

AGH

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

**AGH UNIVERSITY OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY**

Technologie Energetyczne

Wykład

Procesy konwersji energii

dr hab. inż. Paweł Madejski, prof. AGH

madejski@agh.edu.pl

<http://galaxy.agh.edu.pl/~madejski/>

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki

Katedra Systemów Energetycznych i Urządzeń Ochrony Środowiska



Technologie Energetyczne

Technologie Energetyczne

Interdyscyplinarna nauka inżynierska zajmująca się opracowaniem uzyskaniem skutecznych, bezpiecznych, przyjaznych dla środowiska i ekonomicznych technik wydobycia, konwersji, transportu, magazynowania i wykorzystania energii, ukierunkowana na uzyskiwanie wysokiej efektywności, unikania niekorzystnych skutków ubocznych dla ludzi, przyrody i środowiska.

Źródło: Energy Technology Handbook, by D.M. Considine, 1977

Technologie Energetyczne

technologie mające na celu konwersję energii paliw w pożądane końcowe (użytkowe) postaci energii (np. energii elektryczną, ciepło, chłód, nowe paliwa, np. wodór, metanol).

Główne kryteria oceny:

- efektywność techniczno–ekonomiczna (sprawność konwersji, jednostkowy koszt produkcji),
- stopień obciążenia środowiska naturalnego (oddziaływanie z atmosferą, hydrosferą i litosferą poprzez emisje substancji szkodliwych i promieniowania)
- stopień niezawodności i dyspozycyjności,
- elastyczność eksploatacyjna (rozumiana m.in.. jako zdolność do odpowiednio szybkiego podążania za zmianą zapotrzebowania).



AGH

Technologie Energetyczne

Technologia zeroemisyjna

(prawie zeroemisyjna – niemożliwa jest technologia bez emisji) - technologia o minimalnej do uzyskania w danym etapie rozwoju techniki (z uwzględnieniem racjonalnych kosztów wytwarzania produktu) emisji substancji szkodliwych (współcześnie normowane są emisje: SO₂, NO_x-NO, NO₂, CO₂ pyłu (Hg, HCl).

Nowe technologie energetyczne:

- nowe lub zmodyfikowane procesy konwersji (nowe zjawiska fizyko -chemiczne),
- nowe paliwa (biomasa, paliwa hybrydowe, gaz syntezowy),
- nowe struktury technologiczne (nowe lub zmodyfikowane obiegi cieplne, różne sposoby sprzężenia obiegów wysoko i niskotemperaturowych, modyfikacje związane z wprowadzeniem nowych parametrów itd.),
- nowe techniki spalania, nowe silniki, kotły, nowe techniki oczyszczania spalin

Źródło: *T. Chmielniak, Wykład - Technologie Energetyczne, 2009*

Technologie energetyczne o ujemnej emisji (CO₂)

CDR (Carbon Dioxide Removal) – można podzielić na trzy główne grupy: procesy biologiczne, technologiczne i geochemiczne.

Przykładami technologicznego CDR są:

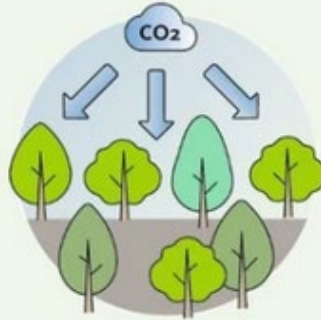
- Usuwanie CO₂ bezpośrednio z atmosfery i magazynowanie go w innym miejscu, np. pod ziemią (Direct Air Capture with Carbon Storage, „DACCS”).
- Wykorzystanie bioenergii w połączeniu z wychwytywaniem i składowaniem dwutlenku węgla, czyli spalanie biomasy w elektrowniach i natychmiastowe wychwytywanie i składowanie CO₂ np. pod ziemią (Bio-Energy with Carbon Capture and Storage, „BECCS”). Proces ten łączy biologiczny i technologiczny CDR.

Technologie Energetyczne

Possible approaches for negative emissions

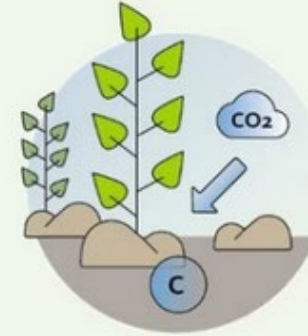
Afforestation, reforestation, forest management and wood utilisation

Trees remove CO₂ from the air as they grow. The CO₂ can be stored in trees, soil and wood products.



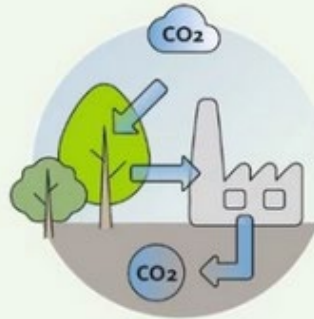
Soil management (incl. biochar)

The introduction of carbon (C) into soils, e.g. through crop residues or vegetable carbon, can accumulate C in the soil.



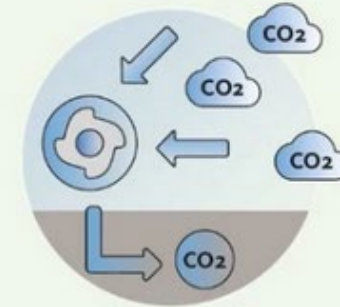
Bioenergy with carbon capture and storage (BECCS)

Plants convert CO₂ into biomass, which provides energy. CO₂ is captured and stored underground.



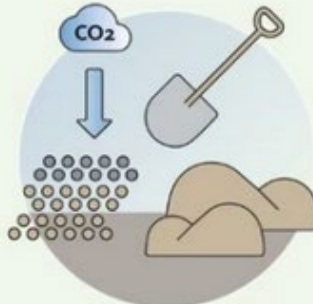
Direct air capture carbon capture and storage (DACCS)

CO₂ is extracted from the ambient air by chemical processes and stored underground.



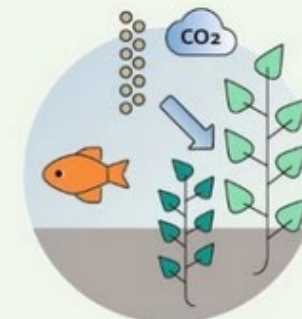
Enhanced weathering

Crushed minerals bind CO₂ chemically and can then be stored in products, in the soil or in the sea.

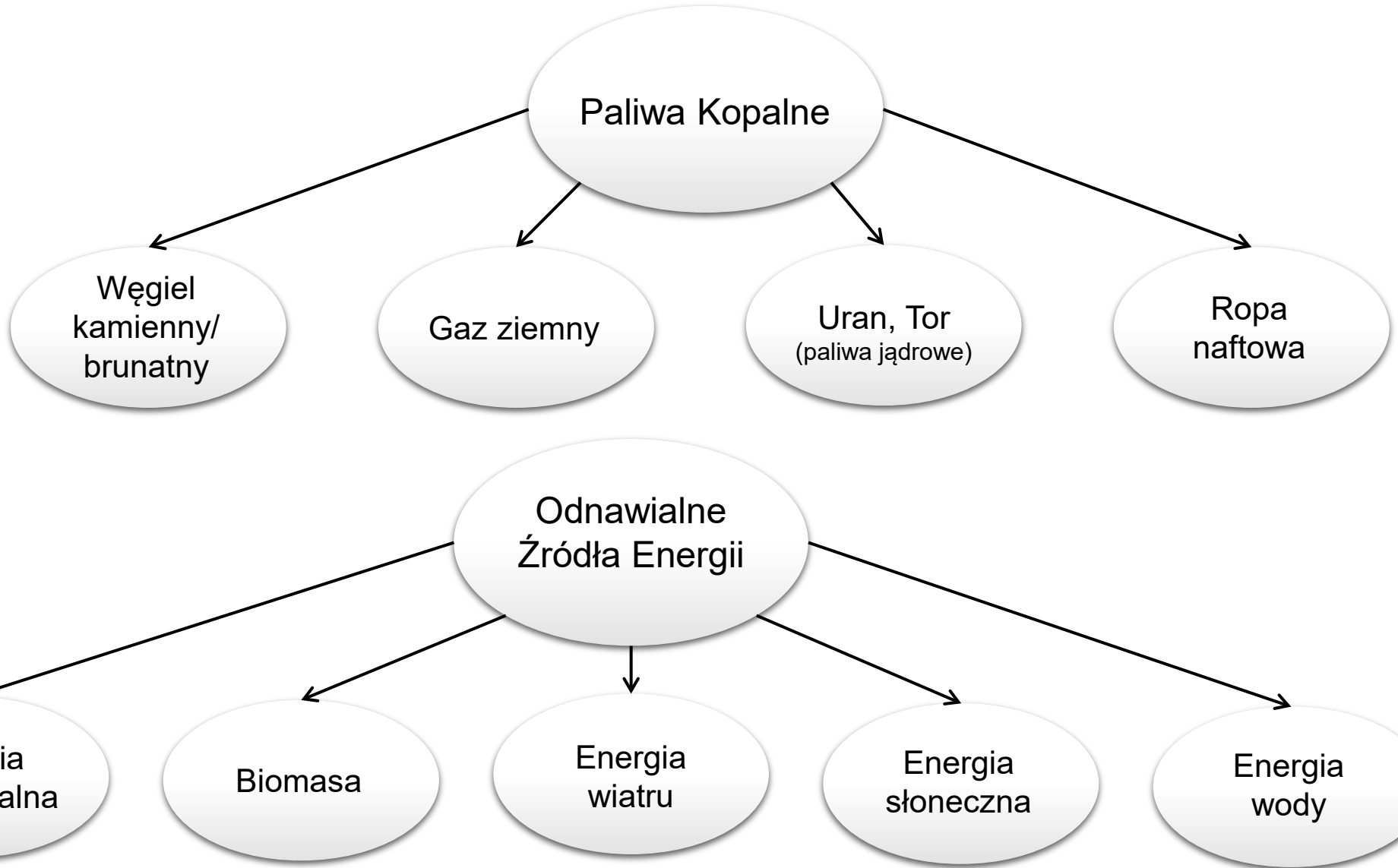


Ocean fertilisation

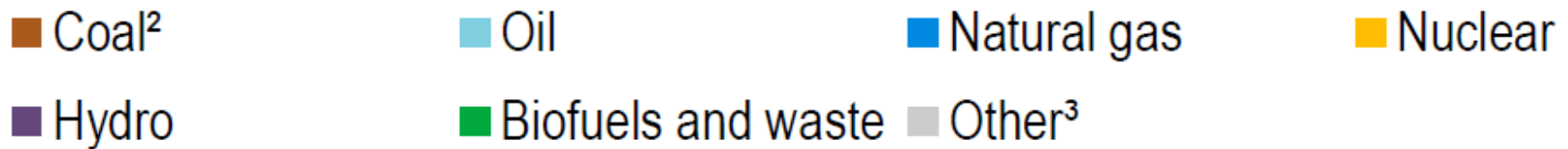
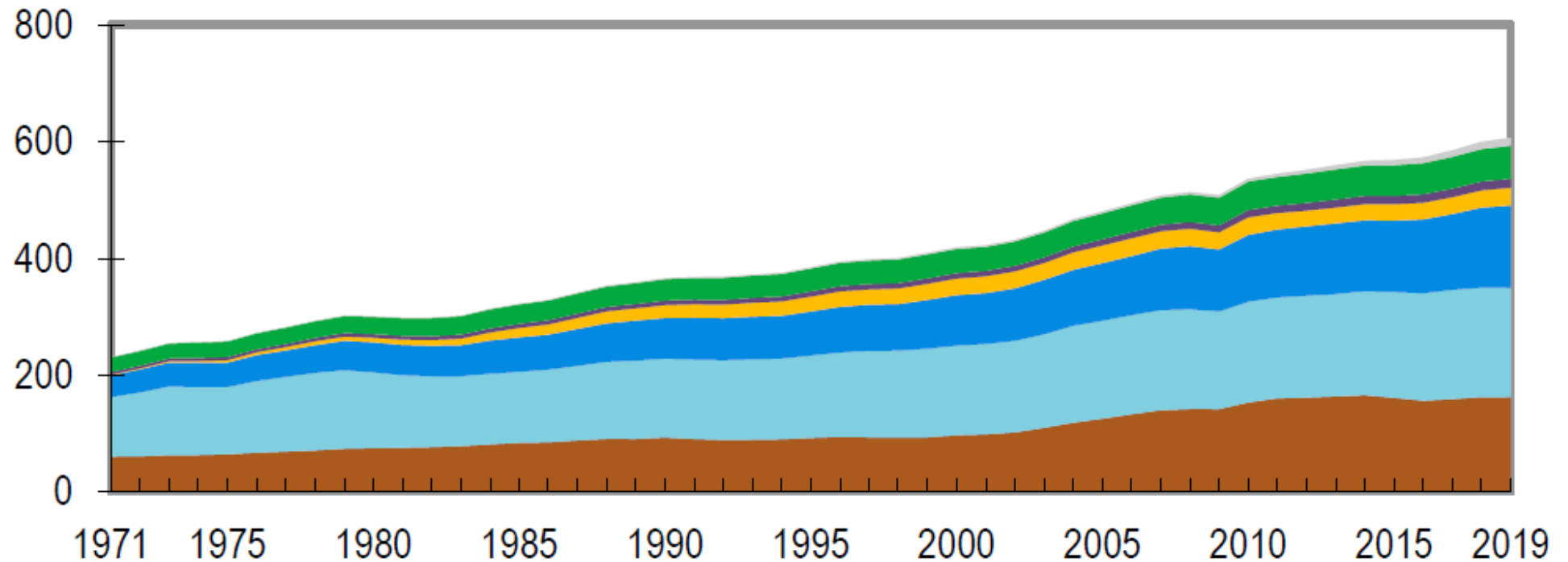
Iron or other nutrients are added to the ocean to increase the absorption of CO₂ by algae.



Źródła energii



World¹ total energy supply by source, 1971-2019 (EJ)

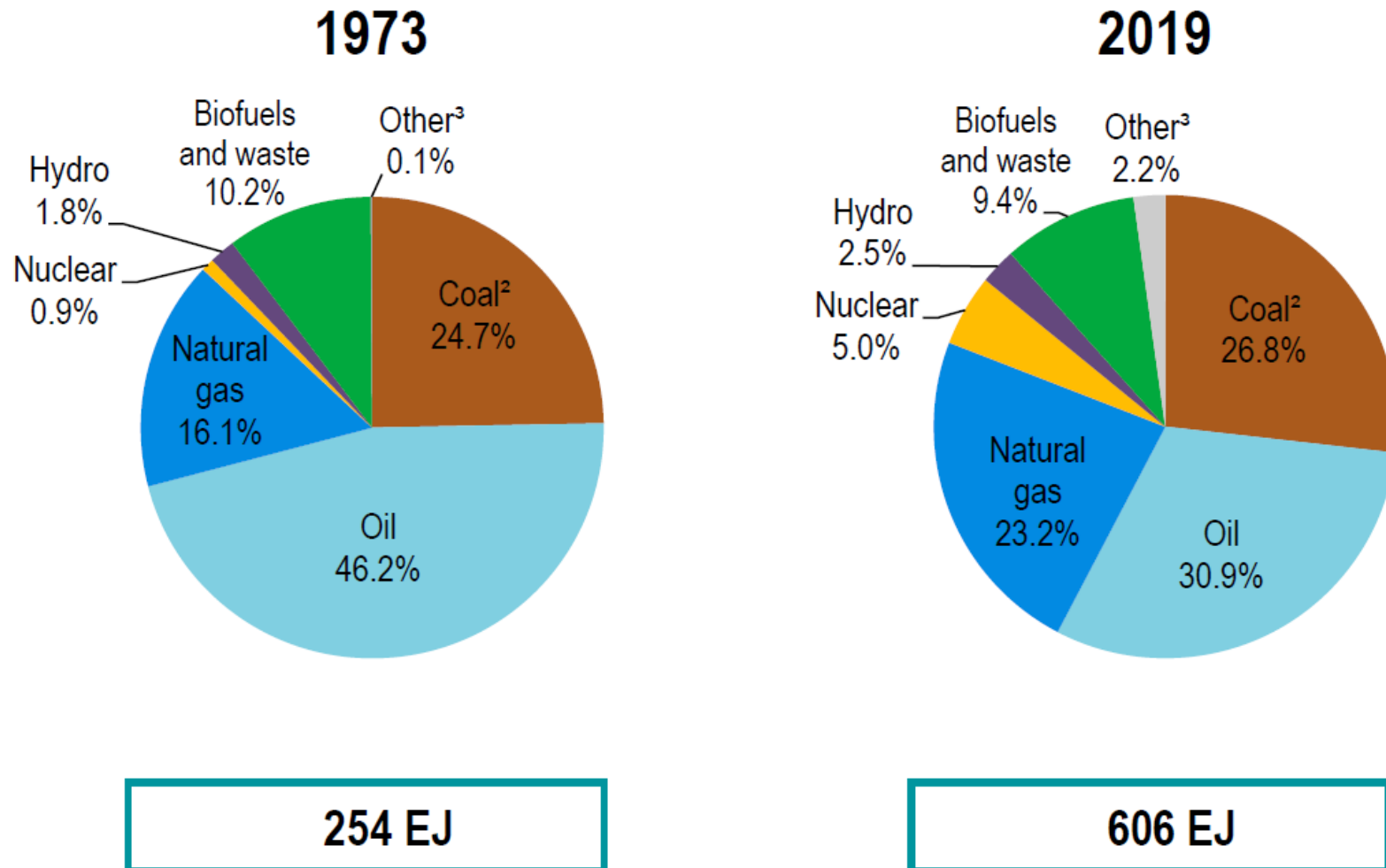


Światowe źródła energii pierwotnej z podziałem na paliwa (Total Energy Supply)

Źródło: *Key world energy statistics. International Energy Agency, 2021*

Źródła energii

Share of world total energy supply by source, 1973 and 2019



Światowe źródła energii pierwotnej z podziałem na paliwa (Total Energy Supply)
 Źródło: *Key world energy statistics. International Energy Agency, 2021*



Źródła energii

EJ - eksadżul (exajoule)

$$1\text{EJ} = 10^{18} \text{ J}$$

Mtoe – Million Tonnes of Oil Equivalent

Tona oleju ekwiwalentnego (toe) jest to energetyczny równoważnik jednej tony ropy naftowej o wartości opałowej równej 10000 kcal/kg.

Używana przede wszystkim w energetyce do opisu dużych wartości energii.

Używa się też jednostki pochodnej Mtoe = 1 000 000 toe.

Definicja wg. Międzynarodowej Agencji Energetycznej (International Energy Agency) oraz Organizacji Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (Organisation for Economic Co-operation and Development - OECD)

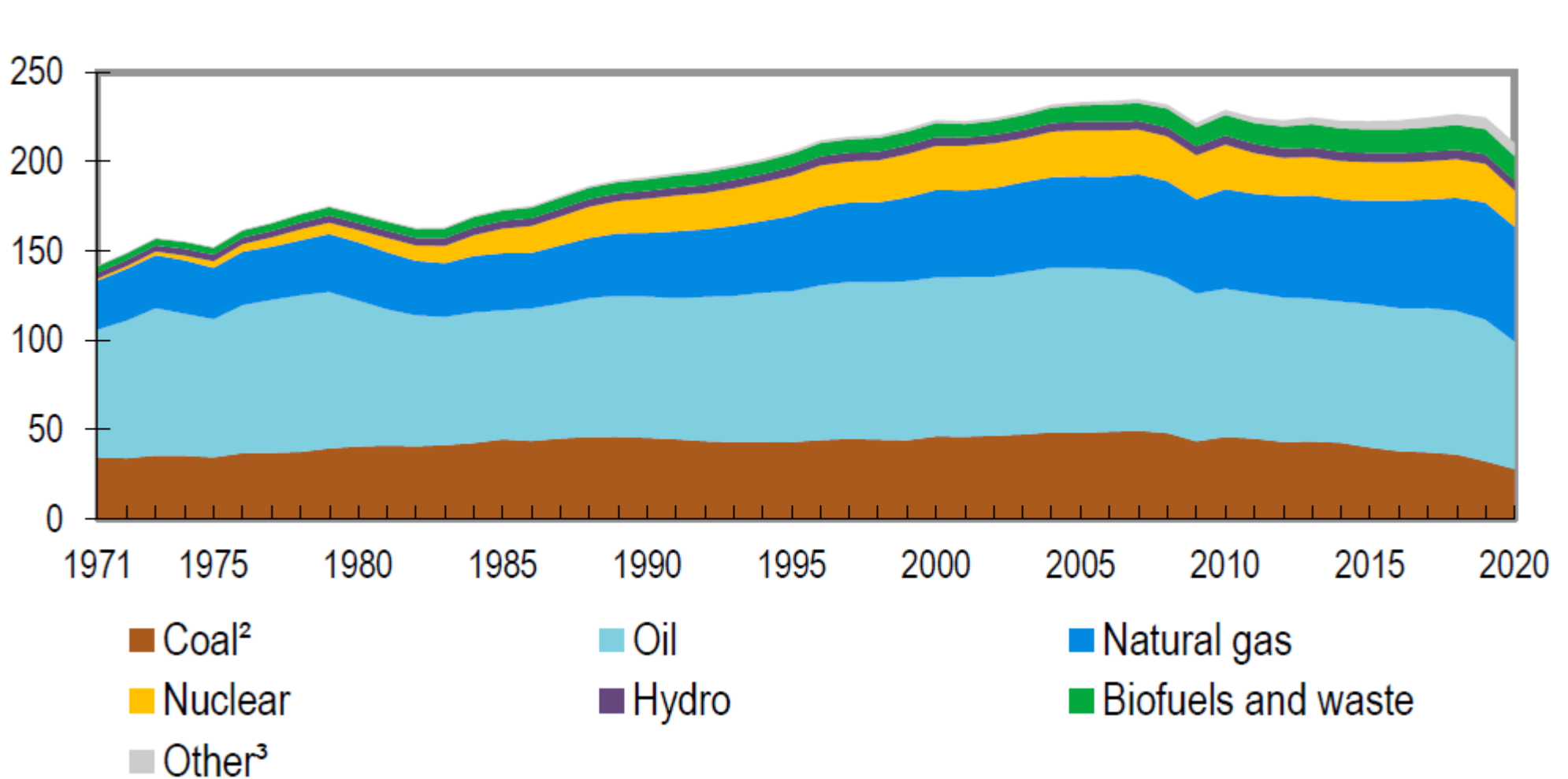
$$1 \text{ toe} = 11\,630 \text{ kWh} = 11,63 \text{ MWh}$$

$$1 \text{ toe} = 41,868 \text{ GJ}$$

$$1 \text{ toe} = 10 \text{ Gcal}$$

Źródła energii

OECD total energy supply¹ by source, 1971-2020 (EJ)



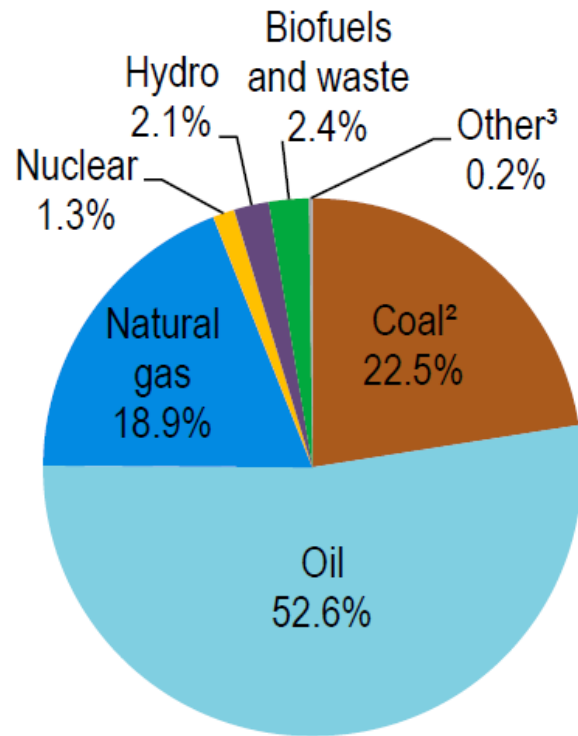
Światowe źródła energii pierwotnej z podziałem na paliwa (Total Energy Supply)

Źródło: *Key world energy statistics. International Energy Agency, 2021*

Źródła energii

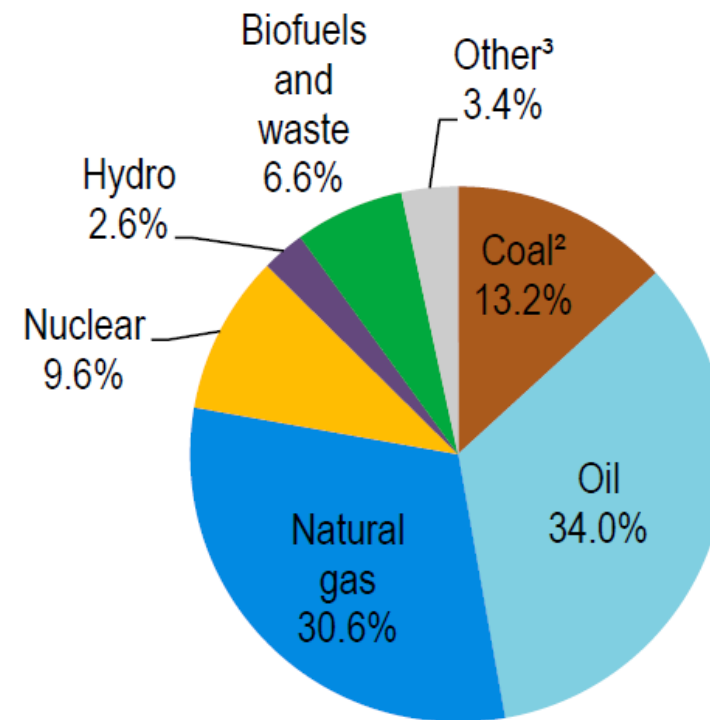
Share of OECD total energy supply¹ by source, 1973 and 2020

1973



157 EJ

2020



210 EJ

Światowe źródła energii pierwotnej z podziałem na paliwa (Total Energy Supply)

Źródło: *Key world energy statistics. International Energy Agency, 2021*



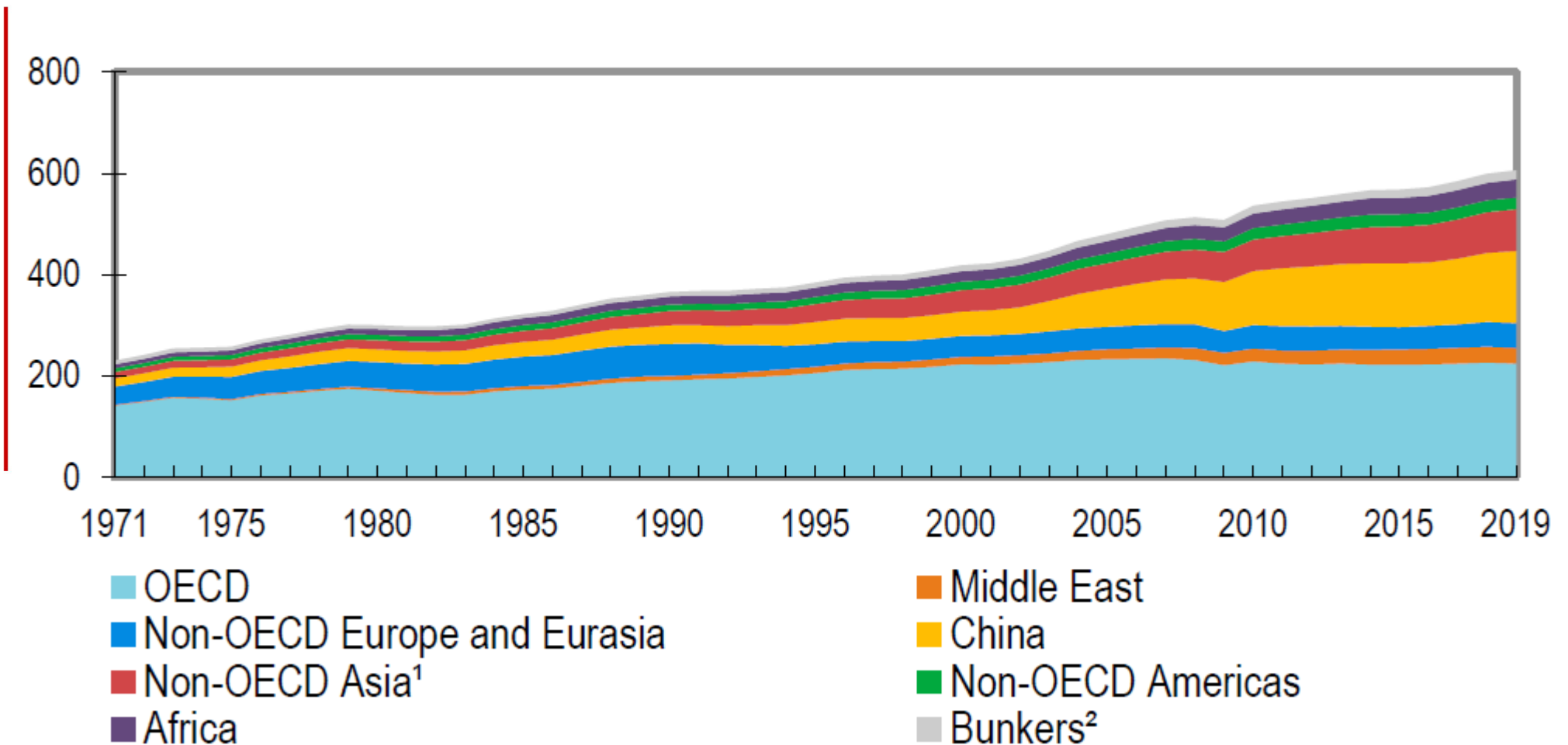
Źródła energii

Państwa OECD

Organisation for Economic Co-operation and Development
(Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju):

Australia, Austria, Belgium, Canada, Chile, the Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Israel, Italy, Japan, Korea, Latvia, Luxembourg, Mexico, the Netherlands, New Zealand, Norway, Poland, Portugal, the Slovak Republic, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey, the United Kingdom, the United States

World total energy supply by region, 1971-2019 (EJ)

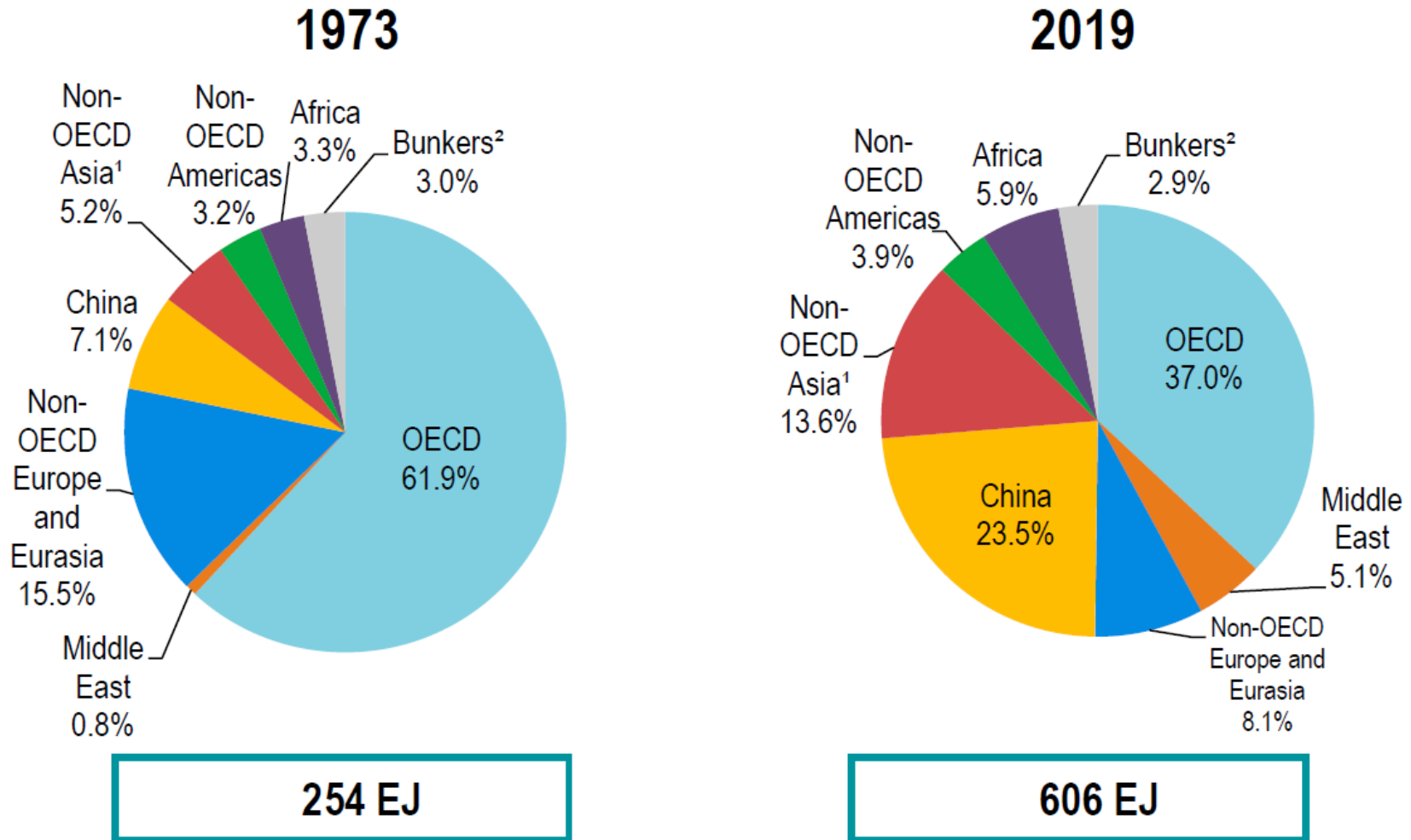


Światowe źródła energii pierwotnej z podziałem na paliwa (Total Energy Supply)

Źródło: *Key world energy statistics. International Energy Agency, 2021*

Źródła energii

Share of world total energy supply by region, 1973 and 2019



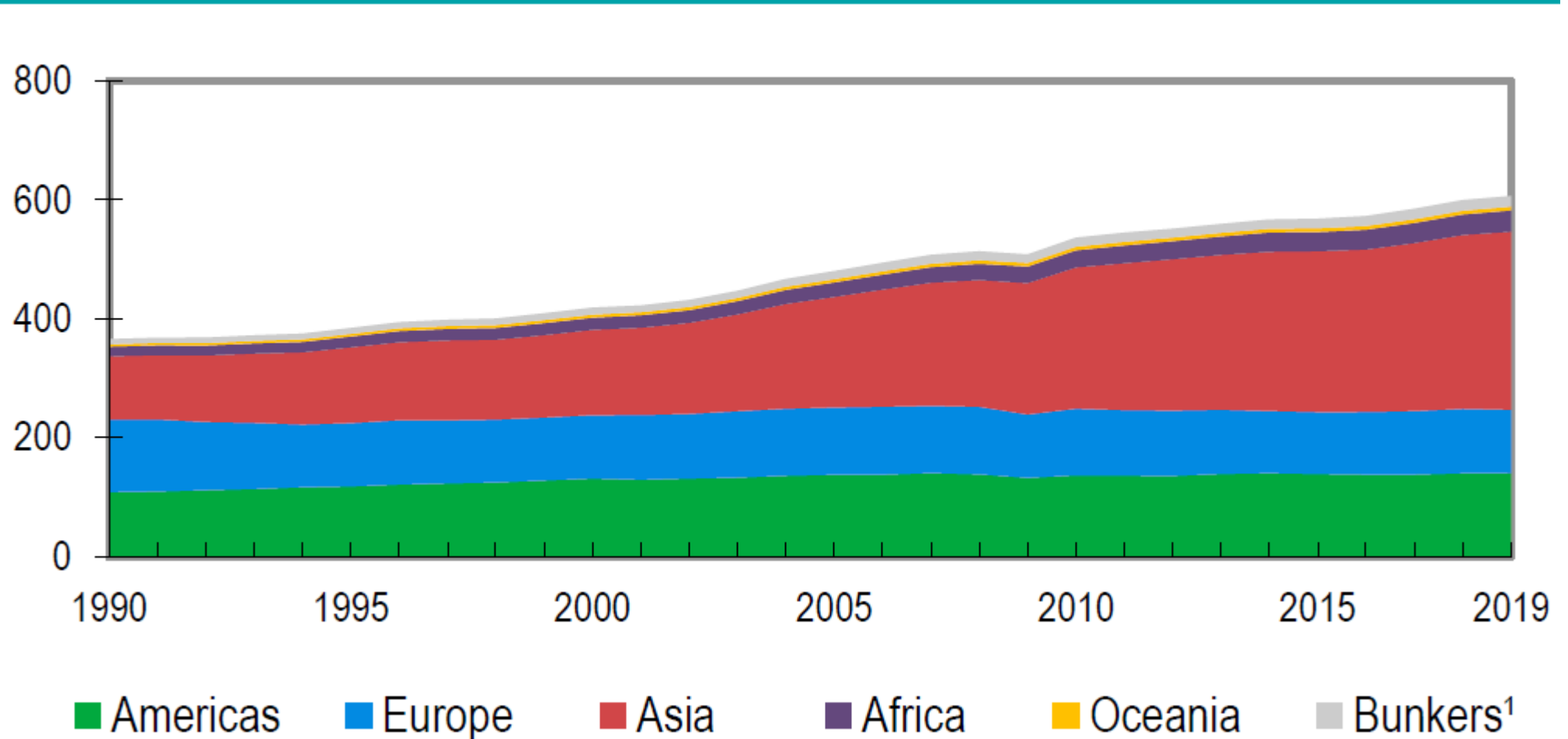
Światowe źródła energii pierwotnej z podziałem na paliwa (Total Energy Supply)

Źródło: *Key world energy statistics. International Energy Agency, 2021*



Źródła energii

World total energy supply by geographical region, 1990-2019 (EJ)

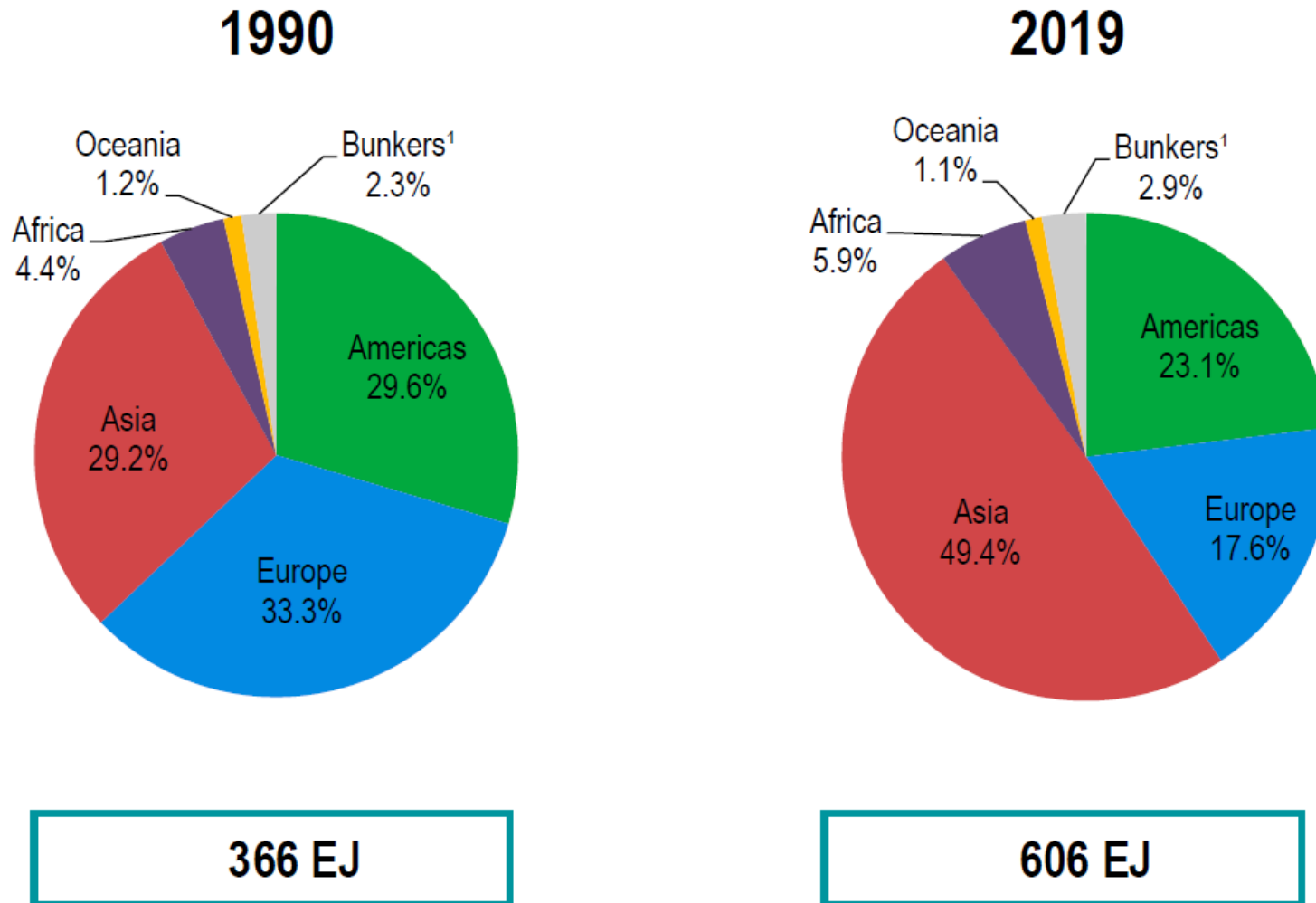


Światowe źródła energii pierwotnej z podziałem na paliwa (Total Energy Supply)

Źródło: *Key world energy statistics. International Energy Agency, 2021*

Źródła energii

Share of world total energy supply by geographical region, 1990 and 2019

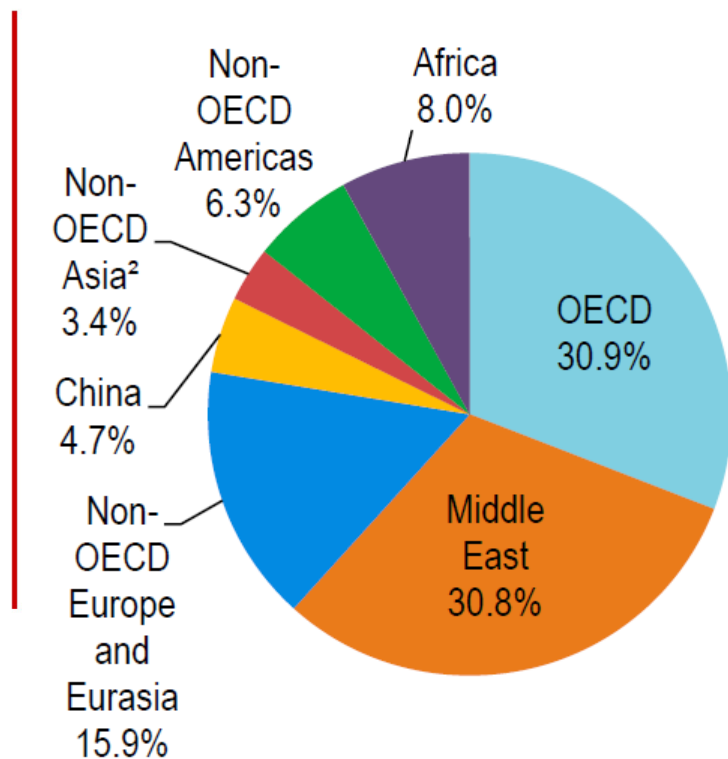


Światowe źródła energii pierwotnej z podziałem na paliwa (Total Energy Supply)

Źródło: *Key world energy statistics. International Energy Agency, 2021*

Źródła energii - ropa

2020



4 141 Mt

Producers	Mt	% of world total
United States	706	17.0
Russian Federation	512	12.4
Saudi Arabia	511	12.3
Canada	255	6.2
Iraq	201	4.9
People's Rep. of China	195	4.7
United Arab Emirates	174	4.2
Brazil	153	3.7
Kuwait	131	3.2
Islamic Rep. of Iran	130	3.1
Rest of the world	1 173	28.3
World	4 141	100.0

2020 provisional data

Net exporters	Mt
Saudi Arabia	352
Russian Federation	269
Iraq	195
Canada	154
United Arab Emirates	148
Kuwait	102
Nigeria	99
Kazakhstan	70
Angola	63
Mexico	59
Others	531
Total	2 042

2019 data

Net importers	Mt
People's Rep. of China	505
India	227
United States	202
Japan	149
Korea	145
Germany	86
Spain	66
Italy	65
Netherlands	62
Singapore	53
Others	509
Total	2 069

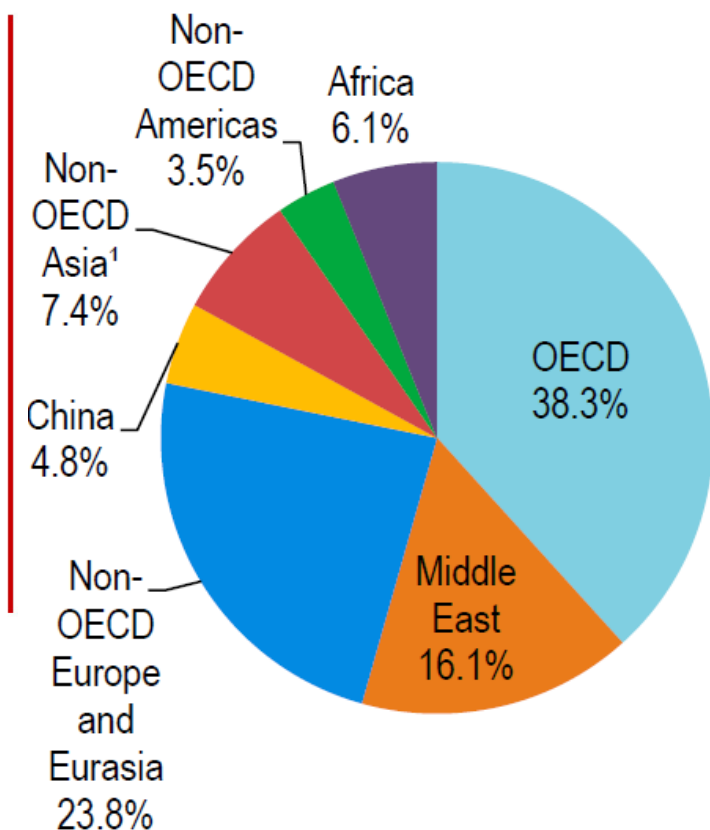
2019 data

Produkcja/wydobycie źródeł energii pierwotnej z podziałem na regiony – **ropa naftowa**

Źródło: Key world energy statistics. International Energy Agency, 2021

Źródła energii – gaz ziemny

2020



4 014 bcm

Producers	bcm	% of world total
United States	949	23.6
Russian Federation	722	18.0
Islamic Rep. of Iran	235	5.9
People's Rep. of China	191	4.8
Canada	184	4.6
Qatar	167	4.2
Australia	148	3.7
Norway	116	2.9
Saudi Arabia	99	2.5
Algeria	92	2.3
Rest of the world	1 111	27.5
World	4 014	100.0

2020 provisional data

Net exporters	bcm
Russian Federation	230
Qatar	127
Norway	111
Australia	103
United States	77
Turkmenistan	56
Canada	47
Algeria	41
Nigeria	27
Malaysia	22
Others	176
Total	1 017

2020 provisional data

Net importers	bcm
People's Rep. of China	125
Japan	105
Germany	83
Italy	66
Mexico	64
Korea	54
Turkey	47
France	37
United Kingdom	34
India	34
Others	324
Total	973

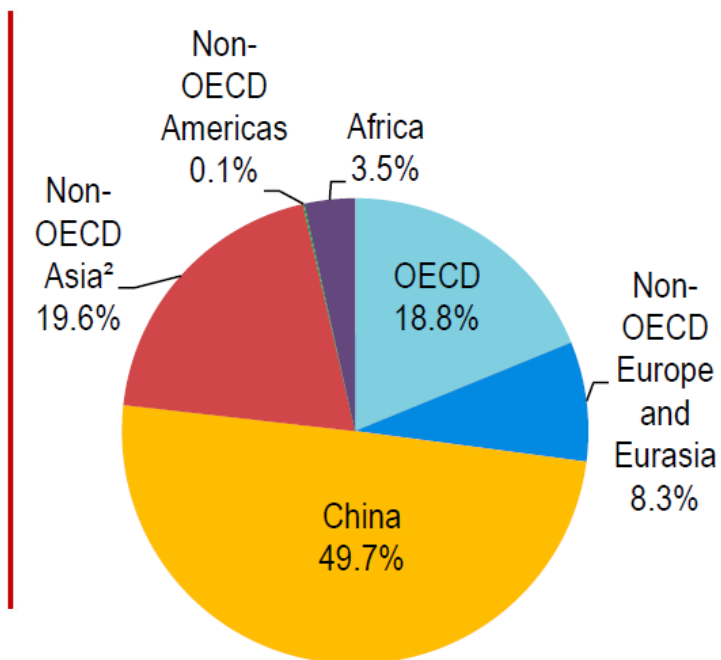
2020 provisional data

Produkcja/wydobycie źródeł energii pierwotnej z podziałem na regiony – **gaz ziemny**

Źródło: Key world energy statistics. International Energy Agency, 2021

Źródła energii - węgiel

2020



7 575 Mt

Producers	Mt	% of world total
People's Rep. of China	3 764	49.7
India	760	10.0
Indonesia	564	7.4
Australia	493	6.5
United States	485	6.4
Russian Federation	398	5.3
South Africa	247	3.3
Germany	107	1.4
Poland	101	1.3
Kazakhstan	100	1.3
Rest of the world	556	7.4
World	7 575	100.0

2020 provisional data

Net exporters	Mt
Indonesia	396
Australia	390
Russian Federation	188
South Africa	62
United States	58
Colombia	30
Mongolia	29
Canada	26
Kazakhstan	24
Mozambique	7
Others	2
Total	1 212

2020 provisional data

Net importers	Mt
People's Rep. of China	306
India	210
Japan	183
Korea	123
Chinese Taipei	63
Viet Nam	52
Turkey	40
Malaysia	31
Germany	29
Thailand	25
Others	202
Total	1 264

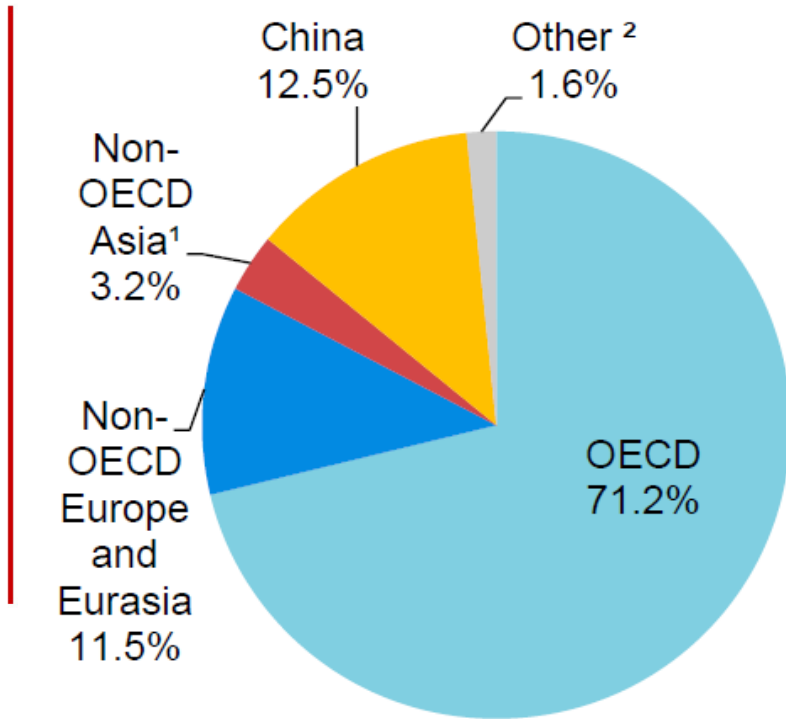
2020 provisional data

Produkcja/wydobycie źródeł energii pierwotnej z podziałem na regiony – **węgiel**

Źródło: Key world energy statistics. International Energy Agency, 2021

Źródła energii – energia jądrowa

2019



2 790 TWh

Producers	TWh	% of world total
United States	843	30.2
France	399	14.3
People's Rep. of China	348	12.5
Russian Federation	209	7.5
Korea	146	5.2
Canada	101	3.6
Ukraine	83	3.0
Germany	75	2.7
Sweden	66	2.4
Japan	64	2.3
Rest of the world	456	16.3
World	2 790	100.0

2019 data

Net installed capacity	GW
United States	97
France	61
People's Rep. of China	48
Japan	32
Russian Federation	29
Korea	23
Canada	14
Ukraine	13
United Kingdom	9
Germany	8
Rest of the world	60
World	393

2020 data

Source:

International Atomic Energy Agency

Country (top-ten producers)	% of nuclear in total domestic electricity generation
France	69.9
Ukraine	53.9
Sweden	39.3
Korea	25.1
United States	19.2
Russian Federation	18.6
Canada	15.7
Germany	12.3
Japan	6.1
People's Rep. of China	4.6
Rest of the world ¹	9.1
World	10.3

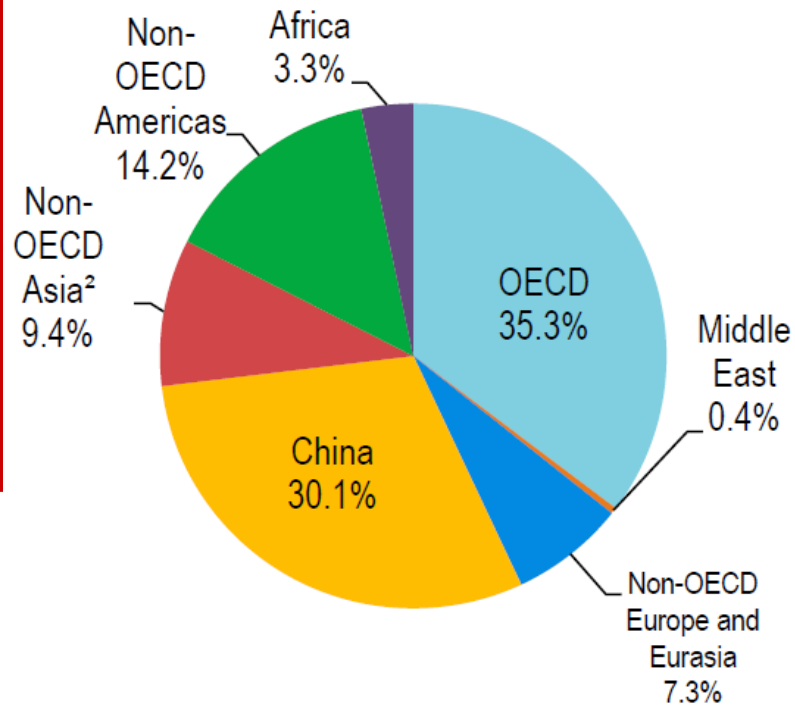
2019 data

Produkcja/wydobycie źródeł energii pierwotnej z podziałem na regiony – **energia jądrowa**

Źródło: Key world energy statistics. International Energy Agency, 2021

Źródła energii - energia wodna

2019



4 329 TWh

Producers	TWh	% of world total
People's Rep. of China	1 304	30.1
Brazil	398	9.2
Canada	380	8.8
United States	311	7.2
Russian Federation	197	4.5
India	172	4.0
Norway	126	2.9
Turkey	89	2.1
Japan	87	2.0
Viet Nam	66	1.5
Rest of the world	1 199	27.7
World	4 329	100.0

2019 data

Net installed capacity	GW
People's Rep. of China	356
Brazil	110
United States	103
Canada	81
Russian Federation	54
Japan	50
India	49
Norway	33
Turkey	29
France	26
Rest of the world	417
World	1 308

2019 data

Sources:

IEA, Renewable Energy Market

Update;

United Nations Statistics

Division.

Country (top-ten producers)	% of hydro in total domestic electricity generation
Norway	93.4
Brazil	63.5
Canada	58.8
Turkey	29.2
Viet Nam	27.8
Russian Federation	17.5
People's Rep. of China	17.4
India	10.6
Japan	8.4
United States	7.1
Rest of the world ²	14.2
World	16.0

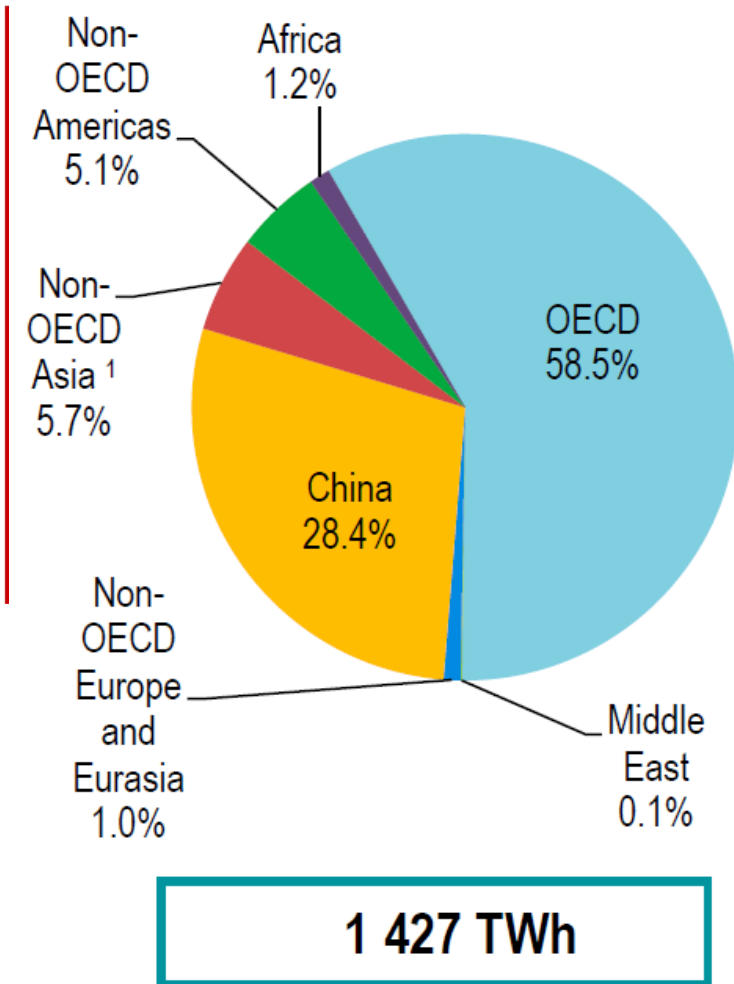
2019 data

Produkcja/wydobycie źródeł energii pierwotnej z podziałem na regiony – **energia wodna**

Źródło: Key world energy statistics. International Energy Agency, 2021

Źródła energii - energia wiatrowa

2019



Producers	TWh	% of world total
People's Rep. of China	406	28.4
United States	298	20.9
Germany	126	8.8
India	70	4.9
United Kingdom	64	4.5
Brazil	56	3.9
Spain	56	3.9
France	35	2.4
Canada	33	2.3
Turkey	22	1.5
Rest of the world	262	18.5
World	1 427	100.0

2019 data

Net installed capacity	GW
People's Rep. of China	210.3
United States	103.7
Germany	60.9
India	37.7
Spain	25.5
United Kingdom	24.0
France	16.3
Brazil	15.4
Canada	13.4
Italy	10.7
Rest of the world	105.1
World	622.9

2019 data

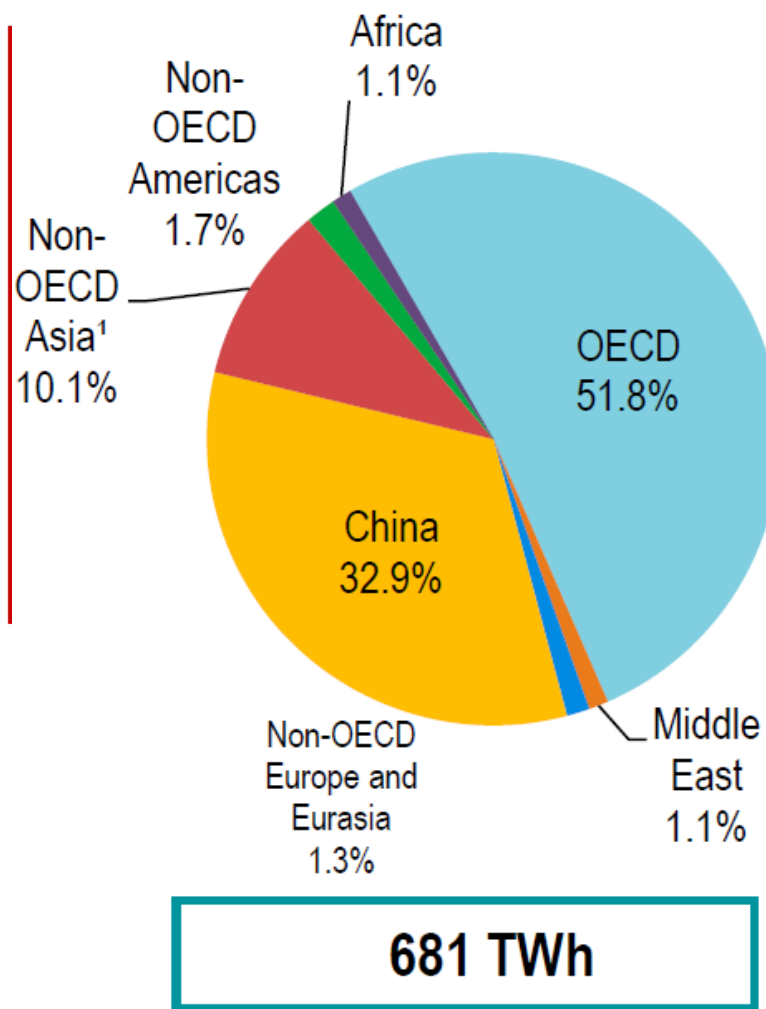
Country (top-ten producers)	% of wind in total domestic electricity generation
Germany	20.7
Spain	20.4
United Kingdom	19.9
Brazil	8.9
Turkey	7.2
United States	6.8
France	6.1
People's Rep. of China	5.4
Canada	5.1
India	4.3
Rest of the world ¹	3.0
World	5.3

2019 data

Produkcja/wydobycie źródeł energii pierwotnej z podziałem na regiony – **energia wiatrowa**

Źródło: Key world energy statistics. International Energy Agency, 2021

Źródła energii - energia słoneczna 2019



Producers	TWh	% of world total
People's Rep. of China	224	32.9
United States	94	13.8
Japan	69	10.1
India	51	7.4
Germany	46	6.8
Italy	24	3.5
Australia	15	2.2
Korea	13	1.9
United Kingdom	13	1.9
France	12	1.8
Rest of the world	120	17.7
World	681	100.0

2019 data

Net installed capacity	GW
People's Rep. of China	205.2
United States	75.7
Japan	63.1
Germany	49.2
India	37.6
Italy	20.9
Australia	15.9
United Kingdom	13.6
Korea	11.2
France	10.5
Rest of the world	99.7
World	602.6

2019 data

Country (top-ten producers)	% of solar PV in total domestic electricity generation
Italy	8.1
Germany	7.6
Japan	6.6
Australia	5.6
United Kingdom	4.0
India	3.1
People's Rep. of China	3.0
Korea	2.2
United States	2.1
France	2.1
Rest of the world ¹	1.3
World	2.5

2019 data

Produkcja/wydobycie źródeł energii pierwotnej z podziałem na regiony – **energia słoneczna**

Źródło: Key world energy statistics. International Energy Agency, 2021

Energia pierwotna

Pojęcie energii pierwotnej dotyczy energii zawartej w źródłach, w tym paliwach i nośnikach, niezbędnej do pokrycia zapotrzebowania na energię końcową, z uwzględnieniem sprawności całego łańcucha procesów pozyskania, konwersji i transportu do odbiorcy końcowego. Pojęcie istotne z punktu widzenia strategii zrównoważonego rozwoju, wykorzystywane przede wszystkim w polityce, ekonomii i ekologii.

Energia końcowa

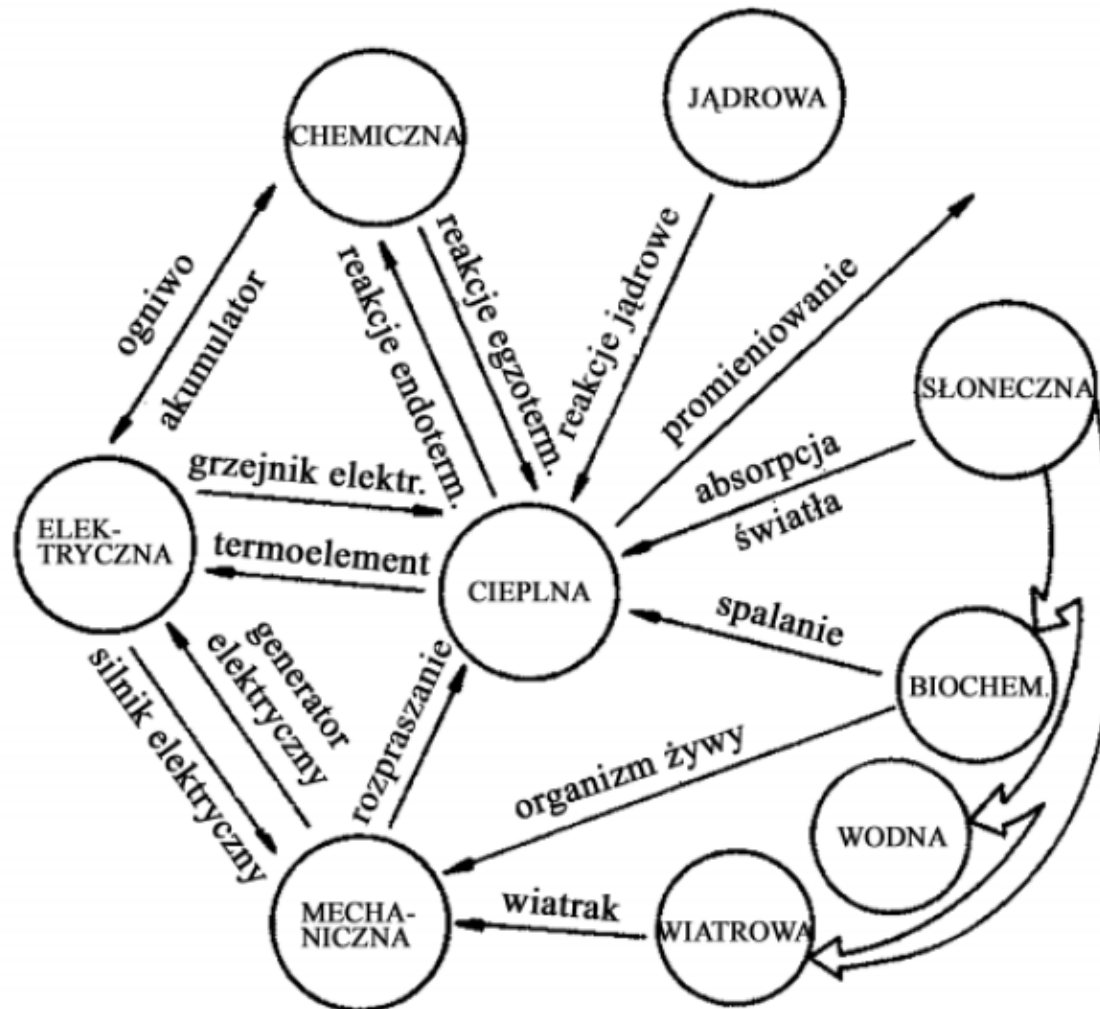
Energia końcowa – energia, którą należy dostarczyć do granicy systemu (np. budynku) o danej sprawności, aby pokryć zapotrzebowanie na energię użytkową. Pojęcie istotne z punktu widzenia użytkowników systemów ponoszących konkretne koszty związane z potrzebami energetycznymi w fazie eksploatacji obiektu zgodnie z jego przeznaczeniem.

Energia użytkowa

Energia użytkowa - w praktyce energia dostępna do wykorzystania po finalnym etapie jej konwersji dla użytkownika (np. ciepło użyteczne do ogrzewania i wentylacji, światło, energia mechaniczna). Pojęcie istotne z punktu widzenia projektanta, architekta, konstruktora oraz użytkowników systemu i jego elementów.

Charakterystyka procesów konwersji energii

Przemiany zachodzące pomiędzy rodzajami energii



Źródło: Systemy Energetyczne, Akademia Viessmann, 05.04.2017

Charakterystyka procesów konwersji energii

Sprawność ważniejszych przemian energetycznych

Przemiana energii	Urządzenie	Sprawność
Energia mechaniczna \Rightarrow energia mechaniczna	turbina wodna	0,90
	silnik wiatrowy	0,46
Ciepło \Rightarrow energia mechaniczna	turbina parowa (siłownia bez kotła i generatora elektrycznego)	0,40
	silnik parowy	0,20
Paliwo \Rightarrow ciepło \Rightarrow energia mechaniczna	silnik Diesla	0,40
	silnik spalinowy z zapłonem iskrowym	0,30
	turbina gazowa	0,38
Paliwo \Rightarrow ciepło \Rightarrow energia mechaniczna \Rightarrow energia elektryczna	elektrownia parowa	0,40
	układ parowo-gazowy	0,60
	generator MHD	0,60
Energia mechaniczna \Rightarrow energia elektryczna	generator elektryczny	0,99
Energia elektryczna \Rightarrow energia mechaniczna	silnik elektryczny	0,92
Energia elektryczna \Rightarrow ciepło	grzejnik	1,00
Energia chemiczna \Rightarrow energia elektryczna	akumulator	0,70
	ogniwo paliwowe	0,60
Paliwo \Rightarrow ciepło	kocioł parowy	0,90
	domowy piec węglowy	0,60
Energia słoneczna \Rightarrow energia elektryczna	fotookmowa	0,12

Procesy konwersji energii – elektrownia węglowa

Energia chemiczna jest magazynowana w cząsteczkach węglowodorów w węglu. Kiedy węgiel jest spalany, energia chemiczna jest przekształcana w ciepło.

(Energia chemiczna → Ciepło)

Gorące spaliny z reakcji spalania są wykorzystywane do podgrzewania wody i pary, która przemieszcza się przez rury przy wysokich ciśnieniach i prędkościach

(Ciepło → Ciepło)

Para następnie rozpręża się w turbinie, wytwarzając energię mechaniczną ruchu.

(Ciepło → Ruch)

Ruch turbiny obraca generator elektryczny, który powoduje przepływ energii elektrycznej.

(Ruch → Elektryczność)

Elektrownie

Podział ze względu na wykorzystanie ciepła odpadowego:

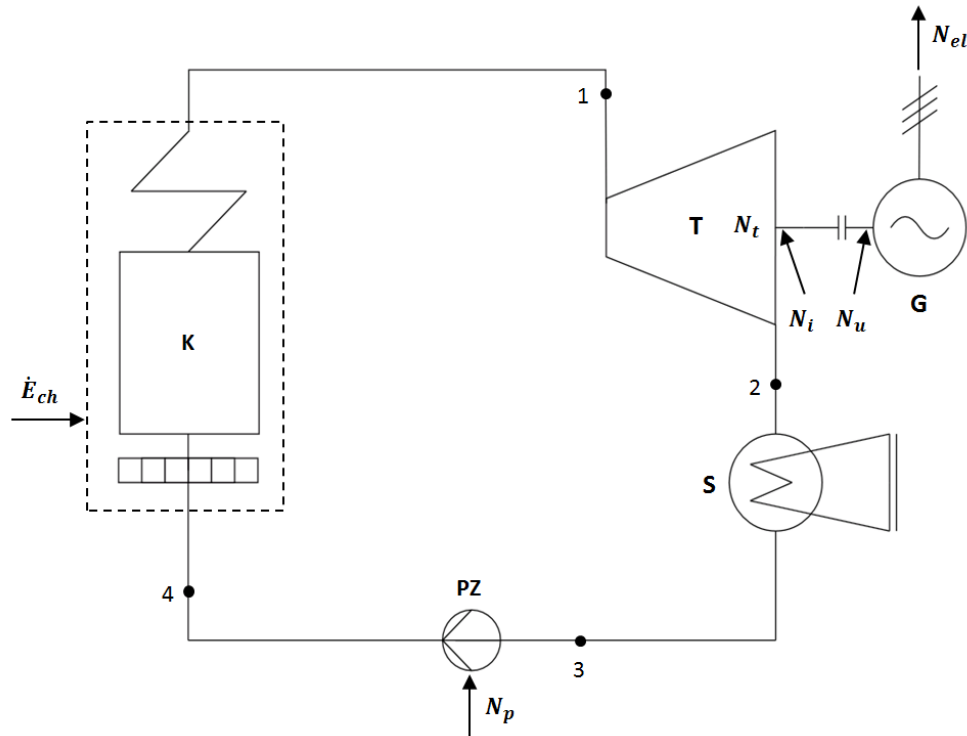
- Elektrownia kondensacyjna
- Elektrociepłownia

Podział ze względu na wykorzystywane źródło energii pierwotnej:

- Elektrownia ciepłna
- Elektrownia wodna (Elektrownia szczytowo-pompowa)
- Elektrownia słoneczna
- Elektrownia wiatrowa
- Elektrownia geotermiczna/geotermalna
- Elektrownia pływowa
- Elektrownia maretermiczna

Elektrownia parowa

Elektrownia ciepła, pracująca według termodynamicznego obiegu Rankine'a. W odróżnieniu od elektrociepłowni ciepło uzyskane przy skropleniu pary wodnej, która opuszcza turbinę parową, tracone jest do otoczenia.





AGH

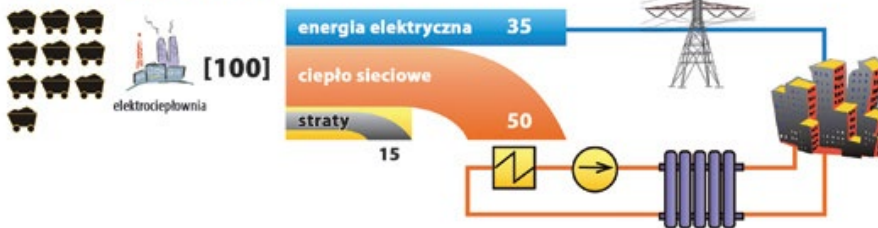
Elektrociepłownia

- wytwarzanie energii w kogeneracji (w skojarzeniu)
(CHP – Combined Heat and Power)

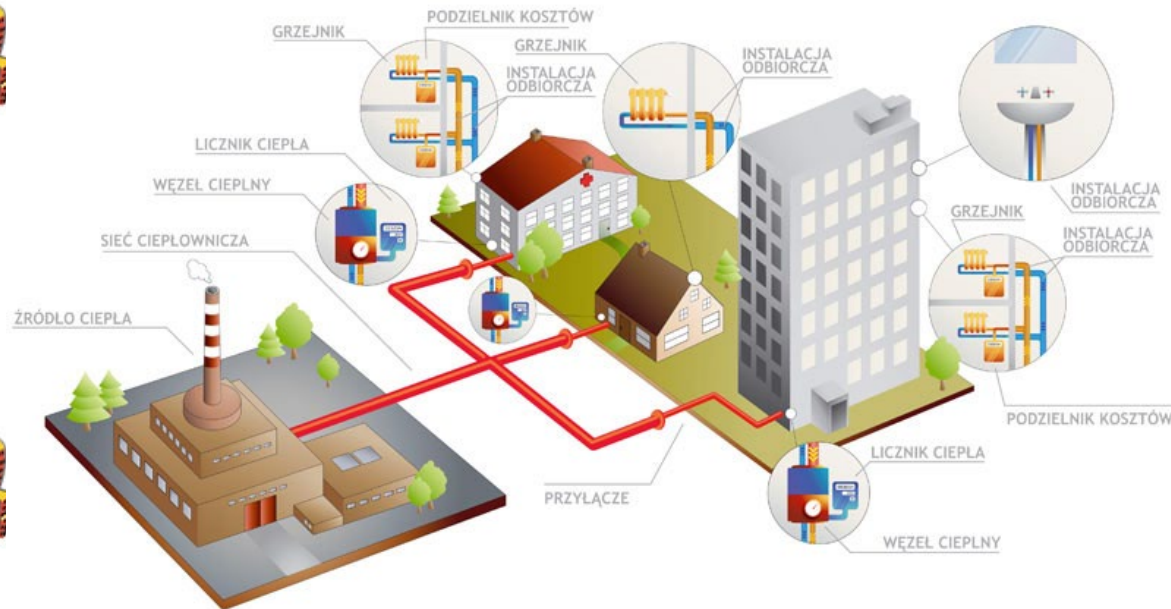
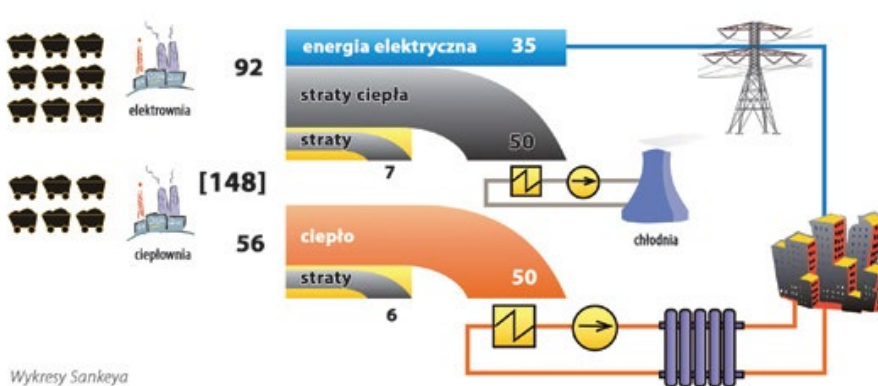
Elektrociepłownia

Zakład wytwarzający w jednym procesie technologicznym w sposób skojarzony energię elektryczną oraz ciepło np. w postaci wody dla miejskiej sieci ciepłowniczej lub przemysłu.

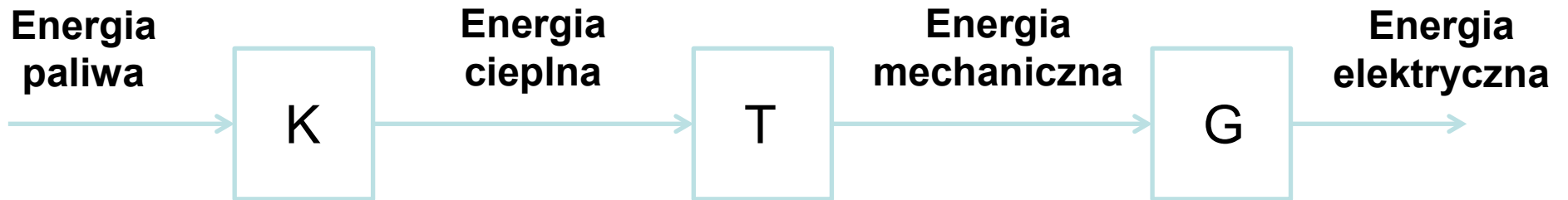
ELEKTROCIEPŁOWNIA



ELEKTROWNIA + CIEPŁOWNIA



Elektrownia ciepłna – zakład produkujący energię elektryczną na skalę przemysłową i wykorzystujący do tego celu energię paliw organicznych (konwencjonalnych lub jądrowych)



K – kocioł parowy (komora spalania, reaktor)

T – turbina parowa lub gazowa

G – generator (prądnicą)

Elektrownia parowa (klasyczna, konwencjonalna) – czynnikiem roboczym jest wytworzona w kotle para wodna, wykonująca pracę w turbinie parowej.

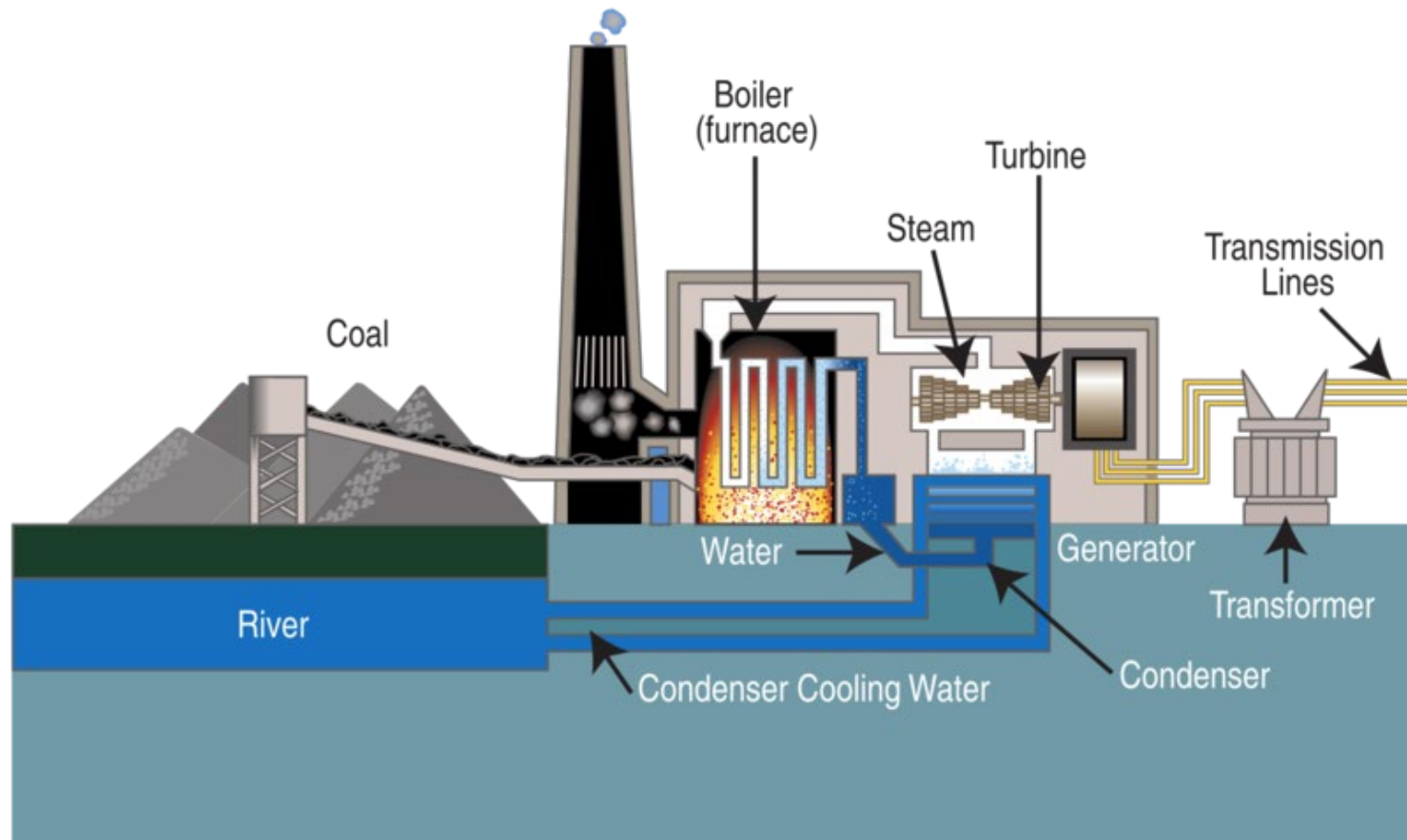
Elektrownia parowa jądrowa – energia cieplna jest dostarczana do czynnika roboczego (np. para wodna) w procesie rozszczepiania paliw jądrowych w reaktorze.

Elektrownia gazowa – czynnikiem roboczym jest gaz będący produktem spalania paliwa w komorze spalania, wykonujący pracę w turbinie gazowej.

Elektrownia spalinowa – z silnikami spalinowymi tłokowymi.

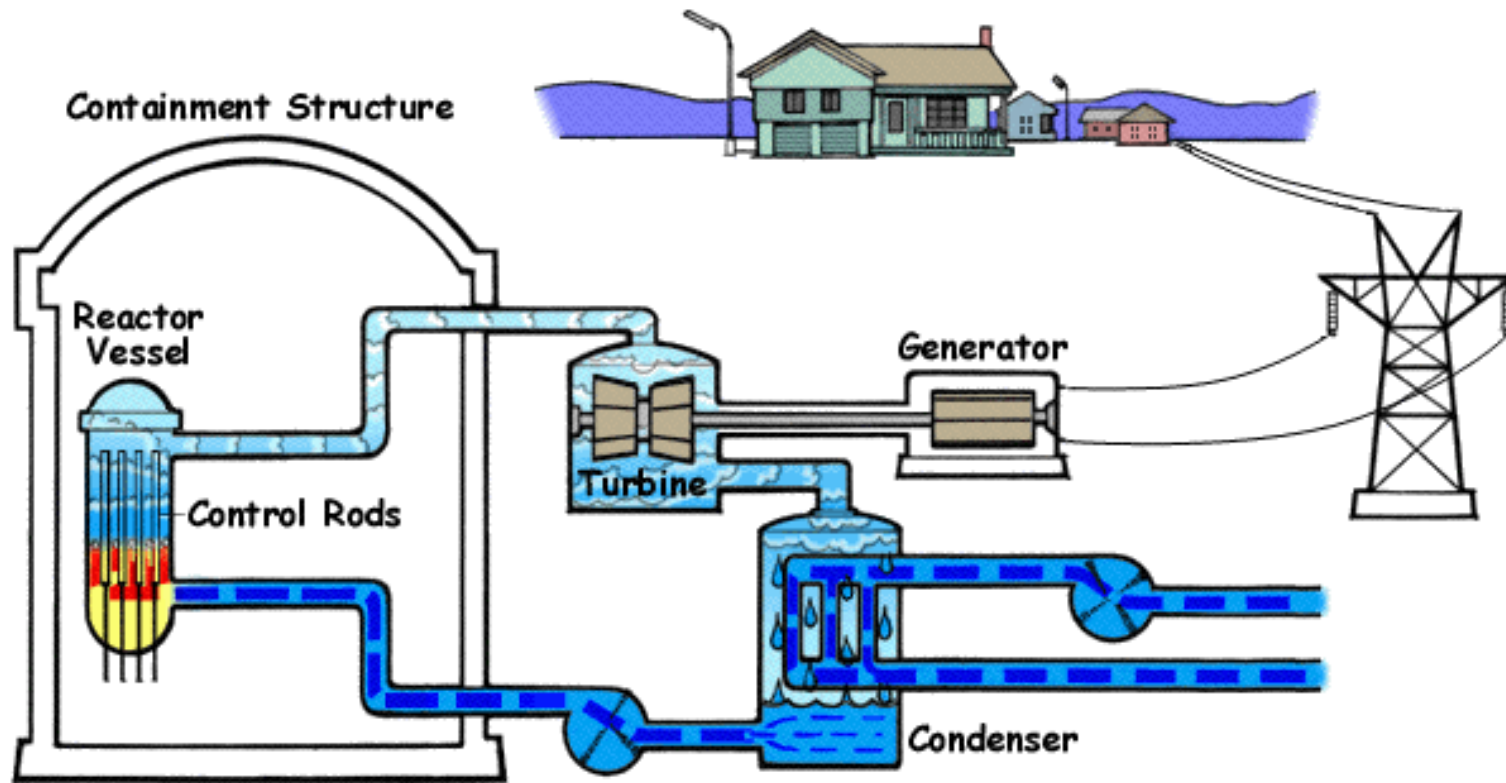
Elektrownia gazowo-parowa – kombinacja elektrowni gazowej i parowej.

Schemat przemian energetycznych w elektrowni parowej



Elektrownia ciepła - parowa jądrowa

<https://www.youtube.com/watch?v=xUL7L2-6W7s>

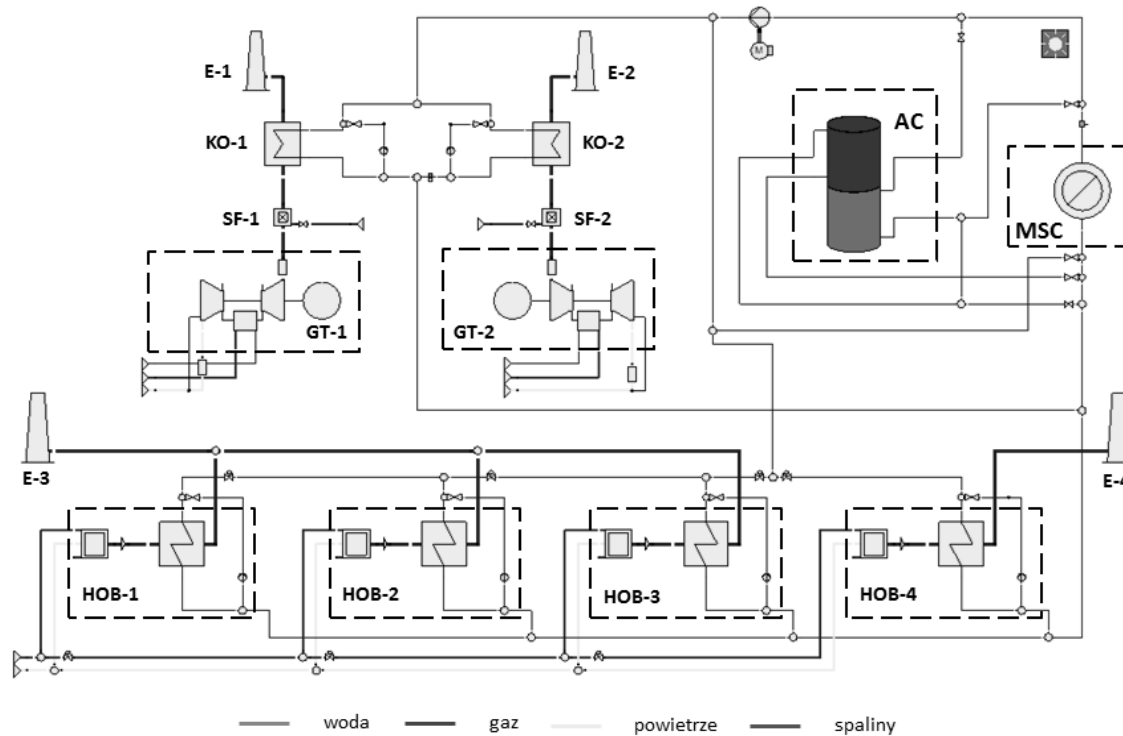
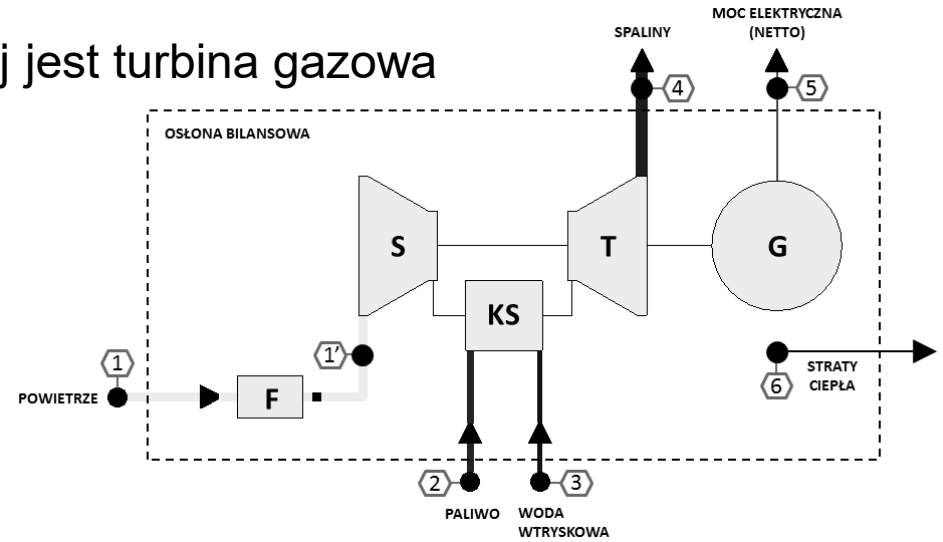
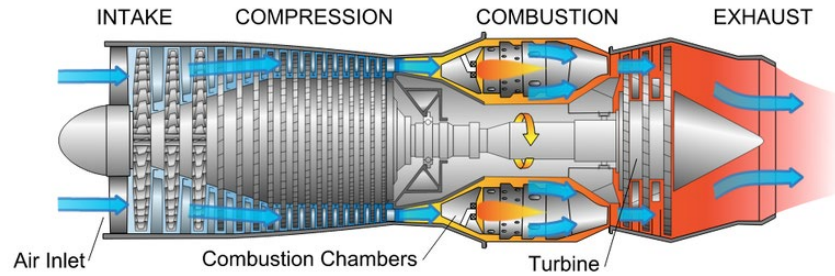




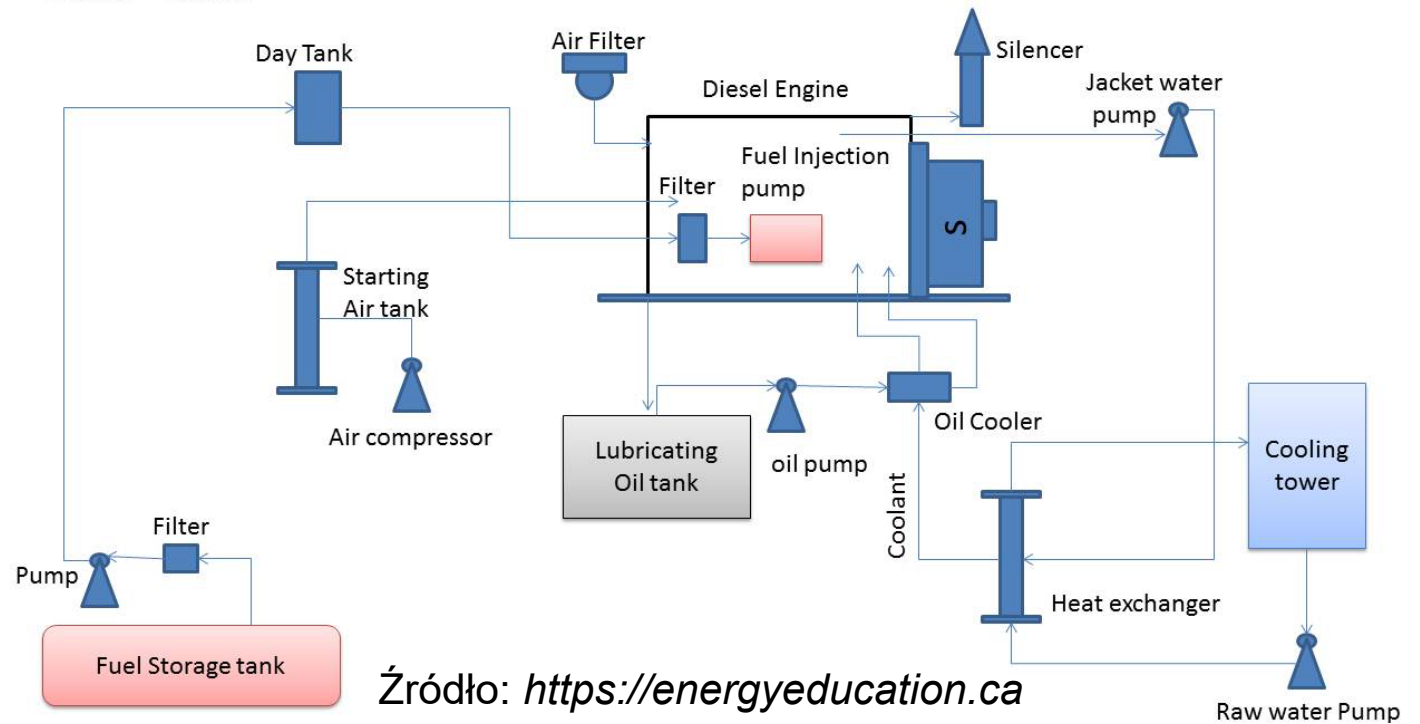
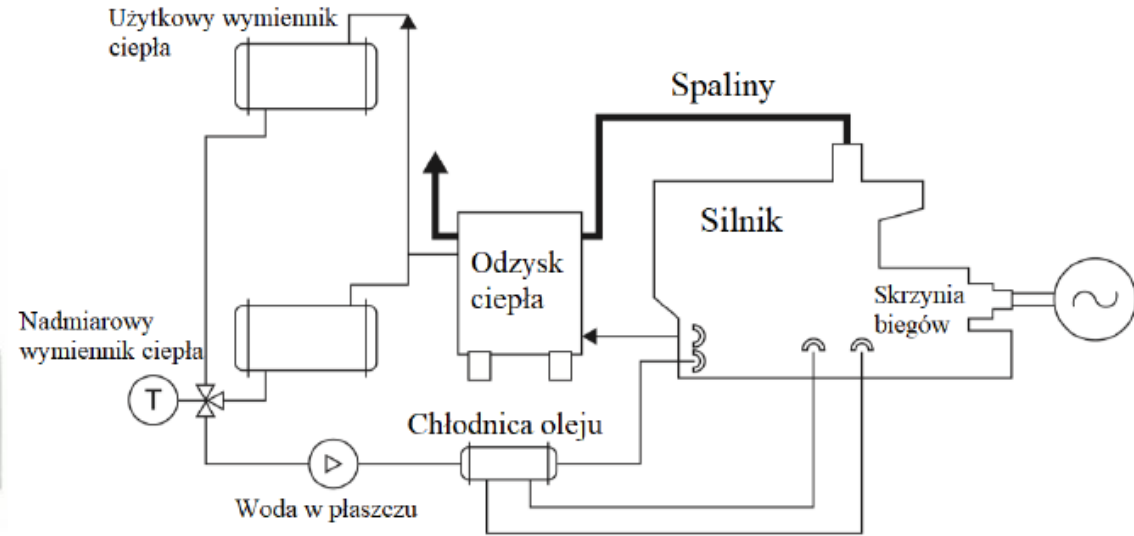
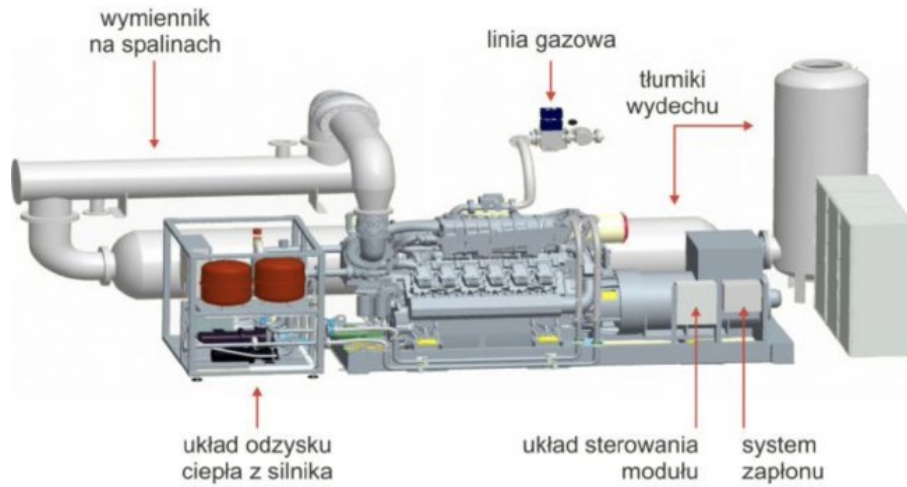
AGH

Elektrownia ciepna - gazowa

Podstawowym elementem elektrowni gazowej jest turbina gazowa



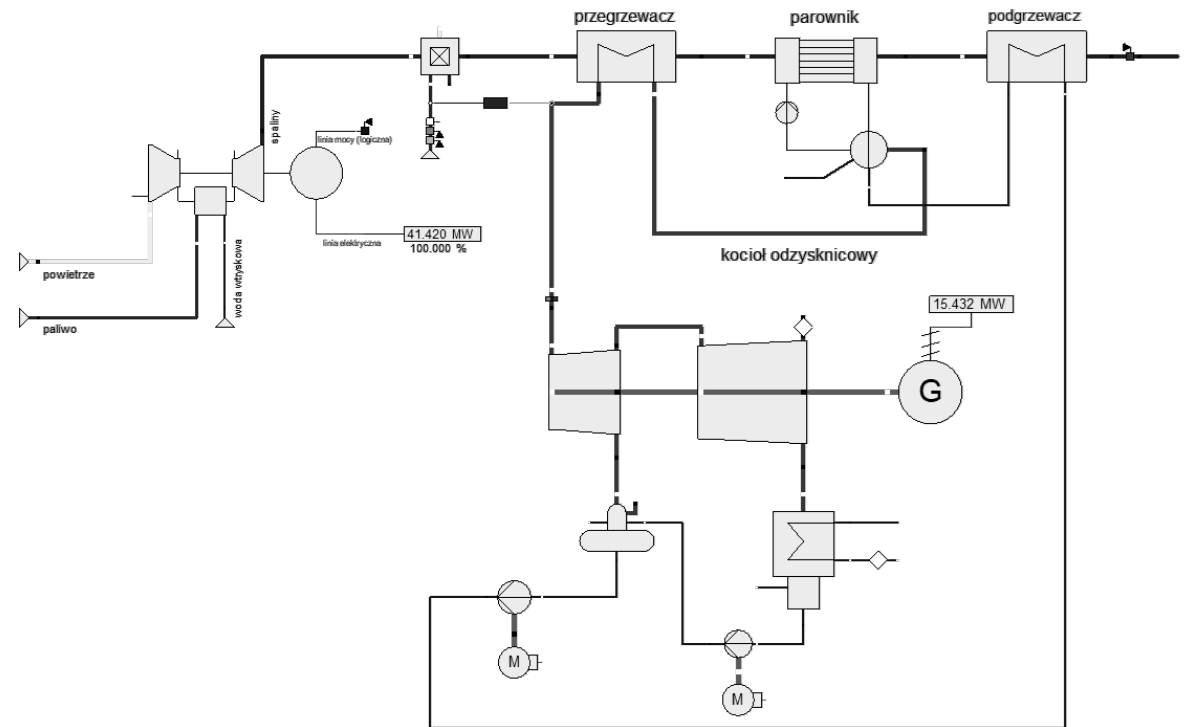
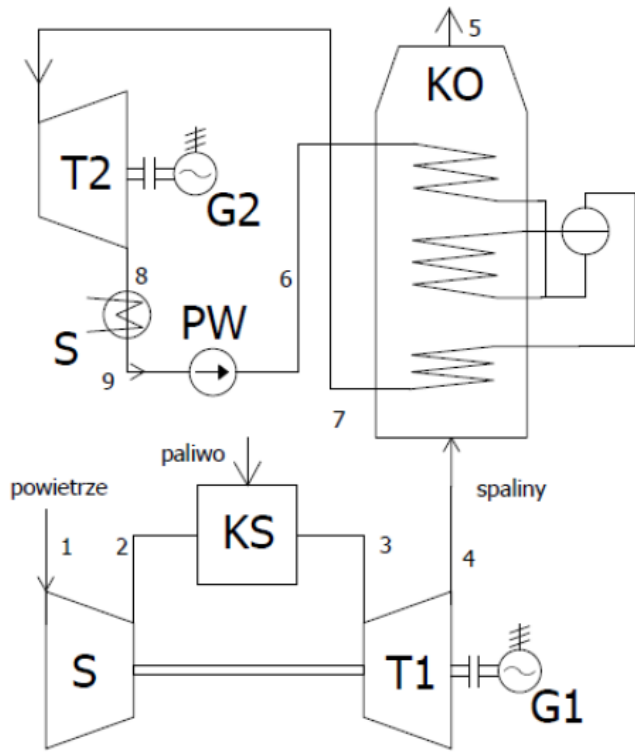
Elektrownia ciepła - spalinowa



Źródło: <https://energyeducation.ca>

Elektrownia ciepła – gazowo-parowa

https://energyeducation.ca/encyclopedia/Combined_cycle_gas_plant





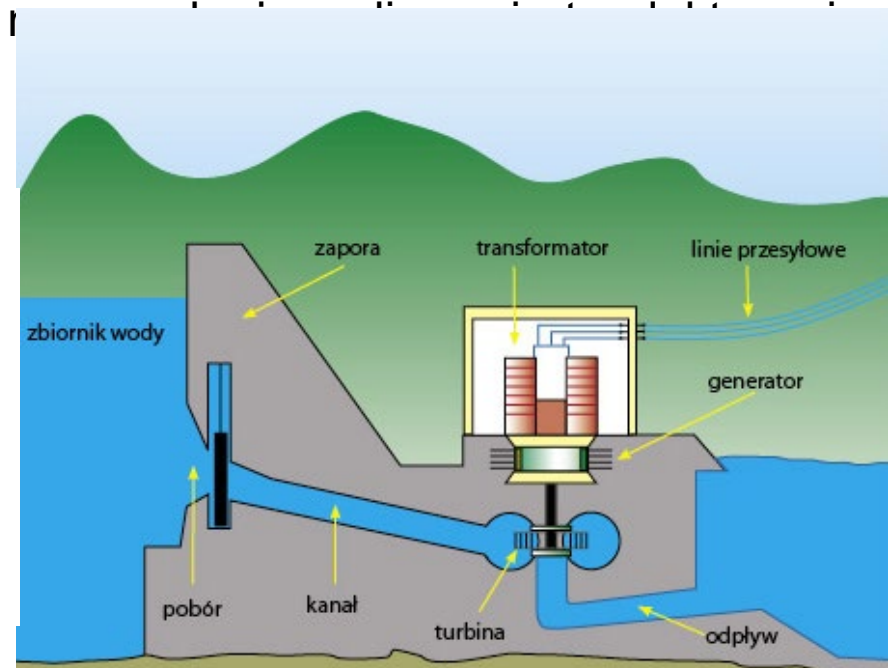
AGH

Elektrownia wodna

Elektrownie wodne - zamieniają energię spadku (energię potencjalną) wody na energię elektryczną.

Mała Elektrownia Wodna – w Polsce umownie przyjmuje się, iż małe elektrownie wodne mają moc poniżej 5 MW. Podział ten jest dość umowny (w Skandynawii i Szwajcarii granicą są 2 MW, w wielu innych krajach Europy 10 MW, a w USA 15 MW). Zaliczane są one do niekonwencjonalnych, odnawialnych i ekologicznych źródeł energii – ich wpływ na środowisko naturalne jest znikomy.

Duża Elektrownia Wodna – do tej grupy, w których moc jest wyższa niż 5 MW.





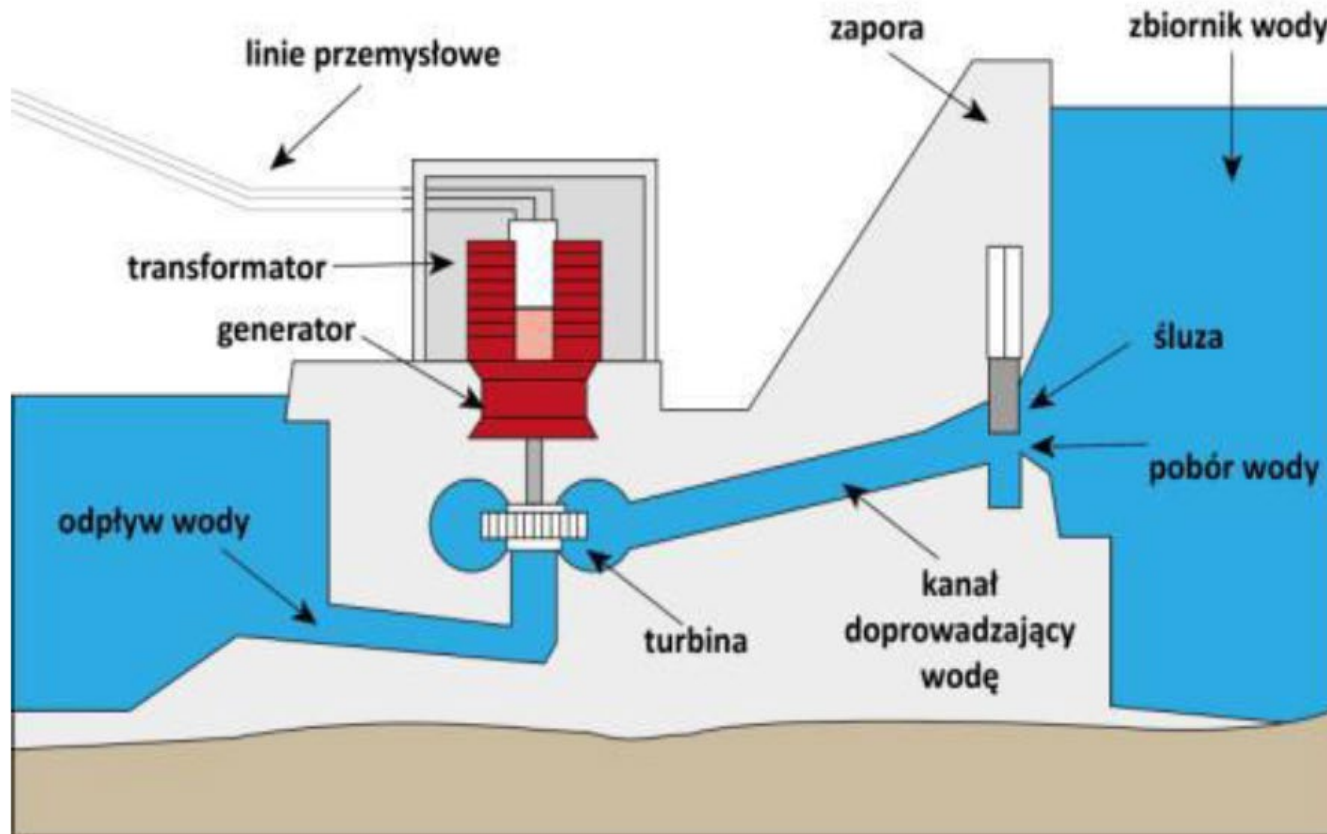
Elektrownia wodna

Elektrownie przepływowe – wykorzystują naturalny, ciągły przepływ ciekłu wodnego (nie mają zbiornika do magazynowania wody), np. Elektrownia Włocławek, Dębe.

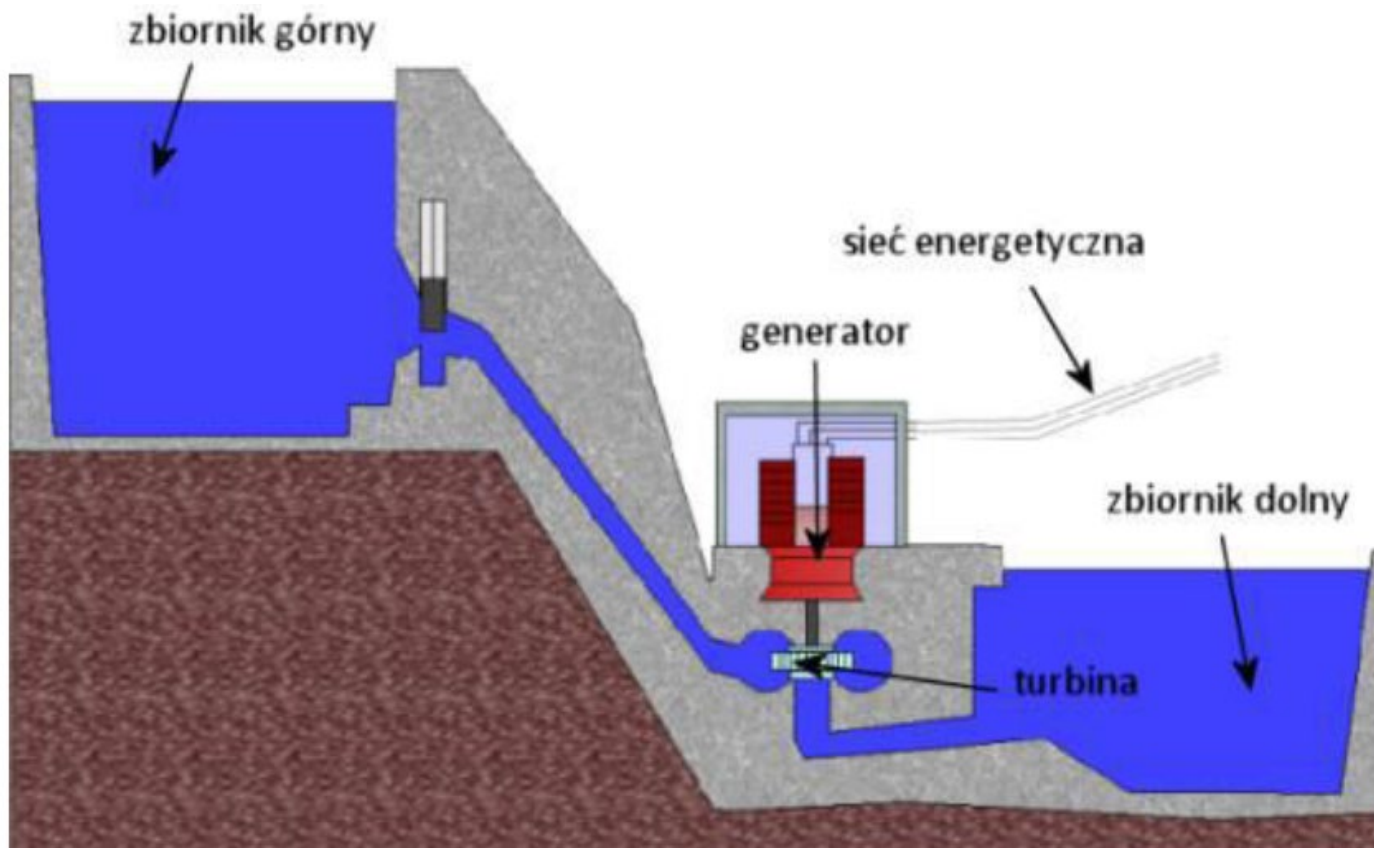
Elektrownie zbiornikowe (zaporowe) – wyposażone w zbiorniki wody dla lepszego wykorzystania ciekłu wodnego (spiętrzają wodę i zwiększają jej energię potencjalną): Rożnów, Tresna, Porąbka, Otmuchów.

Elektrownie pompowe (szczytowo-pompowe) – w okresach małego obciążenia systemu elektroenergetycznego woda jest przepompowywana ze zbiornika dolnego do górnego: Porąbka-Żar, Żarnowiec.

Elektrownie zbiornikowe z członem pompowym – zbiorniki górne są częściowo napełniane przez dopływy naturalne, a częściowo (w okresach małych obciążeń) uzupełniane wodą tłoczoną przez pompy ze zbiorników dolnych: Solina, Niedzica.



Elektrownia pompowa (szczytowo-pompowa)



Elektrownia słoneczna

Elektrownia słoneczna wykorzystuje energię promieniowania słonecznego do uzyskania energii elektrycznej.

Energię promieniowania słonecznego możemy wykorzystać na dwa sposoby:

- zamienić ją bezpośrednio w energię elektryczną,
- zamienić ją na ciepło (np. do ogrzewania wody).

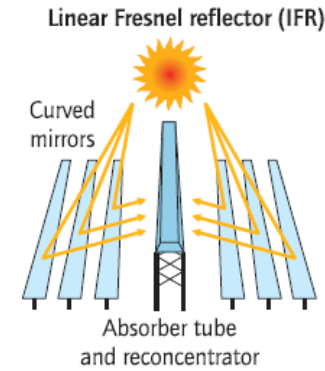


Źródło: <https://energyeducation.ca>

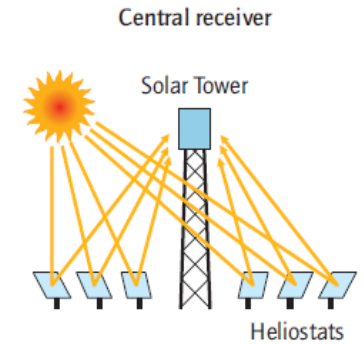
Elektrownia słoneczna Concentrated Solar Power – Skoncentrowana Energia Słoneczna



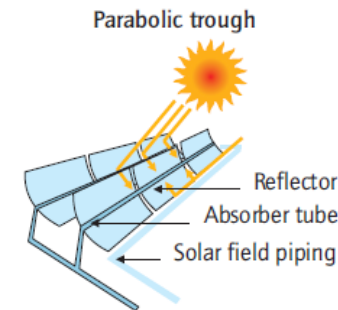
Linear Fresnel Reflectors



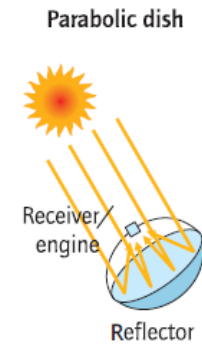
Towers (CRS)



Parabolic Troughs

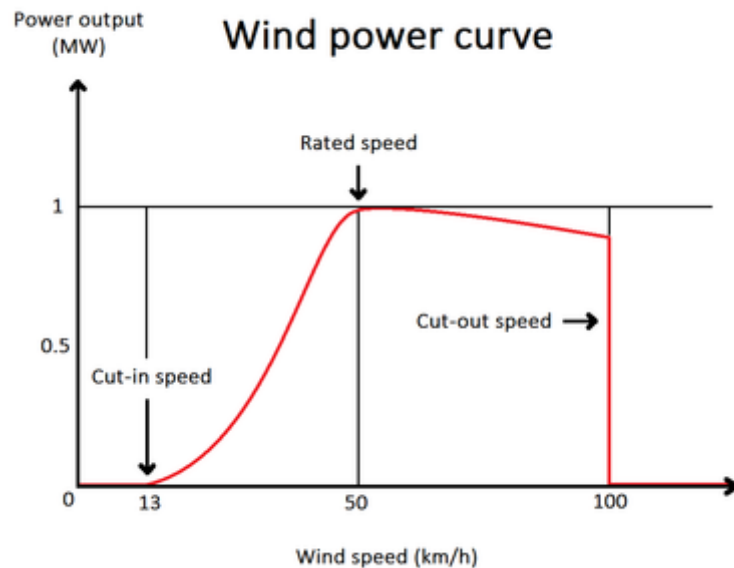


Parabolic Dishes



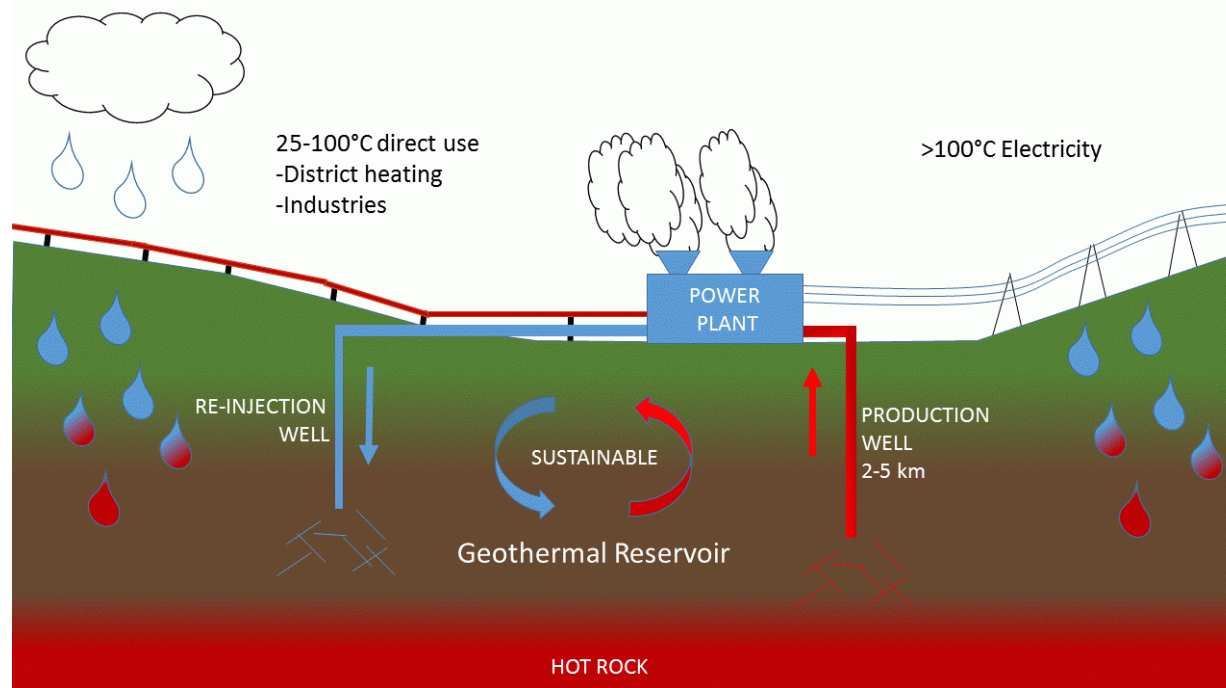
Elektrownia wiatrowa

Elektrownia wiatrowa wytwarza energię elektryczną z wiatru. Energia wiatru zbiera strumień energii w atmosferze wytwarzanej przez nierównomierne ogrzewanie powierzchni Ziemi przez Słońce. Dlatego energia wiatrowa jest pośrednim sposobem na wykorzystanie energii słonecznej. Energia wiatru jest przetwarzana na energię elektryczną przez turbiny wiatrowe.



Elektrownia geotermiczna/geotermalna

Elektrownie geotermiczne/geotermalne nazywane są inaczej geoelektrowniami. Prąd elektryczny jest w nich wytwarzany z ciepła wnętrza Ziemi (energii geotermicznej).



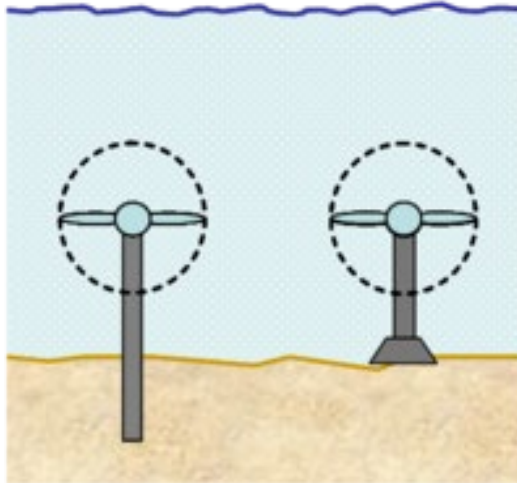
Źródło: <https://energyeducation.ca>

Źródło: <http://arcticgreencorp.com/geothermal-energy/>

Elektrownia pływowa

Wytwarza ona energię dzięki regularnemu, powtarzającemu się podnoszeniu i opadaniu poziomu wody w oceanie. Przyływy i odpływy wód w morzach i oceanach powstają dzięki zjawisku pływowemu, którego przyczyną są siły grawitacyjne księżyca i słońca oraz siła odśrodkowa wywołana obrotem naszej planety wokół jej środka ciężkości.

Są one budowane w miejscach, w których obserwujemy zjawisko pływów. Generatory pływowe działają tylko dwa razy na dobę, po kilka godzin – w czasie przyływu i w czasie odpływu wód.



Źródło: <https://energyeducation.ca>



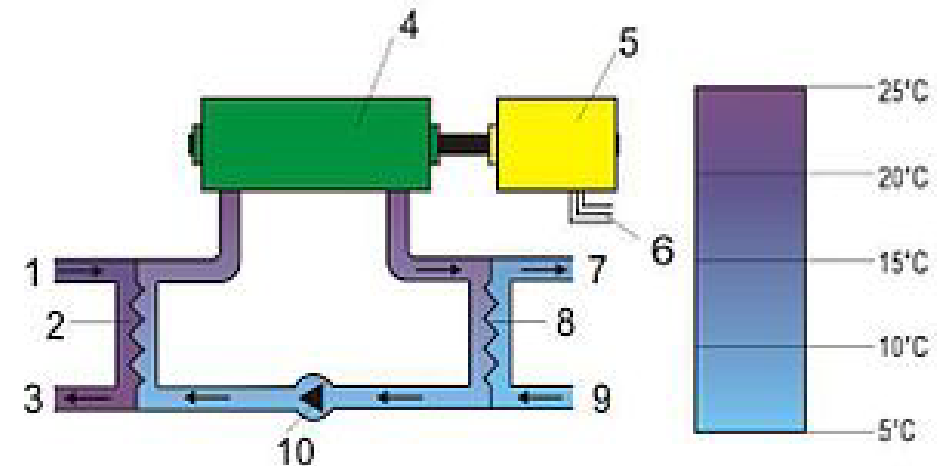
Źródło: <http://elektrosystemy.pl>

Elektrownia maretermiczna (oceanotermiczna)

Elektrownie maretermiczne znajdują się między innymi w Japonii, Indonezji i na Hawajach.

Wytwarzają prąd z różnicy temperatur pomiędzy ciepłymi warstwami powierzchniowymi, a zimnymi warstwami głębinowymi morza lub oceanu.

Energia jest wytwarzana dzięki różnicy temperatur wody, w tym celu używane są amoniak, freon lub propan, które to są ogrzewane wodami powierzchniowymi i zmuszone do parowania. Powstała w ten sposób para napędza turbiny i trafia do specjalnych kotłów, w których zostaje skroplona przez chłód zimnych wód z głębin oceanu (pobranej z głębokości 300-500 metrów).



1 Surface water ~ 25°C
2 Evaporator
3 Waste water ~ 23°C
4 Turbine
5 Generator

6 Line to the grid
7 Waste water ~ 7°C
8 Condenser
9 Deep water ~ 5°C
10 Circulation pump

Źródło: <https://energyeducation.ca>

Obieg termodynamiczny

Zespół przemian termodynamicznych, gdzie parametry określające stan końcowy są identyczne z parametrami stanu początkowego.

Sprawność obiegu

Jest równa stosunkowi wartości pracy wykonanej przez silnik do ilości ciepła doprowadzonego do obiegu.

$$\eta = \frac{L}{Q_d} = \frac{Q_d - Q_w}{Q_d} = 1 - \frac{Q_w}{Q_d}$$

$$\eta = \frac{L}{Q_d} = 1 - \frac{T_w}{T_d}$$

gdzie:

L – praca obiegu

T_w - średnia temperatura w zakresie, którym następuje oddawanie ciepła

T_d - średnia temperatura w zakresie, którym następuje pochłanianie ciepła



AGH

Charakterystyka i sprawność obiegów termodynamicznych

Obieg termodynamiczny – przykłady:

- obieg Carnota - obieg porównawczy idealnego silnika cieplnego,
- obieg Sabathé - ogólny obieg teoretyczny tłokowych silników spalinowych; obieg porównawczy szybkoobrotowego tłokowego silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym – silnika Diesla,
- obieg Otto - obieg porównawczy tłokowego silnika spalinowego o zapłonie iskrowym,
- obieg Diesla - obieg teoretyczny wolnoobrotowego tłokowego silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym,
- obieg Braytona-Joule'a - obieg porównawczy siłowni gazowej,
- obieg Rankine'a - obieg porównawczy siłowni parowej,
- obieg Joule'a - obieg porównawczy chłodziarki gazowej,
- obieg Lindego - obieg porównawczy chłodziarki parowej.

Charakterystyka i sprawność obiegów termodynamicznych

Konwersja jednej formy energii na inną zachodzi ze sprawnością nie większą od jedności.

Maksymalną sprawność energetyczną silnika cieplnego, pracujące pomiędzy źródłami o stałej temperaturze określa wzór Carnota:

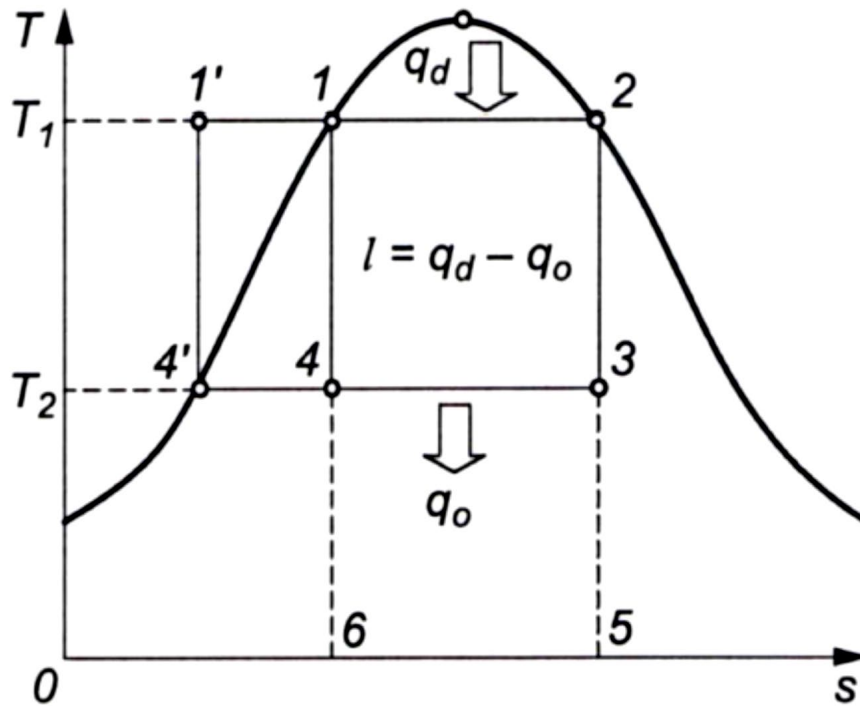
$$\eta_{tc} = \frac{L}{Q_d} = 1 - \frac{Q_o}{Q_d}$$

$$\eta_{tc} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Przemiana energii	Urządzenie	Sprawność
Energia mechaniczna ⇒ energia mechaniczna	turbina wodna silnik wiatrowy	0,90 0,46
Ciepło ⇒ energia mechaniczna	turbina parowa (siłownia bez kotła i generatora elektrycznego) silnik parowy	0,40 0,20
Paliwo ⇒ ciepło ⇒ energia mechaniczna	silnik Diesla silnik spalinyowy z zapłonem iskrowym turbina gazowa	0,40 0,30 0,38
Paliwo ⇒ ciepło ⇒ energia mechaniczna ⇒ energia elektryczna	elektrownia parowa układ parowo-gazowy generator MIID	0,40 0,60 0,60
Energia mechaniczna ⇒ energia elektryczna	generator elektryczny	0,99
Energia elektryczna ⇒ energia mechaniczna	silnik elektryczny	0,92
Energia elektryczna ⇒ ciepło	grzejnik	1,00
Energia chemiczna ⇒ energia elektryczna	akumulator ogniwo paliwowe	0,70 0,60
Paliwo ⇒ ciepło	kocioł parowy domowy piec węglowy	0,90 0,60
Energia słoneczna ⇒ energia elektryczna	fotookumulator	0,12

Charakterystyka i sprawność obiegów termodynamicznych

Obieg Carnota dla pary nasyconej

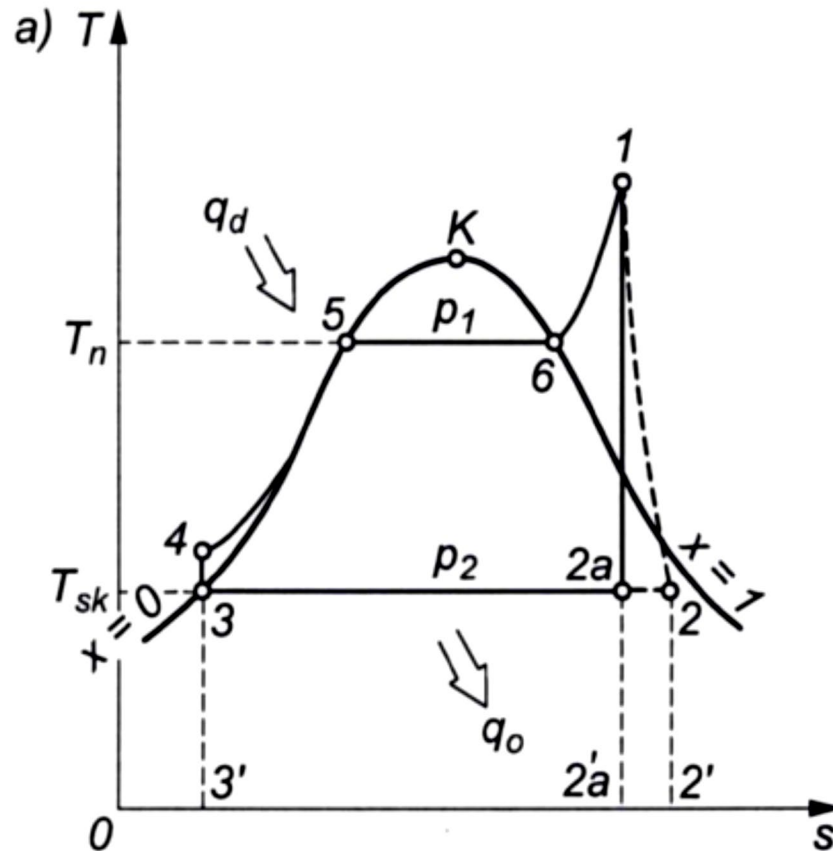


$$\eta_{tC} = \frac{L}{Q_d} = 1 - \frac{Q_o}{Q_d}$$

$$\eta_{tC} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Charakterystyka i sprawność obiegów termodynamicznych

Obieg Rankine'a dla pary przegrzanej



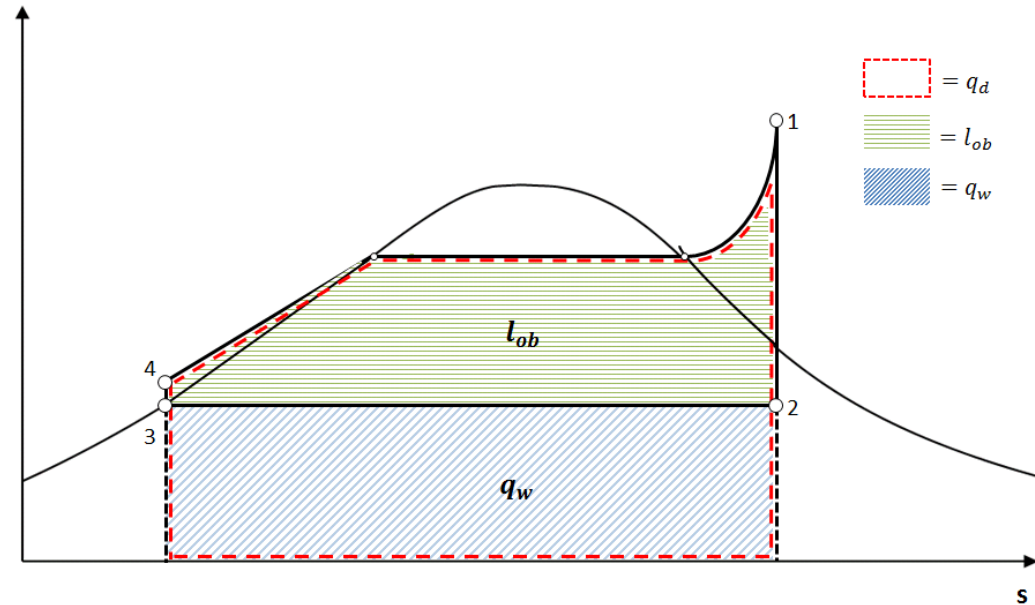
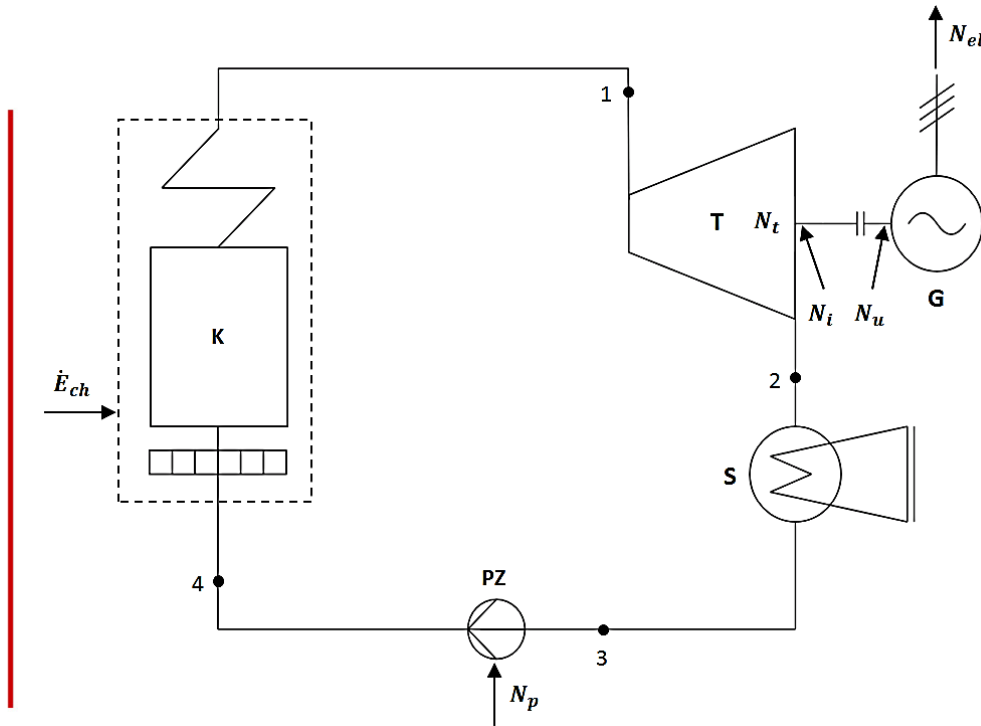
$$\eta_{tR} = \frac{L}{Q_d} = \frac{Q_d - Q_o}{Q_d}$$

$$\eta_{tR} = \frac{(h_1 - h_4) - (h_{2a} - h_3)}{h_1 - h_4}$$

$$\eta_{tR} = \frac{(h_1 - h_{2a}) - (h_4 - h_3)}{h_1 - h_4}$$

$$\eta_{tR} = \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_4}$$

Charakterystyka i sprawność obiegów termodynamicznych



$$\eta_{tR} = \frac{L}{Q_d} = \frac{N_i - N_p}{\dot{E}_{ch}}$$

$$\eta_{tR} = \frac{\dot{m}[h_1 - h_2 - (h_4 - h_3)]}{\dot{m}(h_1 - h_4)}$$

$$N_i - N_p = \dot{m}[h_1 - h_2 - (h_4 - h_3)]$$



AGH

Technologie Energetyczne

Literatura

1. Chmielniak T.: Technologie energetyczne. WNT, Warszawa 2008
2. Miller A., Lewandowski J.: Układy gazowo-parowe. WNT, Warszawa 1998
3. Badyda K., Lewandowski J., Miller A., Skowroński P.: Proekologiczne technologie dla rekonstrukcji i modernizacji elektrowni i elektrociepłowni. Wydawnictwo IGEiOŚ, Warszawa 2000
4. Madejski P., Żymełka P., Wprowadzenie do komputerowych obliczeń i symulacji pracy systemów energetycznych w programie Steag Epsilon®Professional. Wydawnictwo AGH, Kraków 2020
5. Chmielniak T., Pawlik M., Malko J., Lewandowski J.: Wyzwania paliwowe, technologiczne i ekologiczne dla polskiej energetyki. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010
6. Zimny J.: Odnawialne źródła energii w budownictwie niskoemisyjnym. Wydawnictwo PWN, 2014
7. Chich Wu, Thermodynamics and Heat Powered Cycles, A Cognitive Engineering Approach, Nova Science Publisher, New York, USA, 2007
8. Pawlik M., Strzelczyk F. Elektrownie. WNT. Warszawa 2017
9. Paska J., Wytwarzanie energii elektrycznej. Oficyna Wydawnicza PW. Warszawa 2005
10. Marecki J. Podstawy Przemian Energetycznych. Wydawnictwa Naukowo – Techniczne. Warszawa, 1995