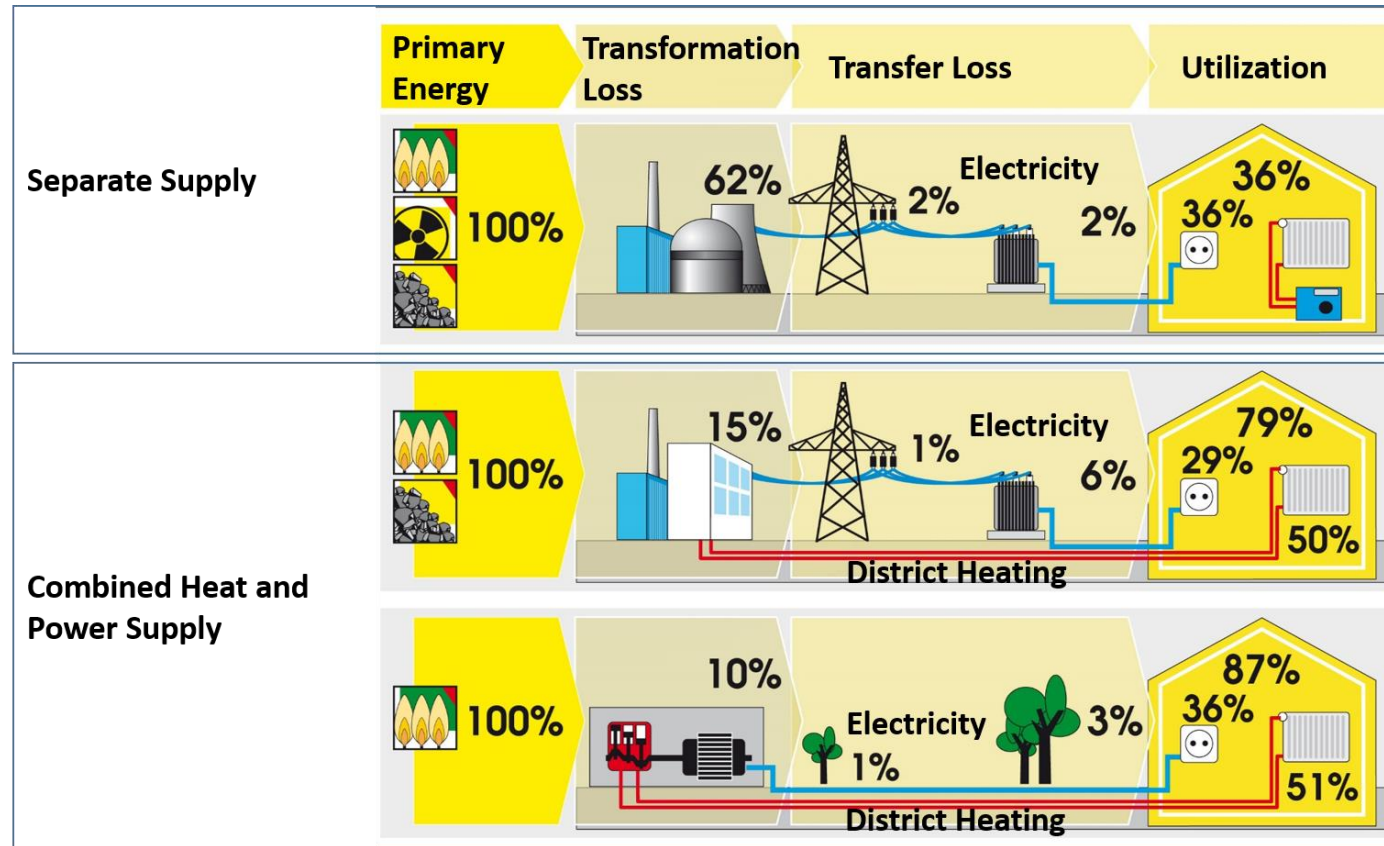
Wstęp do zagadnienia kogeneracji oraz koncepcji elektrociepłowni (CHP)



Rys. 1: Korzyści elektrociepłowni - porównanie konwencjonalnych dostaw ciepła i CHP w odniesieniu do zużycia energii pierwotnej. Źródło: ASUE20 [1]

2. Podstawowe zasady działania elektrociepłowni

Podstawowe zasady działania elektrociepłowni

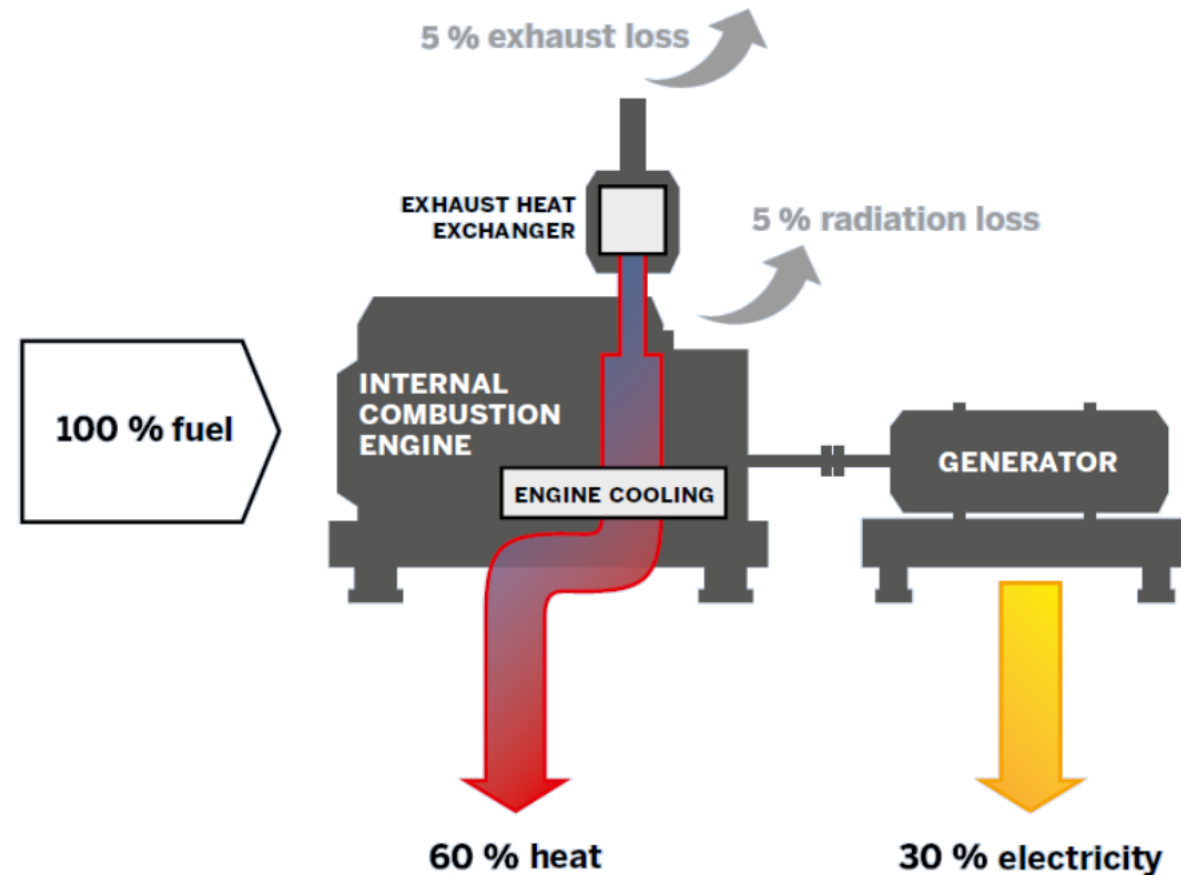


- w przypadku CHP energię w paliwie można zamienić na użyteczną nawet z ponad 90% sprawnością
- w przypadku konwencjonalnych elektrowni (blok gazowo-parowy) to tylko około 35-59% sprawności

Rys. 2: Przepływy energii w zależności od źródła, Źródło: ASUEgg [2]

Podstawowe zasady działania elektrociepłowni

- Jednoczesne wytwarzanie ciepła i energii elektrycznej
 - stała relacja wytwarzanego ciepła i energii elektrycznej
- Przez wytwarzanie ciepła i energii elektrycznej
 - wydajność wzrasta do 90%
- Zasady eksploatacji
 - optymalizacja produkcji energii elektrycznej,
 - optymalizacja produkcji ciepła,
 - udział w regulacji częstotliwości i mocy systemu elektroenergetycznego (*line-commutated controlled*)
- Najwyższa sprawność całkowita osiągnięta podczas pracy w trybie optymalizacji produkcji ciepła



Rys. 3: Zużycie energii w CHP. Źródło: EnergieAgentur.NRW GmbH: 2016 [3]

Podstawowe zasady działania elektrociepłowni

- **Optymalizacja produkcji energii elektrycznej** jest konieczna, jeżeli sterowanie układem kogeneracyjnym jest określone przez ogólne wymagania energetyczne klienta lub systemu, z którym zintegrowana jest elektrociepłownia. Ten tryb pracy układów kogeneracyjnych stosowany jest rzadziej.
- **Optymalizacja produkcji ciepła** ma miejsce wtedy, gdy działająca jednostka kogeneracyjna jest wykorzystywana przede wszystkim do dostarczania ciepła. Równolegle, wyprodukowana energia elektryczna może być wykorzystana przez lokalnych odbiorców, jeśli jest na to zapotrzebowanie lub elektrociepłownia dostarcza ją do sieci wysokiego napięcia. W przypadku różnego zapotrzebowania na ciepło instalowanych jest albo kilka małych jednostek/agregatów kogeneracyjnych, które mogą być aktywowane na żądanie, albo magazyn ciepła, który może być wykorzystywany w warunkach obciążeń szczytowych lub w przypadkach, w których jednostka kogeneracyjna nie pracuje.
- W przypadku ***line-commutated controlled***, elektrociepłownia pracuje z mocą zależną od wymagań sieci elektroenergetycznej (zasadniczo systemu przesyłowego – sieci wysokiego napięcia), biorąc udział w utrzymaniu zadanej częstotliwości sieci 50 Hz (regulacji częstotliwości i mocy). Zwłaszcza ze względu na ciągły wzrost udziału energii odnawialnej (transformację energetyczną) zyskuje to duże znaczenie dla stabilności sieci. Centrum sterowania steruje pracą jednostek kogeneracyjnych, biorąc pod uwagę obciążenie sieci elektroenergetycznej.

Porównanie systemów sterowania i eksploatacji CHP

Zasada	Korzyści	Niekorzyści
optymalizacja produkcji ciepła	najwyższa sprawność	najniższa generacja energii elektrycznej
optymalizacja produkcji energii elektrycznej	najwyższa generacja energii elektrycznej	najniższa sprawność
<i>line-commutated controlled</i>	udział w regulacji częstotliwości i mocy systemu elektroenergetycznego	

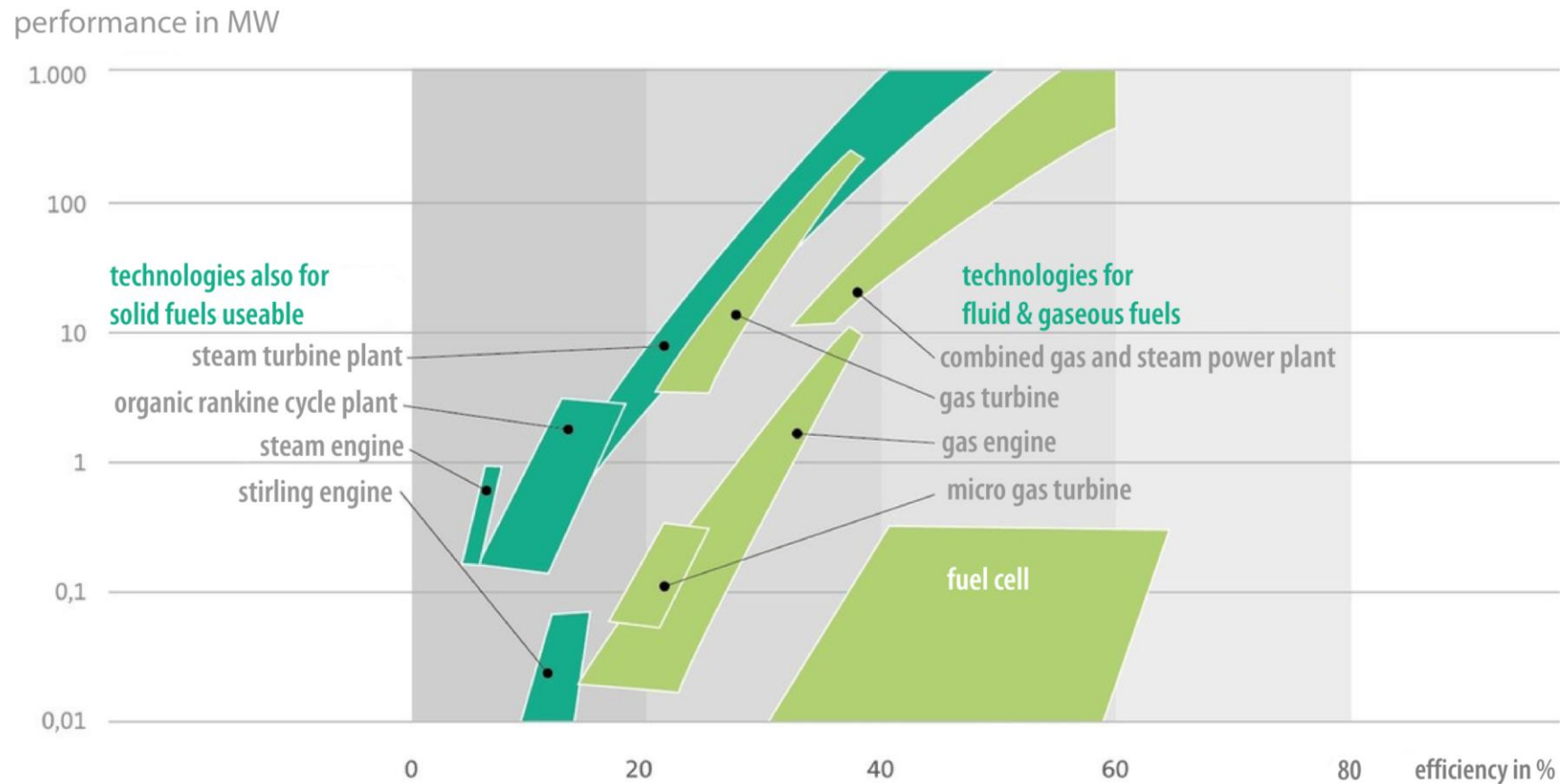
Tabela 1: Porównanie systemów sterowania i eksploatacji CHP. Źródło: Getec 2020 [4]

CHP- zastosowania – zakresy mocy zainstalowanej

	ZAKRES MOCY	PALIWO
Turbiny parowe	$500 \text{ MW} < P_{el} < 1100 \text{ MW}$ Elektrownia jądrowa: $P_{el} < 1600 \text{ MW}$	węgiel, olej opałowy, gaz, biomasa, paliwo jądrowe
Turbiny gazowe	$1 \text{ MW} < P_{el} < 545 \text{ MW}$ Mikroturbiny: $P_{el} < 100 \text{ kW}$	gaz ziemny, olej opałowy
Silniki tłokowe	$1 \text{ kW} < P_{el} < 10 \text{ MW}$	gaz ziemny, olej opałowy
Ogniwa paliwowe	$125 \text{ kW} < P_{el} < 1,4 \text{ MW}$ (59 MW prototypy)	metanol, gaz ziemny, wodór

Tabela 2: Klasyfikacja CHP. Źródło: [7]

CHP- zastosowania – zakresy mocy zainstalowanej

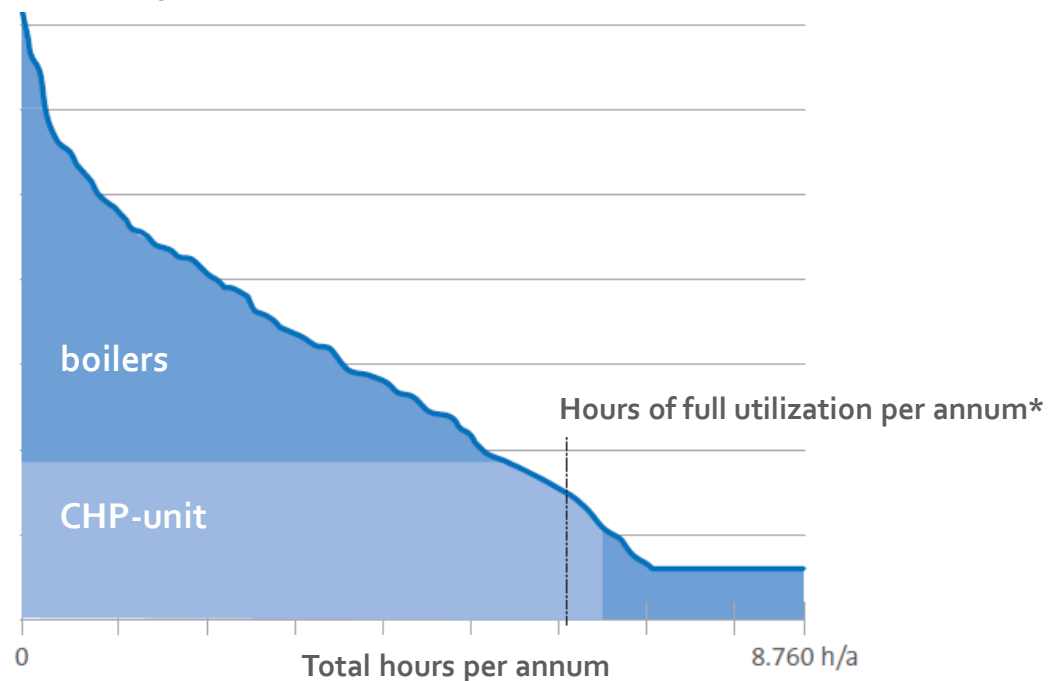


Rys. 5: Sprawność CHP względem mocy zainstalowanej. Źródło: ASUE16 [8]

Wymiarowanie jednostek kogeneracyjnych

ordered annual load duration curve of the heat demand
(space heating & hot water)

Heat output in kW



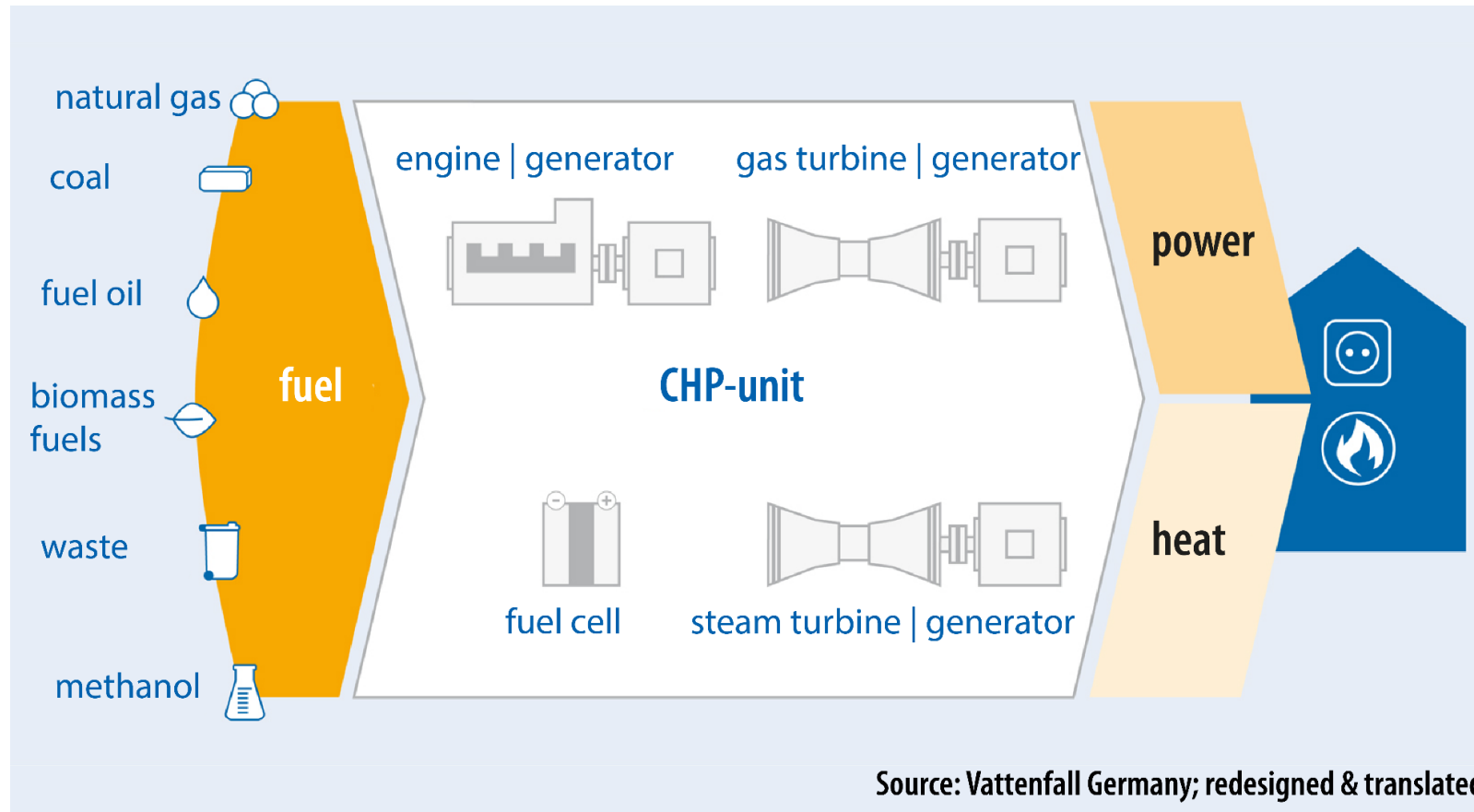
*Sum of the annual operating hours calculated at nominal power.

Rys. 6: Przykładowy czas pracy i moc elektrociepłowni. Źródło: ASUE, 2015 [9]

- Właściwe zwymiarowanie zapewnia długie okresy użytkowania i dużą liczbę godzin pełnego użytkowania w ciągu roku
- Jako podstawę obliczeń i planowania przyjmuje się 20% szczytowej mocy cieplnej bloku kogeneracyjnego, według praktyki niemieckiej
- Należy zapewnić efektywne pokrycie obciążenia podstawowego i 50% wymaganego rocznego zapotrzebowania na ciepło
- Pozostałe zapotrzebowanie na ciepło jest zwykle pokrywane przez kotły lub dodatkowe źródła ciepła

3. Rodzaje urządzeń wykorzystywanych w elektrociepłowniach

Rodzaje paliw i urządzeń



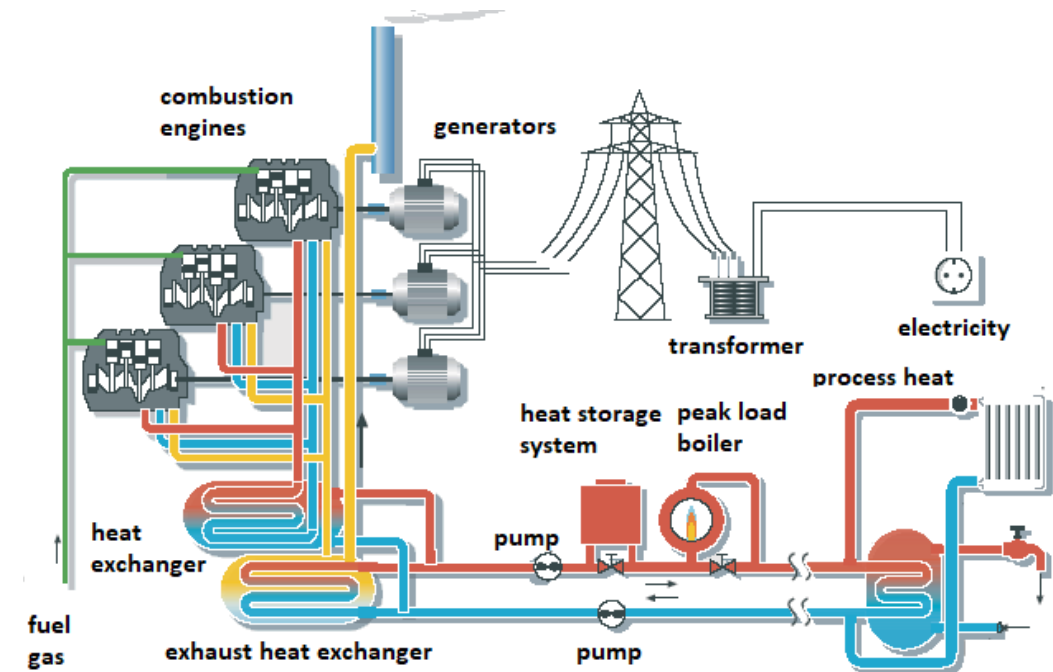
Rys. 7: Łańcuch zaopatrzenia w paliwa dla CHP. Źródło: Vattenfall Germany [10]

Silniki spalinowe

- Spalanie standardowe, zwykle kocioł uzupełniający przy obciążeniach szczytowych
- Temperatury wody chłodzącej i oleju mają poziom 80-90 °C
- Poziom temperatury spalin wystarczająco wysoki do wytwarzania pary

Charakterystyki eksploatacyjne

- Przeważnie sztywne sprzężenie między wytwarzaniem energii elektrycznej i ciepła
- Moduły silnika na ogół działają przy obciążeniu nominalnym
- Możliwość poprawy sprawności dzięki nowoczesnym systemom sterowania i/lub magazynom ciepła
- Praca bez stałego nadzoru możliwa do 72 godzin



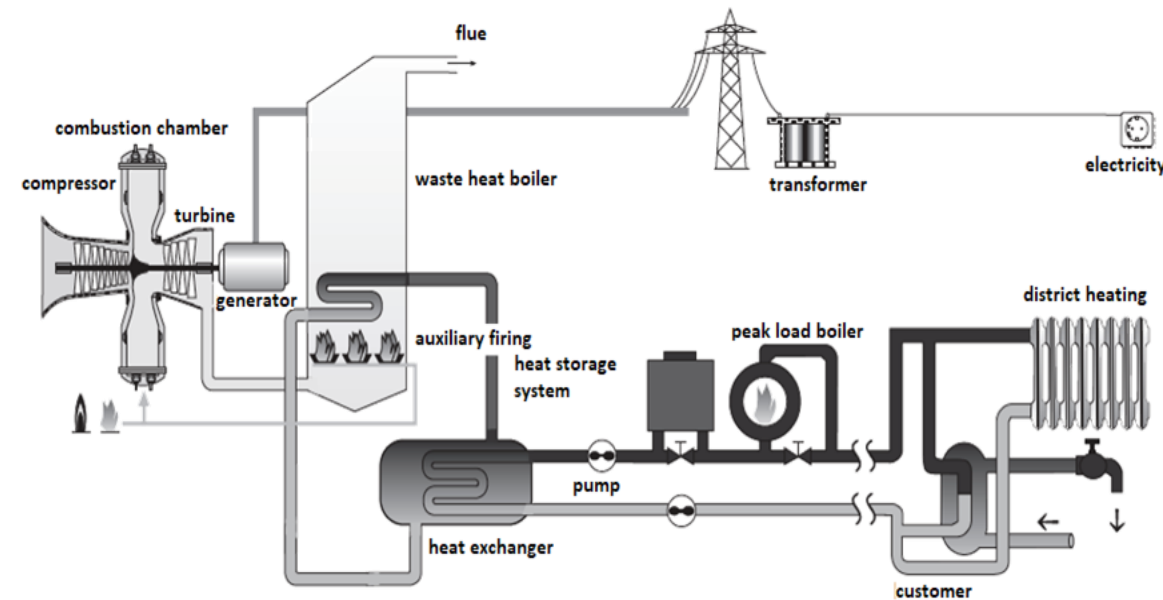
Rys. 8: Schemat elektrociepłowni; silniki spalinowe jako źródło szczytowe.
 Źródło: AGFW11

Turbiny gazowe

- System składa się z jednej lub więcej turbin gazowych
- Wykorzystanie ciepła odbywa się w kotle odzysknicowym z opalaniem pomocniczym lub bez
- Sprawność wynosi $0,5 - 0,8 \text{ kWh}_{el}/\text{kWh}_{th}$
- Turbiny gazowe wykorzystują ciepło ze spalin o temperaturze $400-600 \text{ }^\circ\text{C}$
- Wdrożenia są bardzo rozbudowane, ale i wysokosprawne

Zasadnicze cechy:

- Niskie koszty eksploatacji (zasady rozruchu, automatyzacja)
- Kompaktowa konstrukcja
- Niskie nakłady inwestycyjne
- Niskie wymagania zatrudnieniowe dzięki wysokiemu stopniowi automatyzacji

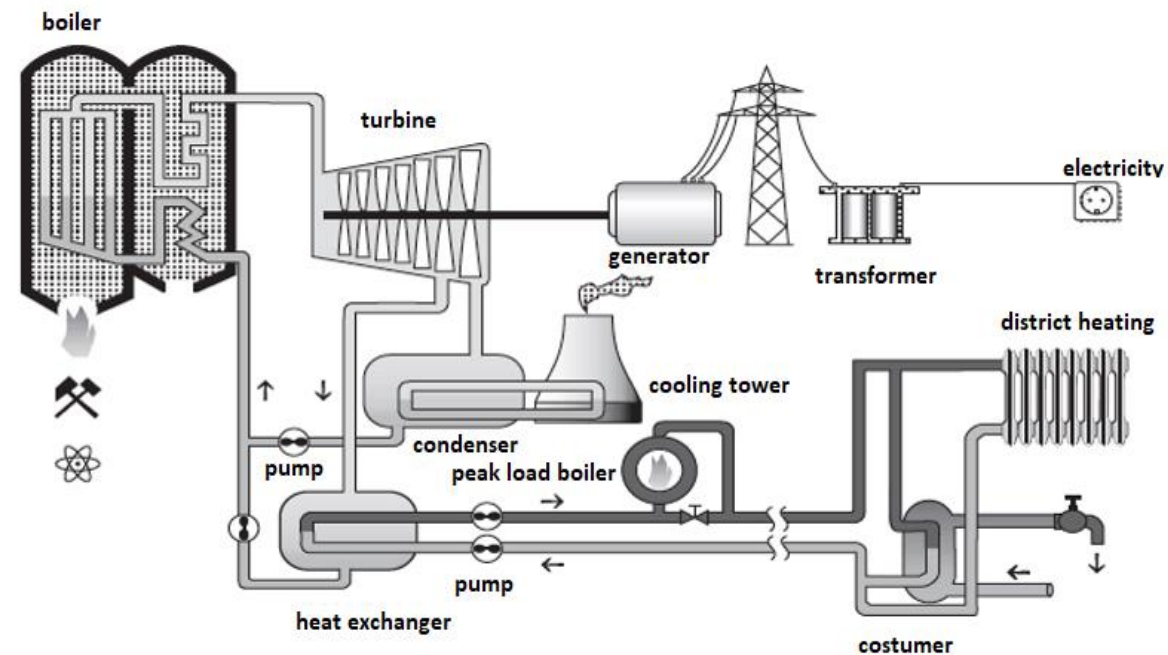


Rys. 9: Schemat instalacji z wykorzystaniem turbiny gazowej. Źródło: AGFW11

Turbiny parowe

Charakterystyka eksploatacyjna

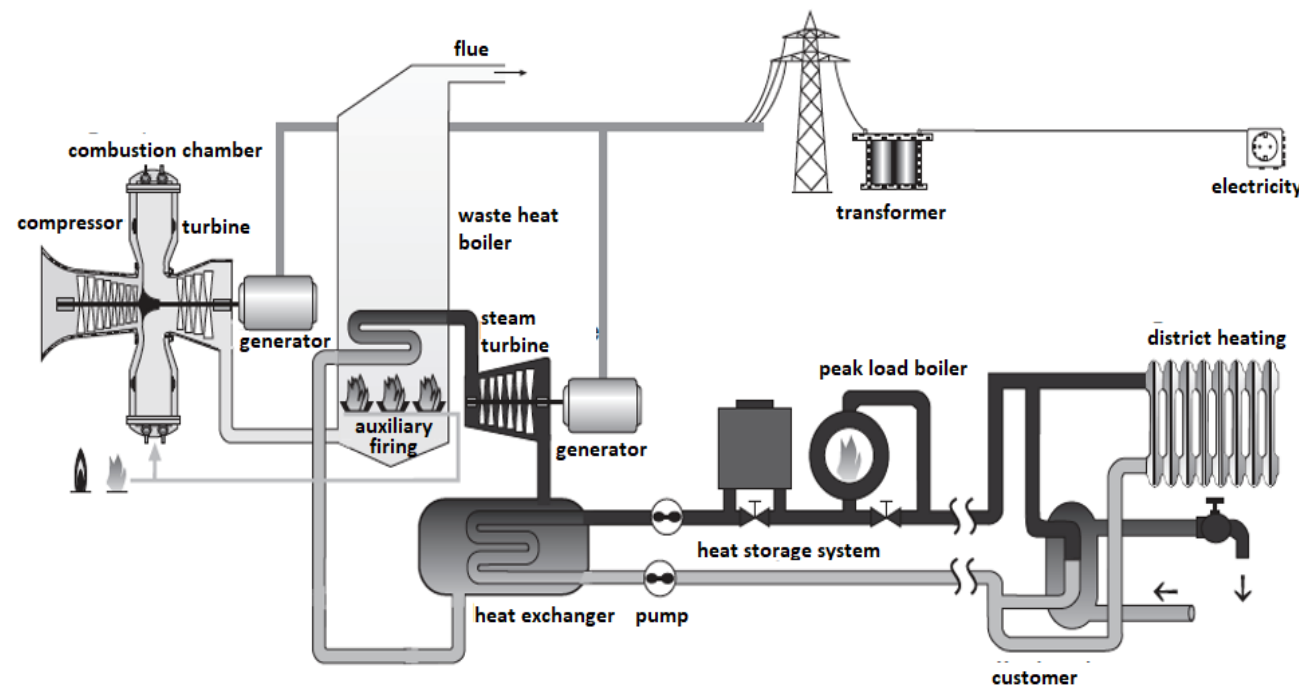
- Woda zamienia się w parę w kotle
- Podczas rozprężania się pary w turbinie energia pary zamienia się w energię mechaniczną (ruch wału), która ulega konwersji w energię elektryczną w generatorze
- W przypadku produkcji ciepła istnieją dwa różne sposoby: oddzielenie ciepła od energii elektrycznej oraz wykorzystanie nadmiaru ciepła w procesie kondensacji



Rys. 10: Główne zasady działania elektrowni kondensacyjnej. Źródło: AGFW11

Elektrownie oparte na bloku gazowo-parowym (CCGT)

- Turbiny gazowe głównie wykorzystywane są w elektroenergetyce (65-80%)
- Można wykorzystać spaliny o względnie niskiej temperaturze
- Turbina parowa nie wymaga dodatkowego źródła ciepła → wysokie wykorzystanie energii pierwotnej



Rys. 11: Schemat bloku gazowo-parowego. Źródło: AGFW11

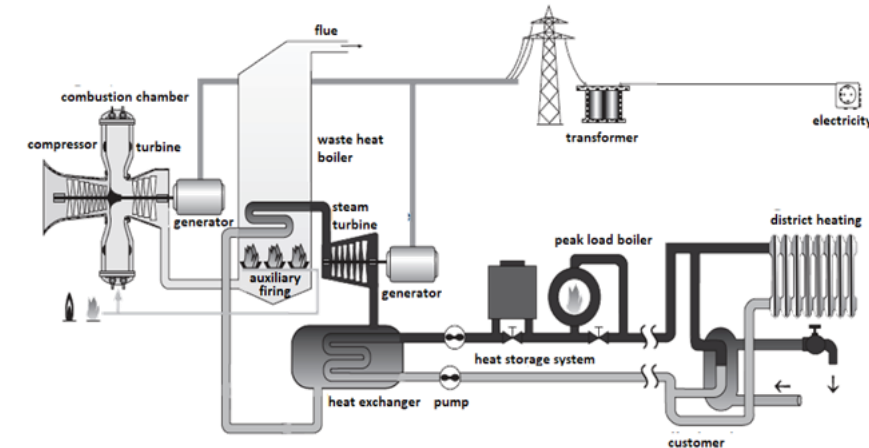
Elektrownie oparte na bloku gazowo-parowym (CCGT)

Szczegółowe wyjaśnienie współdziałania turbiny gazowej i turbiny parowej

- Połączenie jednej (lub więcej) turbin gazowych i jednej (lub więcej) turbin parowych
- Temperatura spalin 350-540 °C umożliwia wytworzenie pary o ciśnieniu 40-80 bar
- Turbina parowa jest podłączona do wymienników ciepła i sieci ciepłowniczej
- Opalanie pomocnicze zwiększa moc elektryczną i ciepłą turbiny parowej

Charakterystyka wykorzystania ciepła odpadowego

- Nie jest wymagane dodatkowe źródło ciepła dla turbiny parowej
- Niskie wymagania zatrudnieniowe
- Stosunkowo niskie nakłady inwestycyjne
- Względnie płaska krzywa jednostkowego zużycia ciepła w obszarze niepełnego obciążenia elektrycznego



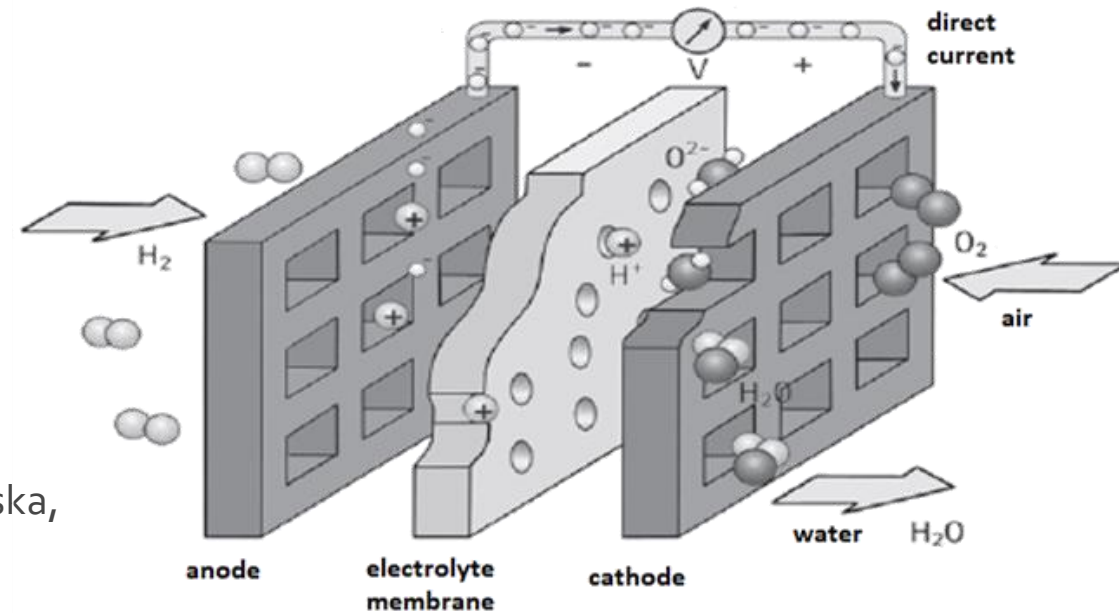
Rys. 12: Schemat bloku gazowo-parowego.
Źródło: AGFW11

Ogniwa paliwowe

- Bezpośrednio powiązane wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła bez „pośrednictwa” energii mechanicznej; jako paliwo wodór, chociaż możliwe także inne, np. gaz ziemny
- Kontrolowana reakcja wodoru i tlenu (ogniwa wodorowe)
- Energia elektryczna generowana bardzo wydajnie w procesie elektrochemicznym, dobrze kontrolowana
- Różne poziomy temperatury użytecznego ciepła odpadowego – w zależności od technologii ogniw paliwowych
- Ogniwa paliwowe różnią się technologią i/lub temperaturą pracy (niska, średnia, wysoka)

Możliwe udoskonalenia:

- Materiały, „czas życia” ogniwa, poziom nakładów inwestycyjnych



Rys. 13: Zasada działania ogniw paliwowych.
 Źródło: Vaillant Remscheid [11]

4. Przyszłość kogeneracji / CHP

Przyszłość kogeneracji / elektrociepłowni

Podsumowanie kogeneracji / technologii CHP

- Elektrociepłownie przeżywają w ostatnich latach szybki rozwój
- Zastosowania CHP przyczyniają się do transformacji energetyki na kilka sposobów
- Elastyczne rozwiązanie w celu wdrożenia coraz większej liczby odnawialnych źródeł energii w przyszłości
- Ważne ogniwo jednocześnie w elektroenergetyce, gazownictwie i ciepłownictwie

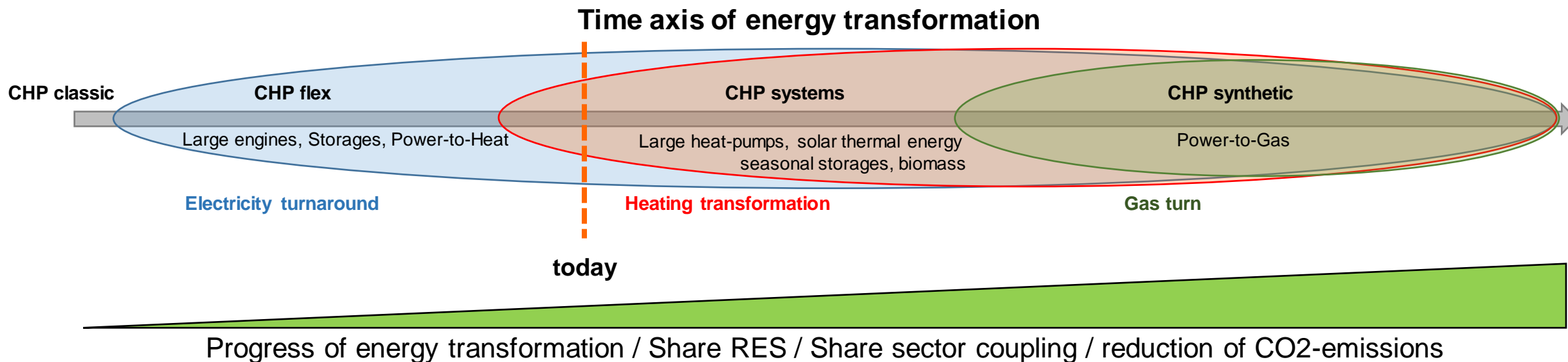
Zmiany są konieczne!

→ Większość CHP wykorzystuje paliwa kopalne, potrzebna transformacja w kierunku OZE

Przyszłość kogeneracji / elektrociepłowni

Możliwe OZE w kogeneracji

- Biomasa i gaz z oczyszczalni ścieków
- „Zielony” wodór lub sztuczny metan, uzyskiwany w procesie metanizacji



Rys. 14: Linia czasu w rozwoju technologii kogeneracji. Źródło: AGFW 2019

Przyszłość kogeneracji / elektrociepłowni

W okresie „przejściowym” niezbędny jest jako paliwo gaz ziemny. Jednak elektrownie gazowe muszą być budowane w taki sposób, aby mogły wykorzystywać paliwo neutralne dla klimatu, czyli „zielony” wodór (tzw. *H₂-Ready*), stopniowo zwiększając jego objętościowy udział w paliwie podawanym do specjalnie zaprojektowanych turbin (w szczególności produkcji Siemens, który w listopadzie 2021 roku uzyskał certyfikację *H₂-Ready* dla koncepcji elektrowni / elektrociepłowni od TÜV SÜD) oraz wielkoskalowych ogniw paliwowych.

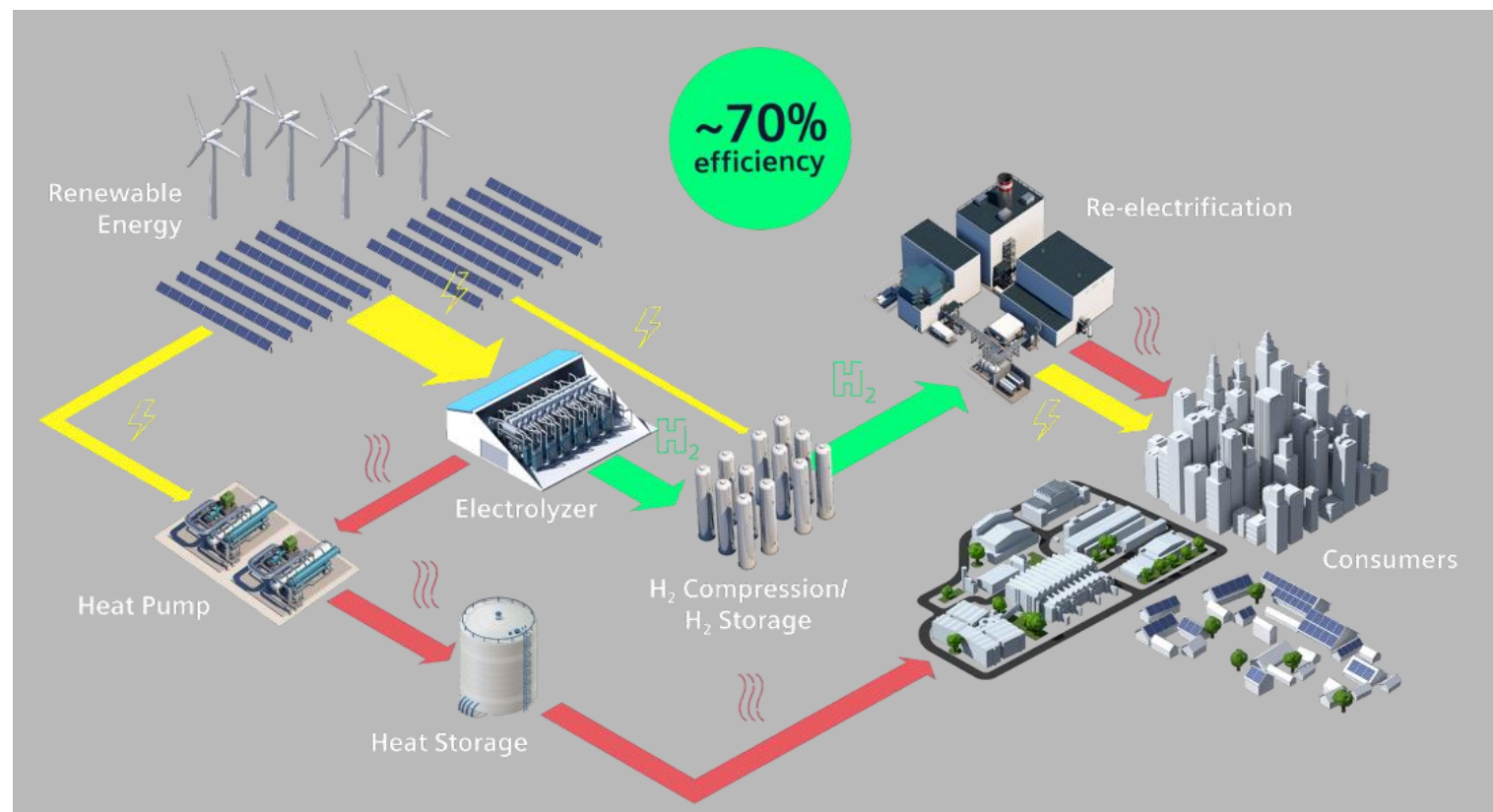
Przykładem budowanej obecnie (2021 r.) elektrociepłowni *H₂-Ready* jest Heizkraftwerk Leipzig Süd (dostawa dwóch gazowych turbin Siemens SGT-800, każda o mocy 62 MW_{el} i możliwości spalania do 75% objętościowo wodoru, ma nastąpić w czwartym kwartale 2022 r.), o zakładanej sprawności całkowitej powyżej 93%.



Rys. 15: Wizualizacja elektrociepłowni Leipzig Süd. Źródło: <https://zukunft-fernwaerme.de/technologie/>

Przyszłość kogeneracji / elektrociepłowni

Koncepcja całkowicie neutralnego dla klimatu systemu energetycznego, według Siemens AG:



Rys. 16: Koncepcja Siemens. Źródło: <https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/power-plants/hydrogen-power-plants.html>

Źródła

- [1] Asue 2020. <https://www.asue.de/node/2880>
- [2] Asue 99. <https://www.asue.de/node/1934>
- [3] EnergieAgentur.NRW GmbH: 2016; translated; https://www.energieagentur.nrw/content/anlagen/B_EA453en.pdf
- [4] Getec 2020. <https://www.getec-energyservices.com/Home/Technologies/CHP-units/>
- [5] Asue 2015. https://www.gemeindewerke-huenxe.de/fileadmin/gelsenwasser_de/content/waerme/dateien/broschuere_waerme-plus_asue_bhkw-fibel-2012.pdf
- [7] R. Zahoransky: *Energietechnik - Systeme zur konventionellen und erneuerbaren Energieumwandlung. Kompaktwissen für Studium und Beruf*. 8. Überarbeitete und ergänzte Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2019.
- [8] Asue 16. <https://asue.de/node/2587>
- [9] Asue 15. https://asue.de/blockheizkraftwerke/grafiken/geordnete_jahresdauerlinie_des_waermebedarfs_waermebedarfsdeckung_durch_bhkw_und_kesselanlagen
- [10] Vattenfall Germany. <https://group.vattenfall.com/de/zukunft/kraft-waerme-kopplung>
- [11] Vaillant Remscheid. Quoted after https://www.bhkw-infozentrum.de/innovative/bz_gl.html
- [all others]. Own illustrations AGFW.
- [12] Heizkraftwerk Leipzig Süd. <https://zukunft-fernwaerme.de/technologie/>
- [13] Siemens AG. <https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/power-plants/hydrogen-power-plants.html>

Contact



AGFW-Project GmbH

Project company for rationalisation,
information & standardisation

Stresemannallee 30
60596 Frankfurt am Main
Germany

E-mail: info@agfw.de
Tel: +49 69 6304 - 247
www.agfw.de